

Schweizerische Arbeitsgemeinschaft für forstlichen Strassenbau

Merkblätter über den Bau und Unterhalt von
Wald- und Güterstrassen

Allgemeines Generalites	▶	1- 99
<hr/>		
Projektierung Etablissement du projet	▶	100-199
<hr/>		
Unterbau Infrastructure	▶	200-299
<hr/>		
Oberbau Superstructure	▶	300-399
<hr/>		
Stabilisierung Stabilisation	▶	400-499
<hr/>		
Entwässerung, Wasserableitung Assainissements, derivation	▶	500-599
<hr/>		
Unterhalt Entretien	▶	600-699
<hr/>		
Ökonomie und Recht Economie et droit	▶	700-799
<hr/>		
Baustoffe Materiaux de construction	▶	800-899
<hr/>		

Geschäftsstelle SAFS
Frau R. Winkler
Bürglistrasse 27
8002 Zürich

Schweiz. Arbeitsgemeinschaft
für forstlichen Strassenbau

Tel. 01/201 09 63

Verzeichnis der erschienenen Merkblätter

Stand im April 1986

<u>Nummer</u>	<u>Titel</u>	<u>Preis</u>
	<u>Projektierung</u>	
111	Detailprojektierung: Grundlagen	6.50
112	Inhalt des Detailprojektes	1.--
113	Darstellung eines Detailprojektes	25.--
121	Feldarbeiten	2.50
122	Kurvenabsteckung	3.--
123	Absteckung von Wendeplatten	1.50
131	Längenprofilberechnung	3.50
132	Massenberechnung, Massenprofil, Massendisposition	3.50
	<u>Unterbau</u>	
201	Unterbau: Begriffe	1.--
205	Anforderungen an den Unterbau und Bestimmung des Tragfähigkeitswertes	1.--
210	Planung des Unterbaues	1.--
220	Erbau: Begriffe und Grundlagen	1.--
221	Ausführung und Baumaschinen	1.50
240	Dimensionierung von Stützmauern: Allgemeines	3.--
241	Dimensionierung nichtarmerter Schwergewichtsmauern	6.--
	<u>Oberbau</u>	
311	Messung des CER-Wertes mit dem Farnell-Handpenetrometer	1.--
312	Deflektionsmessungen mit dem Benkelmann-Balken	1.--
321	Dimensionierung von Strassen mit flexiblem Oberbau	6.--
331	Verstärkung des Oberbaus von Strassen mit flexiblem Oberbau	6.--

<u>Nummer</u>	<u>Titel</u>	<u>Preis</u>
<u>Stabilisierung, Bodenmechanik, Verdichtung</u>		
406	Bestimmung der Kornverteilung	1.--
407	Bestimmung des Wassergehaltes	1.--
408	Bestimmung der Zustandsformen des Bodens	1.--
410	Bodenklassifikation und Bodenbeurteilung	2.50
411	Raumgewichte und davon abhängige Bodenkennziffern	1.--
412	Verdichtungsversuch nach Proctor	1.--
413	Plattendruckversuch	1.--
431	Bodenstabilisierung: Allgemeines	1.--
441	Mechanische Bodenstabilisierung	1.--
451	Bodenstabilisierung mit Kalk	1.--
461	Bodenstabilisierung mit Zement	1.--
471	Bodenstabilisierung mit bituminösen Bindemitteln	1.--
<u>Unterhalt</u>		
605	Unterhalt von Strassen: Allgemeines	1.--
610	Unterhalt von Strassen: Mit einer ton-wasser-gebundenen Verschleiss-schicht	1.--
660	Ausbau von Strassen: Allgemeines	1.--
Total 34 Merkblätter		Fr .91.50

Lieferbedingungen:

Die Abonnenten erhalten auf den vorstehenden Preisen einen Rabatt von 10 % .

Eine Sammelmappe mit Register wird zum Selbstkostenpreis von Fr. 10.-- abgegeben.

Versandspesen nach Aufwand. Rechnung zahlbar innert 30 Tagen netto.

Folgende Merkblätter sind nicht mehr erhältlich:

<u>Nummer</u>	<u>Titel</u>
	<u>Projektierung</u>
101	Generelle Erschliessungsplanung
102	Detailprojektierung: Strassen im Gelände
	<u>Entwässerung, Wasserableitung</u>
510	Flächenentwässerung durch offene Gräben
515	Flächenentwässerung durch geschlossene Drainage
520	Sickerleitungen
530	Quellfassungen
540	Oberflächenentwässerung der Fahrbahn
550	Wasserableitung längs der Fahrbahn
560	Wasserdurchleitung quer zur Fahrbahn

Das Merkblatt Nr. 241 ist als inhaltlich gleicher, drucktechnisch jedoch verbesserter Neudruck erhältlich.

Projektierung

Merkblätter über den Bau und Unterhalt von Wald- und Güterstraßen

Generelle Erschließungsplanung

Das Merkblatt enthält Richtlinien
über die generelle Planung der Walderschließung

Inhalt**1 Allgemeines**

- 1.1 Zielsetzung
- 1.2 Abgrenzung des Planungsgebietes
- 1.3 Umfang der Planung
- 1.4 Administratives Vorgehen

2 Technische Mittel

- 2.1 Transportarten
- 2.2 Erschließungsmittel

3 Grundlagen

- 3.1 Beschaffung von Unterlagen
- 3.2 Berücksichtigung der örtlichen Gegebenheiten
- 3.3 Richtlinien für die Planung von Waldstraßennetzen
- 3.4 Planung des Einsatzes von Seilbahnen
- 3.5 Richtlinien für die Planung von Seilkrannetzen

4 Ausarbeitung

- 4.1 Vorbereitung
- 4.2 Ausscheidung nach Erschließungsmitteln
- 4.3 Vorstudien auf dem Kurvenplan
- 4.4 Aufsuchen und Abstecken der Straßen-Nulllinien resp. Seillinien im Gelände
- 4.5 Überprüfung der Absteckung
- 4.6 Fixierung im Gelände

5 Projektakten

- 5.1 Übersichtsplan
- 5.2 Technischer Bericht

6 Kosten**1 ALLGEMEINES****1.1 Zielsetzung**

Für ein abgegrenztes Waldgebiet ist diejenige Erschließung zu suchen, die im Rahmen eines verantwortbaren finanziellen Aufwandes die bestehenden und zukünftigen Anforderungen der Waldwirtschaft am besten erfüllt und die Bedürfnisse der Land- und Alpwirtschaft, Touristik, Armee usw. im Sinne einer

Gesamtplanung (Gemeinde- oder Regionalplanung) mitberücksichtigt.

Die einzelnen Erschließungsanlagen sind in der Linienführung so festzulegen, daß sich bei der späteren Erstellung der Detailprojekte nur noch geringfügige Verschiebungen ergeben.

Die generelle Planung ist jeweils vor der Bearbeitung eines weiteren Detailprojektes auf ihre Zweckmäßigkeit zu prüfen und, falls notwendig, den neuesten Erfahrungen und Erkenntnissen der Walderschließung sowie allfälligen veränderten Bedürfnissen anzupassen.

1.2 Abgrenzung der Planungsgebiete

Das Planungs- = Projektgebiet soll eine topographische Einheit umfassen (Talkessel, Berghang, Hügelzug usw.). Seine Umgrenzung ist in der Regel ohne Rücksicht auf Gemarkungs- und Eigentumsverhältnisse, Unterschiede in der Bodennutzung usw. vorzunehmen. Anlaß zur Unterteilung einer topographischen Einheit kann gegeben sein durch Bahnen, Durchgangsstraßen, schwierige Geländepartien, größere Flußläufe usw.

1.3 Umfang der Planung

Die Planung hat die gesamte Erschließung zu umfassen (Transporte in den Wald und aus dem Wald) und alle in Betracht fallenden Transportanlagen einzubeziehen (Straßen für Schwertransport, Wege für leichte Fahrzeuge, Langstreckenseilkrane, Seilbahnen usw.).

Die möglichen Rückanlagen und Rückmittel im Waldinnern (Rückwege, Rückgassen, Reistzüge, Kurz- und Mittelstreckenseilkrane) haben wesentlichen Einfluß auf die Planung der Transportanlagen, doch sollen sie im generellen Erschließungsprojekt in der Regel nicht dargestellt werden.

1.4 Administratives Vorgehen

Generelle Erschließungsprojekte sollen in der Regel in folgenden Etappen verwirklicht werden:

1. Abklärung der Bedürfnisfrage durch den Forstdienst
2. Aufklärung der Waldbesitzer und übrigen Grundeigentümer über die Notwendigkeit
3. Beschlußfassung der beteiligten Grundeigentümer über die Ausarbeitung

- 4 Entsprechender Auftrag an das zuständige Forstamt
- 5 Ausarbeitung durch einen Forstingenieur (in der Regel unabhängig von Wirtschaftsplanrevisionen)
- 6 Prüfung des Projektentwurfes durch:
 - das zuständige Kreisforstamt
 - den kantonalen und eidgenössischen Forstdienst
 - allfällige weitere interessierte Dienststellen
 - die beteiligten Behörden und Grundeigentümer
7. Genehmigung des bereinigten Projektes durch Kanton und Bund.

2 TECHNISCHE MITTEL

2.1 Transportarten

Schlittentransport

Zug durch menschliche oder tierische Kraft unter Ausnützung der Schwerkraft. Ist witterungsabhängig (Schnee). Verliert wegen der starken Abnahme des Zugtierbestandes bei gleichzeitiger Zunahme der Motorisierung immer mehr an Bedeutung. Ist daher bei der Planung neuer Erschließungsnetze nicht mehr zu berücksichtigen.

Achstransport

- Wagen oder Anhänger mit Zugmittel (Pferd, Traktor, Unimog, Jeep u a.)
- Lastwagen

Der Transport mit Pferdezug geht zugunsten des Motortransportes laufend zurück. Die generelle Erschließung ist daher vor allem für Motorfahrzeugverkehr zu planen (Ausarbeitung eines generellen autofahrbaren Straßennetzes).

Seiltransport

- mittels Seilriebe: Primitive Seilanlage für den Transport kurzer, geringwertiger Sortimente (Brennholz); an Holz- oder Eisenhaken aufgehängte Lasten gleiten an einem Draht oder Spiralseil infolge der Schwerkraft ungebremst talwärts.
- mittels Seilbahn: Seilanlage für den Taltransport von Holz ab vorbereiteten Beladestellen. Verbindet eine oder mehrere Beladestellen mit der Talstation. Holzaufnahme auf den Zwischenstrecken nicht möglich: erschließt keine Fläche. Zubringen des Holzes zu den Beladestellen erfordert besondere Rück- oder Transportanlagen. Aufhängung der Lasten tragseilparallel an zwei Gehängen (mittlerer Abstand der Lasten auf Tragseil 250-300 m). Förderung talwärts durch Schwerkraft, Bremsung mit Zugseil; Förderung bergwärts sowie bei ungenügendem Gefälle durch motorischen Antrieb.
- mittels Seilkran: Seilanlage für Rücken und Transport von Holz tal- oder bergwärts. Holzaufnahme auf ganzer Trasseelänge möglich: erschließt eine Fläche. Seitlicher Zuzug, Aufziehen und Förderung auf dem Tragseil erfolgen in einem Arbeitsgang. Aufhängung der Last am Laufwagen vertikal, tragseilparallel oder im «Kopfhochverfahren» (nur 1 Laufwagen pro Anlage). Förderung talwärts durch Schwerkraft, Bremsung mit Zugseil; Förderung bergwärts sowie bei ungenügendem Gefälle durch motorischen Antrieb.

2.2 Erschließungsmittel

Straßen

- mit Motorzug (Jeep, Unimog, Traktor usw.) befahrbare Straßen
- mit Lastwagen befahrbare Straßen.

In die generelle Planung sind alle Anlagen einzubeziehen, die im Endausbau mit fester Fahrbahn versehen werden. Letztere sollen in der Regel mit Fahrzeugen von folgenden Achslasten befahrbar sein:

- Straßen für Motorzug 7 t
- Straßen für Lastwagen 14 t

Weganlagen, die dank geeignetem Untergrund dem Motorfahrzeugverkehr vorläufig auch ohne Oberbau genügen, werden ebenfalls als Waldstraßen bezeichnet und sind im generellen Erschließungsplan zu berücksichtigen. Sie sind so anzulegen, daß sie in einem gewünschten späteren Zeitpunkt ohne Schwierigkeit mit einer festen Fahrbahn versehen werden können.

Seilbahnen

Sie gelangen dort zum Einsatz, wo aus wirtschaftlichen Gründen keine Straßen gebaut werden können (z. B. felsige und waldlose Talflanken). Sie können dauernd oder während mehrerer Jahre auf dem gleichen Trasse bleiben.

Langstreckenseilkrane (LSK), evtl. Mittelstreckenseilkrane (MSK)

LSK, evtl. MSK werden anstelle von Hangstraßen für den Abtransport periodisch anfallender Holznutzungen eingesetzt:

- als vorläufiges Erschließungsmittel bis zum späteren Bau von Hangstraßen
- als endgültiges Erschließungsmittel, wenn der Bau von Hangstraßen aus wirtschaftlichen Gründen nicht in Frage kommt.

3 GRUNDLAGEN

3.1 Beschaffung von Unterlagen

- frühere Erschließungsstudien
- Wirtschaftspläne
- Topographische Pläne, Maßstab 1:5 000 oder 1:10 000, mit Höhenkurven von 5 oder 10 m Äquidistanz
- Luftaufnahmen
- bestehende Gemeinde- oder Regionalpläne.

3.2 Berücksichtigung der örtlichen Gegebenheiten

- Bestehende Erschließungsanlagen
- Eigenschaften des Erschließungsgebietes (Geländeform, Baugrund usw.)
- Bestockungsverhältnisse, Nutzungsmenge, Sortimentsanfall, Holzabsatz, Absatzgebiet, Wirtschaftsintensität, Ertrag und Ertragsfähigkeit der Waldungen und des landwirtschaftlich benutzten Bodens, weitere Erträge oder Nutzen

- Ansprüche der Wald- und der Landwirtschaft und weiterer Interessenten an die Erschließung
- Stand der Technik im forstlichen Bau-, Transport- und Rückwesen
- Überlegungen des örtlichen Forstpersonals und der Grundeigentümer über mögliche Erschließungen
- Bezugsmöglichkeiten von Baumaterialien
- Voraussichtliche Bau- und Unterhaltskosten.

33 Richtlinien für die Planung von Waldstraßennetzen

Linienführung

Bei der Linienwahl sind folgende Anforderungen resp. Gegebenheiten zu berücksichtigen:

- Transportgrenzen
- Erfassung aller zu erschließenden Waldteile (bei stark wechselnden Standortverhältnissen sind vor allem die besten Wuchsgebiete optimal aufzuschließen)
- gleichmäßige Erschließung (am besten durch Parallelwege)
- Bildung geschlossener Straßenzüge
- möglichst kurze Verbindung zwischen Wald und Verbrauchszentrum
- Wegverzweigungen.

Die Straßenzüge sollen dem Gelände zweckmäßig angepaßt werden:

- Straßenführung in der Regel an der tiefsten Stelle des zu erfassenden Waldgebietes (Talboden)
- in sehr engen Tälern (Schluchten) Straßenführung auf Terrassen, mit Aufwärtszug des darunter anfallenden Holzes
- Hangstraßen möglichst längs Gefällsbrüchen führen (Wechsel des Rückmittels)
- zur Überwindung großer Höhenunterschiede möglichst weit ausholen (wenig Kehren, lange Zwischenstrecken)
- schwierige Geländepartien, die nicht umgangen werden können, mit kleinster Straßenlänge queren
- Hangstraßen unterhalb von Steilstufen in genügendem Abstand vom Hangfuß halten.

Beim Entscheid über die Führung einer Straße am Waldrand oder innerhalb desselben sind abzuwägen:

Vorteile einer Waldrandstraße:

- dient gleichzeitig der Bewirtschaftung des offenen Landes
- bildet eine klare Abgrenzung zwischen dem Wald und anderen Kulturarten
- wird bevorzugt als Spazier- und Wanderweg (freie Sicht)

- verhindert Trauf- und Schattenwirkung im offenen Land
- verhindert die Einzäunung des angrenzenden offenen Landes bis dicht an den Waldrand
- erleichtert die Einhaltung eines angemessenen Abstandes zwischen Waldrand und Hochbauten.

Vorteile einer Straße im Waldinnern:

- bessere forstliche Ausnützung (erschließt auf beiden Seiten Wald). Die Gesamtlänge des Erschließungsnetzes wird damit meist gekürzt.
- in der Regel besseres Rücken und Lagern des Holzes unter Schonung des Waldmantels.

Wichtige Fixpunkte im Straßennetzgerippe sind:

- Positiva: Endpunkte bestehender Abfuhrstraßen, bautechnisch günstige Tobel-, Bach-, Bahnübergänge, Felspassagen usw. geeignete Stellen für Wendepalten und Wegverzweigungen, Lagerplätze, Stationen für Seilanlagen Hangterrassen Kiesgruben, Steinbrüche usw.
- Negative: Steilhänge Felswände vernähte Stellen Quellfassungsgebiete Rutschflächen usw.

Abstand

Entscheidend für eine optimale Erschließung sind die Anordnung der Straßen und die Dichte des Netzes.

Folgende Faktoren sprechen für ein dichtes Straßennetz:

- günstige Wuchsverhältnisse, gute Ertragsfähigkeit der Waldungen
- relativ hohe Bringungskosten (stark coupiertes Gelände usw.)
- geringe Straßenbau- und Unterhaltskosten
- geringe durchschnittliche Eigentumsgröße
- steigende Arbeitslöhne und Rückkosten

Umgekehrt wirken im Sinne einer Vergrößerung des Straßenabstandes:

- geringe Wuchsverhältnisse der Waldungen
- relativ niedrige Bringungskosten
- hohe Straßenbau- und Unterhaltskosten.

Aus der bisherigen forstlichen Praxis ergeben sich die folgenden mittleren Waldstraßenabstände:

Mittelland und tiefere Lagen des Jura und der Voralpen	120-250 m
mittlere Berglagen	200-300 m
Gebirgslagen	250-500 m

Für das Bringen des Holzes in schwierigem Gelände (Jura, Voralpen, Alpen) kann der Einsatz von **Kurz-** oder **Mittelstreckenseilkran-Anlagen** als Rückmittel zwischen den Straßen notwendig werden.

Technische Daten der KSK und MSK:

	Trasseelänge m	Gesamte Einzugs- breite m	Minimal erforderliche Holzmenge pro Trassee m ³	Tages- leistung (4 Mann Bedienung) m ³
KSK	bis 250	bis 60	ca. 40	ca. 20
MSK	200--800	50--80	ca. 80	ca. 30

Steigungen

Aus wirtschaftlichen und technischen Gründen sind folgende Grenzen einzuhalten:

Maximalsteigung	100‰, Ausnahme	120‰
Minimalsteigung	30‰, Ausnahme	00‰
Gegensteigungen	60‰, Ausnahme	8-100‰

Straßen mit stärkeren Steigungen erfordern zu großen Unterhaltsaufwand und sind unbedingt zu vermeiden. Hingegen erlaubt der Motortransport im Verlauf des gleichen Trassees relativ große Stelgungsunterschiede.

Steigungswechsel oder Gegensteigungen sind gerechtfertigt:

- zur Erreichung positiver resp. Umgehung negativer Fixpunkte
- aus rüchtechnischen Gründen
- zur Verminderung der Baukosten
- für günstigere Längsentwässerung
- zur Erreichung günstigerer Straßenabstände.

Bei großen Steigungswechseln sowie bei Wegverzweigungen sind die Übergänge abgestuft schon bei der generellen Absteckung im Gelände festzuhalten. Steigungen von über 80‰ sind in Wendepunkten, bei Lagerplätzen, Stationen von Seilanlagen usw. um ca. 13 zu reduzieren.

Kurvenradien

Je nach Bedeutung der einzelnen Straßenzüge ist zu entscheiden, ob die bestmögliche Anpassung der Weglinie ans Gelände oder ausnahmsweise die Geschwindigkeit der Fahrzeuge (Ausbau-Geschwindigkeit) für die Wahl der Kurvenradien maßgebend ist. Die Größe der Radien hängt zudem ab von:

- Gelände
- Länge des zu transportierenden Holzes
- Traktionsmittel.

Als Minimal-Radien gelten:

Für Langholztransport	20-25 m	Ausnahme	16 m
Für Trämeltransport	10 m	Ausnahme	8 m

Breite der festen Fahrbahn

Wahl der Breite von 2,2-3,5 m je nach

- allgemeiner Bedeutung der Straße
- Größe des Einzugsgebietes
- einzusetzenden Fahrzeugen
- ökonomischen Überlegungen (Baukosten).

Als Norm gelten:

Feste Fahrbahn für Jeeps usw.	2,2-2,5 m
Feste Fahrbahn für Lastwagen	3,0-3,5 m

In Kurven mit weniger als 30 m Radius ist die feste Fahrbahn entsprechend zu verbreitern (siehe «Projektierungselemente für Straßen»).

Anordnung von Lagerplätzen, Ausweich- und Wendestellen

Siehe «Projektierungselemente für Straßen».

3.4 Planung des Einsatzes von Seilbahnen

Der Einsatz der Seilbahn als Transportmittel im Rahmen genereller Erschließungsplanungen bleibt auf die Einzellinien sowie auf die Lösung besonderer Transportaufgaben beschränkt. Er läßt sich nur dort rechtfertigen, wo eine andere Lösung unwirtschaftlicher wäre (2.2).

In bezug auf die technischen Gesichtspunkte wird auf das Merkblatt «Detailprojektierung von Seilanlagen» verwiesen.

Für Bau und Betrieb von Seilbahnen (System «Valtellina», ohne motorischen Antrieb) gelten die folgenden wirtschaftlichen Daten:

- Minimal erforderliche Holzmenge pro Seillinie: 1 m³ pro m' Trassee
- Tagesleistung pro eingesetzten Arbeiter (unabhängig von der Trasseelänge): ca. 8-10 m³.

3.5 Richtlinien für die Planung von Seilkrannetzen (LSK, ausnahmsweise MSK)

	Trasseelänge m	Gesamte Einzugs- breite m	Minimal erforderliche Holzmenge pro Trassee m ³	Tages- leistung bei 5 Mann Bedienung, 1200 m Trasseelänge m ³
LSK	800-2000	70-150	200-250	25-30

Bei der Planung genereller LSK-Netze sind zu berücksichtigen:

Geländeform

Grundsätzlich bestehen 3 Möglichkeiten der Linienführung:

- Wandtafelhang (gleichmäßig geneigt): parallele Seillinien
- Talkessel: fächerförmiges Zusammenlaufen der Linien bei der Talstation
- Kegelförmig ausgebildetes Gelände: fächerförmiges Zusammenlaufen der Linien bei der Bergstation.

Allgemein ist die Führung der Linien in der Hangfalllinie und über Geländerippen anzustreben.

Wahl des Tallagerplatzes

Für Anlage und Ausbau sind zu berücksichtigen:

- Anschluß an das Straßennetz
- Verwendung als Arbeitsplatz mit Einsatz von Maschinen

Seillinienabstand

Abhängig von Installationsaufwand, zu transportierender Holzmenge, Gelände- und Bestandesverhältnissen, Größe der Durchschnittslast. Als Norm gelten 70-150 m

Installationsaufwand für eine einzelne Seillinie (Reduktion für eine Nachbarlinie ca. 250‰):

	Trasseelänge	Aufwand in Arbeiterstunden
LSK	1000-1200 m	350-450 *)
MSK	300 m	60-80 **)
MSK	500 m	80-100 **)

*) ohne Zwischenstützen. Pro Stütze ca. 35 Arbeiterstunden

***) Inklusiv 1 Aufhängung pro 100 m' Trassee.

Bergstation

Erstellung grundsätzlich überall möglich.

Lage des transportbereiten Holzes nach Beendigung der Fäll- und Rückarbeiten

Kreuzung von elektrischen Leitungen, Bahnanlagen und Hauptstraßen

— Elektrische Leitungen und Bahnanlagen:

Rechtliche Bestimmungen:

- BG betr. die elektr. Schwach- und Starkstromanlagen (Elektrizitätsgesetz) vom 24.6.1902
- Eidg. Verordnung über die Parallelführung und Kreuzungen unter sich und mit Eisenbahnen vom 7. 7. 1933 (speziell Abschnitt VI: Zusammentreffen von Stark- und Schwachstromleitungen mit Drähten und Drahtseilen von Transportanlagen, Art. 45-49).

Licht- und Telefonleitungen sind an der Kreuzungsstelle für die Dauer des Kraneinsatzes provisorisch in den Boden zu verlegen (10 bis 20 cm tief) oder umzuleiten (z. B. Umfahrung der Talstation). Sie können aber auch durch Errichten eines Bockes oder Anbringen eines Prellseiles vor Kontakten speziell mit dem Zugseil geschützt werden.

- Hauptstraßen:

Beim Überspannen von Hauptstraßen sind Böcke zu erstellen. Bei jeder Lastfahrt muß der Straßenverkehr aufgehalten werden.

- Rücksprache mit Werkeigentümer:

In allen Fällen von Kreuzungen der vorgenannten Anlagen wird empfohlen, mit den Werkeigentümern bereits im Stadium der Projektierung Rücksprache zu nehmen.

4 AUSARBEITUNG

4.1 Vorbereitung

Auf dem Kurvenplan (1 : 5 000 oder 1 : 10 000) werden eingezeichnet:

- Grenze des Projektgebietes
- forstliche Transportgrenzen
- Gebiete hoher bzw. geringer Ertragsfähigkeit des Waldes
- Brauchbare Straßen und Seilbahnen des bestehenden Verkehrsnetzes
- Positive und negative Fixpunkte.

4.2 Ausscheidung nach Erschließungsmitteln

Gebiete mit Straßenerschließung resp. dauernder LSK- oder MSK-Erschließung sind gesondert abzugrenzen. Innerhalb dieser Gebiete ist die Erschließung mit Straßen resp. Seilkran-Anlagen gleichzeitig als Ganzes zu projektieren (Anschluß der Berg- und Talstationen und Lagerplätze ans Straßennetz). Für Gebiete, in denen nur ein vorübergehender LSK- oder MSK-Einsatz vorgesehen wird, ist die spätere Erschließung mit Straßen schon bei der Planung des Kran-Einsatzes festzulegen.

4.3 Vorstudien auf dem Kurvenplan

Straßen

- Provisorischer Entwurf des Erschließungsnetzes auf dem Kurvenplan nach den in Kapitel 3 angeführten Grundsätzen und Richtgrößen unter Berücksichtigung der positiven und negativen Fixpunkte
- festhalten verschiedener Varianten.

Seillinien

- Festlegen der möglichen Talstationen
- Aufteilung des Geländes nach der zweckmäßigsten Seillinienführung (als Fächer oder parallel)
- Bestimmung des mittleren Seillinienabstandes
- Überprüfung der Aufhängungshöhen und Durchhangsverhältnisse der Tragseile bautechnisch schwieriger Seillinien (Längenprofile aus Kurvenplan entnehmen).

4.4 Aufsuchen und Abstecken der Straßen-Nulllinien resp. Seillinien im Gelände

Allfällige Ungenauigkeiten des Kurvenplanes sind dabei auf Grund der Detailbeschaffenheit des Terrains auszugleichen.

4.5 Überprüfung der Absteckung

- Begehen der Linien mit den zuständigen Forstorganen von Kanton und Bund, weiteren interessierten Fachdienststellen und gegebenenfalls mit den Grundeigentümern
- Vornahme allfälliger Bereinigungen
- Endgültige Festlegung der Linien.

4.6 Fixierung im Gelände

Straßen

Endgültige Linien sind im Gelände wie folgt festzuhalten:

- Durchgehende Fixierung mit Pflöcken oder Farbe (z. B. an Felsen)
- Erstellung von Fußwegen längs der Nulllinien
- In Ausnahmefällen nur Markierung der wichtigsten Punkte der Straßenlinien (Steigungswechsel, Einmündungen, Wendeplatten usw.).

Seillinien

Fixierung der Verankerungen an den Berg- und Talstationen und der Abladeplätze.

5 PROJEKTAKTEN

5.1 Erschließungsplan

Das bereinigte generelle Erschließungsnetz ist auf dem topographischen Plan 1 : 5 000 oder 1 : 10 000 einzuzeichnen. Dieser Plan soll enthalten:

- Projektperimeter, Eigentumsgrenzen, Wald und offenes Land
- bestehende, brauchbare Straßen (schwarz)

- generell geplante Straßen (rot) mit folgenden Angaben:
Steigung in %, Steigungsrichtung (Pfeil), Steigungswechsel (Querstrich), Bezeichnung der Anfangs- und Endpunkte oder der einzelnen Wegnetzabschnitte durch große Buchstaben oder Zahlen. Jeep- und lastwagenfahrbare Straßen sind getrennt darzustellen.
 - generell geplante Seillinien von LSK-, evtl. MSK-Anlagen (rot) mit folgenden Angaben:
Berg- und Talstation, Tallagerplätze, Zufahrtswege. Erwünscht: Stützenstandorte, Fußwegnetz.
 - Evtl. Gebiete, in denen das Rücken des Holzes mit KSK oder MSK erfolgen soll
 - wichtigste Waldnamen.
- (Darstellung: siehe Beilage)

52 Technischer Bericht

Allgemeines

- Bauherrschaft
- Eigentumsverhältnisse
- Waldwirtschaft
Standortsverhältnisse (Topographie, Geologie und Böden, Klima, Pflanzensoziologie)
Gegenwärtiger Waldzustand (Fläche, Bestockung, Größe und Zusammensetzung des Vorrates, Holzanfall, waldbaulicher Zustand)
- Land- und alpwirtschaftliche Verhältnisse
- andere Interessen an der Erschließung.

Bestehendes Verkehrsnetz und bisherige Abfuhrverhältnisse

- Brauchbarkeit bestehender Straßen, Wege und Seilbahnen
- bestehende Rück- und Fahrrechte
- bisherige Transportkosten.

Gelände und Baugrund

- Beurteilung von Gelände und Baugrund nach ihrer Eignung für den Bau und Unterhalt von Straßen bzw. Seilanlagen (zu erwartende Schwierigkeiten resp. günstige Gegebenheiten)
- Erwähnung besonderer Verhältnisse
- Möglichkeit der Beschaffung von Baumaterialien.

Angaben über das geplante Erschließungsnetz

Straßen:

- Zielsetzung
- Begründung der gewählten technischen Normen und Einzelheiten (Gefälle, Kurvenradius, Normalprofil, Wegabstand, Linienführung, Rück- und Transportmittel usw.)
- Länge und Dichte des Straßennetzes
- Beurteilung von Varianten

- Begründung besonderer Lösungen für einzelne Teilstücke
- größere Kunstbauten (Brücken, Galerien, Tunnels usw.)
- besondere Bauschwierigkeiten (Entwässerung, Verbauungen usw.)
- Erwerb von Rechten, vorgesehene Landankäufe
- Anträge für ergänzende Erhebungen.

Seilanlagen:

- Zielsetzung
- Begründung der Wahl bestimmter Bautypen und -elemente
- maximale und minimale Seillängen
- besondere Anlagen (Aufrüstplätze, Fußweg- und notwendiges Straßennetz)
- Erwerb von Rechten, vorgesehene Landankäufe
- Anträge für ergänzende Erhebungen.

Baukosten

Straßen:

- Diskussion der Laufmeterkosten auf Grund neuester Erfahrungen und der lokalen Verhältnisse
- Ermittlung der gesamten Baukosten (Summe der geschätzten Kosten der einzelnen Straßenzüge. Für größere Kunstbauten Pauschalbeträge einsetzen.)
- wirtschaftliche Überlegungen.

Seilanlagen:

- Anschaffungskosten
- Verzinsung, Amortisation
- permanente bauliche Anlagen
- wirtschaftliche Überlegungen.

Verwirklichung

- Reihenfolge des Ausbaues der einzelnen Straßenstrecken bzw. Seillinien je nach Dringlichkeit in den nächsten 5-10 Jahren.

Finanzierung

- Wirtschaftliche Lage der Bauherrschaft
- Finanzierungsplan mit Angabe der
 - zu erwartenden Beiträge von Bund, Kanton, Gemeinde
 - Restkosten und deren Deckung durch die am Werke beteiligten Grundeigentümer.

6 KOSTEN

Auf Leistungs- und Kostenangaben betr. Erstellung genereller Erschließungspläne wird verzichtet. Die Entschädigung erfolgt zweckmäßig nach Zeitaufwand. Die Leistungen und Kosten sind abhängig von Geländeschwierigkeiten, vorhandenen Planunterlagen, Bestockungsverhältnissen, Zahl der untersuchten Varianten. Die Planung kann deshalb nicht im Akkord vergeben werden.

Projektierung

Merkblätter über den Bau und Unterhalt von Wald- und Güterstraßen

Generelle Erschließungsplanung

Beispiel für die Darstellung eines Erschließungsplanes

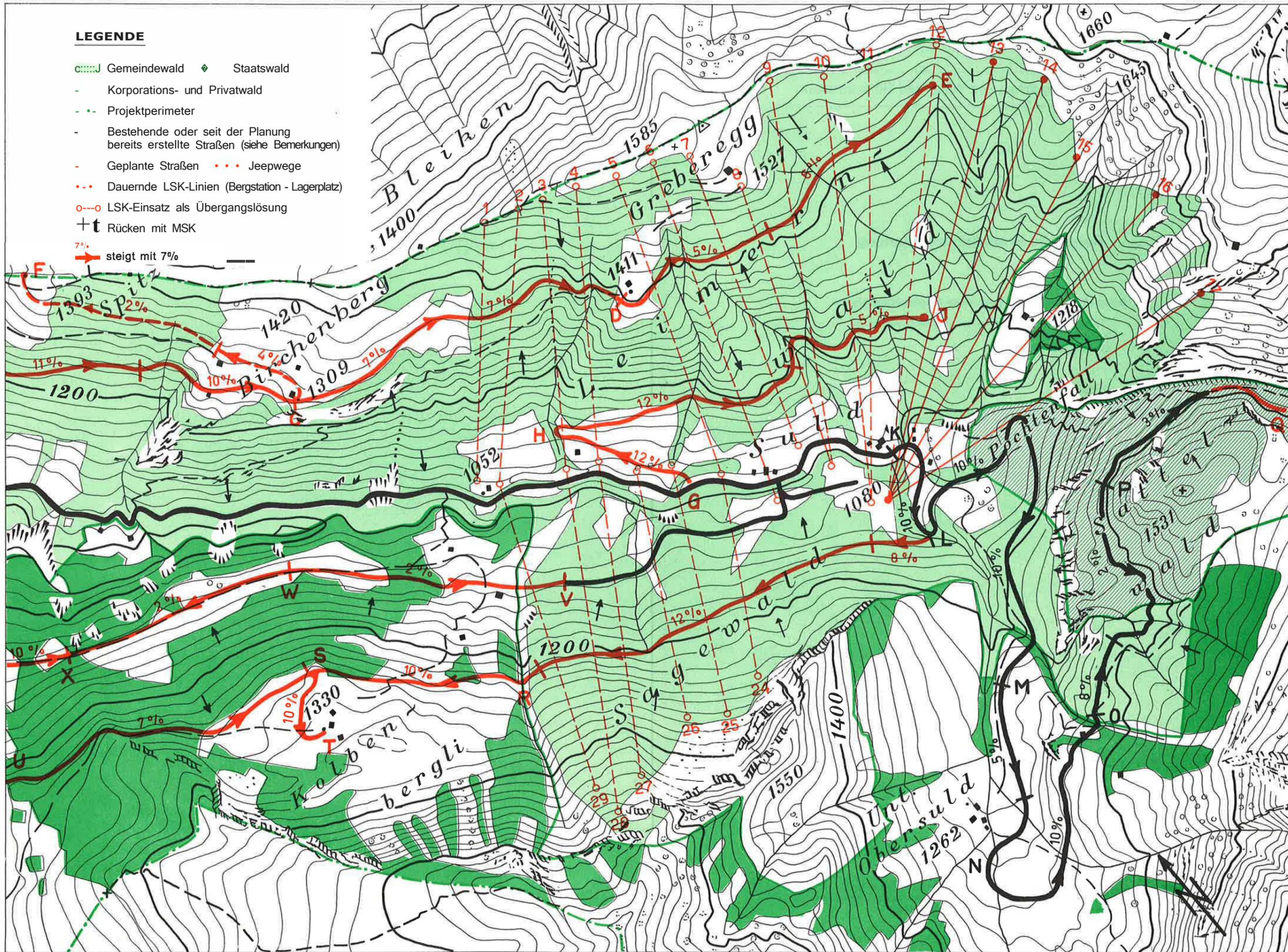
Objekt: Waldungen im Suldtal, Gemeinde Aeschl, BE
Maßstab: 1 : 10 000
Aequidistanz: 20 m

Bemerkungen

Seit der Genehmigung des generellen Wegnetzes wurde die Wegstrecke K - L - M - N - O - P ausgebaut. Der Einsatz eines LSK als Übergangslösung auf den Seillinien 18-23 ist daher hinfällig geworden. Die vorgenannten Seillinien sind im vorliegenden Plan nicht mehr dargestellt.

LEGENDE

- ▬▬▬▬ Gemeindewald ◆ Staatswald
- - - - Korporations- und Privatwald
- · - · - Projektperimeter
- - - - Bestehende oder seit der Planung bereits erstellte Straßen (siehe Bemerkungen)
- - - - Geplante Straßen · · · · Jeepwege
- · - · - Dauernde LSK-Linien (Bergstation - Lagerplatz)
- - ○ - ○ LSK-Einsatz als Übergangslösung
- + t Rücken mit MSK
- 7% steigt mit 7%



Projektierung**Merkblätter über den Bau und Unterhalt von Wald- und Güterstraßen****Detailprojektierung der Straßen im Gelände**

Das Merkblatt enthält Richtlinien über die Absteckungsarbeiten

1 Vorarbeiten**1.1 Überprüfung des generellen Wegnetzes**

- bezüglich Konzeption anhand des Planes. Nötigenfalls Anpassung an veränderte Gegebenheiten
- bezüglich Markierung im Gelände. Nötigenfalls Neumarkierung oder nochmalige Fixierung der Null-Linie, wobei genaues Arbeiten die spätere Detailprojektierung wesentlich erleichtert.

1.2 Bereitstellung des Vermessungs- und Absteckungsmaterials

- Nach Wahl: Theodolit, Bussole, Sitometer, Winkeltrommel, Nivellierinstrument, Winkelprisma
- Meßband, Meter, Nivellierlatte, Setzlatte, Wasserwaage, Senkblei, 10-12 Jalons
- Feldbuch, Kurventabelle, Rechenschieber
- Nummern- und Bodenpfähle, Bolzen
- Vorschlaghammer, Fäustling, Loch- und Spitz-eisen
- Axt, Gerte!, Säge
- Signierstift.

2 zweckmäßige Verteilung der Arbeiten

- Forstingenieur, evtl. eingearbeiteter anderer Ingenieur:
Streckung der Null-Linie (Festlegung des Tangenten-Polygons)
Ermittlung und Festlegung der Kurvenelemente
- Eingearbeitete Förster oder Techniker mit Gehilfen:
Übrige Absteckungs- und Aufnahmearbeiten.

3 Absteckung und Aufnahme**3.1 Festlegung des Tangenten-Polygons****Grundsatz**

Die Null-Linie ist so zu strecken, daß

- die Linienführung den Anforderungen der vorgesehenen Transporte genügt
- möglichst geringe Masse anfällt
- sich auf kurze Strecken Massenausgleich ergibt.

Ausführung

- Markierung der Punkte der Null-Linie mit Jalons über eine möglichst lange Strecke
- Festlegung der gewählten Tangentenpunkte, Verpflockung je mit Boden- und Nummernpfahl, und Beschriftung
- Analoge Fixierung der Zentren von Wendepunkten.

3.2 Festlegung und Verpflockung der Straßenachse

- Sicherstellung der vorgesehenen Anschlüsse an bestehende Straßen durch Verpflockung und Aufnahme je einer mindestens 20 m langen Anschluß-Strecke
- Bestimmung des günstigsten Bogens (Anfang, Mitte, Ende) für jede Richtungsänderung, unter Berücksichtigung von Gelände, Minimalradius, optimaler Tangentenlänge und von Fixpunkten der Kurve mittels Kurventabellen (Zwicky, Aretin u. a.) oder anderer Methoden (Viertels-, Parabelmethoden u. a.)
- Absteckung von Wendepunkten in der Regel vom Zentrum aus
- Festlegung weiterer Achspunkte unter Berücksichtigung der charakteristischen Geländepunkte (z. B. Mulden, Kuppen, Felsköpfe usw.) und zur zusätzlichen Unterteilung der Achse in folgende Abstände:

gleichmäßiges Gelände	bis 20 m
coupiertes Gelände	8 - 12 m
enge Kurven	4 - 6 m
- Verpflockung der Achspunkte je mit Boden- und Nummernpfahl. Das Bemalen der Pfahlköpfe ist zu empfehlen. Gegenseitige Lage von Nummern- und Bodenpfahl durchgehend gleich halten (Anschrift gegen Bodenpfahl gerichtet). Bei Ausnahmen Nummernpfahl rechtwinklig zur Achse versetzen und Abstand vom Bodenpfahl anschreiben

- Fortlaufende Numerierung der Profile. Nähere Bezeichnung der Kurvenpunkte als A (= Anfang), M (= Mitte), E (= Ende). Notwendige Zwischenpunkte möglichst gleichmäßig verteilen; z. B. $\frac{1}{4}$, $\frac{3}{4}$ usw.

3.3 Messung der Längen

- Angaben auf ganze Dezimeter
- Bei jeder Messung ist konsequent abzurunden
- Bogenlängen ergeben sich aus der Kurvenberechnung.

3.4 Messung der Höhen (Nivellement)

- Angaben auf ganze Zentimeter
- Ausgangshöhe frei wählen oder an nahe gelegene Höhenfixpunkte anschließen
- Ausführung mit:
Nivellierinstrument (Flächen- oder Fixpunkt-Nivellement)
Gefällsmesser (Fixpunkt-Nivellement, Zieldistanz 3 - 5 m)
Tachymeter
- Überprüfung der Höhenunterschiede der einzelnen Achspunkte durch Kontroll-Messung.

3.5 Aufnahme der Querprofile

- Profilrichtung senkrecht zur Straßenachse (besonders in Steilhängen wichtig). Bestimmung mittels Winkelspiegel, Winkeltrommel, Bussole, Jalonkreuz usw.

- Aufnahme der Geländelinie (Staffelung mittels Setzlatten auf ganze Dezimeter). Zufällige Unregelmäßigkeiten wie Stöcke, kleinere Blöcke, Vertiefungen usw. sind nicht zu berücksichtigen
- Aufnahme der Querprofile beidseits der Straßenachse auf je
3 - 6 m in flachem Gelände
6 - 9 m in geeignetem Gelände
9 m und mehr in Steilhängen
Bei zu erwartenden Achsverschiebungen sind die Profilaufnahmen entsprechend auszudehnen.

3.6 Beschaffung weiterer Unterlagen

- Aufnahme von Straßen-Anschlüssen, Einmündungen von Erdwegen und Rückgassen, bestehenden Entwässerungsanlagen, geländebedingten Durchlaß-Stellen, Wasserläufen, Werkleitungen
- Festlegung der Art und des ungefähren Umfangs auszuführender Entwässerungen
- Ausführung von Bodensondierungen (Schlitze, Bodenproben)
- Ermittlung des Fels-Verlaufes (wird in der Regel erst ausgeführt, wenn die Querprofile im Entwurf vorliegen)
- Bestimmung und Aufnahme günstiger Stellen für Lager- und Kehrplätze und Ausweichstellen, sowie von Abladestellen und nötigenfalls zusätzlichen Lagerplätzen für den Einsatz von Seil-Anlagen
- Aufnahme von Grenzen, Waldrändern, Bauten usw. soweit notwendig.

Projektierung

Merkblätter über den Bau und Unterhalt von Wald- und Güterstrassen

Detailprojektierung: Grundlagen

Dieses Merkblatt enthält Richtlinien für die Gestaltung von Grundriss,
Längenprofil und Querschnitt von Wald- und Güterstrassen

Inhalt:

- 1 Einleitung
 - 1.1 Voraussetzungen und Merkmale der Wald- und Güterstrassen
 - 1.1.1 Anpassung an Topographie, Landschaft und bodenmechanische Verhältnisse
 - 1.1.2 Einspurige Fahrbahn für Lastwagen
 - 1.1.3 Kleine Fahrgeschwindigkeit
 - 1.2 Zweck und Inhalt des Detailprojekts
 - 1.2.1 Zweck
 - 1.2.2 Projektunterlagen
- 2 Grundriss der Strassenachse
 - 2.1 Allgemeines
 - 2.2 Richtlinien für die Projektierung
 - 2.2.1 Minimalradien für Kurven
 - 2.2.2 Minimale Tangentenlängen
 - 2.2.3 Minimalradien von Wendeplatten
 - 2.2.3.1 für Lastwagen und Lastwagenzug
 - 2.2.3.2 für Langholztransportfahrzeug
 - 2.2.4 Zwischengeraden
- 3 Längenprofil
 - 3.1 Allgemeines
 - 3.2 Richtlinien für die Projektierung
 - 3.2.1 Längsneigung
 - 3.2.2 Ausrundungen
- 4 Strassenquerschnitt
 - 4.1 Allgemeines
 - 4.2 Richtlinien für die Projektierung
 - 4.2.1 Fahrbahnbreite
 - 4.2.1.1 Auf geraden Strecken
 - 4.2.1.2 Verbreiterungen in Kurven
 - 4.2.2 Ausbildung der Fahrbahnoberfläche
 - 4.2.2.1 Auf geraden Strecken
 - 4.2.2.2 in Kurven (Quergefälle)
- 5 Ausweichstellen und Kehrplätze
 - 5.1 Ausweichstellen
 - 5.2 Kehrplätze
 - 5.2.1 für Lastwagen
 - 5.2.2 für Lastwagenzug

1. Einleitung

- 1.1 Voraussetzungen und Merkmale der Wald- und Güterstrassen
 - 1.1.1 Anpassung an Topographie, Landschaft und bodenmechanische Verhältnisse
 - Anpassung der Linienführung an das Gelände
 - kleine Böschungen (Zugänglichkeit für die Bewirtschaftung)
 - kleine Massenbewegungen
 - wenig Kunstbauten
 - Minimale Beeinträchtigung des Landschaftsbildes
 - Berücksichtigung der bodenmechanischen Verhältnisse
 - für die Erdarbeiten (Abtrag und Auftrag)
 - für den Vertikalaufbau
 - 1.1.2 Einspurige Fahrbahn für Lastwagen

Wald- und Güterstrassen sind für die gleichen Fahrzeuge auszubauen, die auf dem übergeordneten Strassennetz zugelassen sind. In Anbetracht der kleinen Verkehrsfrequenzen werden sie in der Regel nur einspurig gebaut. Für das Kreuzen genügen Ausweichstellen.
 - 1.1.3 Kleine Fahrgeschwindigkeit (20--40 km/h)

Die im allgemeinen kleinen Kurvenradien und der einspurige Ausbau bedingen eine kleine Fahrgeschwindigkeit.
- 1.2 Zweck und Inhalt des Detailprojektes
 - 1.2.1 Zweck

Das Detailprojekt erfüllt im besonderen folgende Aufgaben:

 - Bestimmung der Geometrie der Strassenachse
 - Festlegen der Querschnittsgestaltung
 - Ermittlung der Abtrags- und Transportmassen
 - Erstellen des Kostenvoranschlages
 - Liefern der Daten für Ausschreibung, Offerteinholung und Bauausführung.
 - 1.2.2 Projektunterlagen

Das vollständige Detailprojekt umfasst:

 - Situation
 - Längenprofil (inkl. Berechnung)
 - Normalprofil
 - Querprofile
 - Massenprofil und Massendisposition (inkl. Berechnung)
 - Zusätzliche Detailpläne für besondere Bauwerke
 - Kostenvoranschlag
 - Technischer Bericht

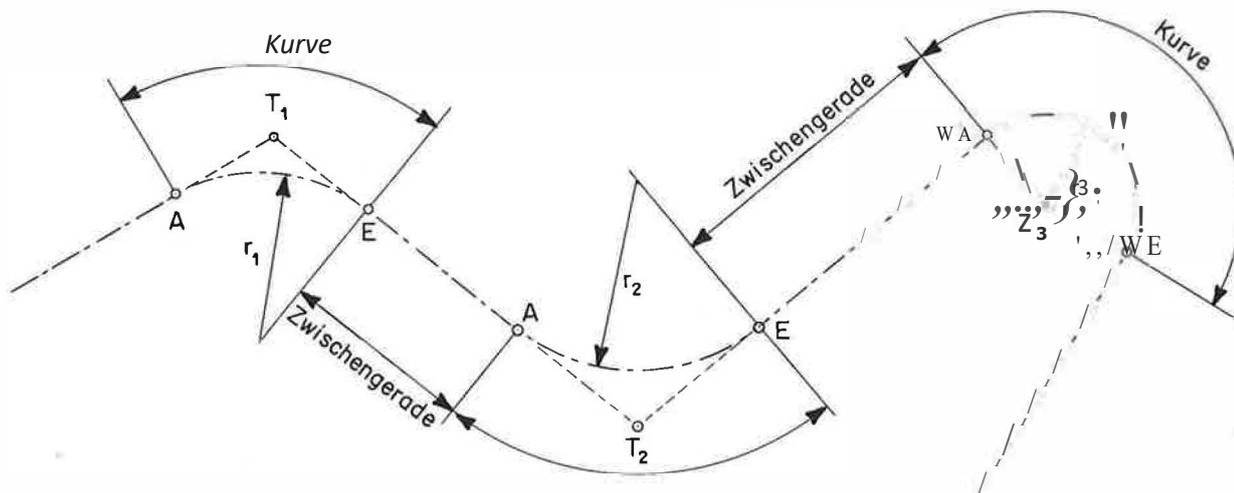
2 Grundriss der Strassenachse

21 Allgemeines

Im Grundriss (Situation; Normalprojektion auf eine horizontale Bezugsebene) besteht die Strassenachse aus Geraden und tangential daran anschliessenden

Kurven. Im Wald- und Güterstrassenbau werden die Kurven als Kreisbogen (ev. Parabeln) abgesteckt. Wegen der kleinen Fahrgeschwindigkeit wird in der Regel auf Uebergangskurven verzichtet. Das Tangentenpolygon (Polygonzug) stellt das Gerippe der Fahrbahnachse im Grundriss dar.

Darstellung 1: Grundriss



Bezeichnungen:

- . - . - Fahrbahnachse
- - - - - Polygonzug
- T = Tangentenpunkt
- Z = Zentrum
- r = Radius

- A(BA) = Bogenanfang
- E(BE) = Bogenende
- WA = Bogenanfang } bei Wendepunkten
- WE = Bogenende

22 Richtlinien für die Projektierung

Bei der Festlegung der Tangentenpunkte und der Wahl der Kurvenradien sind zwei Grundsätze zu beachten:

- Anpassung an das Gelände: die weitgehende Anpassung der Strasse an das Terrain bedeutet in der Praxis, dass die Abweichung der Fahrbahnachse von der Nulllinie nur soviel betragen darf, wie die Gelände- und Bodenverhältnisse zulassen (siehe Merkblatt Nr. 121, Ziffer 2.2).
- Flüssige Linienführung: je grösser die Kurvenradien und je länger die Zwischengeraden gewählt werden können, desto flüssiger wird die Linienführung.

Bei der Wahl der Kurvenradien sind diese Kriterien stets gegeneinander abzuwägen. Allgemein gilt: Je schwieriger das Gelände, desto grösseres Gewicht kommt der Anpassung an das Terrain zu. Die Minimalradien dürfen jedoch nicht unterschritten werden.

22.1 Minimalradien für Kurven

Die für Kurven minimal zulässigen Radien (ausgenommen Wendepunkten) sind von der dem Projekt zugrunde gelegten Fahrgeschwindigkeit abhängig.

Tabelle 1

Fahrgeschwindigkeit (km/h)	20	30	40
Minimalradius (m)	20	30	50

22.2 Minimale Tangentenlängen

Die Tangentenlänge soll mindestens 10 Meter betragen. Bei Kurven mit kleiner Richtungsänderung sind somit relativ grosse Radien erforderlich.

22.3 Minimalradien von Wendepunkten

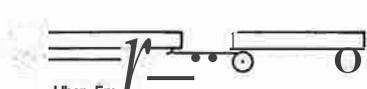
Wendepunkten sind Kurven mit grosser Richtungsänderung und kleinem Radius (Kehren). Die minimal zulässigen Radien sind abhängig von

- der Art und den Abmessungen der verkehrenden Fahrzeuge: zu unterscheiden ist zwischen Lastwagen und Lastwagenzug einerseits und Langholztransportfahrzeugen andererseits;
- den Platzverhältnissen für das Ausschwenken des Ladegutes (beim Langholztransport).

22.3.1 für Lastwagen und Lastwagenzug

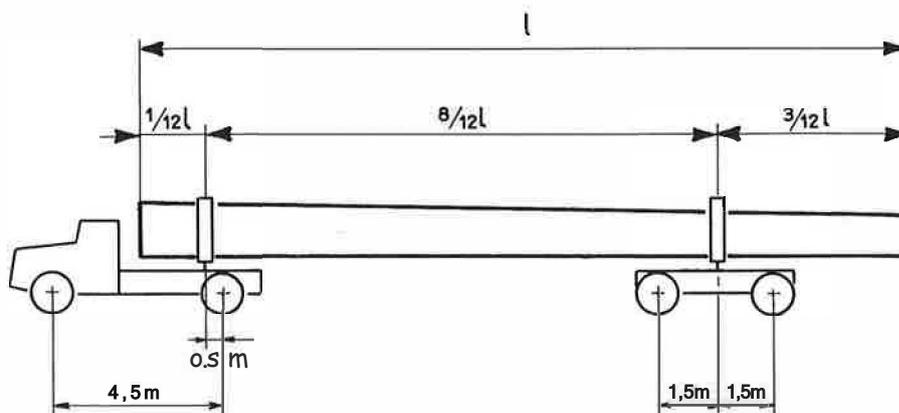
Die Minimalradien in Tabelle 2 gehen aus den gemäss der Verordnung über Bau- und Ausrüstung der Fahrzeuge maximal zulässigen Spureisdurchmessern bei vollem Lenkeinschlag hervor. Es wurde sowohl ein Sicherheitsfaktor (1.1 für Lastwagen bzw. 1.2 für Lastwagenzug) als auch ein zusätzlicher Sicherheitsstreifen (0,5 m) mitberücksichtigt.

Tabelle 2

Fahrzeug	Minimalradius (Fahrbahnmitte) m	Radius des äusseren Fahrbahnrandes m	Radius des inneren Fahrbahnrandes m	Fahrbahn- verbrei- terung nach Darstellung 12
grosser Lastwagen 	8	10,5	5,5	⊙
sehr grosser Lastwagen Lastwagen mit mehr als zwei Achsen 		11,4	6,6	⊙
grosser Lastwagenzug 	8	11,2	4,8	Ⓜ
sehr grosser Lastwagenzug 	10	12,9	7,1	@

2.2.3.2 IQR Langholztransportfahrzeug

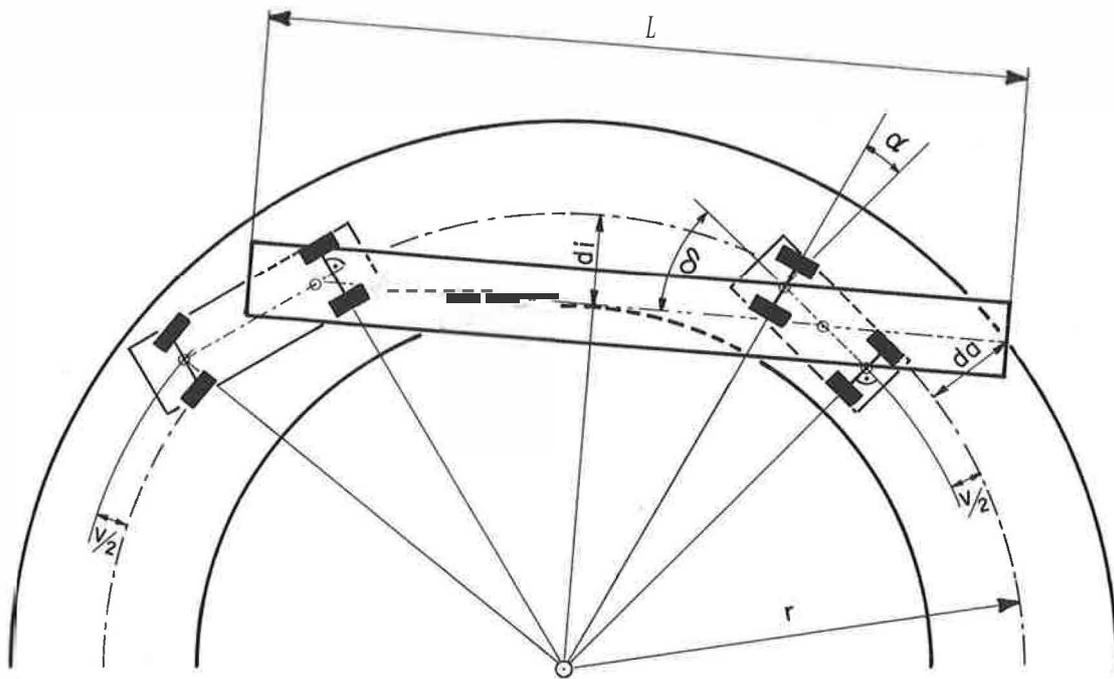
Darstellung 2: Langholztransportfahrzeug



Annahmen:

- Fahrzeug und Ladung entsprechend Darstellung 2 üblicher Selbstlenker-Anhänger mit zusätzlicher Hand- oder Elektrosteuerung
- Fahrbahnverbreiterung nach Darstellung 12, Kurve Ⓜ
- Das Befahren von Wendepunkten gemäss Darstellung 3: zwischen äusserem Vorderrad bzw. hinterstem Innenrad und dem Fahrbahnrand wird der gleiche Sicherheitsabstand wie in der Geraden eingehalten.

Darstellung 3: Das Befahren von Wendeplatten



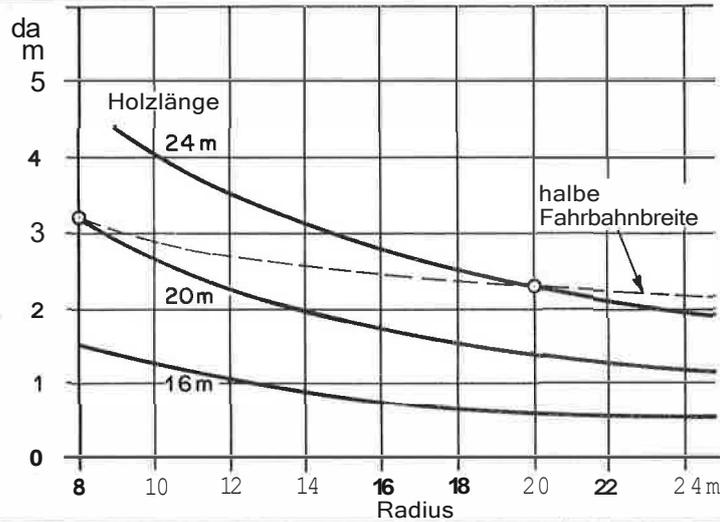
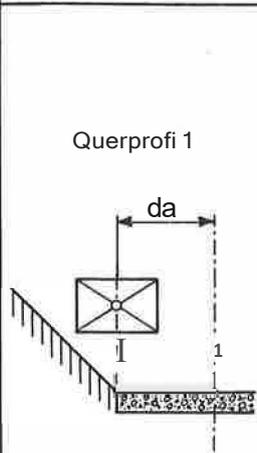
Bezeichnungen:

- v = Fahrbahnverbreiterung
(Ziffer 4.2.1.2)
- d_a = Ausschwenken des Ladegutes
gegen aussen
- d_l = Ausschwenken des Ladegutes
gegen Innen
- α = Lenkeinschlagwinkel
beim Anhänger
- φ = Winkel zwischen dem Ladegut und
der Längsachse des Anhänger-
chassis

Kurven zur Ermittlung der Minimalradien von Wendepunkten bei Langholztransport

Normalbreite 3,2 m, Verbreiterung gemäss Darstellung 12, 'Kurve@

Kriterium: Ausschwenken des Ladegutes gegen aussen (da)



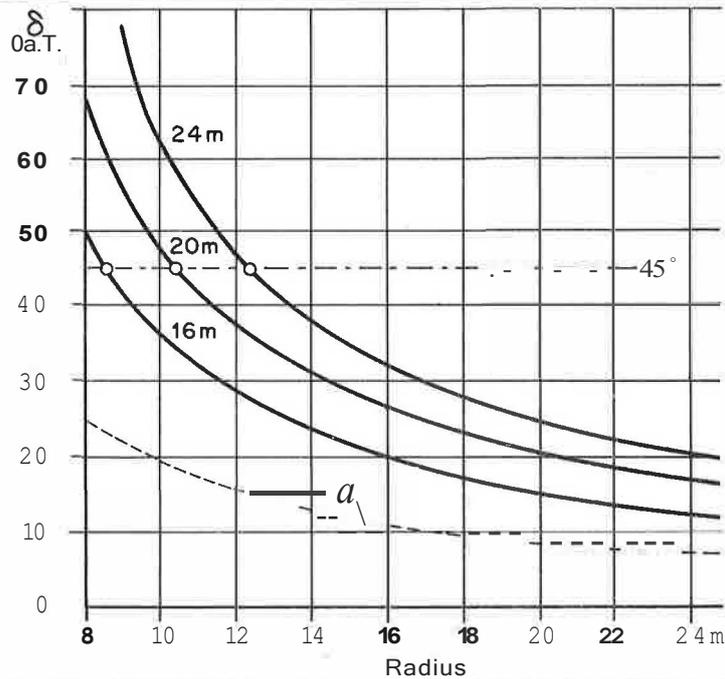
Ausschwenken des Ladegutes gegen aussen maximal soviel, dass sich die Längsachse des Ladegutes über dem Fahrbahnrand befindet, ergibt für

Holzlänge	16	20	24 m
Minimalradius	8	8	20 m

Zusätzliche Verbreiterung gegen innen oder aussen vermindert das Ausschwenken des Ladegutes und verbessert die Platzverhältnisse.

Kriterium: Winkel δ

Winkel δ zwischen dem Ladegut und der Längsachse des Anhängerchassis (siehe Darstellung 3)

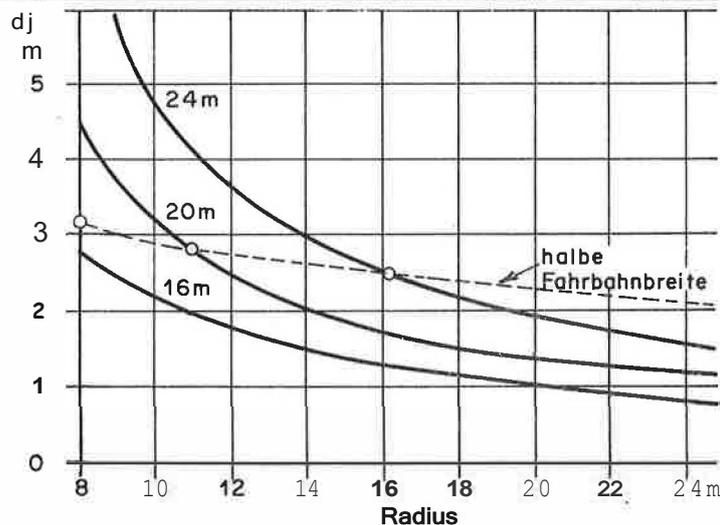
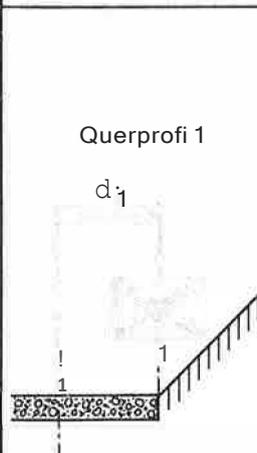


Eine fahrzeugbedingte Beschränkung des Winkels δ auf maximal 45° , ergibt für

Holzlänge	16	20	24 m
Minimalradius	9	11	13 m

Zusätzliche Verbreiterung gegen innen oder aussen macht einen grösseren Lenkeinschlagwinkel α beim Anhänger erforderlich, vermindert aber den Winkel δ

Kriterium: Ausschwenken des Ladegutes gegen innen (d_i)



Ausschwenken des Ladegutes gegen innen maximal soviel, dass sich die Längsachse noch innerhalb der Fahrbahn befindet, ergibt für

Holzlänge	16	20	24 m
Minimalradius	8	11	16 m

2.2.4 Zwischengeraden

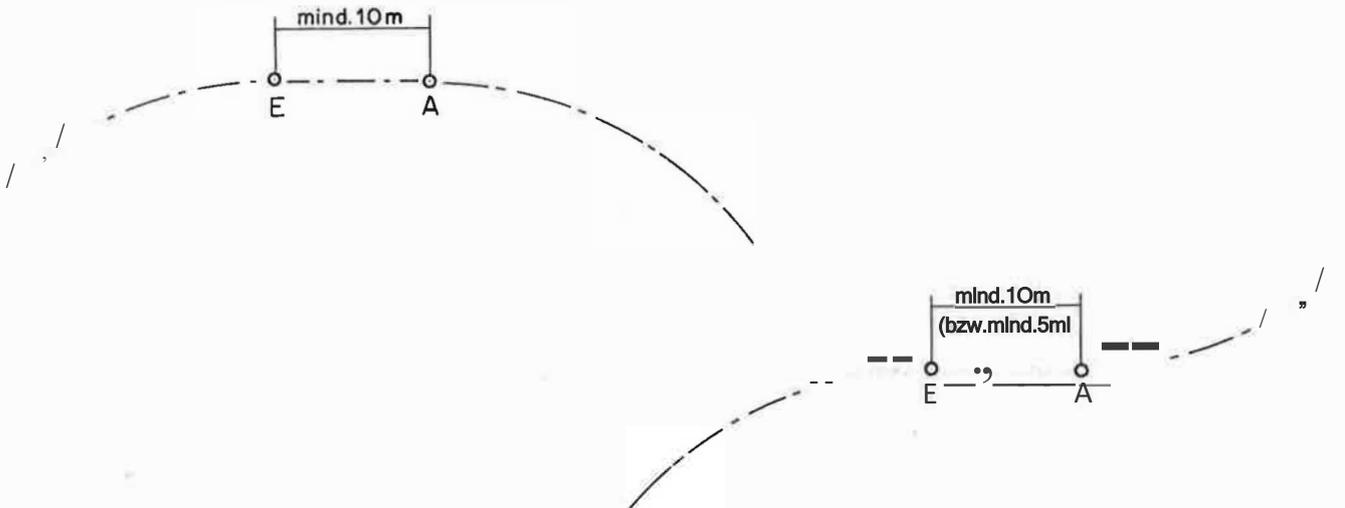
Im Interesse einer flüssigen Linienführung ist zwischen zwei aufeinanderfolgenden Kurven eine möglichst lange Zwischengerade einzulegen.

Zwischen zwei entgegengesetzt gerichteten Kurven ist aus fahrtechnischen Gründen eine Zwischengerade von mindestens 10 m (im schwierigen, coupierten Gelände 5 m) Länge anzustre-

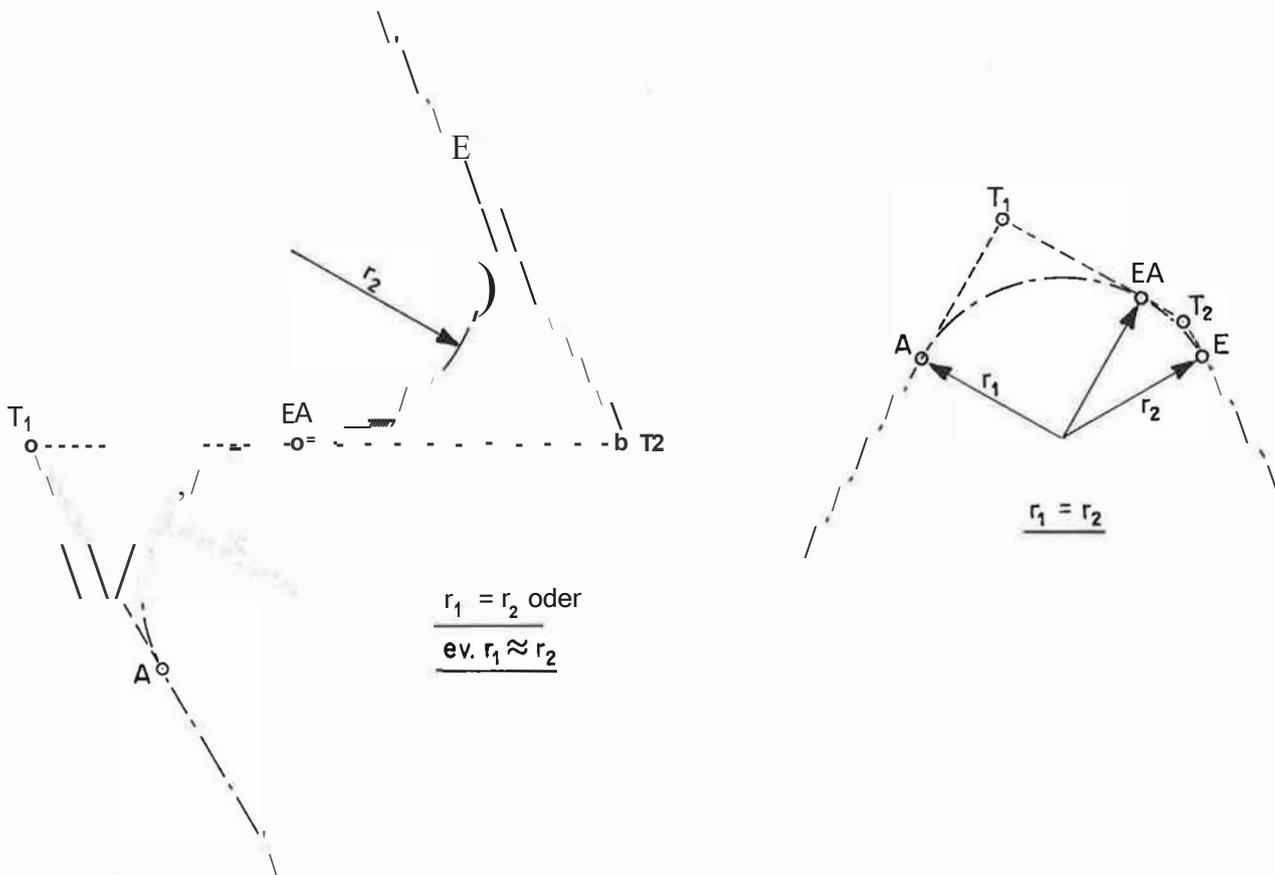
ben. Lässt sich dies bei besonderen Schwierigkeiten nicht erreichen, sind die Kurven zusammenzuhängen (Darstellung 6a).

Gleich gerichtete Kurven sind zusammenzuschließen, sofern nicht eine Zwischengerade von mindestens 10 m Länge eingeschaltet werden kann. Wenn möglich sind beide Kurven mit dem gleichen Radius abzustecken (Darstellung 6 b).

Darstellung 5: Kurven mit Zwischengeraden



Darstellung 6 a und 6 b: zusammengehängte Kurven



3 Längenprofil

3.1 Allgemeines

Im Längenprofil (abgerollter Vertikalschnitt) sind dargestellt:

- die Terrainlinie
- die Projektlinie (Gradiente, Nivellette)

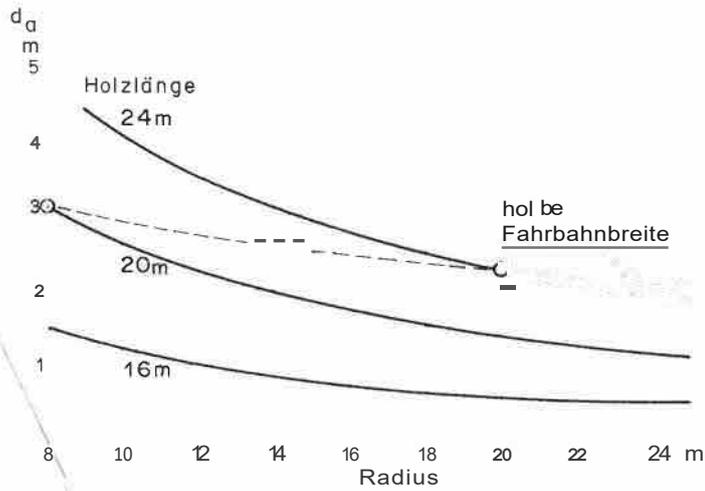
Die Terrainlinie erfasst den Geländeverlauf in der Strassenachse.

Die Gradiente besteht aus Geraden (Strecken mit konstanter Neigung) und tangential daran anschließenden Ausrundungen.

Kurven zur Ermittlung der Minimalradien von Wendepunkten bei Langholztransport

Normal breite 3,2m, Verbreiterung gemäss Darstellung 12, Kurve@

Kriterium: Ausschwenken des Ladegutes gegen aussen (da)

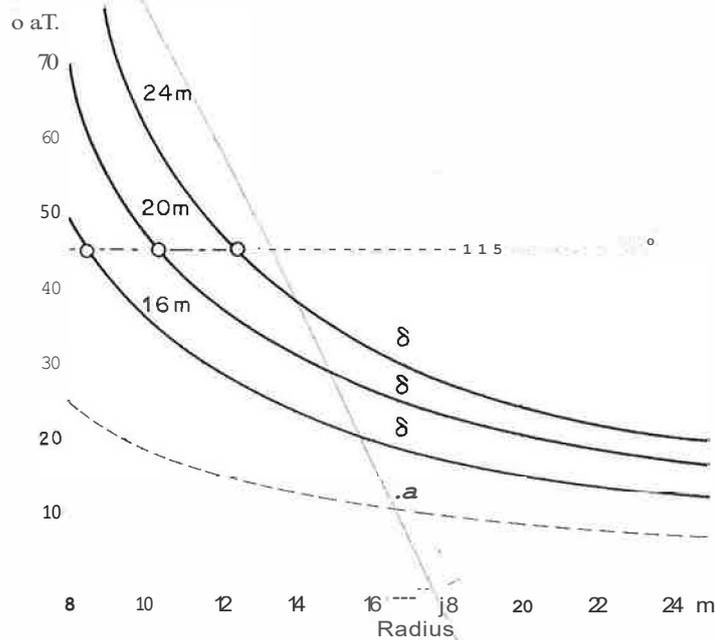
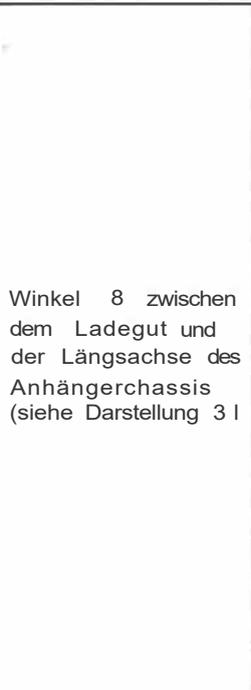


Ausschwenken des Ladegutes gegen aussen maximal soviel, dass sich die Längsachse des Ladegutes über dem Fahrbandrand befindet, ergibt für

Holzlänge	16	20	24m
Minimalradius	8	8	20m

Zusätzliche Verbreiterung gegen innen oder aussen vermindert das Ausschwenken des Ladegutes und verbessert die Platzverhältnisse

Kriterium: Winkel δ

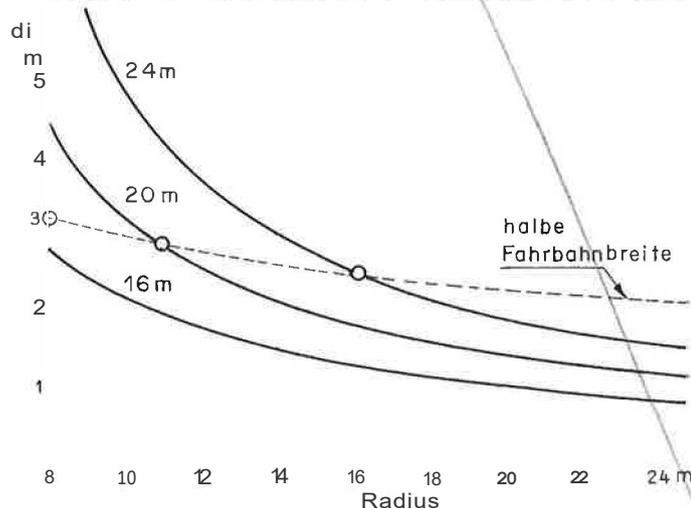
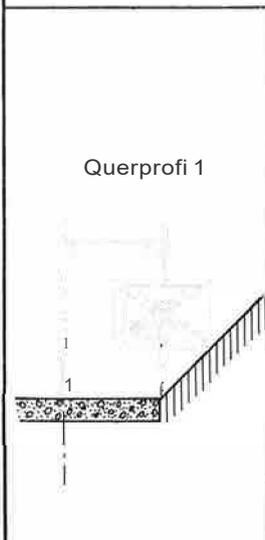


Eine fahrzeugbedingte Beschränkung des Winkels δ auf maximal 45° , ergibt für

Holzlänge	16	20	24m
Minimalradius	9	11	13m

Zusätzliche Verbreiterung gegen innen oder aussen macht einen grösseren Lenkeinschlagwinkel δ beim Anhänger erforderlich, vermindert aber den Winkel δ

Kriterium: Ausschwenken des Ladegutes gegen innen (di)



Ausschwenken des Ladegutes gegen innen maximal soviel, dass sich die Längsachse noch innerhalb der Fahrbahn befindet, ergibt für

Holzlänge	16	20	24m
Minimalradius	8	11	16m

2.2.4 Zwischengeraden

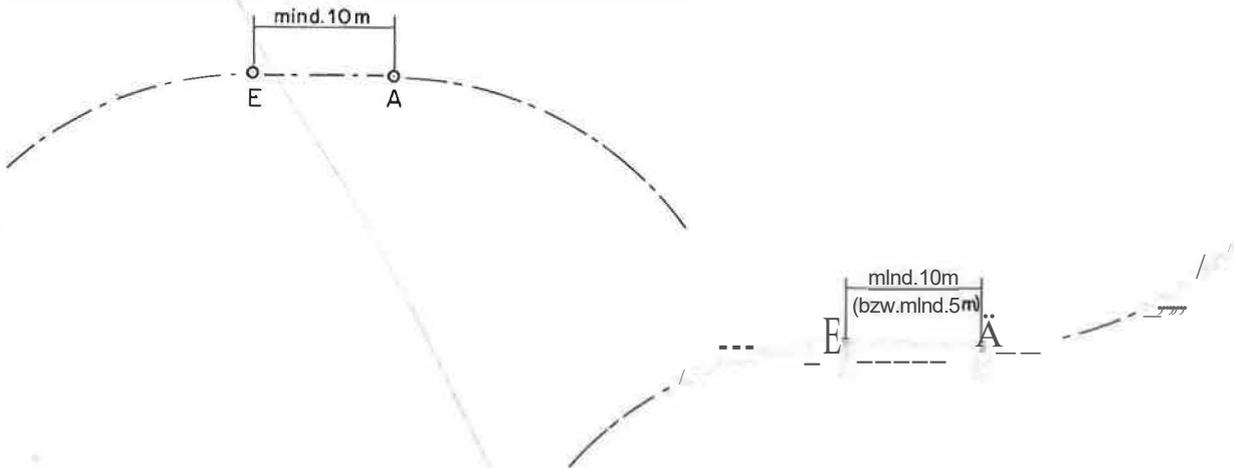
Im Interesse einer flüssigen Linienführung ist zwischen zwei aufeinanderfolgenden Kurven eine möglichst lange Zwischen Gerade einzulegen.

Zwischen zwei **entgegengesetzt gerichteten Kurven** ist aus fahrtechnischen Gründen eine Zwischen Gerade von mindestens 10 m (im schwierigen, couplerten Gelände 5 m) Länge anzustre-

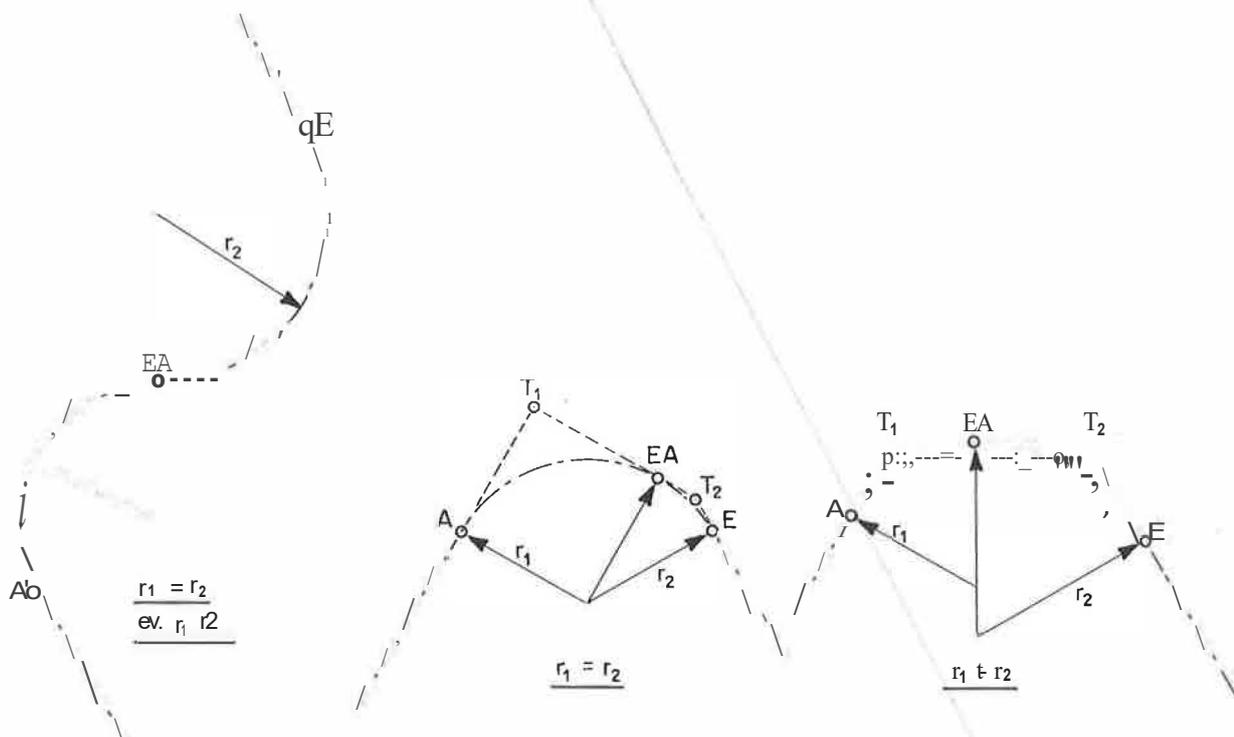
ben. Lässt sich dies bei besonderen Schwierigkeiten nicht erreichen, sind die Kurven zusammenzuhängen (Darstellung 6a).

Gleich gerichtete Kurven sind zusammenzuschließen, sofern nicht eine Zwischen Gerade von mindestens 10 m Länge eingeschaltet werden kann. Wenn möglich sind beide Kurven mit dem gleichen Radius abzustecken (Darstellungen 6b und 6c).

Darstellung 5: Kurve mit Zwischengeraden



Darstellung 6a, 6b und 6c: zusammengehängte Kurven



3. Längenprofil

3.1 Allgemeines

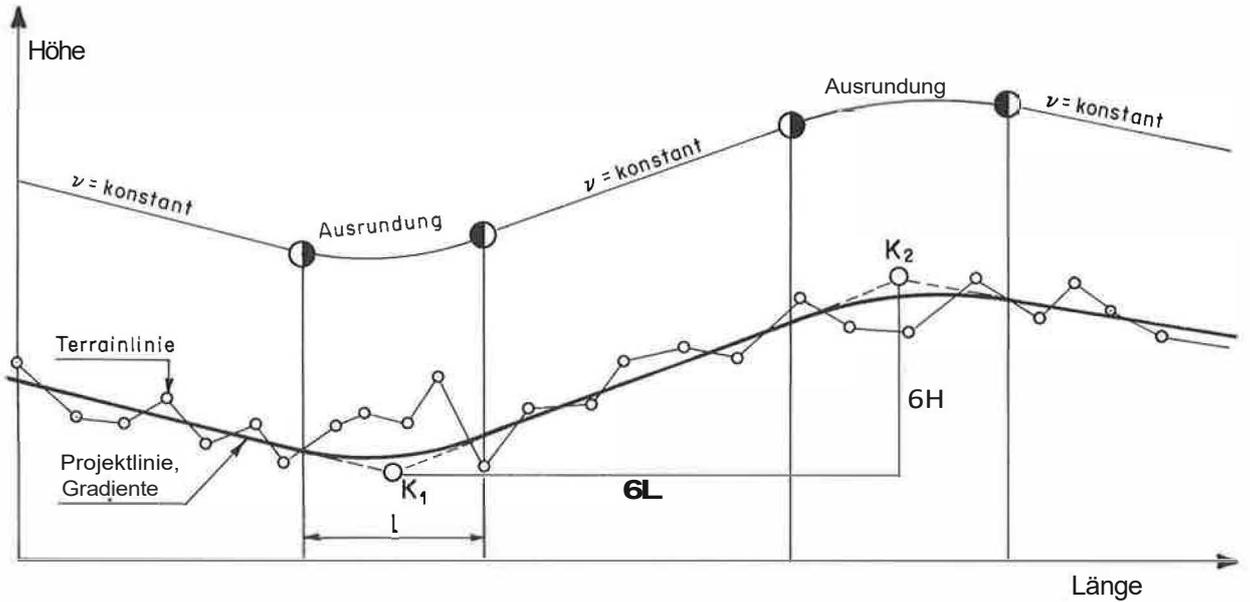
Im Längenprofil (abgerollter Vertikalschnitt) sind dargestellt:

- die Terrainlinie
- die Projektklinie (Gradiente, Nivellette)

Die Terrainlinie erfasst den Geländeverlauf in der Strassenachse.

Die Gradiente besteht aus Geraden (Strecken mit konstanter Neigung) und tangential daran anschließenden Ausrundungen.

Darstellung 7: Längenprofil



Bezeichnungen:

K = Knickpunkt

L = Ausrundungslänge

$v = \text{Neigung, } v (0\%) \approx \frac{6H}{L} \cdot 100$

3.2 Richtlinien für die Projektierung

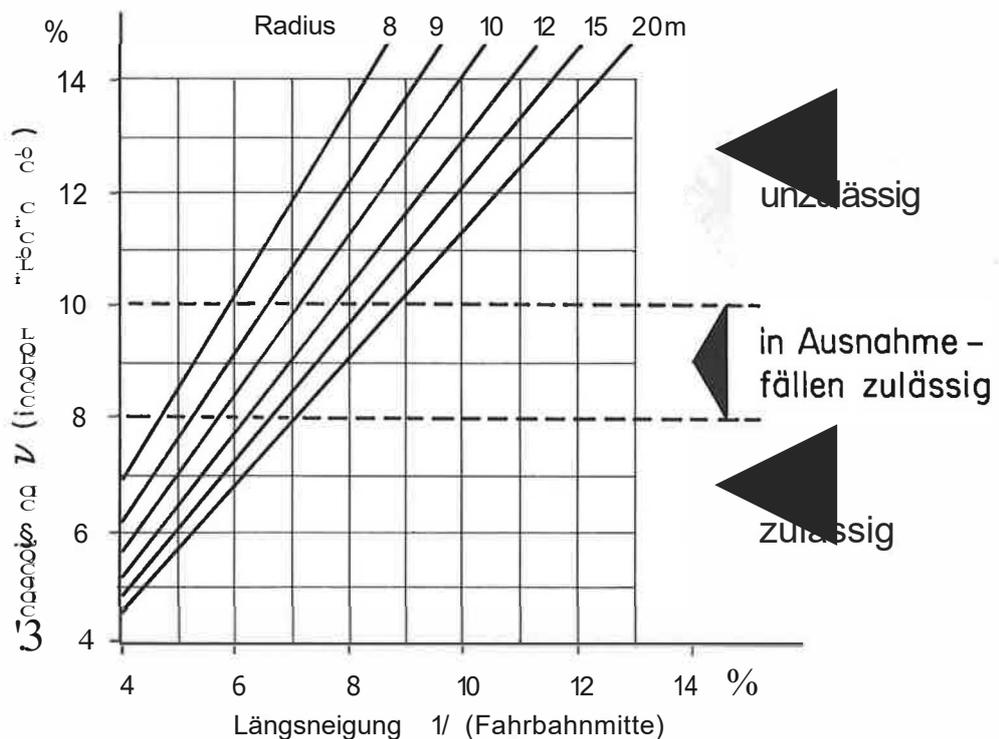
3.2.1 Längsneigung

Der Längsneigung v sind Grenzen gesetzt durch:

- die Beeinträchtigung der Verkehrssicherheit bei Berg- und Talfahrt
 - untragbare Erosions- und Schwemmschäden
- Die Längsneigung soll höchstens 10% betragen.

Grössere Neigungen sind nur bei besonderen Schwierigkeiten zulässig. Auf zu flach angelegten Naturstrassen entstehen vermehrt Schäden (Schlaglöcher). Steigungen bzw. Gefälle unter 3% sind daher nach Möglichkeit zu vermeiden. In Wendelplatten darf die Längsneigung am Innem Fahrbahnrand höchstens 8% (in Ausnahmefällen 10%) betragen.

Darstellung 8: Längsneigung in Wendelplatten bei Fahrbahnbreite 3,2 m t v gemäss Darstellung 12 Kurve@



3.22 Ausrundungen

Als Ausrundungsform wird im forstlichen Straßenbau die Vertikalparabel verwendet, da sie einfach zu berechnen ist (Neigungsänderung proportional zur Horizontaldistanz) und die durchgehende Kontrolle der Längenprofilberechnung erlaubt. Ausrundungen sind wo möglich in Kurven anzulegen.

Bei der Parabelausrundung wird der Quotient $\delta = \frac{i_E - i_A}{l}$ als «Krümmung» oder «spezifische Neigungsänderung» bezeichnet.

Der Reziprokwert $l_0 = \frac{1}{\delta}$ ergibt die Ausrundungslänge (m) pro 100 Neigungsänderung. In der Regel werden Krümmungen (δ) zwischen 0,1 und 0,2, d. h. Ausrundungslängen von 5-10 m pro 1% Neigungsänderung gewählt.

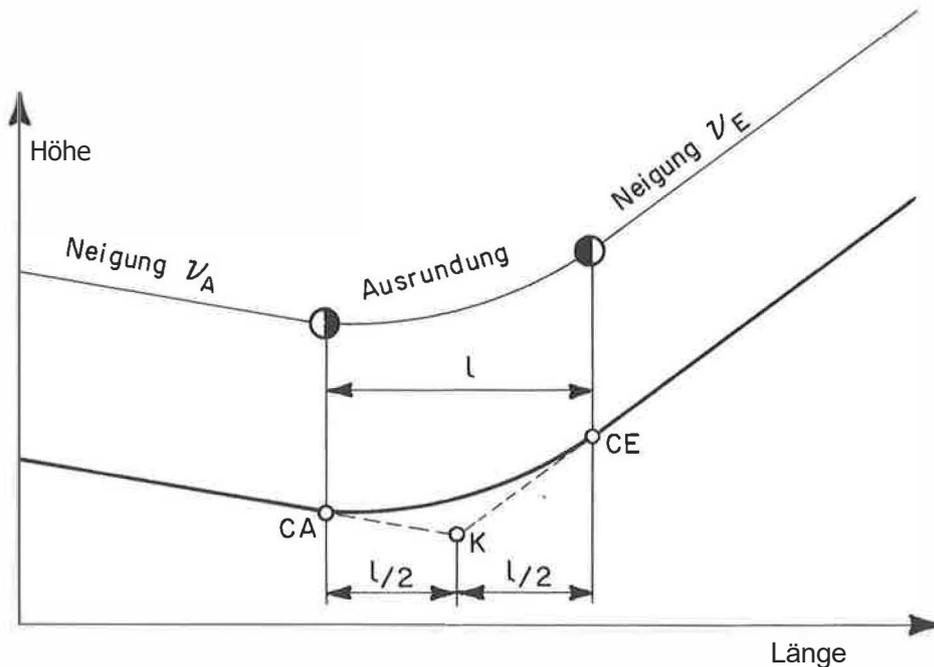
Die minimal zulässige Ausrundungslänge pro 1% Neigungsänderung bzw. die maximal zulässige Krümmung ist von der dem Projekt zugrundegelegten Fahrgeschwindigkeit abhängig.

Tabelle 3

Fahrgeschwindigkeit (km/h)	30	35	40
max. Krümmung δ (0/0/m)	0,333	0,2	0,14
min. Ausrundungslänge l_0 pro 1% Neigungsänderung (m/0/0)	3	5	7

Stärkere Krümmungen sind in Ausnahmefällen zulässig (z. B. bei Furten, für Weganschlüsse u. a. m.).

Darstellung 9: Ausrundung



Bezeichnungen:

- CA = Anfang der Parabelausrundung
- CE = Ende der Parabelausrundung
- K = Knickpunkt
- l = Ausrundungslänge = Horizontaldistanz zwischen CA und CE

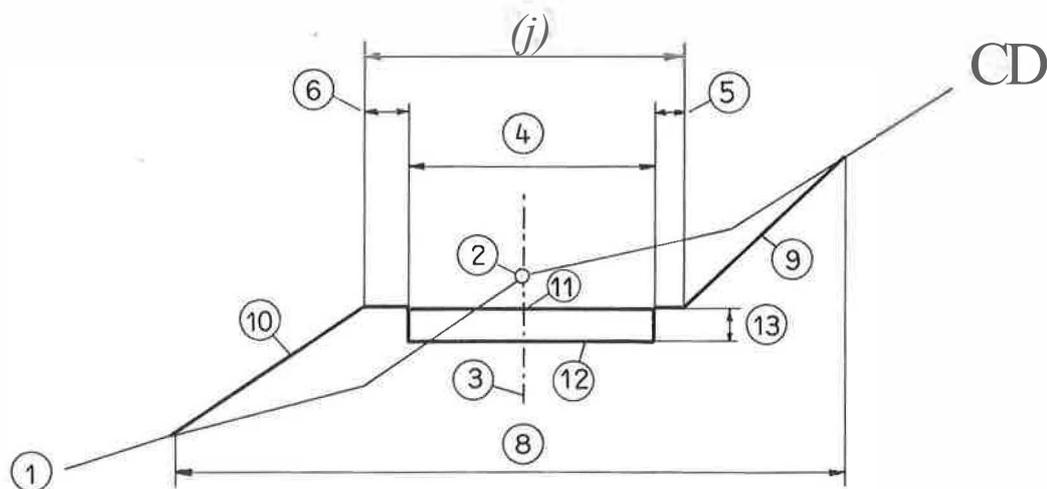
4 Strassenquerschnitt

4.1 Allgemeines

Die Querprofile stellen für jeden Profilpunkt den Vertikalschnitt von Terrain und Projekt senkrecht zur Achsrichtung dar. Das Normalprofil enthält die für die Querprofile des Projektes geltenden baulichen Einzelheiten (Normalien), nämlich:

- Definition der Projekthöhe (Merkblatt Nr. 131, Ziffer 1)
- Vertikalaufbau
- Fahrbahnbreite, Bankettbreiten
- Böschungsneigungen (Merkblatt Nr. 230)
- Gestaltung der Fahrbahnoberfläche
- Normalien für Kunstbauten, Durchlässe usw.

Darstellung 10: Querschnittsgestaltung



Bezeichnungen:

- 1 Terrainlinie
- 2 Profilpunkt, Terrainhöhe
- 3 Strassenachse
- 4 Fahrbahnbreite
- 5 Breite Abtragsbankett
- 6 Breite Auftragsbankett

- 7 Kronenbreite
- 8 Bauflächenbreite, Gesamtbreite
- 9 Abtragsböschung
- 10 Auftragsböschung
- 11 Fahrbahnoberfläche (Fertighöhe)
- 12 Planum (Rohplanie)
- 13 Oberbaudicke

4.2 Richtlinien für die Projektierung

4.2.1 Fahrbahnbreite

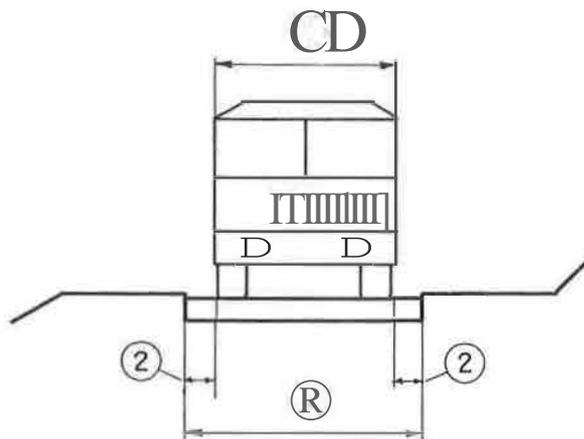
4.2.1.1 Auf geraden Strecken

Der befestigte Teil einer Strasse wird als Fahrbahn bezeichnet. Bei einspurigen Waldstrassen ist im Minimum eine Fahrbahnbreite, welche der 1,3-fachen Fahrzeugbreite entspricht, erforderlich. Massgebend sind die auf dem übergeordneten Strassennetz zugelassenen schweren Lastwagentypen mit einer Breite von 2,3 m bzw. 2,5 m und die dem Projekt zu Grunde gelegte Fahrgeschwindigkeit.

Tabelle 4

Fahrbahnbreiten bei einer Fahrgeschwindigkeit von:		120 km/h		
		130 km/h	40 km/h	
Fahrzeugbreite 2,3 m		3,0m	3,2m	3,4m
Fahrzeugbreite 2,5 m		3,2m	3,4 m	3,6m

Darstellung 11: Fahrbahnbreite



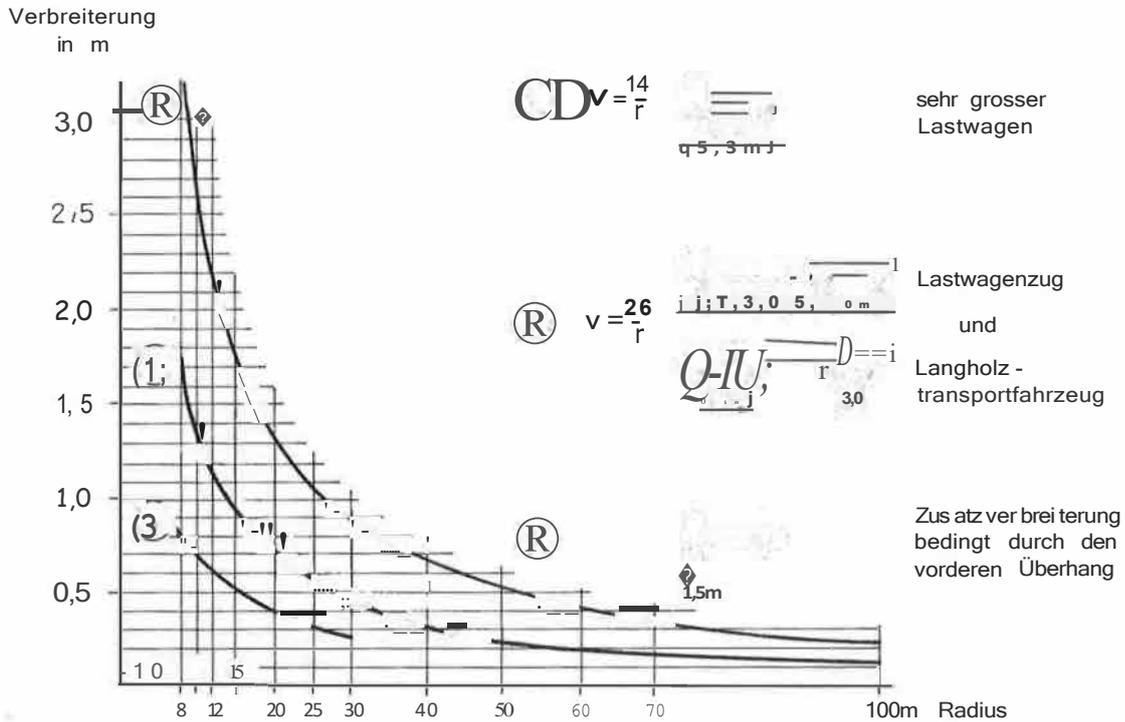
- D Fahrzeugbreite
- R Sicherheitsstreifen
- 2 Fahrbahnbreite

4.2.1.2 Verbreiterungen in Kurven

In Kurven nimmt der Platzbedarf der Fahrzeuge zu. Wird die Fahrbahn gemäss Darstellung 12 (Kurven D und R) verbreitert, so sind beidseits der Radspuren gleich grosse Sicherheitsstreifen wie auf Geraden gewährleistet.

Bei bergseitigen Stützkonstruktionen und Felsböschungen ist infolge des vorderen Ueberhangs der Fahrzeuge eine Zusatzverbreiterung erforderlich (Darstellung 12, Kurve@). Zusätzliche Verbreiterungen für das Ausschwenken von Langholz können der Darstellung 4 entnommen werden.

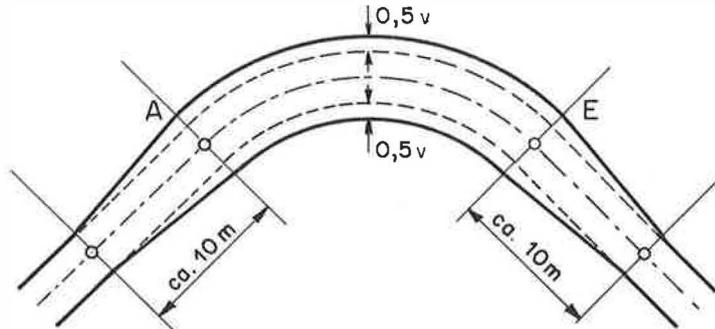
Darstellung 12: Fahrbahnverbreiterung in Kurven in Abhängigkeit vom Radius r



In Kurven (exkl. Wendepplatten) wird die Verbreiterung beidseitig je zur Hälfte angefügt. Der Übergang auf Normal-

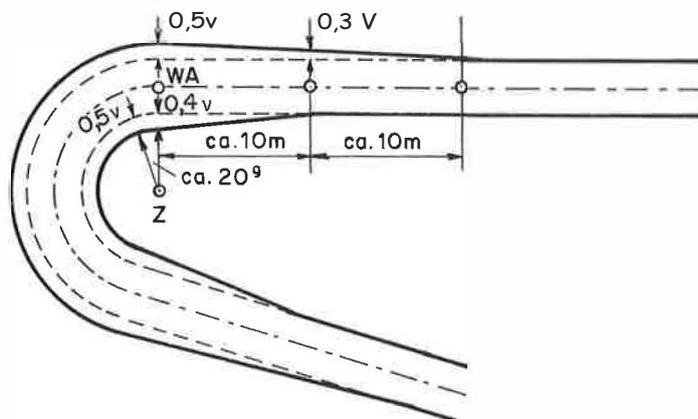
breite erfolgt auf einem Teilstück der anschliessenden Zwischengeraden (Darstellung 13).

Darstellung 13: Anlage der Verbreiterung bei Kurven



In Wendepplatten wird die Fahrbahn gemäss Darstellung 14 verbreitert:

Darstellung 14: Anlage der Verbreiterung bei Wendepplatten



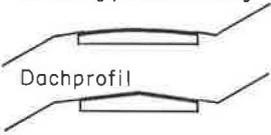
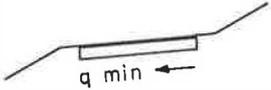
4.2.2 Ausbildung der Fahrbahnoberfläche

Für die Gestaltung der Fahrbahnoberfläche sind folgende Kriterien wesentlich:

- Wasserabfluss (siehe Merkblatt Nr. 540)
- Verkehrssicherheit (vor allem bei im Winter befahrenen Strassen)
- Fliehkräfte.

4.2.2.1 Auf geraden Strecken

Darstellung 15: Gestaltung der Fahrbahnoberfläche

<p>Für Strassen mit ton-wasser-gebundener Verschleiss-schicht</p>	<p>Wölbung, Bombierung</p> 
<p>Für Strassen mit gebundener Deckschicht</p> <p>Einseitiges Quergefälle ist nur im Interesse des Wasserabflusses auf langen Geraden mit geringer Längsneigung zulässig</p>	<p>horizontal</p> <p>--- q min</p> 

Die Vor- und Nachteile der einzelnen Möglichkeiten bezüglich der Wasserableitung sind im Merkblatt Nr. 540 dargestellt.

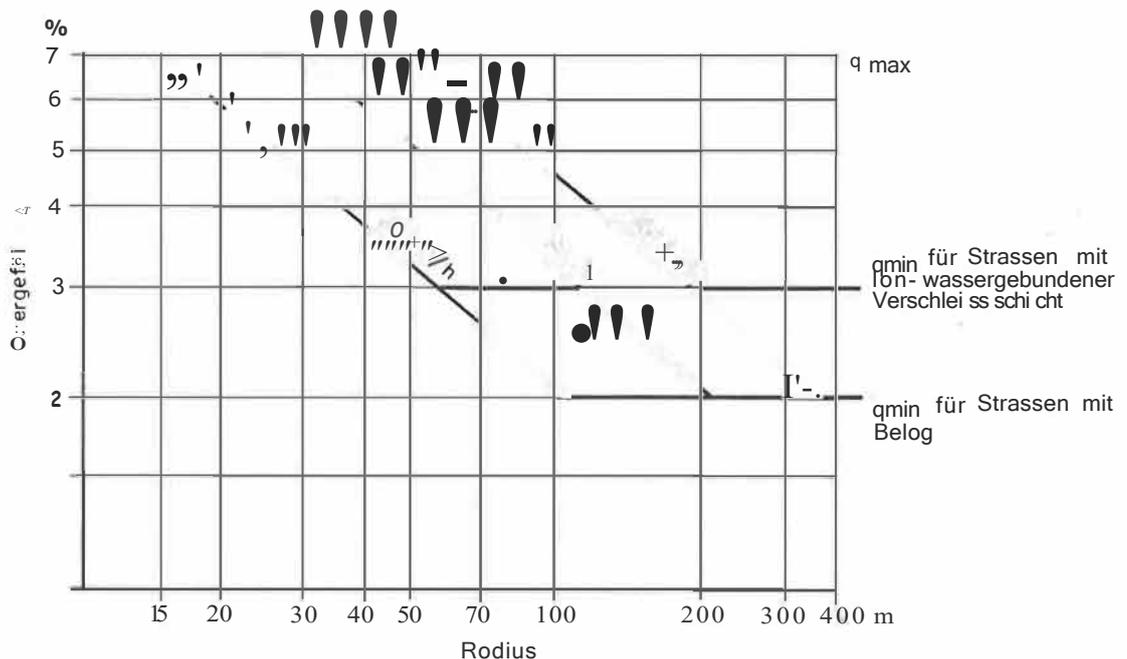
4.2.2.2 In Kurven (Quergefälle)

Während der Fahrt in Kurven entstehen Fliehkräfte, die übernommen werden

- vom Quergefälle gegen die Kurveninnenseite
- von der Seitenreibung zwischen Rädern und Fahrbahn

Das Quergefällediagramm in Darstellung 15 stützt sich auf das Normblatt SNV 640123. Der Anteil der Fliehkräfte, welcher vom Quergefälle übernommen wird, ist variabel. Er beträgt ca. 300/o für den Minimalradius und vergrössert sich mit zunehmendem Radius.

Darstellung 16: Quergefälle in Abhängigkeit von Kurvenradius und Fahrgeschwindigkeit



--- = Quergefälle in Wendeplatten

Das maximal zulässige Quergefälle beträgt 70‰. Damit der Wasserabfluss von der Fahrbahn gewährleistet ist, sollte das minimale Quergefälle bei Strassen mit tonwassergebundener Verschleisschicht 30‰ und bei Strassen mit Belag 20‰ betragen.

Das Quergefälle in Kurven wird erreicht:

- aus dem Dachprofil oder der Wölbung auf der Geraden durch Ueberhöhen des äusseren Fahrbahnrandes
- aus der horizontalen Fahrbahn auf der Geraden durch Absenken des Inneren und Heben des äusseren Fahrbahnrandes

Der Uebergang auf das Kurvenquergefälle erfolgt normalerweise auf der Zwischengeraden.

In Kurven mit grossem Radius kann es für den Wasserabfluss zweckmässig sein, anstatt des Quergefälles gegen die Kurveninnenseite eine Wölbung oder ein Dachprofil vorzusehen. Dies ist jedoch nur zulässig, wenn der Kurvenradius mindestens dem Grenzwert der Tabelle 6 entspricht.

Tabelle 6

Fahrgeschwindigkeit (km/h)	20	30	40
Grenzradius für Wölbung oder Dachprofil (m)	50	100	150

5 Ausweichstellen und Kehrplätze

5.1 Ausweichstellen

Ausweichstellen dienen dem Kreuzen zweier Fahrzeuge auf einspurigen Strassen. Bei Sammel- und Erschliessungsstrassen beträgt der übliche Abstand 150-250 m. Für Verbindungsstrassen sind Ausweichstellen womöglich auf Sichtweite einzuplanen.

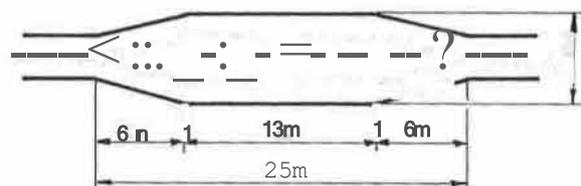
Darstellung 17: Ausweichstellen für Lastwagen

Verbreiterung einseitig



Ist das Kreuzen zweier Lastwagenzige wahrscheinlich, so sind die Ausweichstellen entsprechend zu verlängern.

Verbreiterung beidseitig



so sind die Ausweichstellen entsprechend zu verlängern.

5.2 Kehrplätze

Kehrplätze werden unter Ausnutzung der Geländeverhältnisse festgelegt. Der übliche Abstand von Kehrplätzen beträgt 0,5 bis 1,0 km.

5.2.1 für Lastwagen

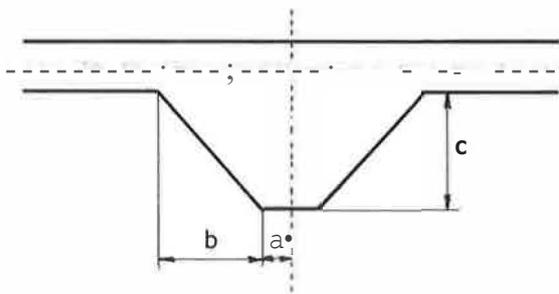
In der Regel genügt für Lastwagen ein Platz, der das Wenden mittels Rückwärtsfahren ermöglicht (Darstellung 18).

5.2.2 für Lastwagenzug

Kehrplätze für Lastwagenzüge sind nur am Ende von Strassen ohne Rundverkehr vorzusehen. Wendemanöver müssen dort ohne Rückwärtsfahren möglich sein. Massgebend für die Kehrplatzgrösse sind die Minimalradien und die Verbreiterungen für Wendeplatten (Darstellung 19).

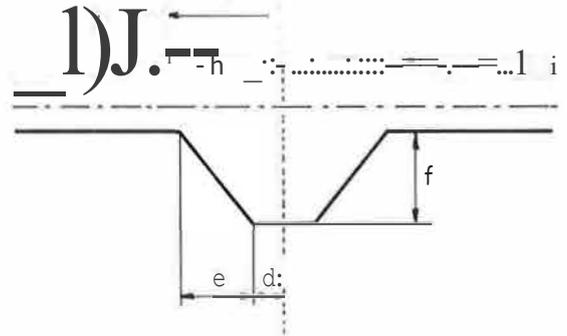
Darstellung 18: Kehrplätze für Lastwagen

einseitige Anordnung



Die Abmessungen eines Kehrplatzes sind vom zugelassenen Lastwagentyp abhängig (Achsstand, hinterer und vorderer Ueberhang, Spur-

beidseitige Anordnung

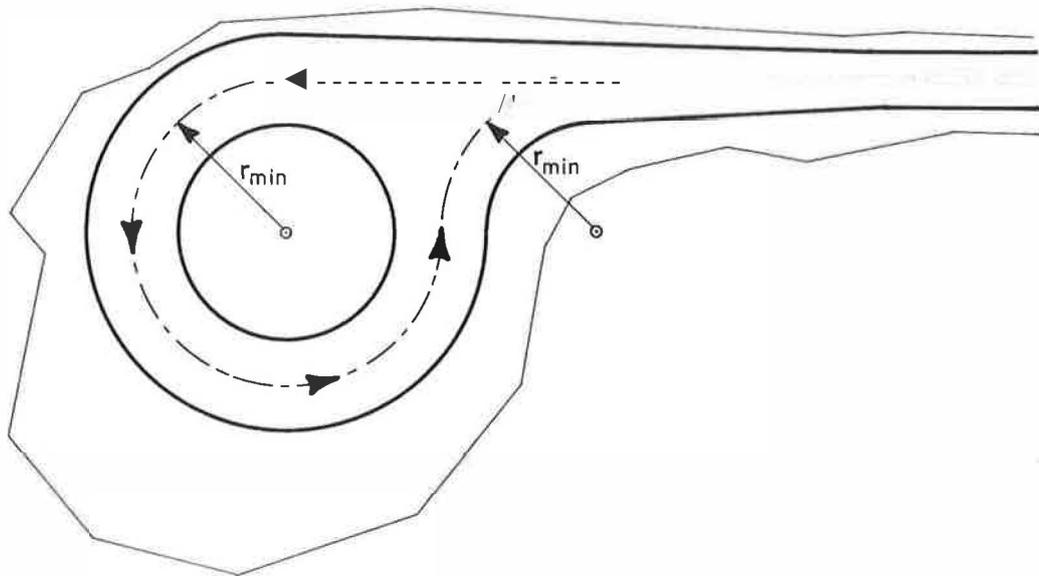


kreisradius). In Tabelle 7 sind die gebräuchlichen Dimensionen (in m) für zwei Lastwagentypen aufgeführt.

Tabelle 7

	a	b	c	d	e	f	g	h	i
Kipplastwagen Achsstand 4,5 m	2,0	7,0	8,0	2,0	5,0	6,5	5,0	8,0	11,5 m
Grosser Lastwagen Achsstand 5 m	2,0	8,0	10,0	2,0	6,0	8,5	5,0	10,0	11,5 m

Darstellung 19: Kehrplatz für Lastwagenzug



r_{min} = Minimalradius für Wendeplatten
(Ziffer 2.2.3.1)

Projektierung

Merkblätter über den Bau und Unterhalt von Wald- und Güterstrassen

Detailprojektierung: Inhalt des ,Detailprojektes

Der Umfang eines Detailprojektes hängt von folgenden Kriterien ab:

- Neubau oder Ausbau
- Schwierigkeit des Projektes (Gelände und Boden)
- Art der Bauausführung (Akkord oder Regie)

Für Neubauten ist in der Regel ein vollständiges Detailprojekt erforderlich. Bei einfachen Verhältnissen und für Ausbauten genügen vereinfachte Detailprojekte.

Für die Einreichung von Projekten zur Subventionierung gelten:

- «Vorschriften für forstliche Projekte und Ihre Unterstützung durch den Bund»
(Eidg. Departement des Innern)
- Eventuelle kantonale Richtlinien der Meliorationsämter

Tabelle: Inhalt des Detailprojektes

INHALT DES DETAILPROJEKTES

Legende: + erforderlich
 (+) je nach Verhältnissen
 - nicht erforderlich

Vollständiges Detailprojekt	Vereinfachtes Detailprojekt		Vollständiges Detailprojekt	Vereinfachtes Detailprojekt	
	Neubau	Ausbau		Neubau	Ausbau
1 Situation			4 Querprofile		
1.1 Tangentenoolygon	+		4.1 Terrainlinie mit Projilouknt und Profil-Nr.		(1)
1.2 Stassenachse mit Profil-Nr. und Angabe von Achsverschiebungen	+		4.2 Planum, Fahrbahnoberfläche und Böschunaen		-
1.3 Fahrbahn mit Ausweichstellen, Kehrplätzen usw.	-		4.3 Kotendifferenzen		-
1.4 Abtrags- und Aultragsböschunaen	-		4.4 Zwischendistanzen		-
1.5 Kurvenradien	+		4.5 Kurvenverbreiterunaen, Querneiaunaen		-
1.6 Tabelle der Kurvelemente	+		4.6 Achsverschiebunaen		-
1.7 Längsneigungen mit Ausrundunaen	-		4.7 Humusschicht und Felsverlauf		-
1.8 Hektometrierung	-		4.8 Entwässerungsanlagen und Kunstbauten		-
1.9 Entwässerungsanlaaen und Kunstbauten	(+)		4.9 Bestehende Werke, z. B. Gebäude, Leitungen usw.		-
1.10 Bestehende Werke, z. 8. Gebäude, Weganlagen, Reistzüge, Seilanlagen, Leitungen usw.	(+)		5 Massenprofil und Massendisposition		
1.11 Eigentumsverhältnisse	+		5.1 Massenberechnuna		-
1.12 Natürliche Gegebenheiten, z.B. Felspartien, Rutschgebiete, Bachläufe, Sümofo, Quellen, Klo... h m l...	(+)		5.2 Nullachse mit Profilpunkten		-
1.13 Bodensondierungen und Entnahmestellen von Boden... oben	(+)		5.3 Massenlinie		-
1.14 Orientierungshilfen wie Nordrichtung, Waldränder, Ortsbezeichnungen usw.	+		5.4 Disoositionslinie		-
2 Längenprofil			5.5 Transportrichtungen, -massen, -distanzen		-
2.1 Längenprofilberechnung	(+)	(1)	5.6 Beschriftung von Deponien, Seitenentnahmen usw.		-
2.2 Terrainlinie mit Profilouknten	+		5.7 Tabelle Massendisposition		-
2.3 Projektlinie (Gradientel)	+		6. Kostenvoranschlag		
2.4 Län.asneiaunaen mit Ausrundunaen	+		Kostenvoranschlag mit Ausmassen, Einheitspreisen und Beträgen aufgeteilt nach Positionen		
2.5 Tabellenband mit - Profil-Nr. - Kotendifferenzen - Zwischenlängen - Hektometrieruna oder laufenden Länaen	+			+	+
2.6 Durchlässe, Sickerleitungen, Kunstbauten usw.	(+)		7. Technischer Bericht		
3 Normalprofil			7.1 Hinweis auf Genehmigung des aenerellen Strassennetzes	+	+
3.1 Definition der Projekthöhe	+	+	7.2 Stand des Ausbaus des generellen Strassennetzes	+	+
3.2 Normalien des Strassenquerschnittes - Fahrbahnbreite, Bankettbreiten - Böschungsneigungen - Vertikalaufbau - Gestaltung der Fahrbahnoberfläche - Kurvenverbreiterungen und Quegefälle in Abhängigkeit vom Radius	+	+	7.3 Toooaraohische Verhältnisse	+	-
3.3 Normalien für Entwässerungsanlagen, Kunstbauten usw.	+	+	7.4 Bodenverhältnisse, Unterbau	+	+
			7.5 Oberbau, Vertikalaufbau. Baustoffbeschaffung	+	+
			7.6 Technische Angaben zu Kunstbauten	+	(+)
			7.7 i=ntwä""runa	-	-
			7.8 Wc.prcr-htc. Lonncnucr h. Finent11msverhältni""	-	(+)
			7.9 Bearünduna der Einheitsreise	+	-
			7.10 Vorgesehene Projektausführung (Akkord oder Regie), Bauleitunn, Termine	+	+
			7.11 Regelung des Unterhaltes	+	+

(1) Für Stras...auschnfüe mit Trasseänderungen oder grösseren Karre „1:1 des Längenprofils sind vollständige, ev. vereinfachte DetaMprojekte auszuarbeiten.

Kanton Bern
Forstkreis 1, Oberhasli
Gemeinde Innertkirchen

Bauherrschaft:
Bäuertgde. Schwendi

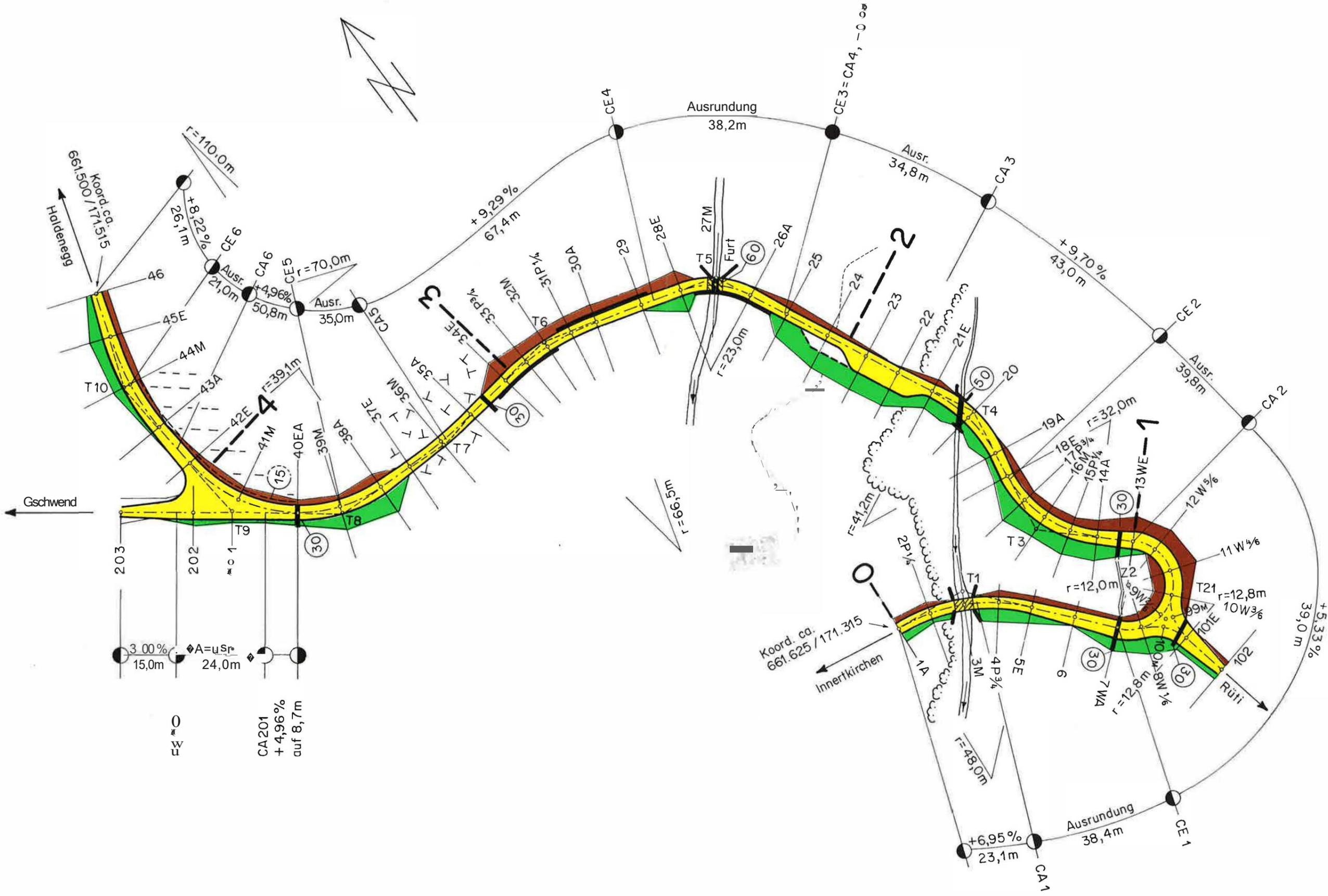
Waldstrassenprojekt
Haldenegg
Sektion 2

SITUATION

1: 1000

Ort und Datum:

Projektverfasser:



Kanton Bern

Forstkreis 1, Oberhasli

Gemeinde Innertkirchen

Bauherrschaft:

Bäuertgde. Schwendi

Waldstrassenprojekt

Haldenegg

Sektion 2

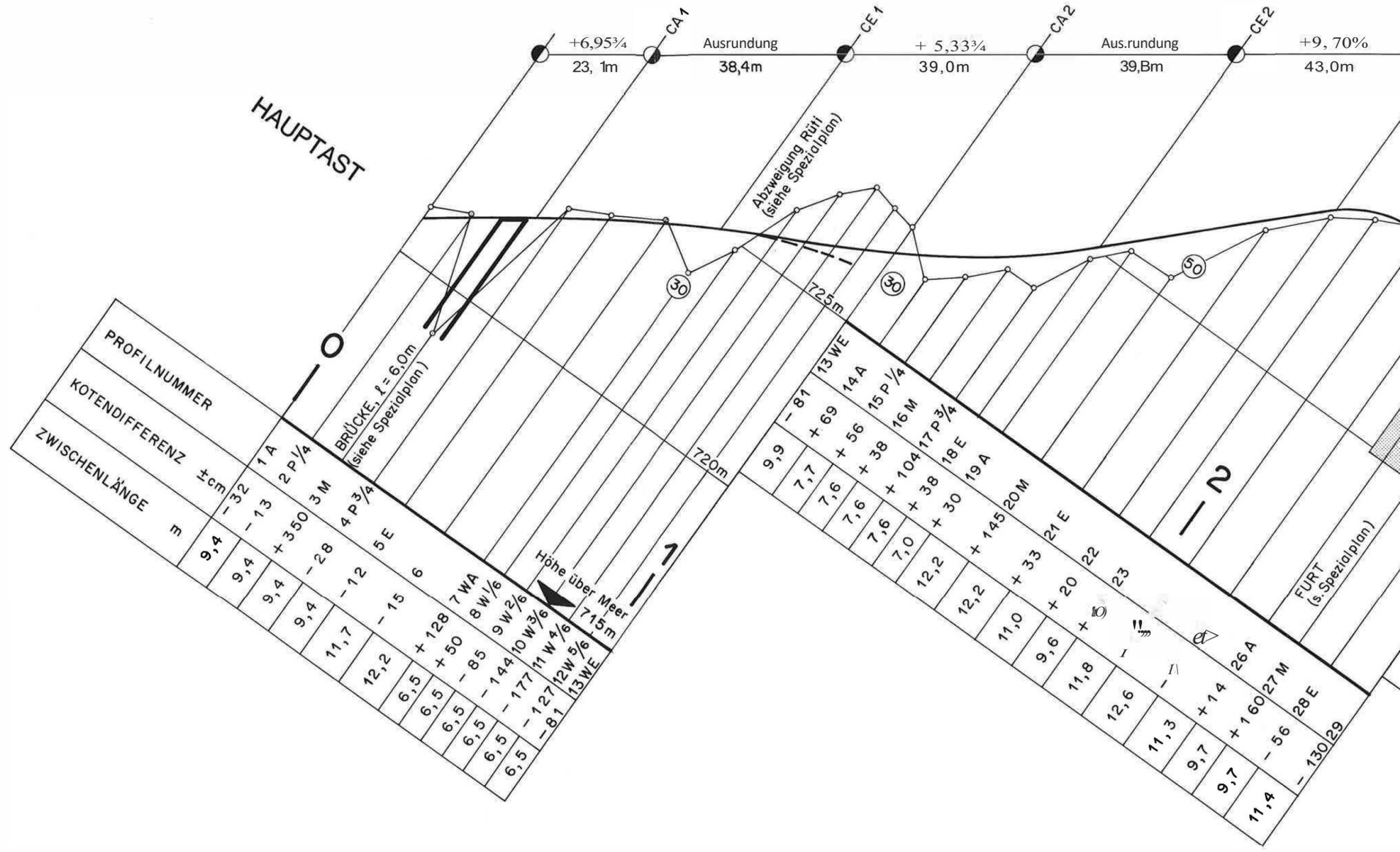
LÄNGEN PROFIL

L 1: 1000

H 1: 100

Ort und Datum:

Projektverfasser:



HAUPTAST

PROFILNUMMER	KOTENDIFFERENZ ±cm	ZWISCHENLÄNGE m
	9,4	32
	9,4	13
	9,4	350
	9,4	28
	11,7	12
	12,2	15
	6,5	+128
	6,5	+50
	6,5	-85
	6,5	-144
	6,5	-177
	6,5	-127
	6,5	-81
	9,9	-81
	7,7	+69
	7,6	+56
	7,6	+38
	7,6	+104
	7,0	+38
	12,2	+30
	12,2	+145
	11,0	+33
	9,6	+20
	11,8	+5
	12,6	-
	11,3	-
	9,7	+14
	9,7	+160
	11,4	-56
		-130
		29

BRÜCKE, $l = 6,0m$
(siehe Spezialplan)

Höhe über Meer
715m

+6,95%
23,1m

Ausrundung
38,4m

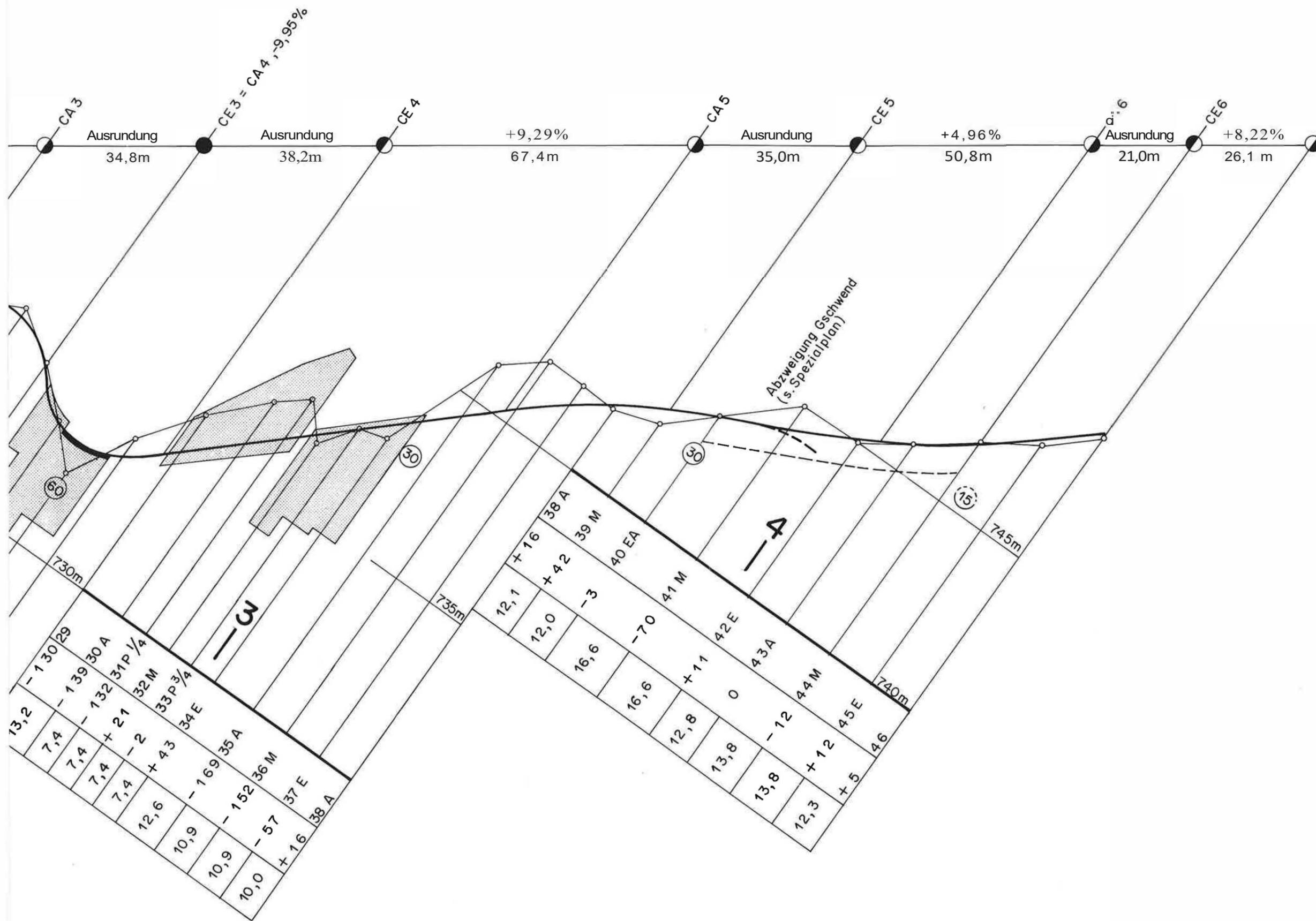
+5,33%
39,0m

Ausrundung
39,0m

+9,70%
43,0m

Abzweigung Rütli
(siehe Spezialplan)

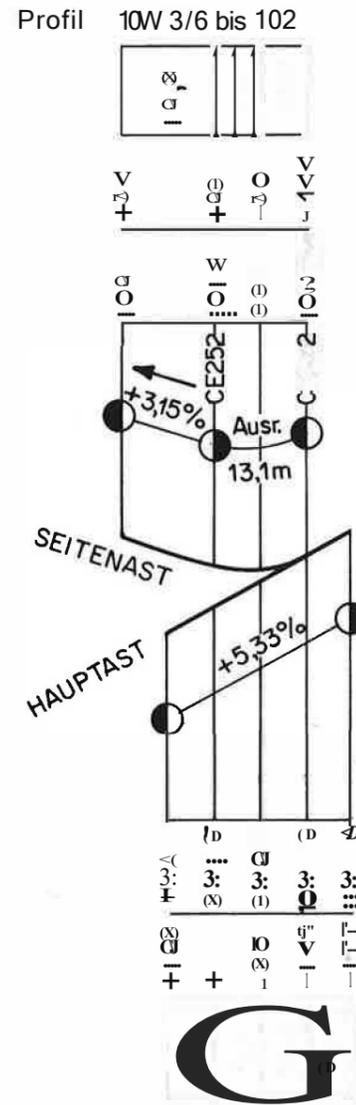
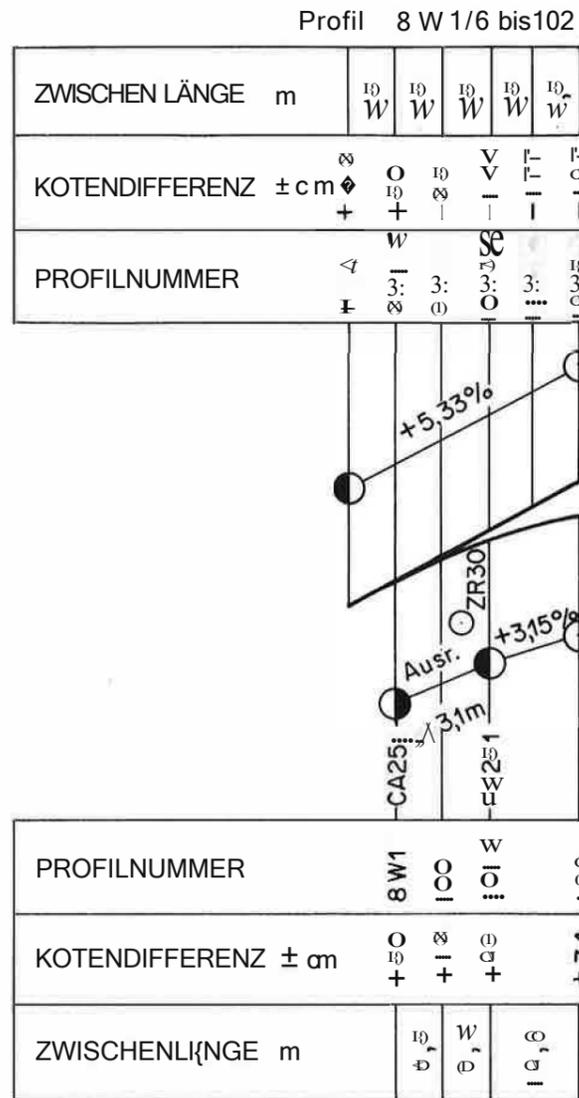
FURT
(s. Spezialplan)



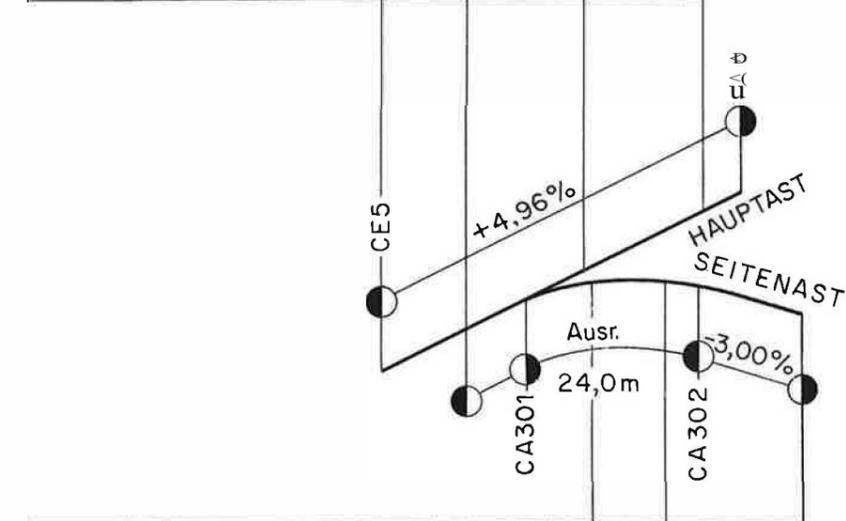
SEITENAESTE

ABZWEIGUNG RÖTI

ABZWEIGUNG GSCHWEND



ZWISCHENLÄNGE m	10,0	10,0	10,0
KOTENDIFFERENZ ± cm	+42	1	+1
PROFILNUMMER	30	5:0 W 4	5:1



PROFILNUMMER	5:0 W 4	601	603
KOTENDIFFERENZ ± cm	- 3	0	+ 2
ZWISCHENLÄNGE m	10,0	10,0	10,0

Signatur	Bedeutung	verwendete Strichdicke / Schriftgröße in mm
	Gradiente	0.5
	Terrainlinie mit Profilpunkten	d) 1.0 / 0.25
	Durchlass, (l) 30 cm	(l) 6.0 / 0.35 / 2.5
	Sickerleitung, (l) 15 cm	0 6.0 / 0.35 / 2.5
	Brücke, Furt usw.	1.0 / 2.5
	Mauer	0.25
	Neigungsband	(l) 4.5 / 0.25 / 2.5
	Projektions- und Horizontallinien	0.25
	Beschriftung des Tabellenbandes	0.25 / 2.5
	Hektometrierung	0.5 / 5.0

Punkt	Länge		Krümmung	Neigung			Höhe			Kotendifferen	
	L	6 L = L _{j+1} -L _i	$8 = \frac{VE-VA}{e}$	av = 8 · 6 L	V _j + 1 = V _j + ΔV	2 v _m = V _j + V _{j+1}	a s = $\frac{Ah \cdot 2V_m}{2 \cdot 100}$	Projekt kote S+1 = S ₁ + 6S	Terroinkote T	Ein- schnitt e=T-S	Damm d=S-T
	m	m	‰m	‰	‰	‰	m	m	m	cm	cm
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ce?/Cl	2, ff f	10			- 9 9J-	- ff 6/ - 0 11		(K=Ts)			...
2, A	1 Z) G	1		+ 5 79	- t; 66	- 'l f - 0 24'		713 3d' 133 21		4'f	
21ff	2 ! 3	9 1		f f dl	r 0 23	f 5 3V f 0 76		133 17 112 11		-110	
ZJE	z l/ o	13		f t, lf	f 5 f	f, ff 10 f 0 10		133 '13 733 '19	56		
CE'I	2 r t 3	3 1			f 9 27	f -U' SP f 0 Z'j		(1j'f 03)			
29	2 J9 y	-13 2			f 't 2J	f = 23		731/ 32 1sS" (2	-130		
30A	21 2 6	1 f				f e 69		73 s SS 73{. 91/	-139		
1, f/P%	2 Ro 0	1				+ 0 69		716 Z/ lil Sb	-f32		
32M	z Rl //	7				t 0 bY		116 '13 711, 12		2-1	
33P%	2 '11	1				f 0 b't		737 '1 7q 63 Z			
34' l	3 02 2	1				f f 11		, f 30 /37 dl7		1B	
3rA	1. f t J	! 9				+ f j SJ' t 0 R2		71'1 ltl /ff -lt	-169		
CA 0	323 I-	2 0			+ 9 Z,	f -t 33 f 0 -1'		(Jtto 129)			
3 Gfl	1 Z s	4 0 1		- 0 ZS	f 'l 01	f -1{ 13 f 0 f(		ltro 'rl l'r-1 1f lr 2		
37E	3 J {	-10 0		f 3r	f 7 6J	+ lt; ff f 0 11		l'1. / 3.f l 'H 9r S}			
3J'A	3 'lt. t	-12 1		- 1 Zf	f 6 7f	r 1-1 '11 r 0 67		l 1 2 {9 17'1 93		46	
3V/CE6	3 -f l	-12 0		- 1 '19	f 1 96	f j 12 f 0 60		7c, 2 JJ' Jvz J,		lt2	
f/ofA	370 l	-t 6			f 1; 16	l. 1 <2 f 0 !2		l 43 3J III' t'l	3		
lf1 H	3J' l 3	46 6				: 9 '2 r 0 f2		l 1/0/ 20 III 'fo Jo			
4'2t-	fto.3 9	- b				f 9 92 f 0 24'		J'fr 12 III' N	/f		
CA 6	'10? S'	7 2			f # '1/	f 2 02 f 0 lfo		(10/f 10)			
'13y	'1-16 l	13 J		f -1 12	f t 0	+ ft; 30 f 0 '1/		1'11 7-0 l'lf Jo	0	0	
1//f-CEt	L/5() s	12,		f 2 -11f	f ,f 22	+ IG 19 f 1 l'f		7 lft 61 Jlf, fD -fz			
1S"	7 7' 3	,fl 3			f J 22	f fl 't; f 10/		14'1 /2 l'1J lo		-12	
46	4, 5't (				f J' 2.2			711' J3 l'11' JJ		S
Summen- proben	'23? >0 ZU o			pro Ausrundung: (11Y) : VE - YA				-II' t, / 13'1 S' 7 'ld' J3	11; S6 71 f0S.13 33 't 22 z t t -1.rrss 91 15SS; fl	c/22 26	
	L _n - L _o = (6 L)							(AS). S ₀ =S _n	(S) + (e) = (T)+(d)	(e | (d)	

Punkt	Länge		Krümmung	Neigung			Höhe			Kotendifferenz	
	L	Li+1-Li	$\delta = \frac{VE-VA}{f}$	$\parallel 11 = 8 \cdot \parallel L$	$1j + 1 = \parallel j + Av$	$2 \parallel m = \parallel j + \parallel j + 1$	$\parallel S = \frac{AL}{100} \cdot \frac{211m}{-2}$	Projektkote Si+1 = Si + δ S	Terrinkote T	Ein- schnitt e=T-S	Dom- m d=S-T
	m	m	‰	‰	‰	‰	m	m	m	cm	cm
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
5 E I U N A											
II, z tt ig MJ R u'1r (?ro/, ' 6 N " 10,s .fo i;											
!41 3/4	1	0			+ 5 33						
tJo M	S	6 6			- 4 op	7 f!	s o 31				
foffa CE 251	-j 1				t 3 IS'	+ 1 110	t 2 2'1				
4oZ	ZS 3				s 3 -1f	s 6 30	f 0 'f0				
	25 g	zs' l									
AC24, ; - u u j ; ? , Jf/ r β -o/t/ - UI1/26 4/5 7											
U 3/4	C2r2	0			- 5 33						
'19#	6 .r				- t 12	- 6 Yf	- o 2l				
101 t= C 212 11	i 6				s 1 27	f 2 oJ	+ o 07				
	-11 -1	f 3 m									
1/lizl qull q Gsc4 1-afu											
L, oEA					f y 9l	+ 9 92	+ o 13				
Cl 30,1	l	JJ			f 7 9l	f 6 11t	f o 11				
201	f 7 l	'lö			- 2 12P	s s 9t					
202	2J	fo l			- 3 SS	- 1 0 11	t o OZ				
C [3o/	32 J	1/ 3			- 1 '13	- 1 J	- o :10				
203	sl I	1S o			- 3 00	- 6 00	- oJ'IS				
	41 l	4'1 J									
tsi• (TJ=											
Summen- proben				pro Ausrundung: (11v) : 1E. 11A							
Ln - Lo = (6 L)						(AS)+ S ₀ S _n			(S) + (e) = (T)+(d)		(e | (d)

Kanton Bern
Forstkreis 1, Oberhasli
Gemeinde Innertkirchen

Bauherrschaft:
Bäuertgde. Schwendi

Waldstrassenprojekt
Haldenegg
Sektion 2

NORMALPROF ILE

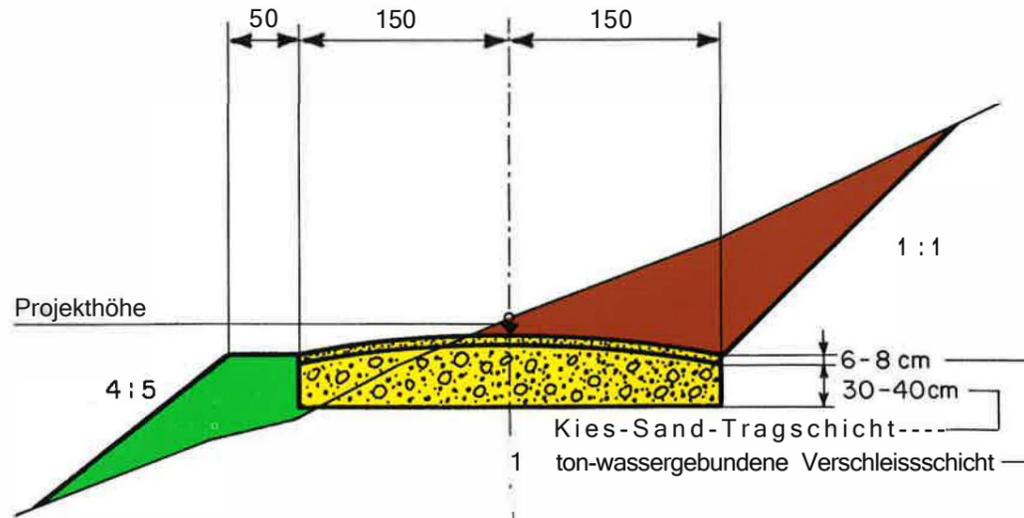
1:50

Ort und Datum:

Projektverfasser:

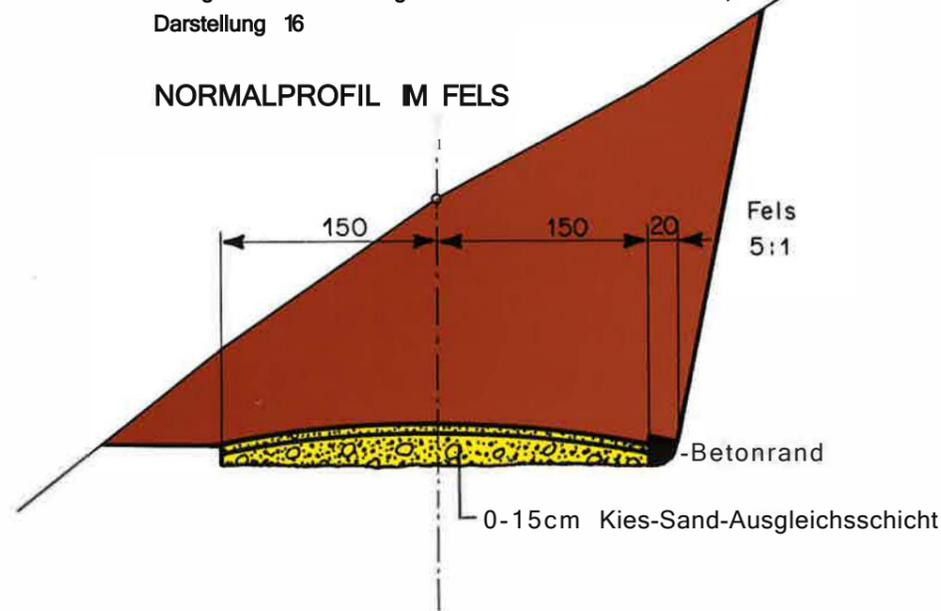
NORMALPROFIL IM LOCKERGESTEIN

Alle Masse in cm

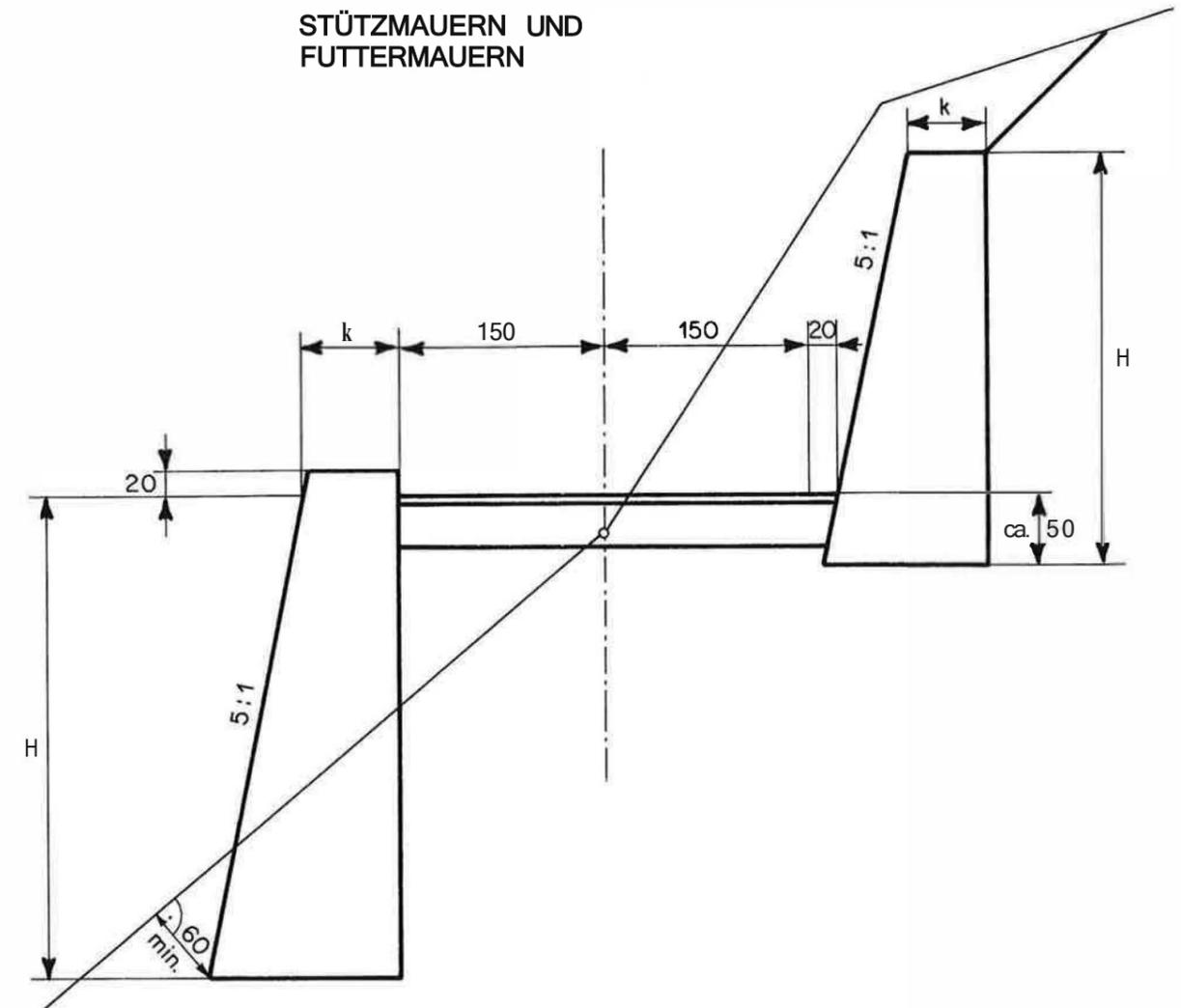


Fahrbahnverbreiterung in Kurven gemäss SAFS-Merkblatt Nr. 111, Darstellung 12, Kurve @
 Quergefälle in Kurven gemäss SAFS-Merkblatt Nr. 111, Darstellung 16

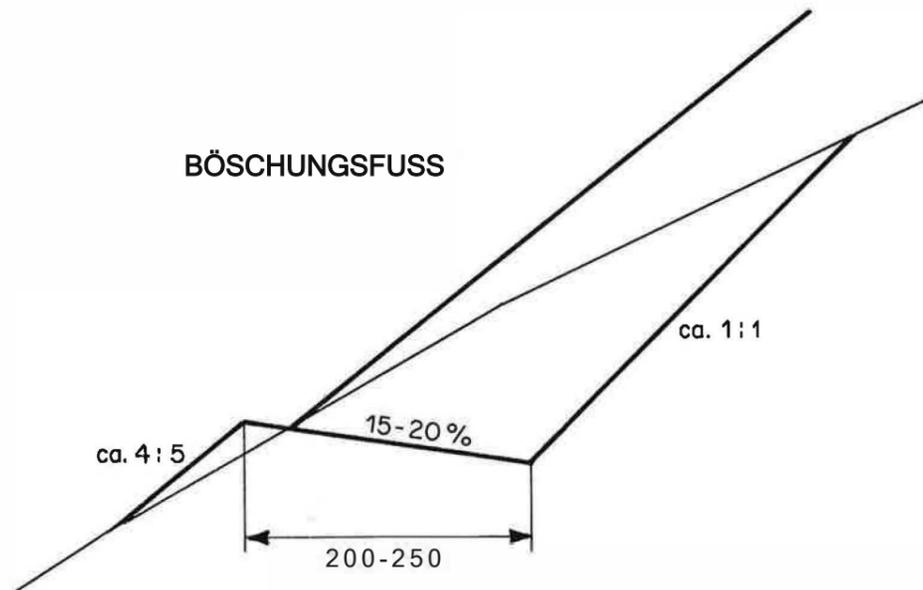
NORMALPROFIL IM FELS



STÜTZMAUERN UND FUTTERMAUERN



BÖSCHUNGSFUSS



Dimensionierung von Mauern gemäss SAFS - Merkblatt Nr. 241

Parameter: Reibungswinkel $\varphi = 35^\circ$
 Kohäsion $c = 0 \text{ t/m}^2$

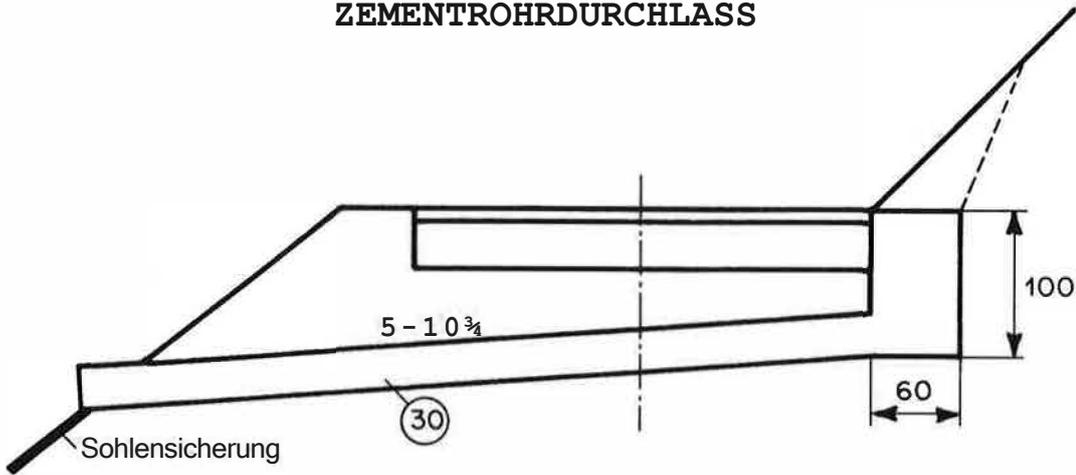
Bergseitige Mauer

Höhe H (m)	Kronenbreite k (m)
2.0	0.40
2.5	0.50
3.0	0.60
3.5	0.70
4.0	0.80

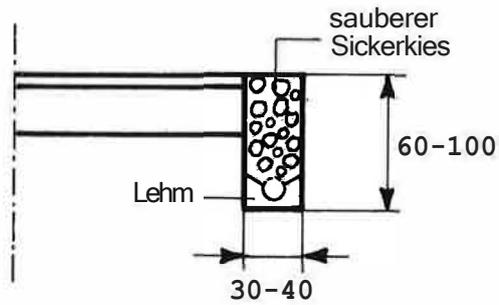
Talseitige Mauer

Höhe H (m)	Kronenbreite k (m)
2.0	0.62
2.5	0.67
3.0	0.69
3.5	0.70
4.0	0.70

ZEMENTROHRDURCHLASS



LÄNGSDRAINAGE



Sickerleitung: Beton- oder Kunststoff-
röhren \varnothing 10 cm, verlegt
in 10-15 cm Lehm

Signatur	Bedeutung	verwendete Strichdicke Schriftgröße h mm
0	Profilpunkt	\varnothing 15 0.35
-----	Achse	0.25
=====	Terrainlinie	0.35
=====	Planum und Böschungen	0.7
117//////02.1	gebundene Schicht	
117//////109	ungebundene Schicht	
---50---.i---	Massangabe in cm	0.25 / 2.5
4:5	Neigungsangaben	0.25 / 2.5

Kanton Bern
Forstkreis 11 Oberhasli
Gemeinde Innertkirchen

Bauherrschaft:
Bäuertgde. Schwendi

Waldstrassenprojekt
Haldenegg
Sektion 2

QUERPROFILE

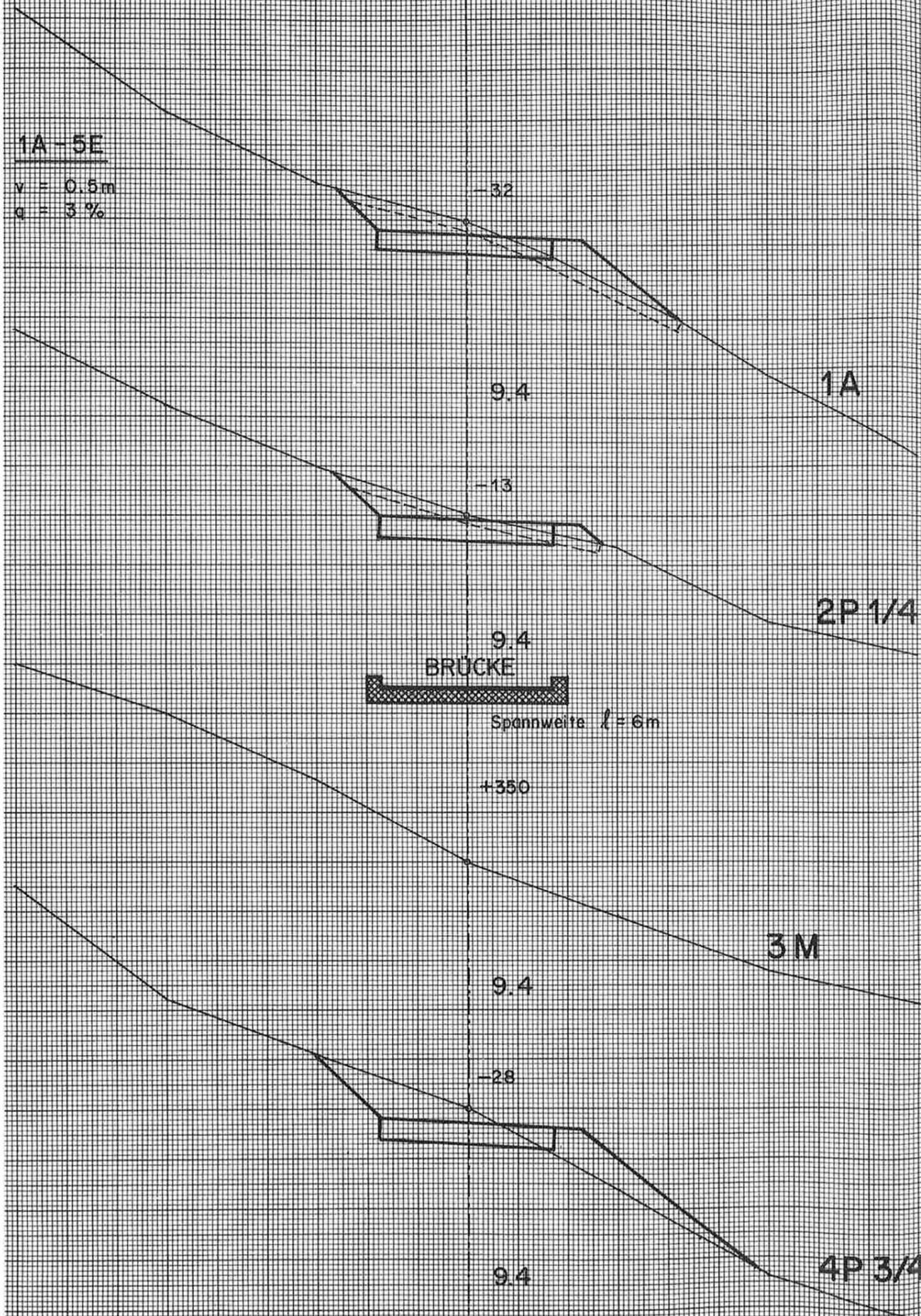
1 : 100

Ort und Datum:

Projektverfasser:

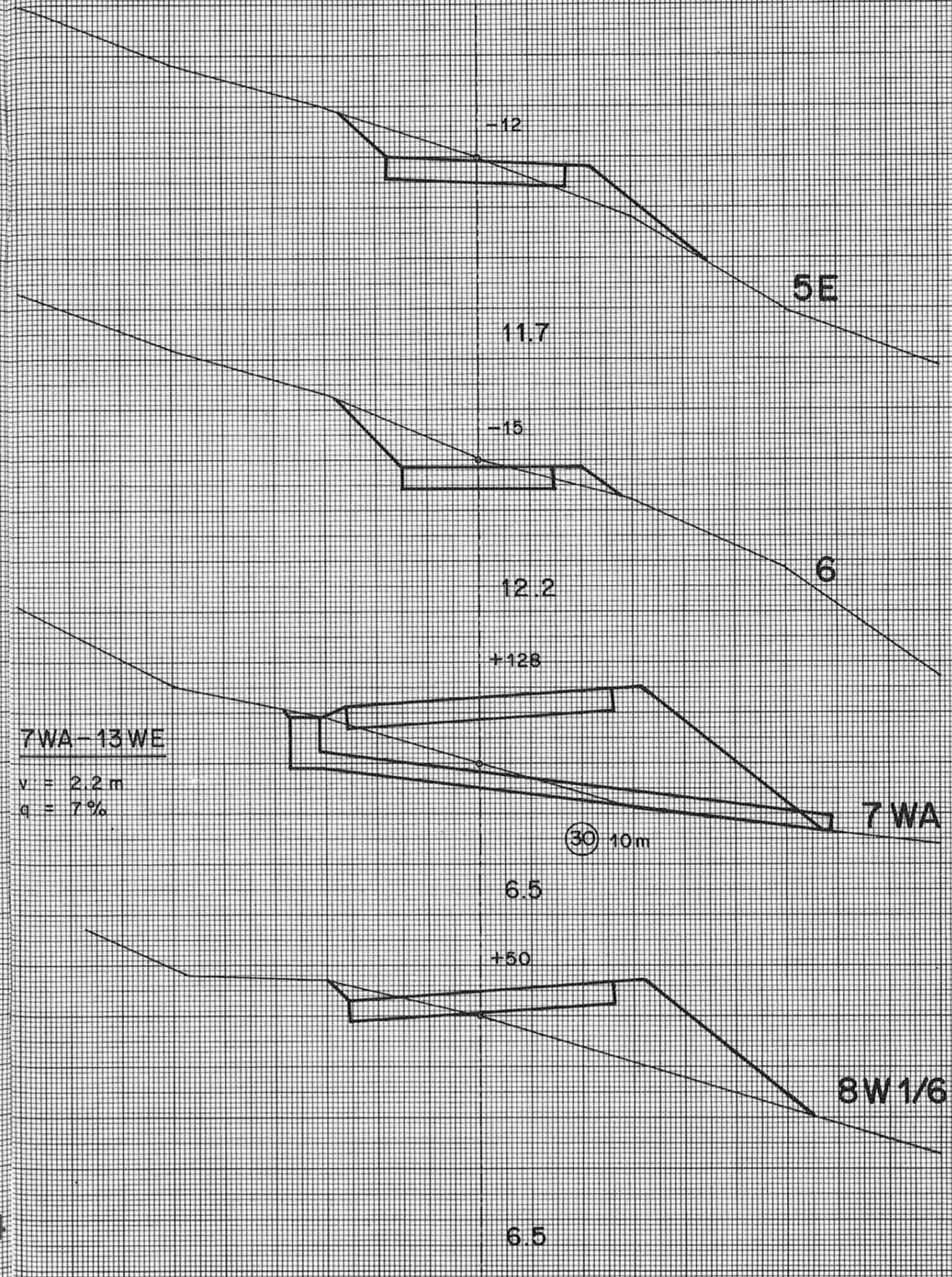
1A-5E

v = 0.5m
q = 3%



7WA-13WE

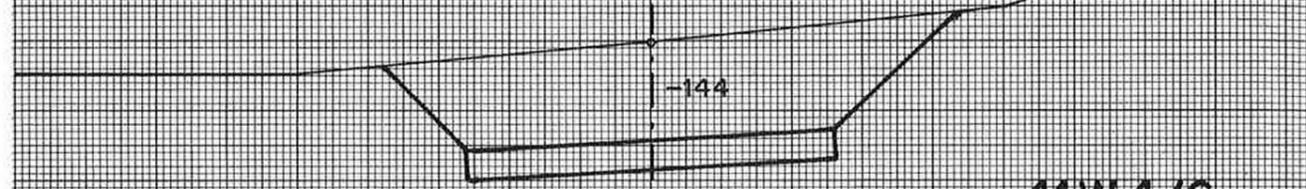
v = 2.2m
q = 7%





9W2/6

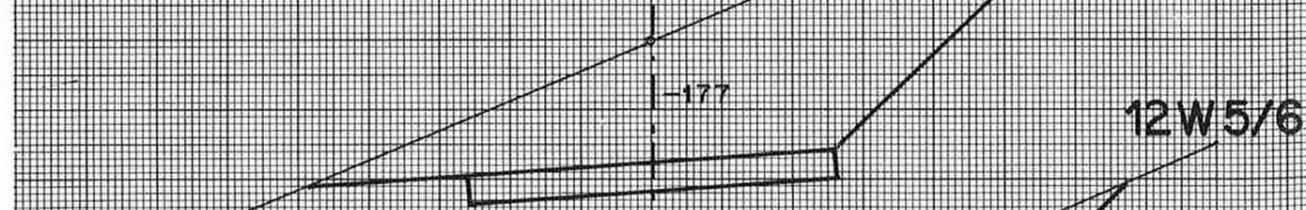
6.5



10W3/6

-144

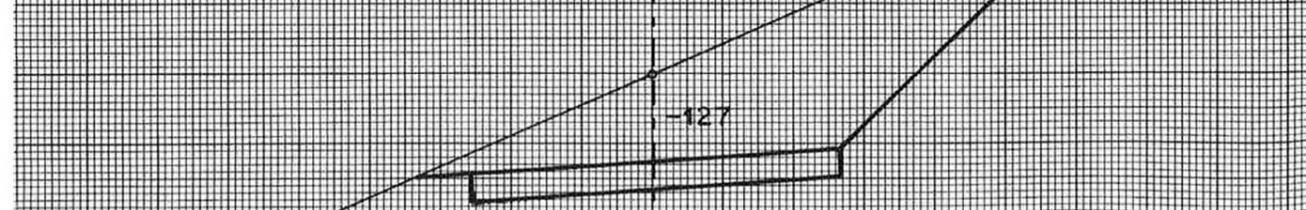
6.5



11W4/6

-177

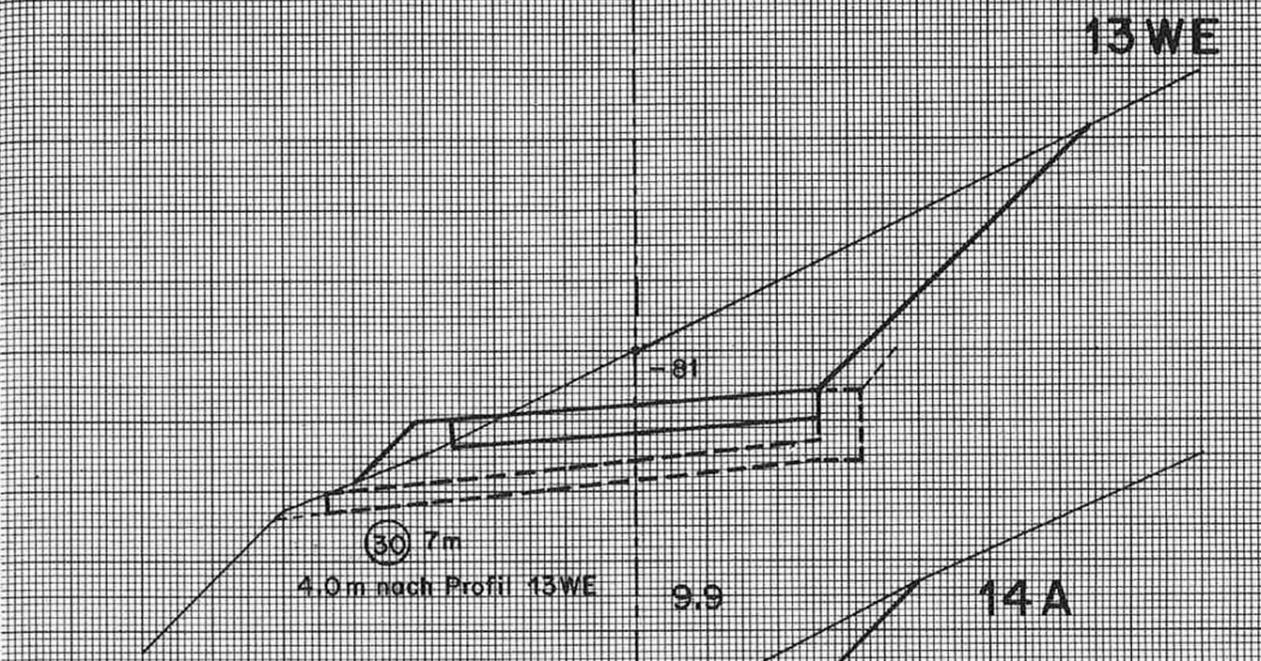
6.5



12W5/6

-127

6.5



13WE

-81

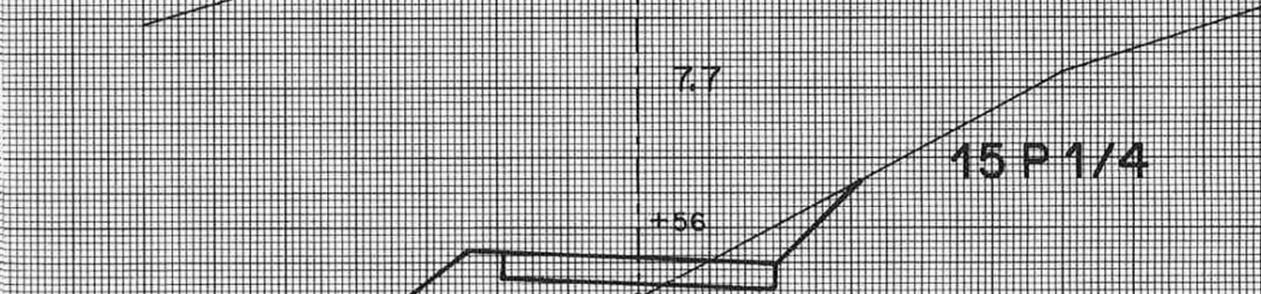
30 7m

4.0m nach Profil 13WE

9.9

14A

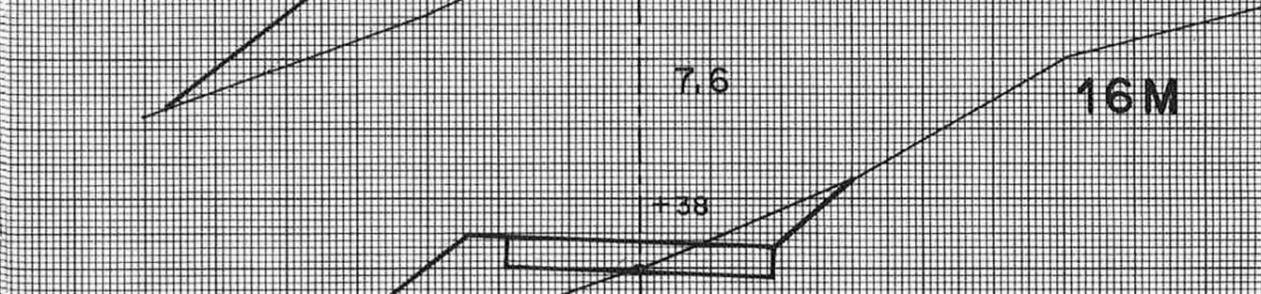
14A-18E
v = 0.8m
q = 4%



7.7

15P1/4

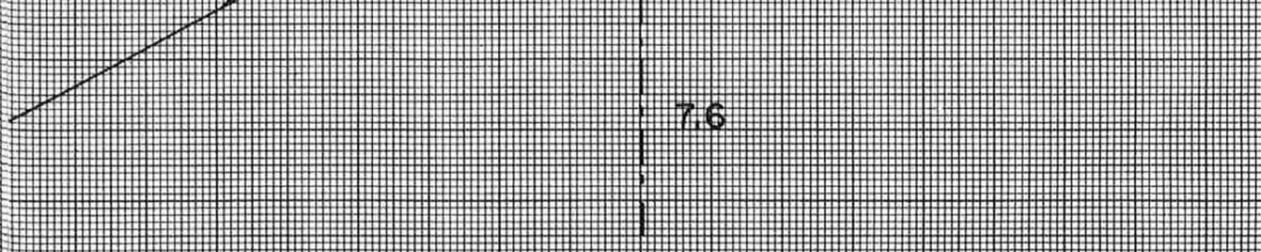
+56



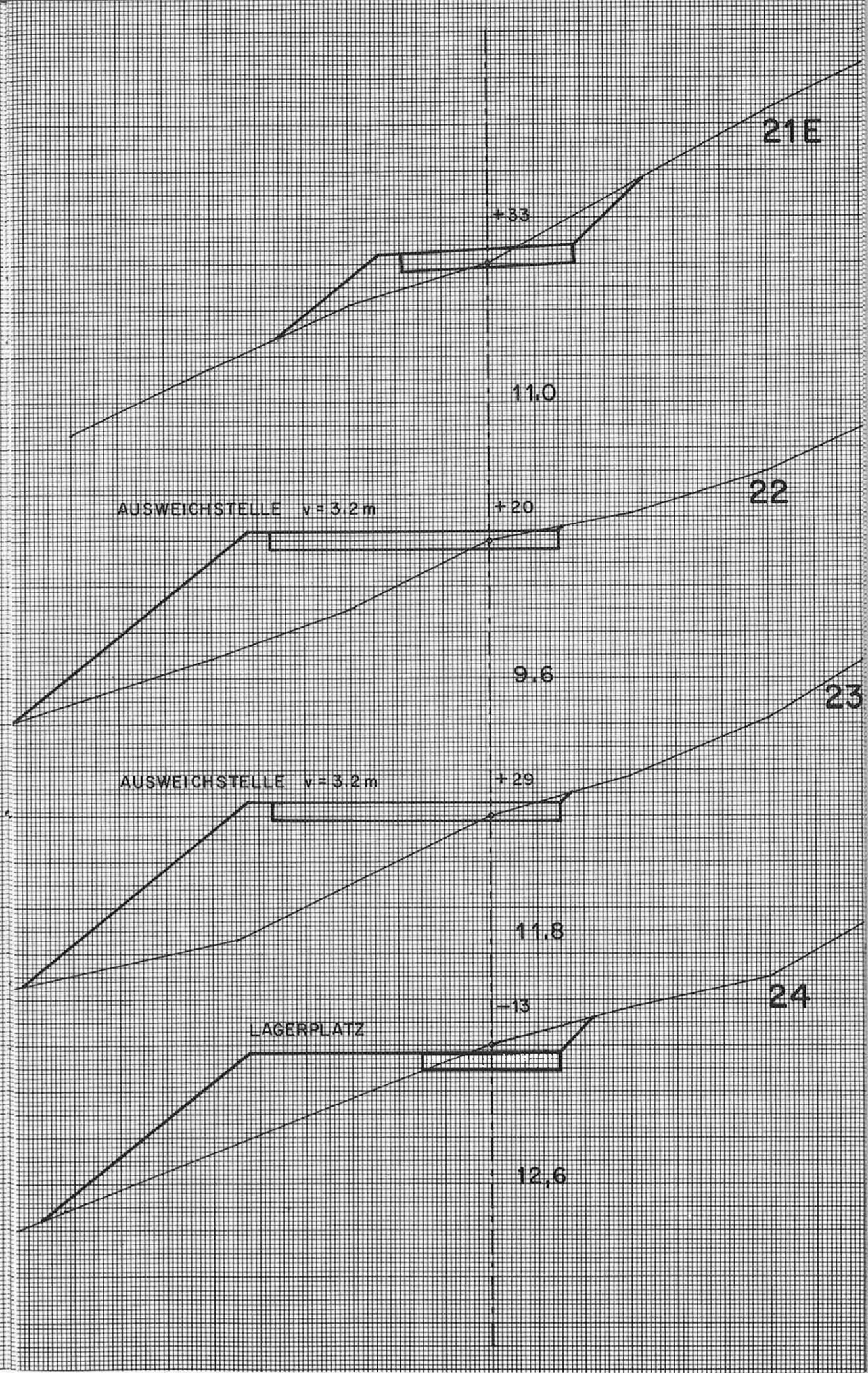
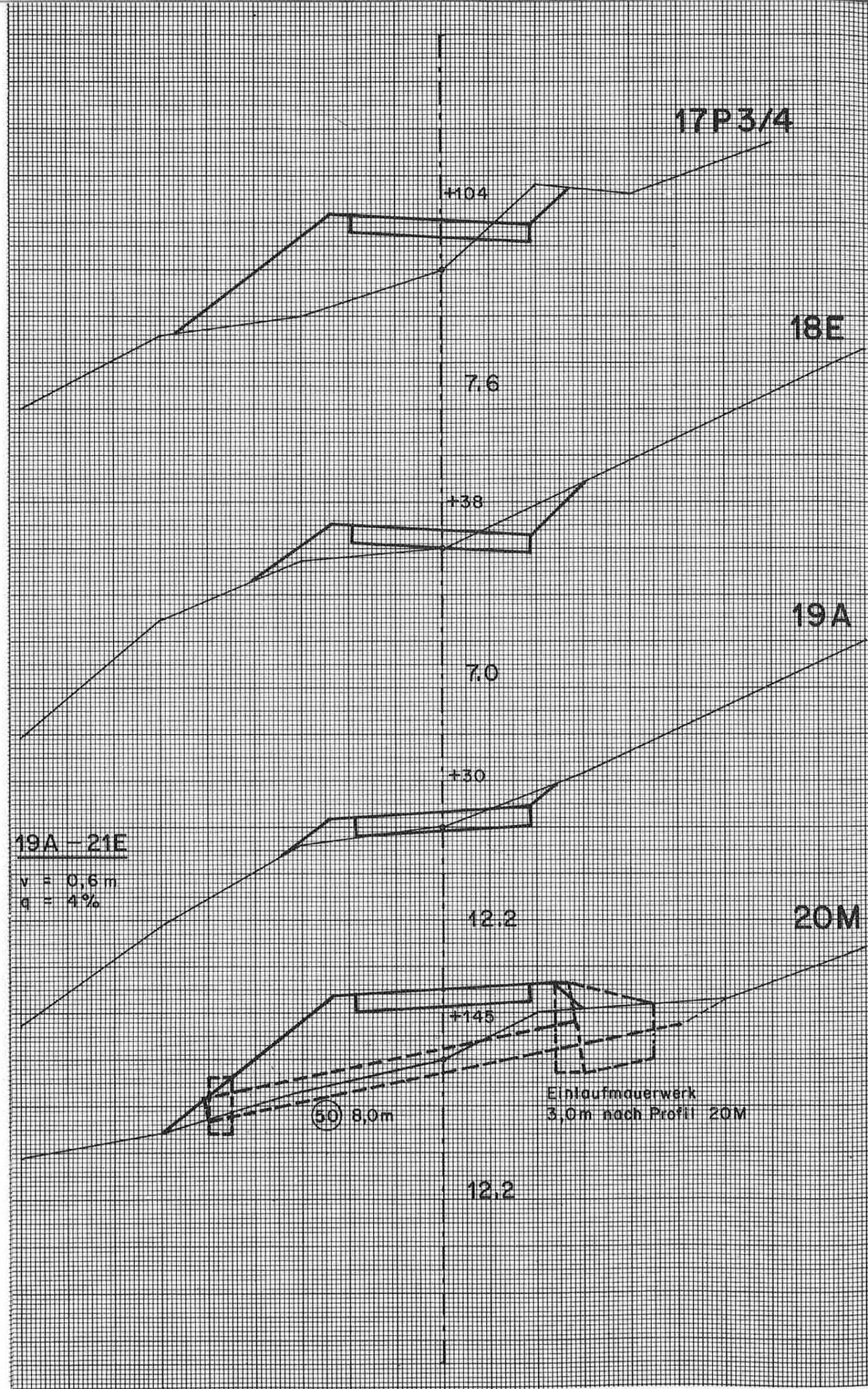
7.6

16M

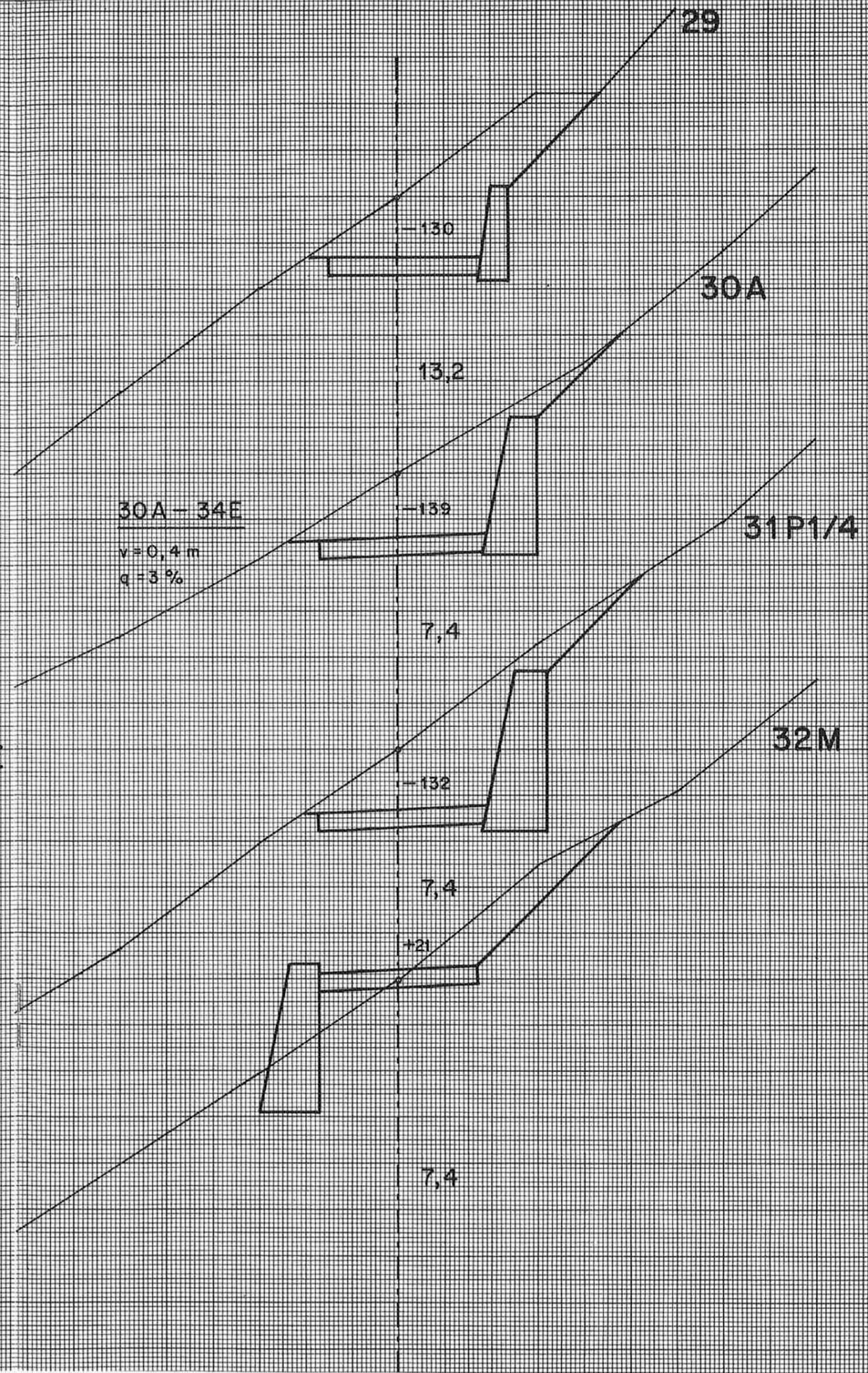
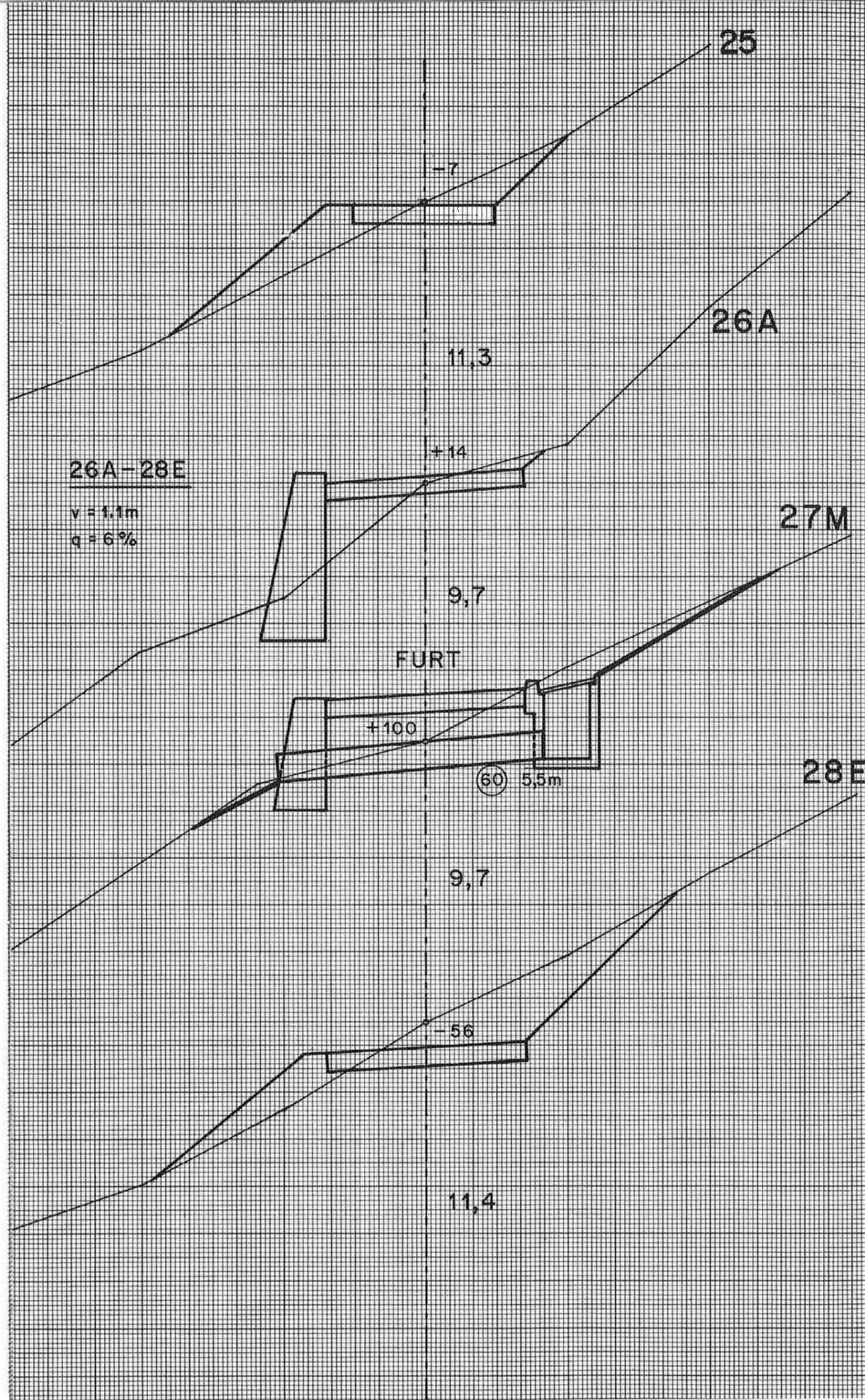
+38

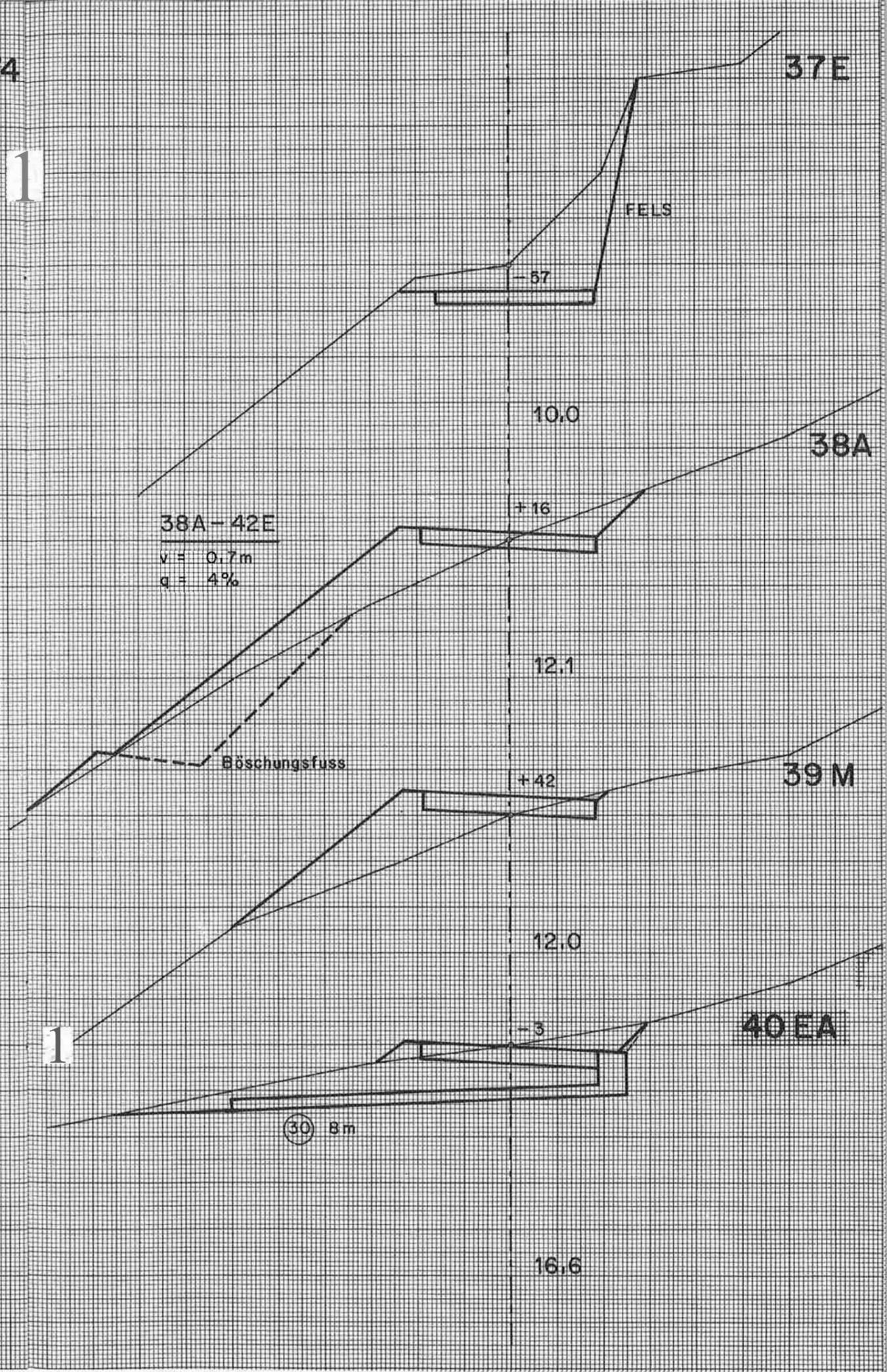
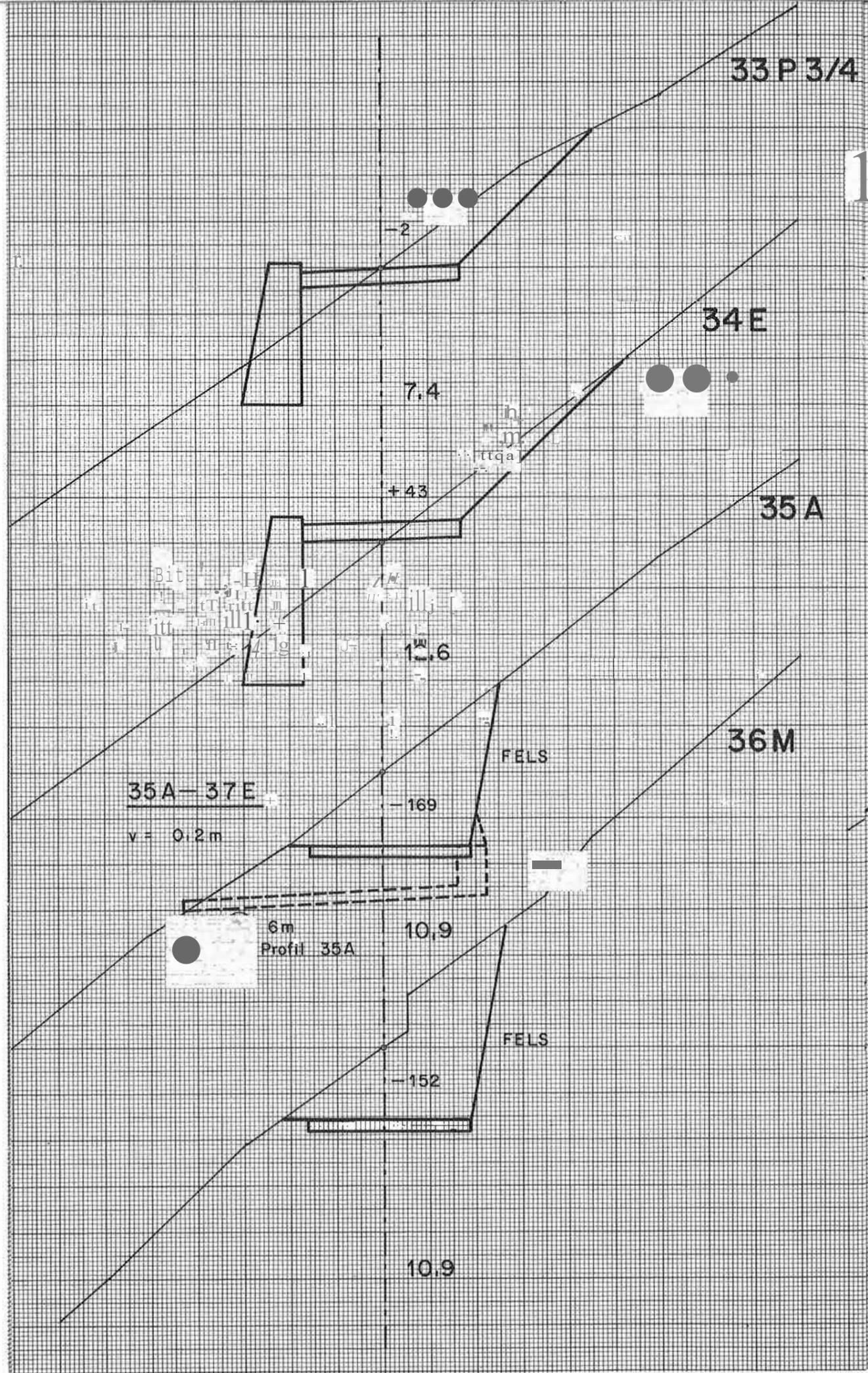


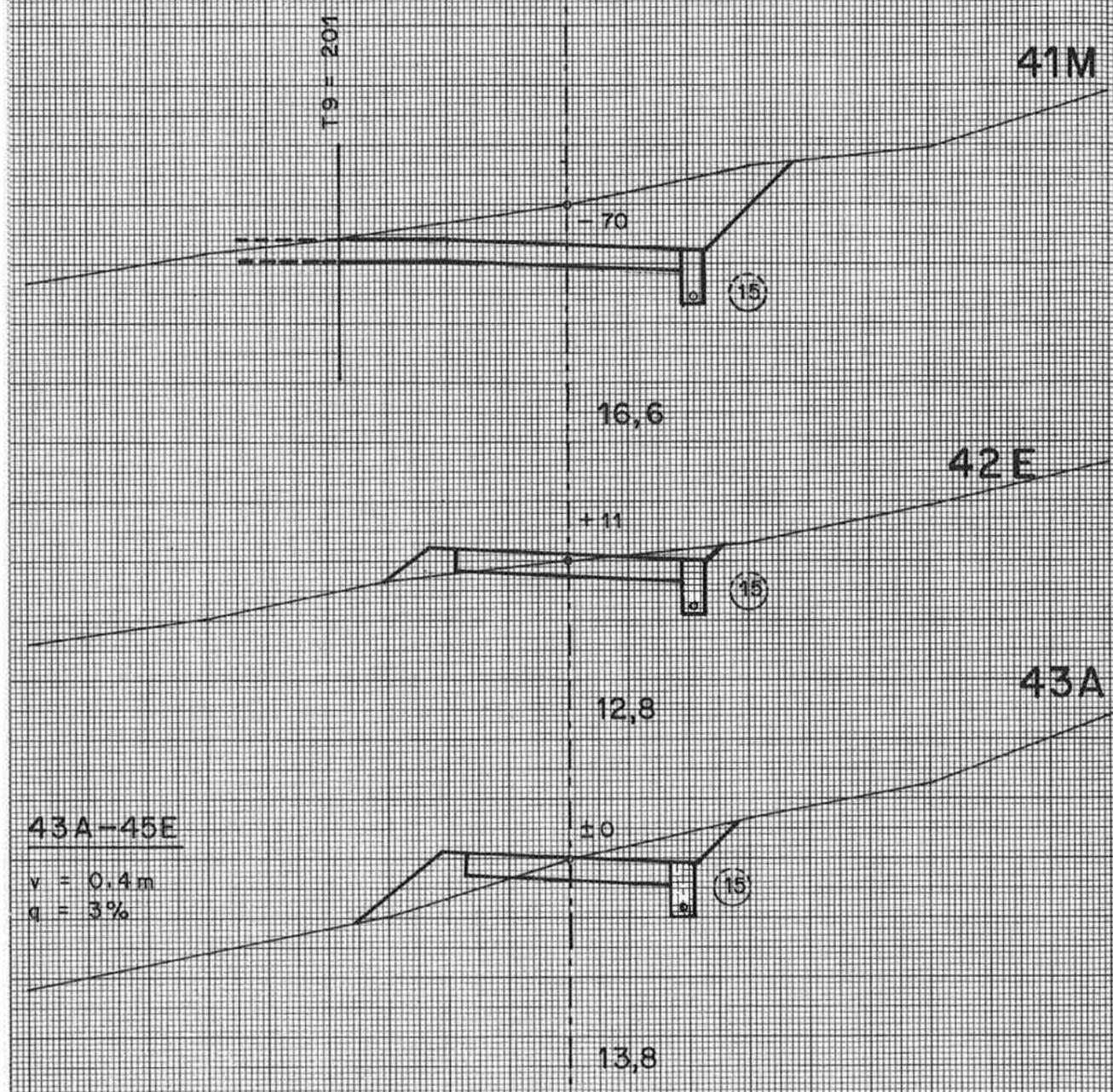
7.6



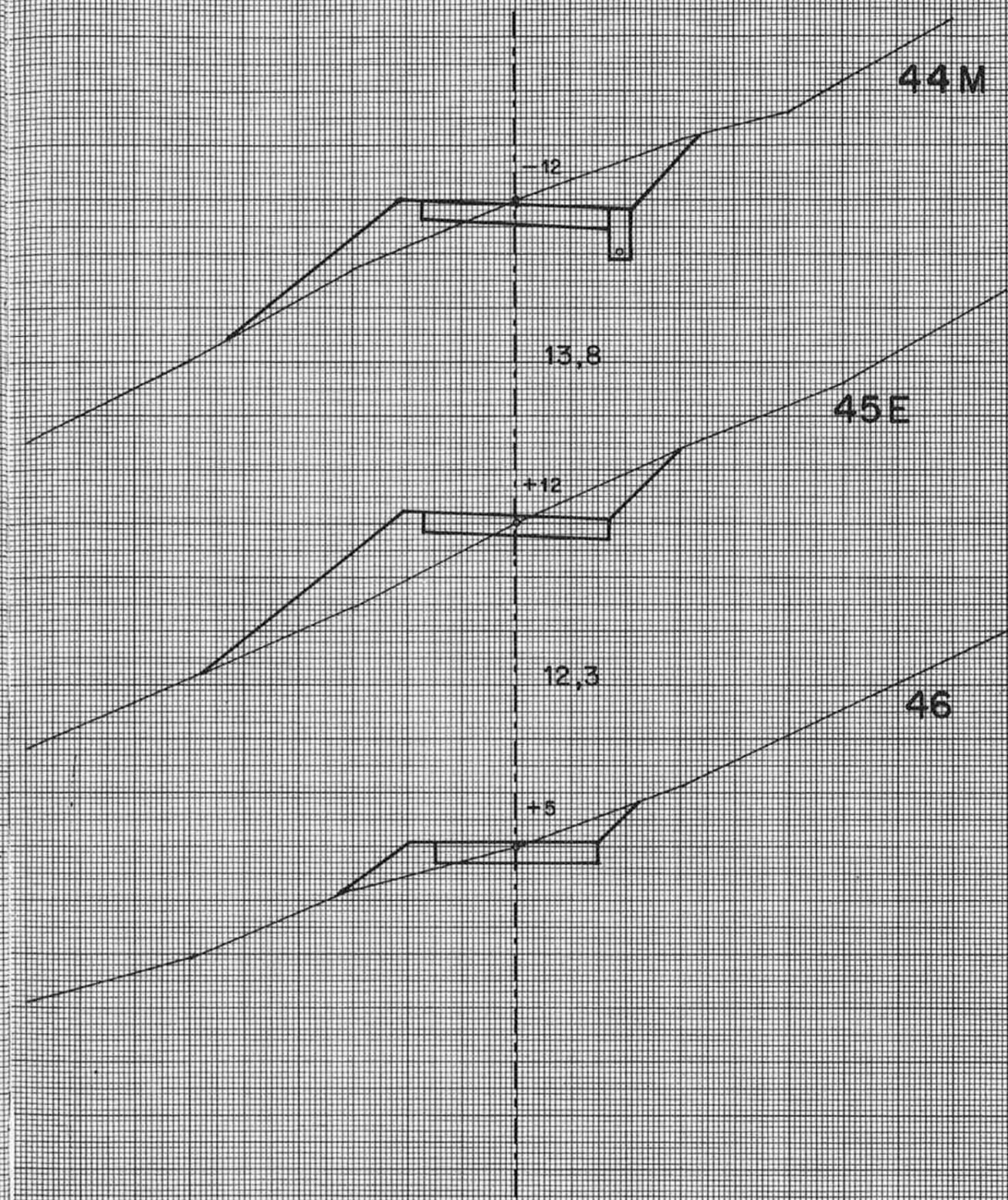
19A - 21E
 $v = 0,6m$
 $q = 4\%$





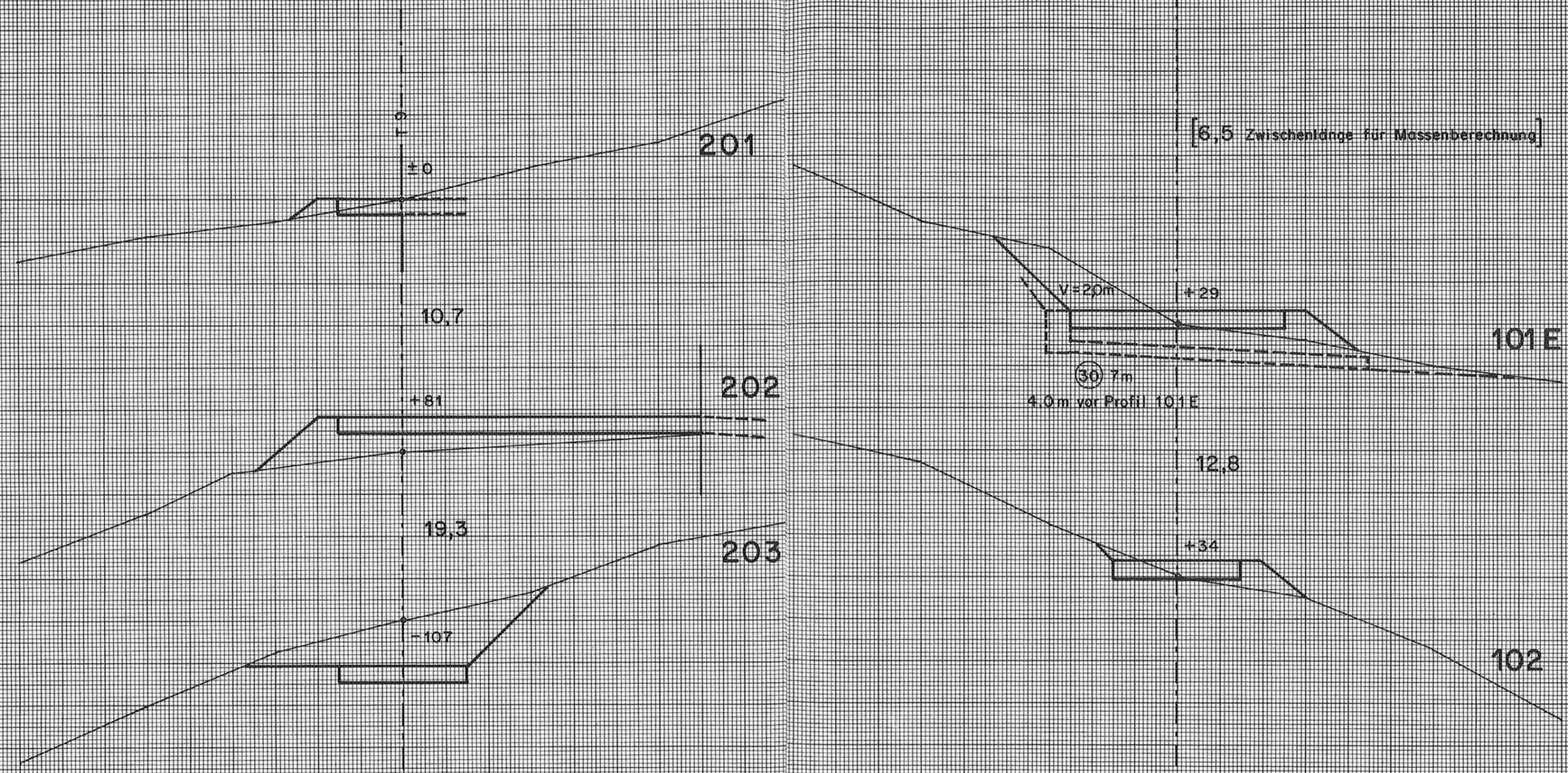


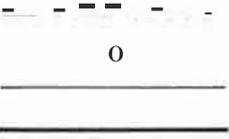
43A-45E
 $v = 0,4m$
 $q = 3\%$



ABZWEIGUNG RÜTI

ABZWEIGUNG GSCHWEND



Signatur	Bedeutung	verwendete Strichdicke Schriftgrösse in mm
 <p data-bbox="357 430 472 542"> 36M 13,4 - 29 </p> <p data-bbox="312 546 472 654"> <u>1A - 5E</u> v = 0,5m q = 5% </p>	<p data-bbox="762 277 826 304">Achse</p> <p data-bbox="762 313 874 340">Profilpunkt</p> <p data-bbox="762 349 880 376">Terrainlinie</p> <p data-bbox="762 385 1046 434">Unter- und Oberbau, Kunstabau, Entwässerung</p> <p data-bbox="762 443 900 470">Profilnummer</p> <p data-bbox="762 479 970 506">Zwischenlänge in m</p> <p data-bbox="762 515 976 542">Kotendifferenz in cm</p> <p data-bbox="762 551 1075 577">Verbreiterung und Quergefälle</p>	<p data-bbox="1251 277 1295 304">0,35</p> <p data-bbox="1171 313 1295 340">(1) 1.2 0,35</p> <p data-bbox="1251 349 1295 376">0,25</p> <p data-bbox="1251 407 1286 434">0,5</p> <p data-bbox="1251 443 1343 470">0,5 / 5,0</p> <p data-bbox="1251 479 1343 506">0,35 / 3,5</p> <p data-bbox="1251 515 1343 542">0,25 / 2,5</p> <p data-bbox="1251 551 1343 577">0,35 / 3,5</p> <p data-bbox="1251 573 1343 600">0,25 / 2,5</p>

Kanton Bern

Forstkreis 1, Oberhasli

Gemeinde Innertkirchen

Bauherrschaft:

Bäuertgde. Schwendi

Waldstrassenprojekt

Haldenegg

Sektion 2

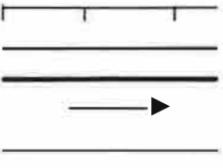
MASSEN PROFIL

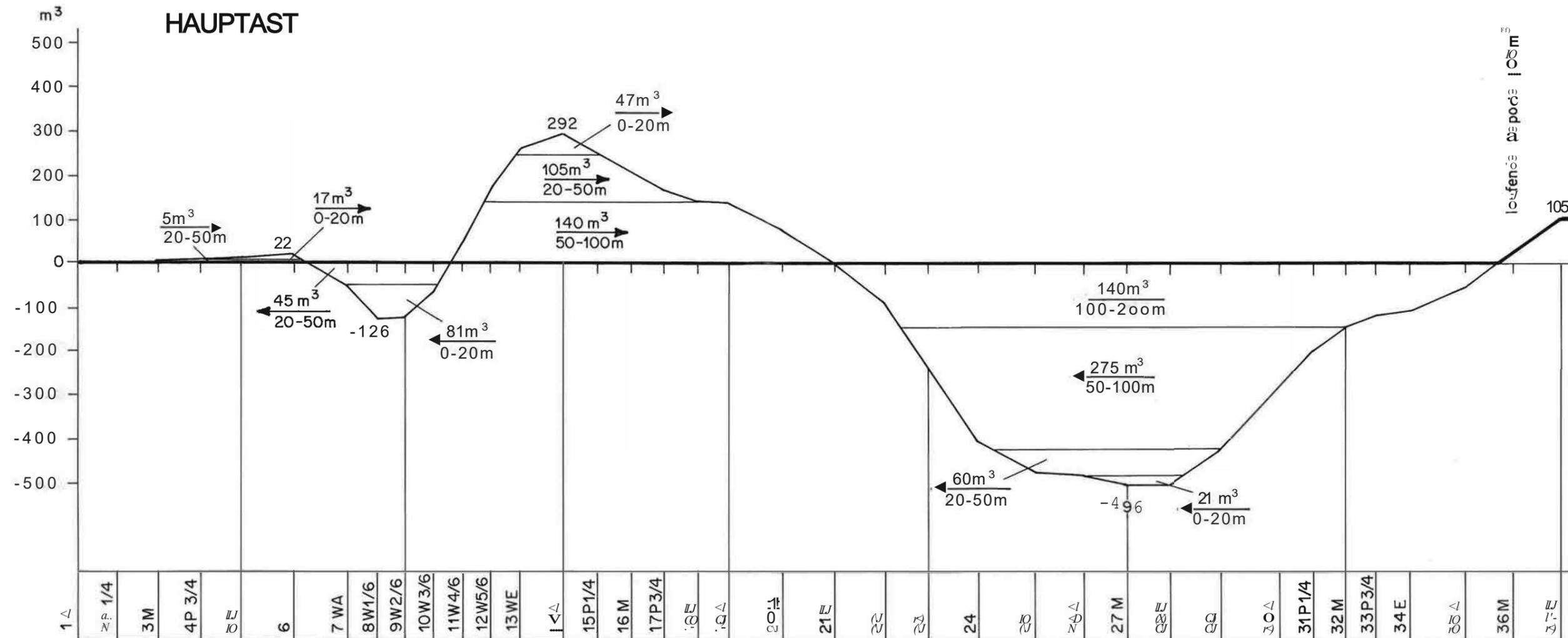
Längen 1:1000

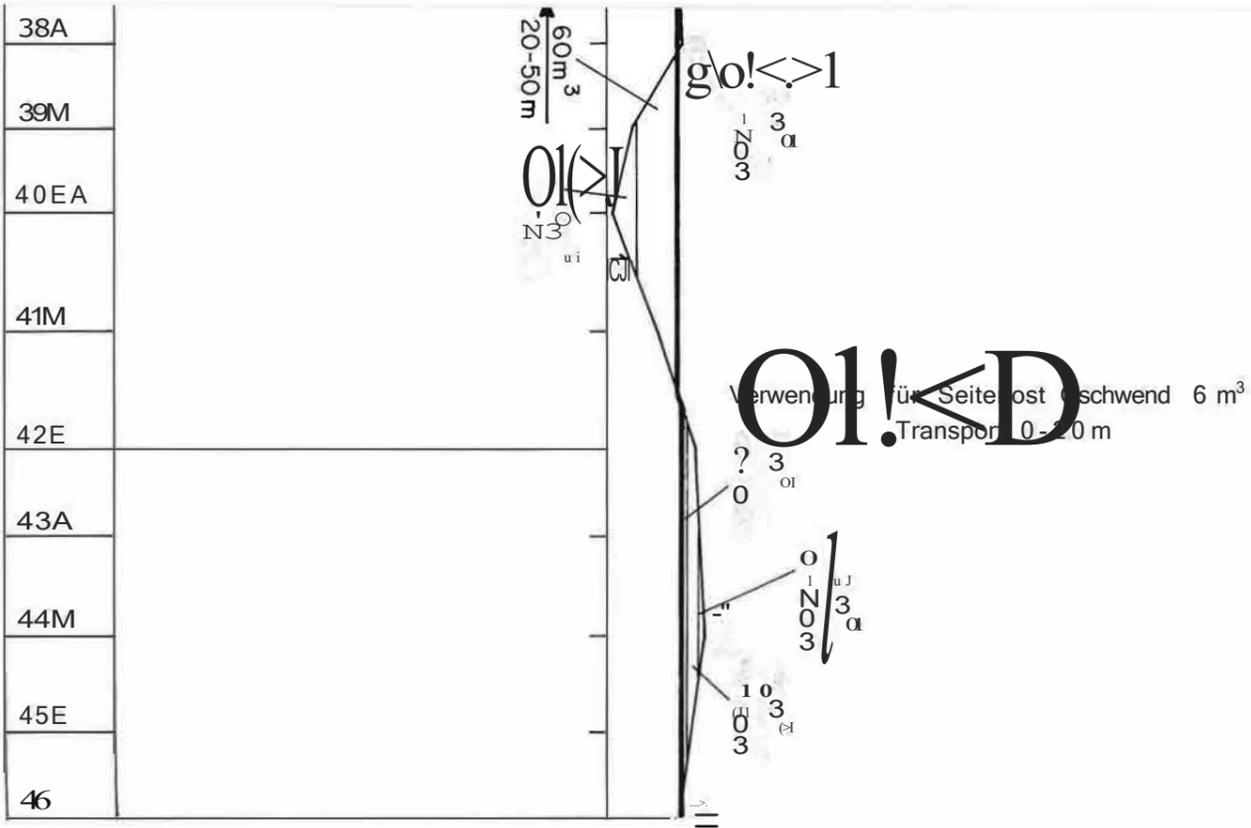
Massen 1cm = 100m³

Ort und Datum:

Projektverfasser:

Signatur	Bedeutung	verwendete Strichdicke Schriftgröße in mm
 26 ma	Nullachse	0.25
	Massenlinie	0.35
	Dispositionslinie	0.7
	Transportrichtung	0.35
	Projektionslinien und Grenztransportinstanzen	0.25
	Beschriftung	0.25 / 2.5





äußerer Rand Wendepunkte



äußerer Rand Wendepunkte

Projekt: *lalc:leP?eq;}* / 2

Erdmassenberechnung

Profil Nr	Fläche der Querprofile		Fläche von je zwei Querprofilen		Zuschlag	Kubik-Inhalt zwischen je zwei Querprofilen		Verwendung der Erdmassen				
	Abtrag	Auftrag	Abi reg	Auftrag		Abtrag	Auftrag	an Ort und Stelle		mit Transport		
								Abtrag	Auftrag	Abtrag		Auftrag
m2	m2	m2	m2	m	m3	m3	m3	m3	m3			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
<i>HI/UTAST</i>							Zuschlag					
1A	15	18									/	
2P ^{1/4}	13	04	28	22	94	13	13	13	0	0	0	
3M	00	00	13	04	94	6	2	2	4		+4	
4P ^{3/4}	27	19	27	19	94	13	12	12	1		+5	
5E	18	11	45	30	94	21	18	18	3		+8	
6	24	04	42	15	117	25	11	11	14		+22	
7WA	00	103	24	107	122	15	85	15		70	-48	
8W ^{1/6}	10	50	10	153	Ab* 5,7 Auf 8,1	6,5	3	81	3		78	-126
9W ^{2/6}	80	00	90	50	Ab* 5,5 Auf 7,4	6,5	25	24	24	1		-125
10W ^{3/6}	117	00	197	00	Ab* 6,2	6,5	61	0	0	61		-64
11W ^{4/6}	188	00	305	00	Ab* 7,1	6,5	108	0	0	108		+44
12W ^{5/6}	136	00	324	00	Ab* 7,7	6,5	125	0	0	125		+169
13WE	103	05	239	05	Ab* 7,8 Auf 5,7	6,5	93	2	2	91		+260
14A	26	45	129	50	99	64	32	32	32		+292	
15P ^{1/4}	11	63	37	108	77	14	54	14		40	+252	
16M	11	35	22	98	76	8	48	8		40	+212	
17P ^{3/4}	11	66	22	101	76	8	50	8		42	+170	
18E	12	13	23	79	76	9	39	9		30	+140	
19A	08	05	20	18	70	7	8	7		1	+139	
20M	00	81	08	86	122	5	68	5		63	+76	
21E	12	19	12	100	122	7	79	7		72	+4	
22	06	121	18	140	110	10	100	10		90	-86	
23	05	137	11	258	96	5	161	5		156	-242	
24	17	86	22	223	118	13	171	13		158	-400	
25	20	22	37	108	126	23	88	23		65	-465	
26A	13	19	33	41	113	19	30	19		11	-476	
27M	03	26	16	45	97	8	28	8		20	-496	
28E	58	18	61	44	97	30	28	28	2		-494	
29	101	00	159	18	114	91	13	13	78		-416	
30A	108	00	209	00	132	138	0	0	138		-278	
31P ^{1/4}	117	00	225	00	74	83	0	0	83		-195	
32M	37	05	154	05	74	57	2	2	55		-140	
33P ^{3/4}	36	03	73	08	74	27	4	4	23		-117	
34E	24	08	60	11	74	22	5	5	17		-100	
35A	74	00	98	08	126	62	7	7	55		-45	
Kontrolle der Flächen	1441	986	2793	1954	1,fff	f2f!	1263	321	891	936	-45	
	·2	·2	+15	+18					+327	+327	+936	
			+74	+00								
	Zfl 2	-f11 2	2Jf 2	ft/7 2					1218	1263	891	

Profil Nr.	Fläche der Querprofile		Fläche von je zwei Querprofilen		Kubik-Inhalt zwischen je zwei Querprofilen	Verwendung der Erdmassen					
	Abtrag m ²	Auftrag m ²	Abtrag m ²	Auftrag m ²		m	an Ort und Stelle		mit Transport		
							Abtrag m ³	Auftrag m ³	Abtrag m ³	Auftrag m ³	
1	2	3	4	5	6	7	8 zlg	9	10	11	12
3JA	176	0:0	-12	00	3-181	12fd	-fz 13	32,1	R91	g2 7	- fs
pβH	76	0 0	-12	00	-10 lq	J2	0	01	%2		f 37
31 E	L;q	0:0	12	ff t	,to lq	6J	0	0	1..f		+ -10l
31 A	1 /	hf	d q	9:7	,f) o	3-1	S-1	7..1	3		f 10J'
31/H	yff	-11q	2 1	5 2	-12, f	f	J.6	,f:J		,bJ	f β
7o EA	1- i	o ¹	! 2	o J	,/ t	6!	3	3	-6.r	2J	f ,rs
V 1 /f	6T	o b	7 l	o l	-tt t	6l	S	5	56;		f <6
f lf	,10	d.r	2S	-1 J	-f2 !	,/6	-13	,13	3:		" dB 6
!JA	41[	,/1	43	2 l	4r J	3o	2-6	26	f		1-139
lf ff	ZJ	,fJ'	f h	h r	13 J	2	11	32		-17	f 4-J
l/f E	,fit	37	? 2	g	,2 3	1-0	:SS	20		-1S"	+126
'k	,ly	07									f-1-11
Kontrolle der Flächen	3c:ff- .2	J-!" .2	6l 2 1 7+	J, t 00 f+ 07	"16"66	-/6.β3	-1S/2	1k:f,(	+112	,(Obi'	,11/ t:&'1'
	11-0	is b	17 0	3S.6	Kontrolle der Massen				7bS3'	-1S/2	-f-172

Projektierung

Merkblätter über den Bau und Unterhalt von Wald- und Güterstrassen

Detailprojektierung: Feldarbeiten

Dieses Merkblatt enthält Angaben über das Absteckungs- und Aufnahmeverfahren im Gelände

Inhalt:

1 Einleitung

2 Absteckungsarbeiten

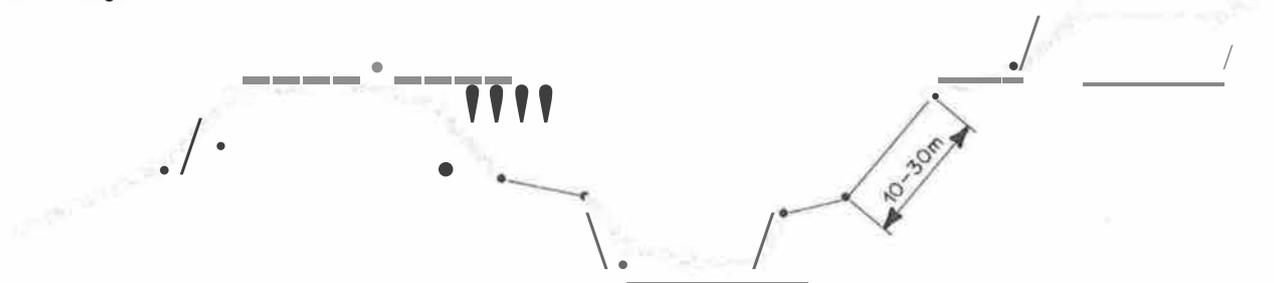
- 21 Nulllinie
- 22 Festlegen der Tangentenpunkte
- 23 Absteckung der Strassenachse
 - 23.1 Kurvenabsteckung
 - 23.2 Absteckung von Profilpunkten in Zwischengeraden

3 Aufnahmen

- 31 Grundriss
 - 3.1.1 Polygonzug
 - 3.1.1.1 Bestimmung der Polygonwinkel
 - 3.1.1.2 Bestimmung der Polygonseiten
 - 3.1.2 Strassenachse
 - 3.1.3 Weitere Aufnahmen
- 32 Längenprofil
 - 3.2.1 Längenmessung
 - 3.2.2 Nivellement
- 33 Stationierungstabelle
- 34 Querprofilaufnahme

4 Beschaffung weiterer Unterlagen

Darstellung 1: Grundriss Nulllinie



2.2 Festlegen der Tangentenpunkte

Die Absteckung des Tangentenpolygons ist eine entscheidende Aufgabe der Detailprojektierung, weil damit die Strassenachse weitgehend festgelegt wird. Diese Arbeit hat sehr sorgfältig im Gelände zu erfolgen, damit bei der späteren Projektausarbeitung Achsverschiebungen mit ihren Nachteilen möglichst vermieden werden.

Beim Strecken der Nulllinie sind die Polygonseiten (nicht die Tangentenpunkte) an die Nulllinie anzupassen. Es ist vorteilhaft, wenn die Tangentenpunkte

1 Einleitung

Voraussetzung für die Detailabsteckung ist ein überprüfbares, bereinigtes und genehmigtes generelles Wegnetz.

Waldstrassen sind dem Terrain anzupassen. Dies ist nur mittels Absteckung der Strassenachse im Gelände möglich. Aus diesem Grunde hat sich für Waldstrassen ein besonderes Absteckungsverfahren entwickelt. Die im folgenden beschriebenen Feldarbeiten haben zum Zweck:

- Festlegen der Strassenachse im Terrain (Merkblatt Nr. 111, Ziffer 2)
- Erheben des notwendigen Zahlenmaterials für die Ausarbeitung des Detailprojektes
- Beschaffung weiterer Unterlagen gemäss Ziffern 3.1.3 und 4

2 Absteckungsarbeiten

21 Nulllinie

Als Nulllinie wird die mit dem Gefällsmesser abgesteckte Verbindungslinie von positiven Fixpunkten (Kardinalpunkten) bezeichnet. Zwischen zwei aufeinanderfolgenden Fixpunkten ist die Neigung konstant. Die Nulllinie ist die wichtigste Projektierungsgrundlage. Sie wird im Gelände markiert und/oder verpflockt. Sie dient der Festlegung des Tangentenpolygons (Ziffer 2.2).

Für die Absteckung der Nulllinie sind u. a. die Richtlinien der Merkblätter Nr. 101 und 111 zu beachten. Die Distanz zwischen zwei Nulllinienpunkten beträgt normalerweise 10-30 m

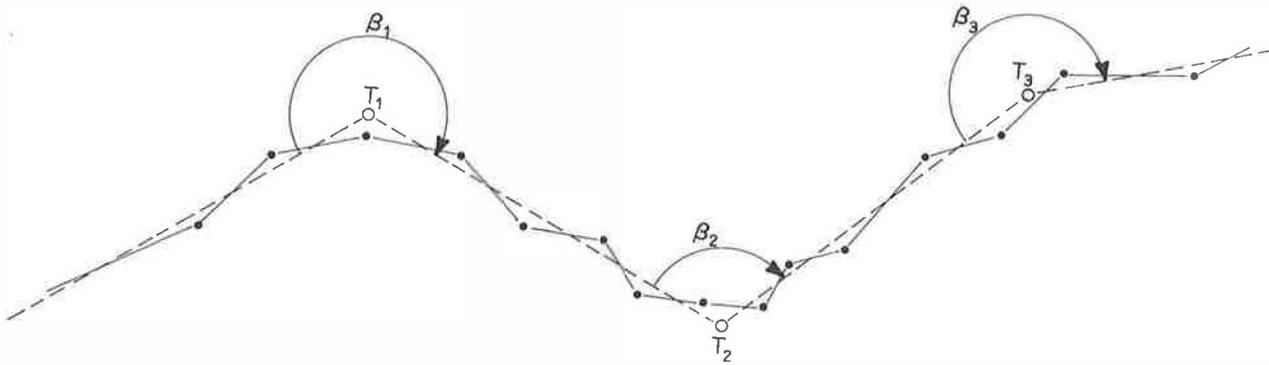
soweit von der Nulllinie entfernt liegen, dass beim Abstecken der Kurven die Bogenmitten wieder in die Nähe der Nulllinie zu liegen kommen.

Der minimale Abstand zwischen zwei Tangentenpunkten ist gegeben durch die Grenzwerte für:

- Tangentenlänge, Kurvenradius } (Merkblatt 111,
- Länge der Zwischengeraden } Ziffer 2.2)

In schwierigerem, unübersichtlichem Gelände erleichtert die Aufnahme der Nulllinie und deren Aufzeichnung das Festlegen der Tangentenpunkte.

Darstellung 2: Grundriss Polygonzug



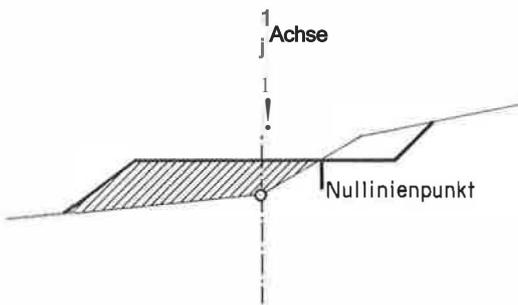
• - - - • Nulllinie
 - - - - - Polygonzug

T; = Tangentenpunkt

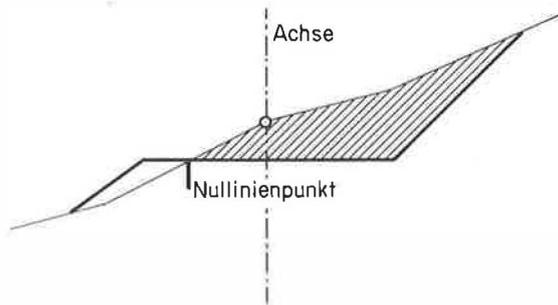
Die Nulllinienpunkte fixieren die ungefähre Höhenlage der zu projektierenden Strasse. Somit wirken

sich Abweichungen der Strassenachse von der Nulllinie folgendermassen aus:

Darstellung 3: Nulllinie und Strassenachse im Querprofil



Strassenachse talseits der Nulllinie:
 vermehrte Dammschüttung



Strassenachse bergseits der Nullinie:
 vermehrter Einschnitt

Die mögliche Abweichung der Strassenachse von der Nulllinie hängt weitgehend von der Geländebeschaffenheit (Neigung, Gestalt), vom Baugrund und vom Normalprofil ab.

Im steilen Gelände (über 600‰ Hangneigung) wird der Polygonzug mit Vorteil bergwärts der Nulllinie abgesteckt, weil Abtragsböschungen steiler angelegt werden können als Auftragsböschungen.

2.3 Absteckung der Strassenachse

Bei jedem Tangentenpunkt ist eine Kurve abzustecken, die tangential an die Polygonseiten anschliesst. Zwischen den einzelnen Kurven ist die Strassenachse mit der Polygonseite identisch (Zwischengerade).

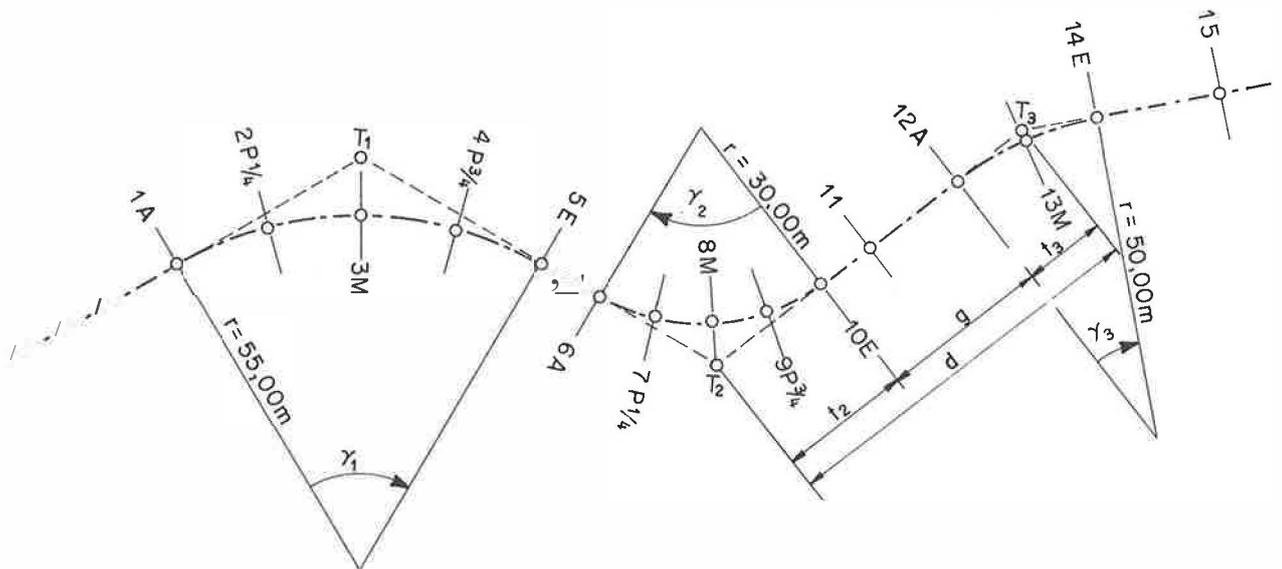
2.3.1 Kurvenabsteckung

Für die Absteckung der Kurven sind verschiedene Methoden anwendbar. Die gebräuchlichsten Verfahren sind im Merkblatt Nr. 122 beschrieben.

2.3.2 Absteckung von Profilverpunkten in Zwischengeraden

Auf den Zwischengeraden werden weitere Profilverpunkte abgesteckt. Damit die Massenberechnung möglichst den topographischen Gegebenheiten entspricht, sind diese Profilverpunkte so zu wählen, dass Mulden, Rippen, Bachläufe usw. erfasst werden.

Darstellung 4: Grundriss Strassenachse



Bezeichnungen:

- $d = \overline{T;T; + 1} =$ Polygonseite
- $T;$ = Tangentenpunkt
- t = Tangentenlänge
- A = Bogenanfang
- E = Bogenende
- g = Länge der Zwischengeraden (Profilpunkte ohne nähere Bezeichnung, z.B. 11; 15)

3 Aufnahmen

3.1 Grundriss

3.1.1 Polygonzug

Grundlage für das Aufzeichnen der Strassenachse im Grundriss ist der Polygonzug. Gebräuchlich sind zwei Verfahren:

- Aufzeichnen des Polygonzuges mit Hilfe der gerechneten Koordinaten der Tangentenpunkte.
- Aufzeichnen des Polygonzuges mit Hilfe der Azimute und der Längen der Polygonseiten. Die Azimute können entweder direkt gemessen oder über das Anfangsazimut und die Polygonwinkel berechnet werden.

3.1.1.1 Bestimmung der Polygonwinkel

Als Polygonwinkel wird der Winkel links zum Vorblick zwischen zwei aufeinanderfolgenden Polygonseiten bezeichnet (Vgl. Darstellung 2).

Für die Bestimmung der Polygonwinkel bestehen folgende Möglichkeiten:

- direkte Messung mit Theodolit, Winkeltrommel, Bussole
- indirekte Ermittlung durch Messung bestimmter Strecken mit dem Messband (z. B. Aretin, siehe Merkblatt Nr. 122, Ziffer 2.2.2)

3.1.1.2 Bestimmung der Polygonseiten

Die Längen der Polygonseiten können ermittelt werden:

- tachymetrisch
- durch Addition der betreffenden Tangentenlängen und Zwischendistanzen (Ziffer 3.2.1) $d = t + g + t + 1$

3.1.2 Strassenachse

Für das Einzeichnen der Strassenachse mit allen abgesteckten Profilpunkten in das Gerippe des Polygonzuges werden benötigt:

- die Kurvenelemente (Merkblätter Nr. 122 und 123)
- die Zwischendistanzen (Ziffer 3.2.1)

3.1.3 Weitere Aufnahmen

Bauten, Parzellengrenzen, Waldränder, Bäche, vernässte Stellen, Felspartien, bestehende Straßen und Wege, Leitungen usw. im Bereich des Projektes werden in der Regel mit Bussole und Messband aufgenommen.

3.2 Längenprofil

Für das Aufzeichnen des Längenprofils werden von jedem Profilpunkt benötigt:

- die laufende Länge (aufsummierte Zwischenlängen)
- die Höhe

3.2.1 Längenmessung

Die Zwischendistanzen (Länge zwischen zwei aufeinanderfolgenden Profilpunkten) werden wie folgt ermittelt:

- in Geraden: Messen mit Messband
- in Kurven: Berechnen der Bogenlänge (Merkblätter Nr. 122 und 123)

Zwischendistanzen werden in der Regel auf Dezimeter gerundet.

3.2.2 Nivellement

Die Höhen der Profilpunkte werden mit dem Nivellierinstrument bestimmt; sie werden auf Zentimeter gerundet.

3.3 Stationierungstabelle

Die bei den beschriebenen Absteckungsarbeiten und Aufnahmen erhobenen Daten werden in der Stationierungstabelle zusammengefasst.

Stationierung bei le

Strassenachse						Polygonzug			
Profi 1 Nr.	L (m)	h, L (m)	H (m)	Kurvenelemente		Punkt	β (g)	d^* (m)	d^{**} (m)
1 A=PA	10		600	21	$y = 67.12$	$t = 32.02$		32.0	32.1
2 P 4/r	41		600	27	$r = 55.00$	$\alpha = ! t I$			
3 #	29		600	13	$r = 11.5''$	" " $f1.99$	r_m	2.1	h
4 P 1/4	10		600	19		$\alpha = -11.33$		32.0	
5 SE	10		600	06		$y = 1.90$		1.5	R
6 A	6		579	33	$r = 30.00$	$\alpha = 5.93$		63.5	61.0
7 P 1/r	10		600	21		$V = -1.26$		3.1	
8 f 1	10		600	21				3.1	
9 P 1/4	10		600	21				3.1	
10 f	10		600	21				3.1	
11 f	10		600	21				3.1	
12 f	10		600	21				3.1	
13 f	10		600	21				3.1	
14 f	10		600	21				3.1	
15 f	10		600	21				3.1	
16 f	10		600	21				3.1	
17 f	10		600	21				3.1	
18 f	10		600	21				3.1	
19 f	10		600	21				3.1	
20 f	10		600	21				3.1	
21 f	10		600	21				3.1	
22 f	10		600	21				3.1	
23 f	10		600	21				3.1	
24 f	10		600	21				3.1	
25 f	10		600	21				3.1	
26 f	10		600	21				3.1	
27 f	10		600	21				3.1	
28 f	10		600	21				3.1	
29 f	10		600	21				3.1	
30 f	10		600	21				3.1	
31 f	10		600	21				3.1	
32 f	10		600	21				3.1	
33 f	10		600	21				3.1	
34 f	10		600	21				3.1	
35 f	10		600	21				3.1	
36 f	10		600	21				3.1	
37 f	10		600	21				3.1	
38 f	10		600	21				3.1	
39 f	10		600	21				3.1	
40 f	10		600	21				3.1	
41 f	10		600	21				3.1	
42 f	10		600	21				3.1	
43 f	10		600	21				3.1	
44 f	10		600	21				3.1	
45 f	10		600	21				3.1	
46 f	10		600	21				3.1	
47 f	10		600	21				3.1	
48 f	10		600	21				3.1	
49 f	10		600	21				3.1	
50 f	10		600	21				3.1	

* = d
 $d = \frac{1}{2} (L_1 + L_2 + L_3 + \dots + L_n)$
 der zugehörigen

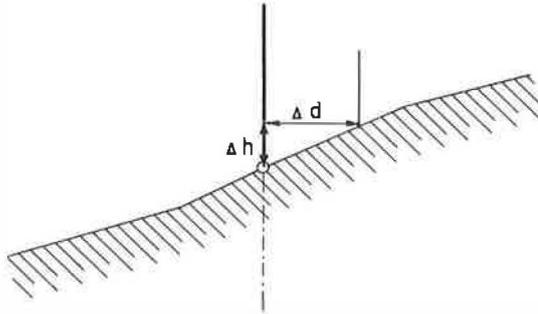
* it = optische Längenmessung (Theodolit)

3.4 Querprofilaufnahme

In jedem Profilpunkt ist der Verlauf der Terrainlinie senkrecht zur Achsrichtung aufzunehmen. Gebräuchlich sind zwei Verfahren:

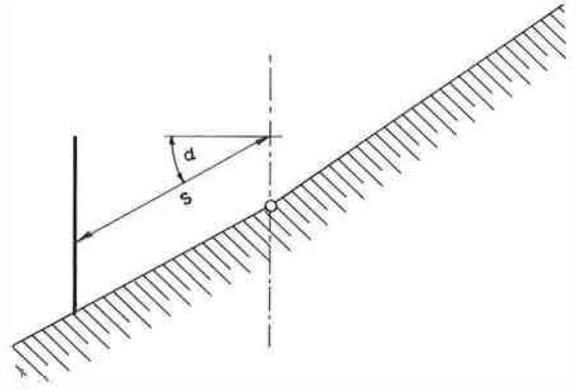
Darstellung 5: Querprofilaufnahme

- Aufnahme der Horizontalabstand und der Höhendifferenz mit Jalon und Setzlatte



f. d = Horizontalabstand (dm)
f. h = Höhendifferenz (dm)

- Aufnahme der Schrägdistanz und des Neigungswinkels (oder der Hangneigung) mit Messband und Gefällsmesser



s = Schrägdistanz (dm)
α = Neigungswinkel (g)

4. Beschaffung weiterer Unterlagen

Die Absteckungs- und Aufnahmearbeiten sind zu ergänzen durch:

- Beurteilung der Hangstabilität
- Untersuchungen über den Baugrund und seine Eignung als Baustoff für den Unter- und Oberbau
- Abklärung der Möglichkeiten für die Beschaffung von Baustoffen
 - im Projektgebiet
 - ausserhalb des Projektgebietes

- Hinweise betreffend die Organisation der Baustelle, den Maschineneinsatz usw.
- Angaben, welche bei der Ausarbeitung des Detailprojektes zu beachten sind, wie
 - Fixpunkte für die Lage der Gradienten
 - Geeignete Stellen für Kehr- und Lagerplätze, Ausweichstellen, Deponien, Seitenentnahmen usw.
 - Lage und Dimensionierung von Durchlässen, Furchen, Brücken usw.

Projektierung

Merkblätter über den Bau und Unterhalt von Wald- und Güterstrassen

Detailprojektierung: Kurvenabsteckung

Dieses Merkblatt beschreibt die gebräuchlichen vom Tangentenpunkt ausgehenden Kurvenabsteckungsverfahren

Inhalt:

- 1 Einleitung
- 2 Kreisbogenabsteckung
 - 21 Bezeichnungen und Formeln
 - 22 Koordinatenmethode
 - 221 mit Kreisbogentabelle
 - 222 mit dem Handbuch von Aretin
 - 223 mit direkter Berechnung der Kurvenelemente
 - 23 Viertelsmethode
- 3 Parabelabsteckung
- 4 zusammenhängen von zwei Kurven mit gleichem Radius

1. Einleitung

Im Grundriss besteht die Strassenachse aus Geraden und tangential daran anschliessenden Kurven. Im Wald- und Güterstrassenbau werden als Kurven Kreisbogen (ev. Parabeln) verwendet.

Tabelle 1: Uebersicht über die gebräuchlichen Absteckungsverfahren

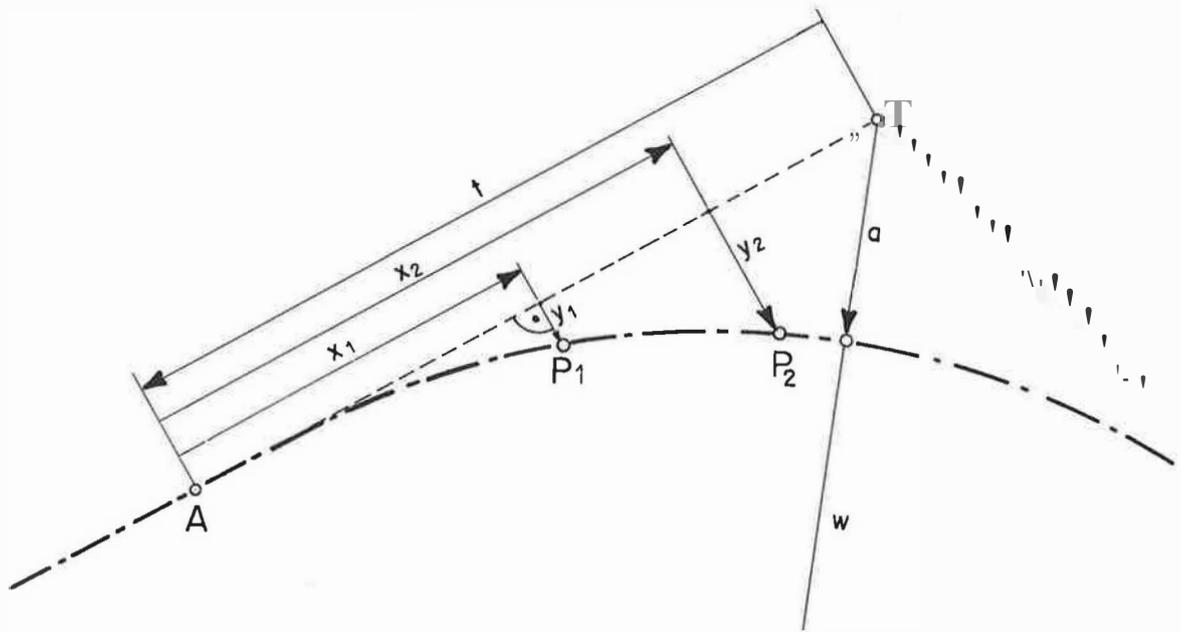
Verfahren	Kurvenform	Polygon-Winkel-messung
Koordinatenmethode	Kreis	direkt
- Elemente aus Kreisbogentabelle		Indirekt
- Elemente aus Handbuch von Aretin		direkt oder indirekt
- Elemente direkt berechnet (Taschenrechner mit Winkelfunktionen)		
Viertelsmethode	Kreis	keine
Halbierungsmethode	Parabel	keine

2.2 Koordinatenmethode

Bei der Koordinatenmethode werden die Bogenzwischenpunkte mit Hilfe rechtwinkliger Koordinaten (x, y) abgesteckt, wobei die Tangente als x-Achse

dient. Der Koordinatenursprung entspricht dem Bogenanfang bzw. Bogenende. Die Bogenmitte wird mit Hilfe des Bogenabstandes a auf der Winkelhalbierenden abgesteckt. Die Absteckungselemente t, a, x, y werden Tabellen entnommen oder berechnet.

Darstellung 2: Koordinatenmethode



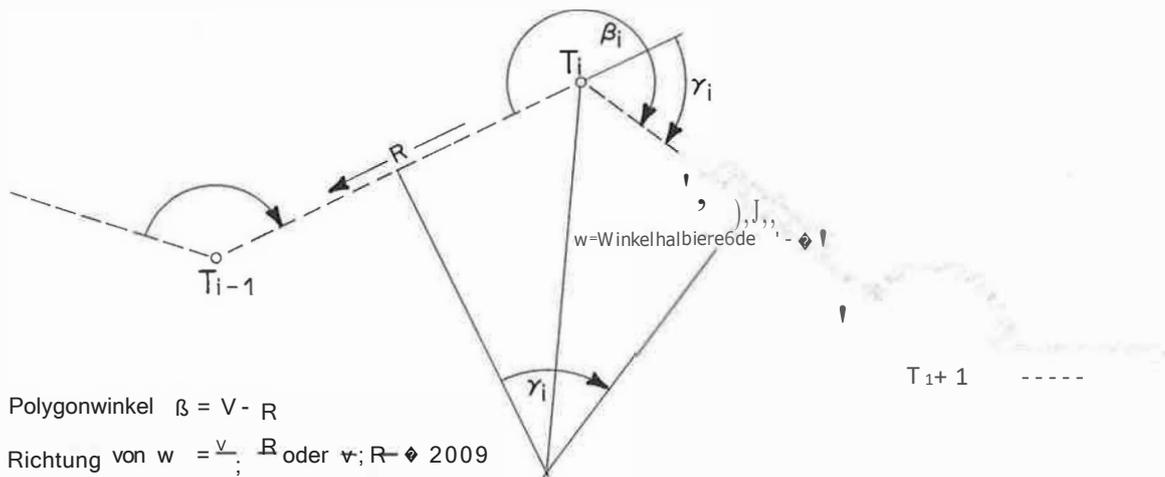
2.2.1 Mit Kreisbogentabelle («Kreisbogenabsteckung für Zentriwinkel von 0-1609" der Professur für forstliches Ingenieurwesen ETHZ)

Eingangsgröße in die Tabelle ist der Zentriwinkel γ . Für Winkel von 0 bis 1609 sind tabelliert:

- die Elemente zur Absteckung der Bogenhauptpunkte (t_0, a_0)
 - die Bogenlänge (b_0)
 - die Koordinaten der Viertelpunkte (X_0, Y_0)
- für einen Kurvenradius $r_0 = 100 \text{ m}$

Die Elemente zur Absteckung einer Kurve mit dem beliebigen Radius r erhält man durch Multiplikation der Tabellenwerte mit dem Proportionalitätsfaktor $k = \frac{r}{100}$.

Vorgehen bei der Absteckung



$$\text{Polygonwinkel } \beta = V - R$$

$$\text{Richtung von } w = \frac{V}{\beta} \cdot R \text{ oder } \frac{R}{\beta} \cdot V$$

$$Y = 2009 - \beta \quad (\beta < 2009)$$

$$Y = \beta - 2009 \quad (\beta > 2009)$$

V = Vorblick
R = Rückblick

- Messen des Polygonwinkels (Merkblatt 121, Ziffer 3.1.1.1) und Festhalten der Winkelhalbierenden ($w = \frac{V + R}{2}$)
- Berechnen des Zentriwinkels (Ziffer 2.1) und Nachschlagen der Elemente für $r_0 = 100$ m (Tabellenwerte)

Ermitteln des Faktors $k = \frac{\text{Terrainwert}}{\text{Tabellenwert}}$

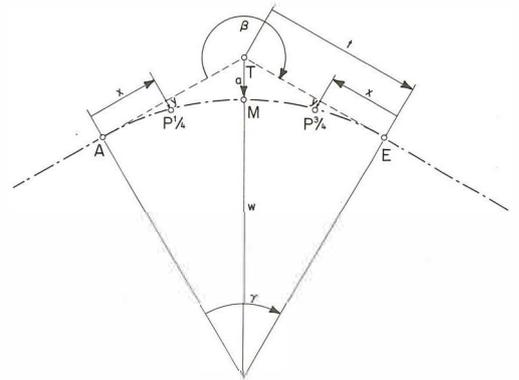
Der Faktor k ist im Einzelfall bestimmt durch den gegebenen oder gewählten Terrainwert eines Elementes der abzusteckenden Kurve

$$k = \frac{r}{r_0} = \frac{t}{t_0} = \frac{a}{a_0} = \frac{r}{100}$$

- Berechnen der Elemente für die abzusteckende Kurve durch Multiplikation der Tabellenwerte mit dem Faktor k
- $$r = k \cdot r_0 = k \cdot 100 \quad b = k \cdot b_0$$
- $$t = k \cdot t_0 \quad X = k \cdot X_0$$
- $$a = k \cdot a_0 \quad y = k \cdot Y_0$$

- Abstecken der Bogenhauptpunkte A, M, E
A und E: Abmessen der Tangentenlänge t vom Tangentenpunkt aus
 $t = TA = TE$
- M : Abmessen des Bogenabstandes vom Tangentenpunkt aus auf der Winkelhalbierenden
 $a = TM$

- Abstecken der Viertelspunkte:
 - bei grossen Bogenlängen
 - zur besseren Erfassung des Geländes
- P^{1/4} resp. P^{3/4}: Abmessen von x und y x von A resp. E aus in Richtung T
 y senkrecht auf \overline{AT} resp. \overline{ET}



Kontrolle der Absteckung

'Nachmessen der Sehnen:

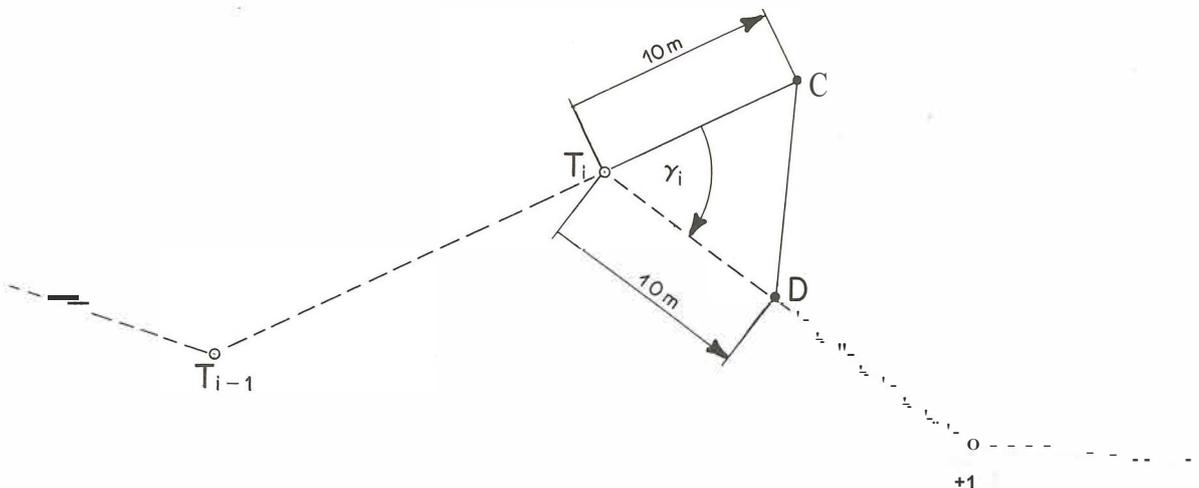
$$\overline{AM} = \overline{ME} < - \frac{b}{2}$$

$$\overline{AP^{1/4}} = \overline{P^{1/4}M} = \overline{MP^{3/4}} = \overline{P^{3/4}E} < - \frac{b}{4}$$

2.2.2 Mit dem Handbuch von Aretin

(«Handbuch zum Abstecken von Kurven sowie zur Bestimmung der Winkel») E,ingangsrösse in das Handbuch von Aretin

ist die Länge der Strecke \overline{CD} als Mass für den Zentriwinkel (Grundlinie des gleichschenkligen Dreiecks TCD mit einer Schenkellänge von 10 m).



gonkelung

ekt

rekt

t oder rekt

ine ine

Die Tabellen liefern

- die Elemente zur Absteckung der Bogenhauptpunkte (t_0, a_0) für $\rho = 100$ m
- die Bogenlänge b_0
- die Koordinaten zur Absteckung von Zwischenpunkten für $r = 10 \dots 12\ 000$ m

Vorgehen bei der Absteckung

- Absteckung der Punkte C und D auf den Tangenten im Abstand von 10,0 m von T
- Messen der Strecke \overline{CD} und Nachschlagen der Elemente für $r_0 = 100$ m (Tabellenwerte)
- Ermitteln des Faktors k und der Elemente für die abzusteckende Kurve analog Ziffer 2.2.1
- Absteckung der Kurve mit den berechneten Elementen analog Ziffer 2.2.1

Kontrolle der Absteckung

Nachmessen der Sehnen: $\overline{AM} = \overline{ME}$

2.2.3 Mit direkter Berechnung der Kurvenelemente

Die Kurvenabsteckung erfolgt analog Ziffer 2.2.1. Die Absteckungselemente werden jedoch nicht einer Tabelle entnommen, sondern gemäss den unter Ziffer 2.1 angegebenen Formeln berechnet.

2.3 Viertelsmethode

Bei der Viertelsmethode werden die Kurvenpunkte durch Halbieren der Sehnen und rechtwinkliges Abmessen der Pfeilhöhen bestimmt.

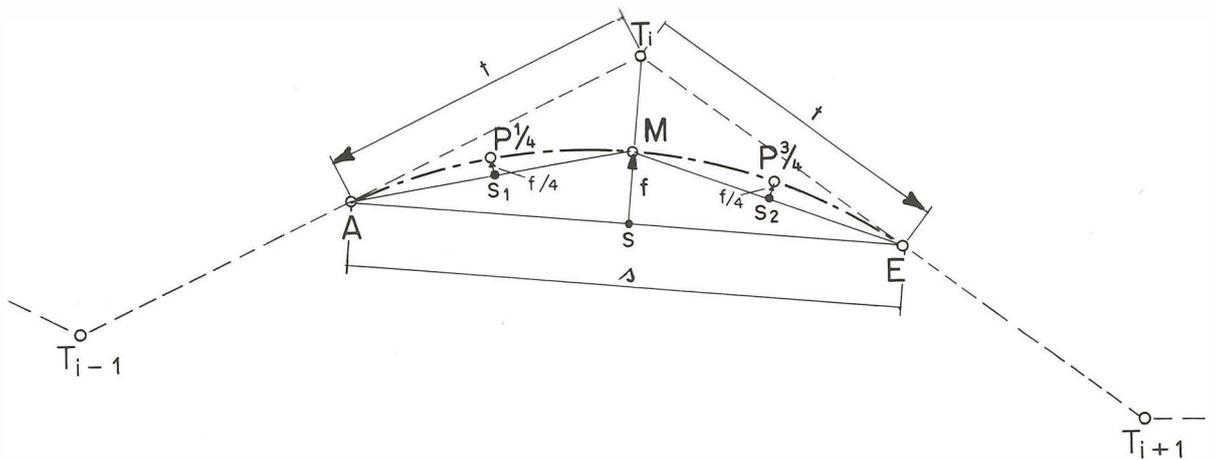
Vorgehen bei der Absteckung

- Wahl der Tangentenlänge t (A und E)
- Messen und Halbieren der Sehne $s = \overline{AE}$ (S)
- Messen der Strecke \overline{TS}
- Berechnen der Pfeilhöhe f und des Radius r:

$$f = \overline{TS} \cdot \frac{s}{2t + s} \quad r = t \cdot \frac{s}{2 - TS}$$

- Abstecken der Bogenmitte (M) mit Hilfe von f
- Abstecken der Viertelpunkte durch Halbieren der Sehnen AM (S₁) und ME (S₂) und rechtwinkliges Abmessen von $\frac{f}{4}$

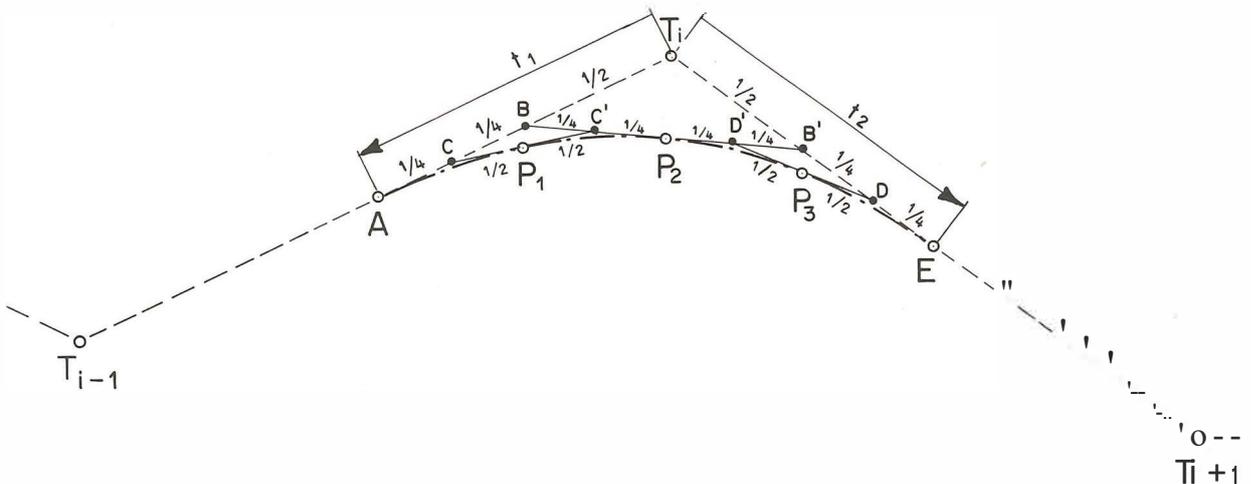
Ergibt die Berechnung von r oder die Absteckung von M keine befriedigende Lösung, ist die Absteckung mit einer anderen Tangentenlänge zu wiederholen.



3 Parabelabsteckung

Die gebräuchlichste Art zur Absteckung von Parabeln ist die Halbierungsmethode. Vor der Absteckung sind

die Tangentenlängen zu wählen. Damit sind A und E festgelegt. Die weiteren Kurvenpunkte werden durch Messen und Halbieren von Hilfstangenten bestimmt.



Bei dieser Methode ist die Wahl ungleicher Tangentenlängen möglich. In diesem Fall entsteht eine asymmetrische

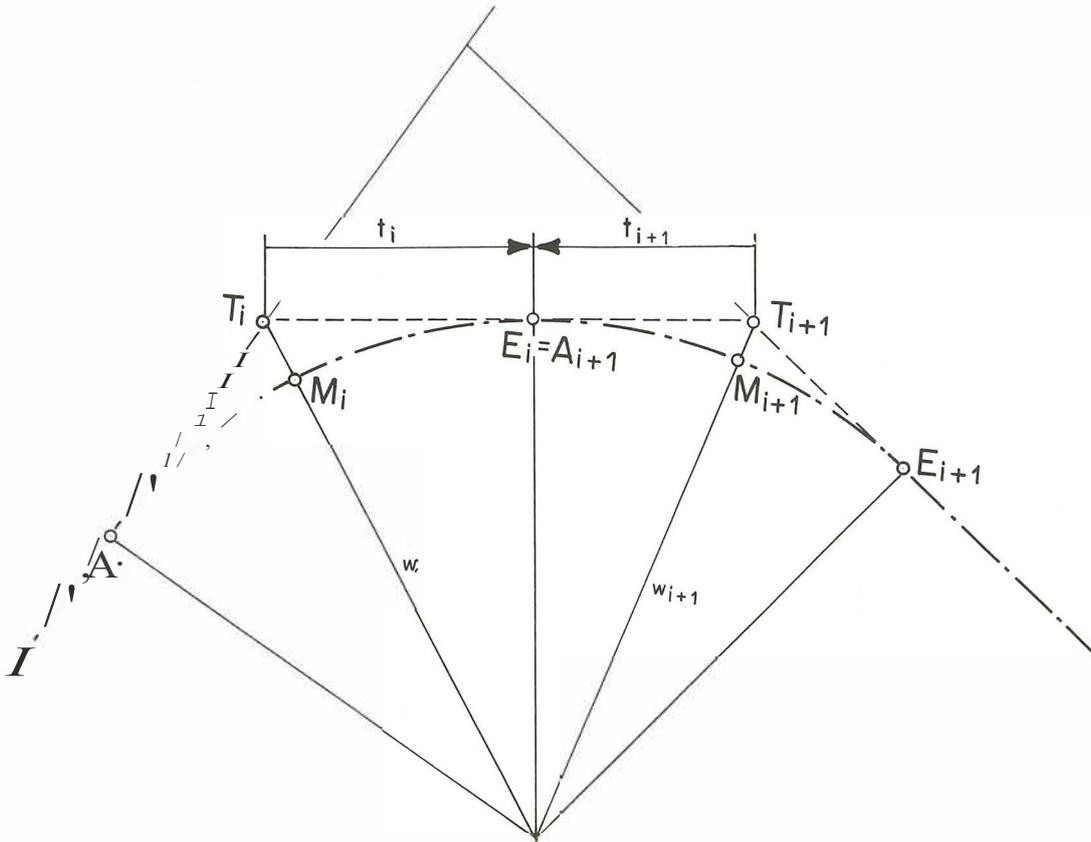
sehe Kurve, die fahrtechnisch ungünstige Eigenschaften haben kann.

4 Zusammenhängen von zwei Kurven mit gleichem Radius

Die Absteckung von zwei zusammenhängenden Kurven mit gleichem Radius lässt sich mit geringem Aufwand nur nach den Koordinatenmethoden (Ziffer 2.2) bewerkstelligen.

Der Faktor k wird als Quotient des Abstandes der beiden Tangentenpunkte und der Summe der Tabellenwerte der beiden Tangentenlängen (für $r_0 = 100$ m) berechnet:

$$\text{Faktor } k = \frac{\overline{T_i T_{i+1}}}{t_{oi} + t_{o;+1}}$$



Diese Art der Kurvenabsteckung ist oft zweckmässig auf Rippen und in Mulden.

Projektierung

Merkblätter über den Bau und Unterhalt von Wald- und Güterstrassen

Detailprojektierung: Absteckung von Wendeplatten

Dieses Merkblatt enthält Angaben zur Absteckung von Wendeplatten

Inhalt:

1. Allgemeines
2. Nulllinie im Bereich der Wendeplatte
3. Detailabsteckung
 - 3.1 Wahl des Radius
 - 3.2 Festlegen des Zentrums
 - 3.2.1 In der Horizontalen
 - 3.2.2 In der Fallinie
 - 3.3 Vorgehen bei der Absteckung
 - 3.3.1 Wendeplattenanfang und -ende
 - 3.3.2 Bogenzwischenpunkte
 - 3.3.3 Kontrolle der Absteckung

1. Allgemeines

Wendeplatten (Kehren, Haarnadelkurven) sind Kurven mit kleinem Radius ($r = 8-25 \text{ m}$) und grossem Zentriwinkel ($\gamma > 150^\circ$). Minimalradien, Längsneigung und Querschnittsgestaltung der Wendeplatten sind im Merkblatt 111, Ziffern 2.2.3, 3.2, 4.2 beschrieben.

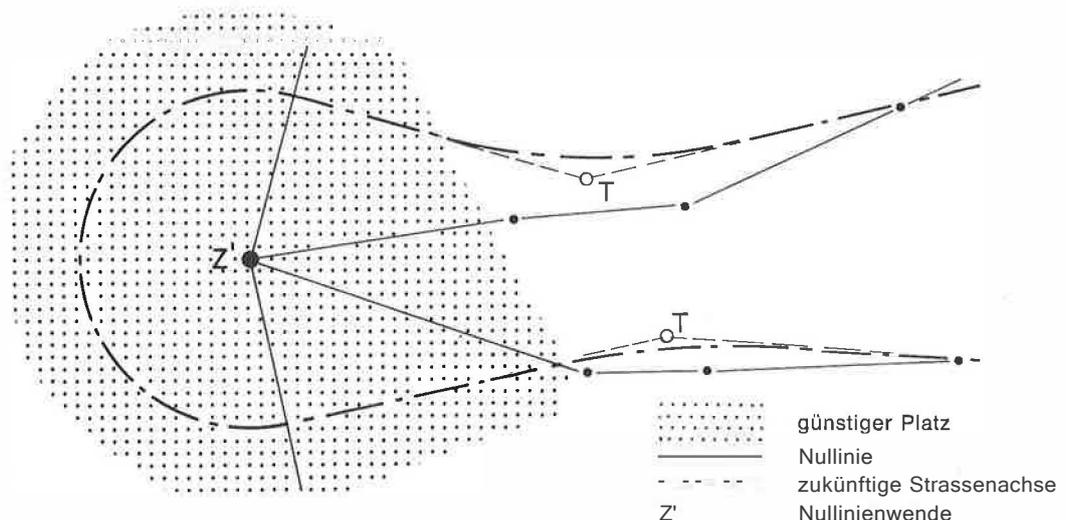
2 Nulllinie im Bereich der Wendeplatte

Für die Generelle Projektierung ist der Standort einer Wendeplatte ein positiver Fixpunkt. Bereits bei der Absteckung der Nulllinie kommt diesem Umstand grosse Bedeutung zu.

Damit die in der Wendeplatte zulässige Längsneigung nicht überschritten wird, müssen folgende Punkte beachtet werden:

- Die Nulllinie wird im Bereich der Wendeplatte mit maximal 100‰ Neigung abgesteckt.
- Die Nulllinie wendet (Nullliniengabel) im Bereich des vorgesehenen Zentrums der Wendeplatte.

Darstellung 1: Provisorische Anordnung



3. Detailabsteckung

Die üblichen, vom Tangentenpunkt ausgehenden Kurvenabsteckungsverfahren (Merkblatt 122) sind für Wendeplatten unzuweckmässig. Deshalb erfolgt die Absteckung vom Zentrum aus.

3.1 Wahl des Radius

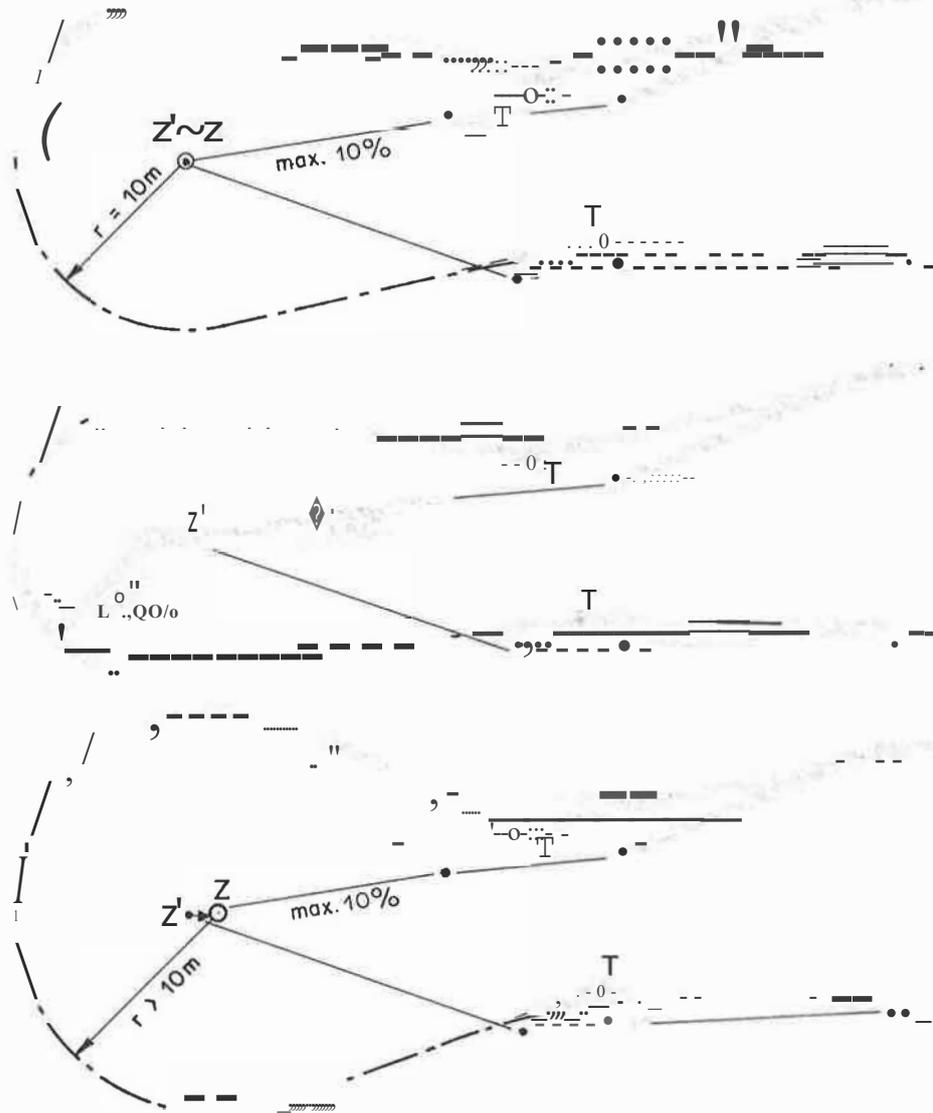
Der Radius wird gemäss Merkblatt Nr. 111, Ziffer 2.2 gewählt.

3.2 Festlegen des Zentrums

3.2.1 In der Horizontalen

In der Wendeplatte ist die Längsneigung zu reduzieren (Merkblatt 111, Darstellung 8). Wird das Zentrum gemäss Darstellung 2 gewählt, ergibt sich bei einer Nulllinienneigung von 100‰ die maximal zulässige Neigung in der Wendeplatte.

Darstellung 2: Horizontale Verschiebung



- Bei 10 Meter Radius fallen Nulllinienwende und Kurvenzentrum zusammen
- Bei einem Radius unter 10 Meter ist eine Verschiebung des Zentrums aus der Gabel notwendig; die Verschiebung pro Meter Radiusdifferenz beträgt etwa 1,5 Meter
- Bei einem Radius über 10 Meter ist eine Verschiebung des Zentrums in die Gabel zulässig (im gleichen Ausmass wie oben).

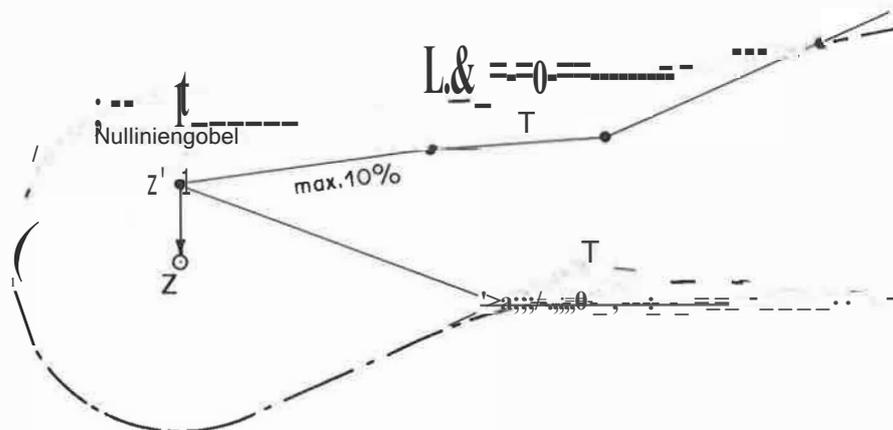
Diese Richtlinien sind bei einer Nulllinienneigung unter zehn Prozent sinngemäss anzuwenden.

3.2.2 in der Falllinie

Die Verschiebung des Wendeplattenzentrums in der Falllinie hat keinen Einfluss auf die Längsneigung. Vielfach ist aber eine Verschiebung des Zentrums (häufiger nach oben) aus folgenden Gründen von Vorteil:

- Bessere Ausnützung des Geländes
- Bessere Massenbilanz
- Reduktion der Kunstbauten

Darstellung 3: Vertikale Verschiebung



3.3 vorgehen bei der Absteckung

Die Absteckung erfolgt in drei Arbeitsschritten.

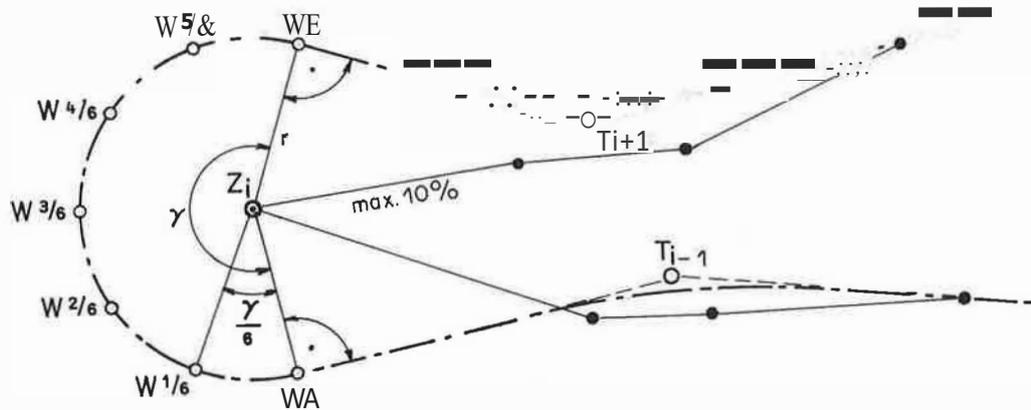
3.3.1 Wendeplattenanfang u rd -ende

- Bestimmen des letzten Tangentenpunkts T_1 vor der Wendeplatte
- Abstecken von WA mit Hilfe des rechten Winkels $T_1 - WA - Z_i + 1$ und des Radius
- Bestimmen von WE und der Richtung zu T_{i+2} mit Hilfe des rechten Winkels $Z_{i+1} - WE - T_{i+2}$ und des Radius.

3.3.2 Bogenzwischenpunkte

- Ermitteln des Zentriwinkels γ'
- Abstecken der Bogenzwischenpunkte (beliebig, z. B. Sechstels-, Achteispunkte) mit Hilfe des aufgeteilten Zentriwinkels und des Radius.

Darstellung 4: Bogenabsteckung



WA = Wendeplattenanfang
 WE = Wendeplattenende
 W^{1/6} = Bogenzwischenpunkt
 Z = Zentrum

3.3.3 Kontrolle der Absteckung

Die Sehnen zwischen den abgesteckten Bogenpunkten sind nachzumessen:

$$\underline{WA - W^{1/6} = W^{1/6} - W^{2/6} = \dots = W^{5/6} - WE < b/6}$$

Projektierung

Merkblätter über den Bau und Unterhalt von Wald- und Güterstrassen

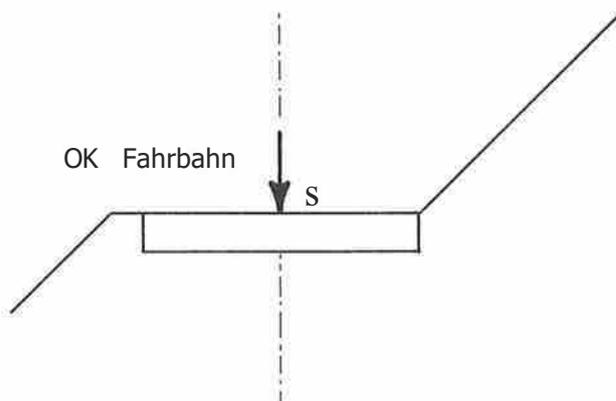
Detailprojektierung: Längenprofilberechnung

Dieses Merkblatt enthält Angaben über die Berechnung des Längenprofils

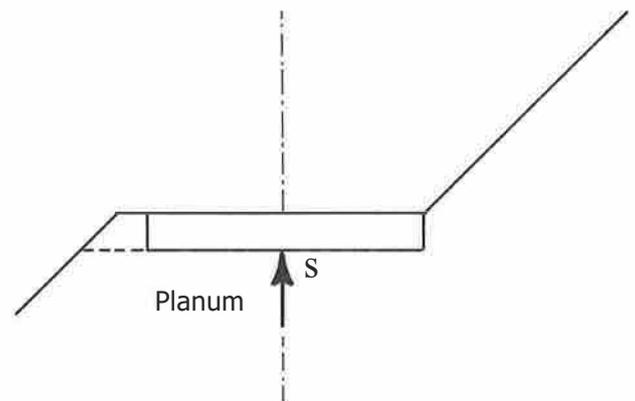
Inhalt:

- 1 Allgemeines
- 2 Vorgehen bei der Berechnung
 - 21 Die drei Stufen der Längenprofilberechnung
 - 21.1 Stufe 1
 - 21.2 Stufe 2
 - 21.3 Stufe 3
 - 22 Formeln
 - 23 Rechenkontrollen
- 3 Beispiel

Darstellung 1: Projekthöhe



S = Höhe der fertigen Strasse
(OK Fahrbahn)
auf der Achse



S = Höhe des Planums
(Rohplanie)
auf der Achse

2 Vorgehen bei der Berechnung

Für die Längenprofilberechnung wird das Formular gemäss Ziffer 3 verwendet, weil damit die sich ständig wiederholenden Rechenoperationen übersichtlich dargestellt werden können.
Die Ausrundung der Gefällsbrüche erfolgt mit einer Vertikalparabel (Merkblatt Nr. 111, Ziffer 3.3.2).

1 Allgemeines

Mit der Längenprofilberechnung wird die Projekthöhe S (Höhe der Gradiente) in jedem Profilverpunkt ermittelt. Die Differenz zwischen Projekt- und Terrainhöhe (Kotendifferenz) ergibt die Einschnitts- bzw. Dammhöhe. Für die Wahl der Projekthöhe S bestehen zwei Möglichkeiten:

21 Die drei Stufen der Längenprofilberechnung

21.1 Stufe 1

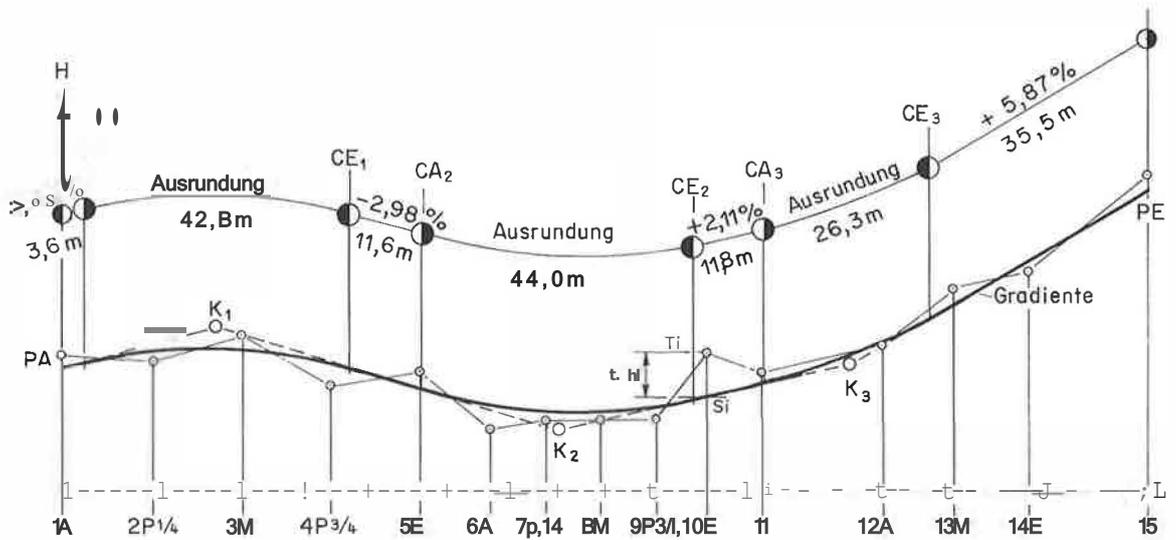
In der ersten Stufe werden festgelegt und graphisch bestimmt:

- Lage (Länge, Höhe) von Anfangs- und Endpunkt des Projektes
- Lage (Länge, Höhe) der Knickpunkte

Für die Wahl der Knickpunkte sind die nachstehenden Kriterien zu berücksichtigen:

- Terrainlinie
- Zulässige Längsneigungen (Merkblatt Nr. 111, Ziffer 3.2.1)
- Normalprofil
- Querprofile
- Auswirkungen auf Massendisposition, Grösse von Einschnitten, Dämmen, Kunstbauten usw.

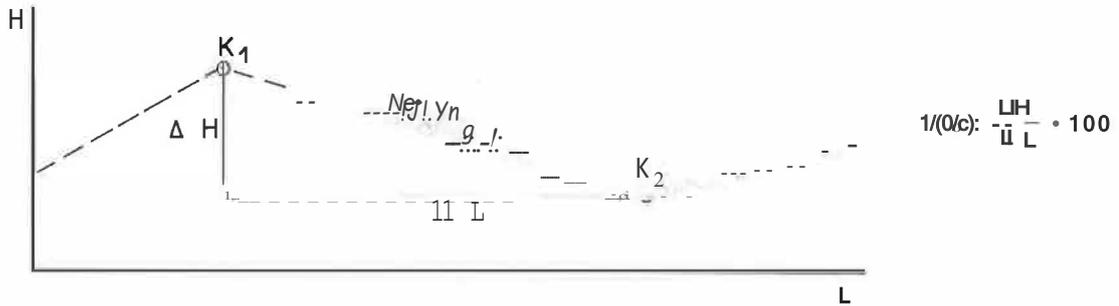
Darstellung 4: Stufe 3



S Projekthöhe
 T; Terrainhöhe } in Punkt P;
 6. h_1 Kotendifferenz

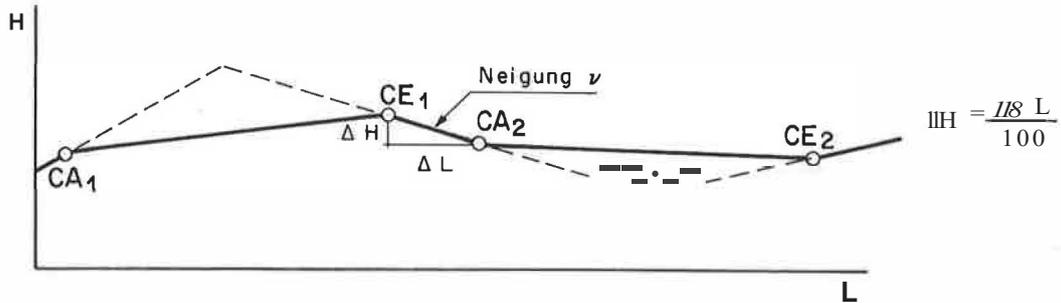
22 Formeln

Darstellung 5: Details der Längenprofilberechnung
 Stufe 1: Berechnung der Neigung zwischen zwei Knickpunkten

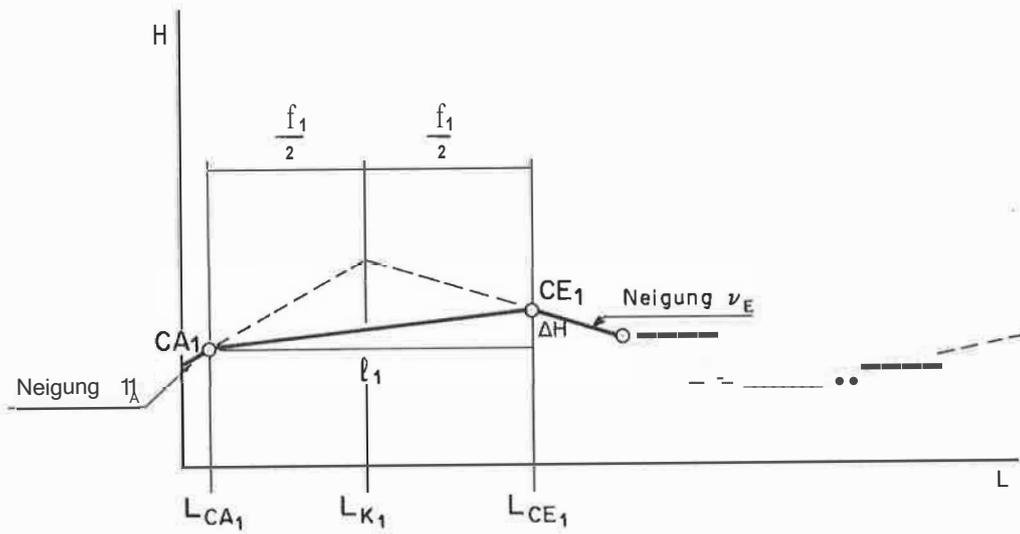


Stufe 2

- Berechnung der Höhendifferenz (ΔH) der Strecken mit konstanter Neigung zwischen CE₁ und CA₁+1



- Berechnung der Höhendifferenz (ΔH) der Ausrundungen zwischen CA₁ und CE₁



$$7m = \frac{11A + 1E}{2}$$

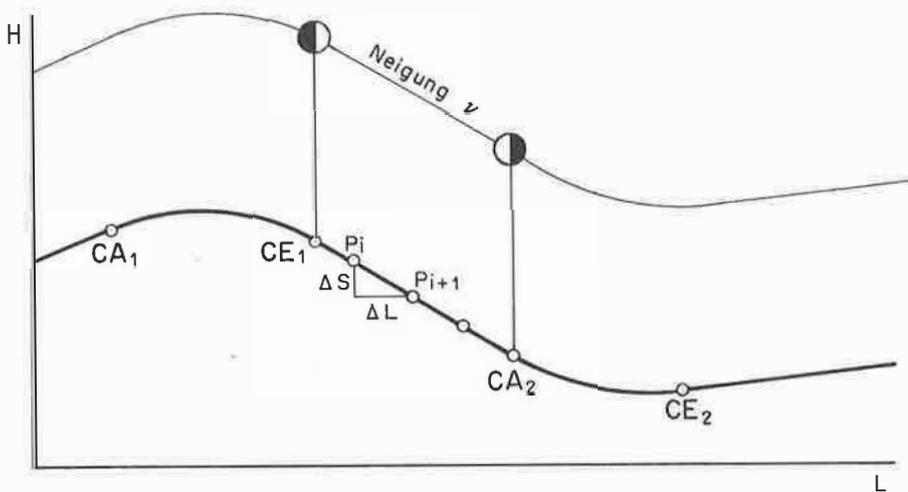
$$L_{CA} = L_K - 1/2$$

$$L_{CE} = L_K + 1/2$$

$$\Delta H = \frac{v_m \cdot l}{100}$$

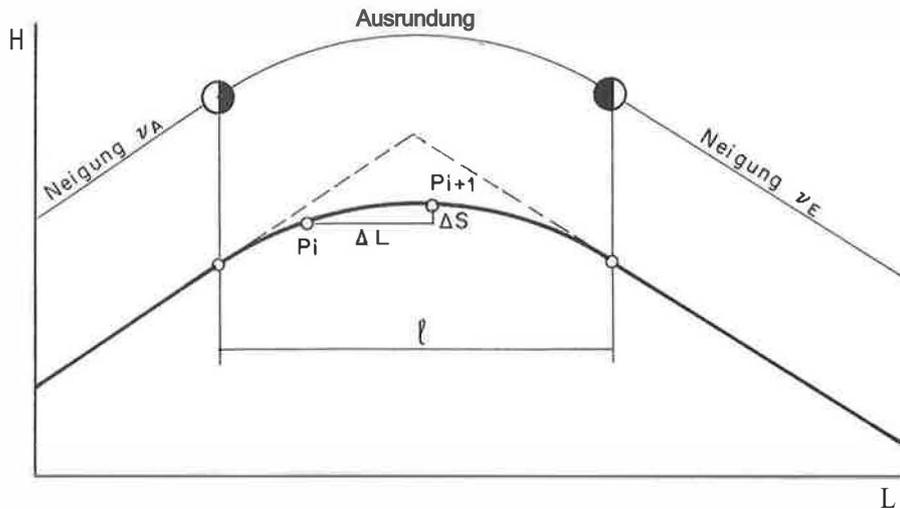
Stufe 3

- Berechnung der Höhendifferenz (ΔS) zwischen zwei Profilverpunkten auf Strecken mit konstanter Neigung



$$\Delta S = \frac{v \cdot 6 l}{100}$$

- Berechnung der Höhendifferenz (6.9) zwischen zwei Profilpunkten innerhalb der Ausrundung



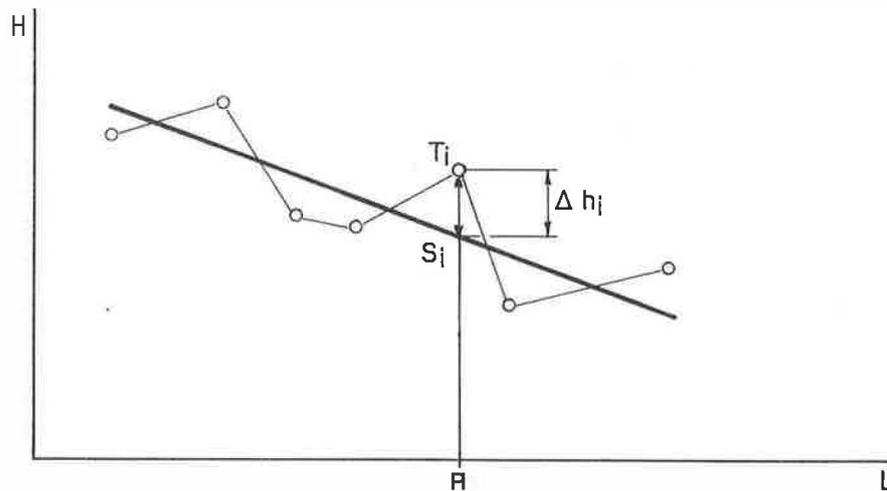
Krümmung $d = \frac{v_E - v_A}{l} = \text{konstant pro Ausrundung}$

Neigung im Punkt P_{i+1} : $v_{i+1} = v_A + \frac{\Delta L}{l} \cdot d$

$$h_m = \frac{v_A + v_{i+1}}{2}$$

$$\Delta S = \frac{h_m \cdot \Delta L}{100}$$

- Berechnung der Kotendifferenz (Δh) zwischen Projekt- und Terranhöhe



$\Delta h = S - T$
 + Damm
 - Einschnitt

2.3 Rechenkontrollen

Die Längenprofilberechnung wird mit folgenden Kontrollen überprüft:

- Höhenvergleich Stufe 1/ Stufe 2
 Die in der 2. Stufe erhaltenen Höhen werden verglichen mit den nach folgenden Formeln berechneten:

$$H_A = H_i - \frac{v_A \cdot l}{100 \cdot 2}$$

$$H_B = H_K + \frac{v_E \cdot l}{100 \cdot 2}$$

- Höhenvergleich Stufe 2/ Stufe 3
 Die in der Stufe 3 erhaltenen Projekthöhen der CA- und CE-Punkte werden mit den entsprechenden Werten aus der Stufe 2 verglichen. Für den Ausgleich von Rundungsdifferenzen sind die Höhen aus der Stufe 2 massgebend.
- Summenkontrollen
 Die verschiedenen Summenkontrollen sind im Beispiel, Ziffer 3 dargestellt.

Projektierung

Merkblätter über den Bau und Unterhalt von Wald- und Güterstrassen

**Detailprojektierung:
Massenberechnung, Massenprofil, Massendisposition**

Dieses Merkblatt enthält Angaben über Grundlagen und Arbeitsgänge der Massenberechnung, des Massenprofils und der Massendisposition

Inhalt:

- 1 Einleitung
 - 1.1 Zweck
 - 1.2 Begriffe und Arbeitsgänge
- 2 Massenberechnung
 - 2.1 Berechnung der Kubaturen
 - 2.1.1 Formel
 - 2.1.2 Flächenermittlung
 - 2.1.3 Massgebende Distanz zwischen zwei Profilen
 - 2.1.4 Massenverluste
 - 2.2 Verwendung des **Materials**
 - 2.3 Transportmassensummutation
 - 2.4 Beispiel
 - 2.5 Massenberechnung in **Abzweigungen**
- 3 Massenprofil
 - 3.1 Massenlinie
 - 3.2 Dispositionslinie
 - 3.3 Auswertung des Massenprofils
 - 3.3.1 Transportrichtung
 - 3.3.2 Massenausgleich
 - 3.3.3 Deponie und Seitenentnahme
 - 3.3.4 Spezialfälle
 - 3.3.5 Aufteilung nach Grenztransportdistanzen
- 4 Massendisposition

1.2 Begriffe und Arbeitsgänge

Zur Ermittlung der erwähnten Werte sind folgende Arbeitsgänge nötig:

Massenberechnung:

Nach Abtrag und Auftrag getrennte Berechnung der zu bewegenden Massen, Aufteilung in «an Ort und Stelle zu verwendende Masse» und in «zu transportierende Masse», fortlaufende Summierung der zu transportierenden Massen.

Massenprofil:

Graphische Darstellung der laufenden Transportmassensummutation in Funktion der Länge, Einzeichnen der Dispositionslinie und Aufteilen der Transporte nach Grenztransportdistanzen.

Massendisposition:

Tabellarische Zusammenstellung der Ergebnisse aus Massenberechnung und Massenprofil.

2 Massenberechnung

2.1 Berechnung der Kubaturen

Für die Massenberechnung wird das Formular gemäss Ziffer 2.4 verwendet, weil die sich ständig wiederholenden Rechenoperationen so übersichtlich dargestellt werden können.

2.1.1 Formel

Die Kubaturen des Abtrags und Auftrags zwischen je zwei aufeinanderfolgenden Querprofilen werden nach folgender Näherungsformel berechnet:

$$V = \frac{F_i + F_{i+1}}{2} \cdot \Delta L$$

V = Volumen (Abtrag bzw. Auftrag)

F = Abtrags- bzw. Auftragsfläche

ΔL = Distanz zwischen F_i und F_{i+1}

Diese Berechnung erfolgt in Kolonne 2-8 des Formulars.

2.1.2 Flächenermittlung

Abtrag und Auftrag treten im Querprofil als Flächen in Erscheinung.

1 Einleitung

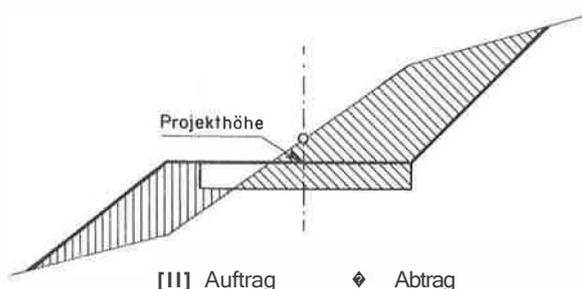
1.1 Zweck

Die Berechnungen und Darstellungen liefern folgende Angaben:

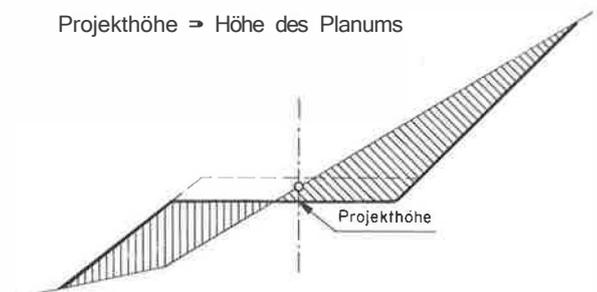
- Abtrags- und Auftragskubaturen
- Kubatur der zu transportierenden Massen
- Disposition bezüglich Transportmassen, Seitenentnahmen, Deponien
- Aufteilung der Transportmassen nach Grenztransportdistanzen

Abbildung 1: Abtrags- und Auftragsflächen

Projekthöhe = Höhe der Fahrbahn



Projekthöhe \Rightarrow Höhe des Planums



Erfolgt vorgängig der eigentlichen Erdarbeiten ein Abtrag von Humus- oder Torfschichten, so sind für die Massenberechnung die in Abbildung 2 schraffierten Flächen massgebend.

Die Kubatur des Humusabtrages wird separat ermittelt.

Wo mit anstehendem Fels zu rechnen ist, ist nach Möglichkeit der Felsverlauf zu ermitteln (ev. Sondierungen) und in die Querprofile einzutragen. Für die Massenberechnung ist die gesamte Abtragsfläche zu berücksichtigen. Die Berechnung der Felskubatur erfolgt gesondert.

Es bestehen zwei Möglichkeiten:

- gemäss Formel Ziffer 2.1.1 (wenn Felsverlauf sondiert)
- Schätzung des Felsanteiles in % des Abtrages

Die Flächenermittlung (normalerweise auf 1/10 m² genau) kann auf verschiedene Arten erfolgen:

- mit Stechzirkel (Abb. 4); Aufteilung der Abtrags- bzw. Auftragsflächen in 1 m breite, vertikale Streifen; Aufsummieren der mittleren Höhen dieser Streifen (im Massstab 1:100 entspricht die Summe der Höhen in cm der Fläche in m²).
- mit Punktraster
- mit Planimeter

Abbildung 2: Humusabtrag

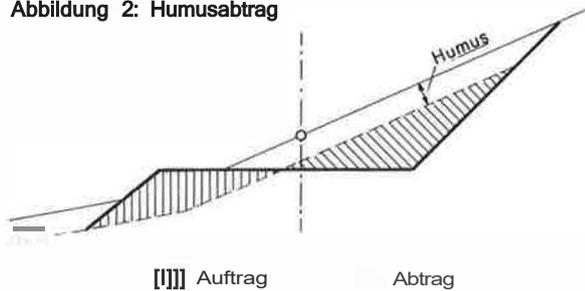


Abbildung 3: Felsabtrag

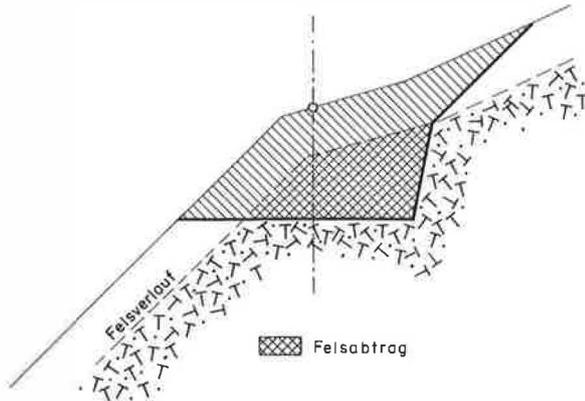
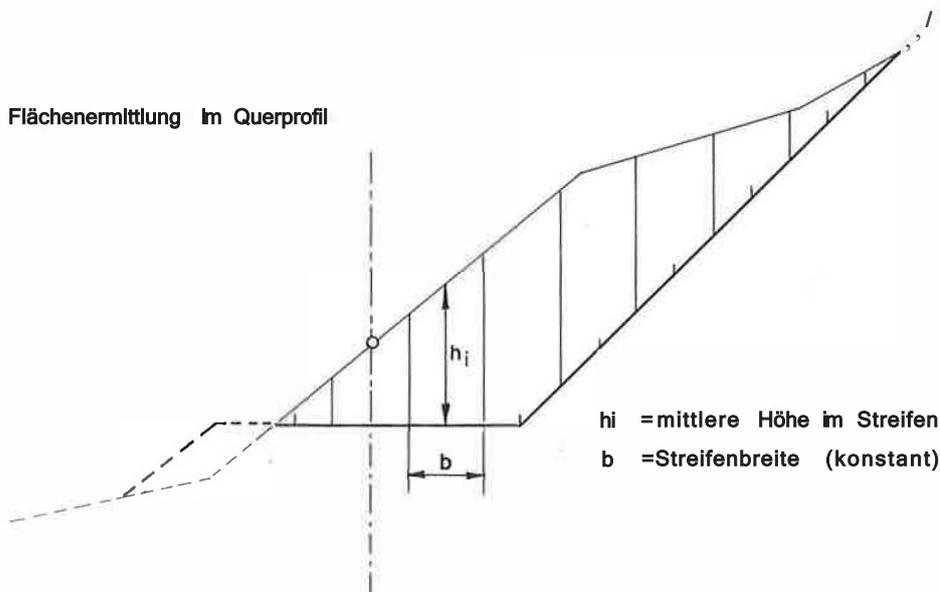


Abbildung 4: Flächenermittlung im Querprofil



h_i = mittlere Höhe im Streifen
 b = Streifenbreite (konstant)

2.1.3 Massgebende Distanz zwischen 2 Profilen

Ueblicherweise wird als Distanz zwischen 2 Profilen der Achsweg L verwendet. In engen Kurven ist allenfalls anstatt des Achsweges der mittlere Schwerpunktsweg D , L' einzusetzen.

2.1.4 Massenverluste

Bei den Bauarbeiten ist stets mit Massenverlusten (Stöcke, abrollendes Material usw.) zu rechnen. Daher wird auf Grund von Erfahrungszahlen bei der Berechnung des Auftrags ein Zuschlag von 20 bis 40% gemacht (Faktor = 1.2 bis 1.4). Dieser Zuschlag kann in Kolonne 3 oder 8 des Formulars erfolgen.

$$\text{Abtragskubatur } V_{ab} = \frac{F_i + F_{i+1}}{2} \cdot \Delta L$$

$$\text{Auftragskubatur } V_{auf} = \frac{F_i + F_{i+1}}{2} \cdot \Delta L \cdot k$$

2.2 Verwendung des Materials

Aus der Ab- und Auftragskubatur zwischen 2 aufeinanderfolgenden Profilen werden bestimmt (Kolonne $\diamond 11$ des Formulars):

- das an Ort und Stelle zu verwendende Material; entspricht der kleineren der beiden Kubaturen.
- das zu transportierende Material; entspricht der Differenz Abtrag minus Auftrag, unterschieden nach dem Vorzeichen:
 EB Abtrag mit Transport
 E Auftrag mit Transport

2.3 Transportmassensummen

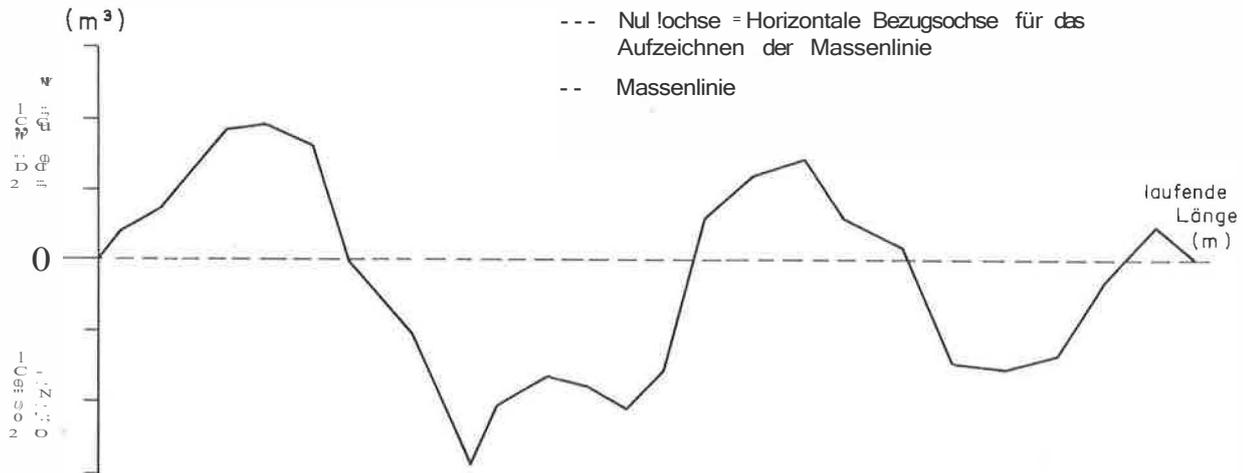
In Kolonne 12 wird die laufende Summation der Kolonnen 10 und 11 eingetragen, wobei Abtrag mit Transport positiv, Auftrag mit Transport negativ zu rechnen ist.

2.5 Massenberechnung in Abzweigungen

In Abzweigungen muss vermieden werden, dass Masse doppelt bzw. nicht erfasst wird. Zu diesem Zweck sind Haupt- und Seitenast durch eine vertikale Trennebene aufzuteilen. Für beide Äste ist die Masse getrennt zu berechnen.

Abbildung 5: Massenlinie

Transportmassensumme in m^3



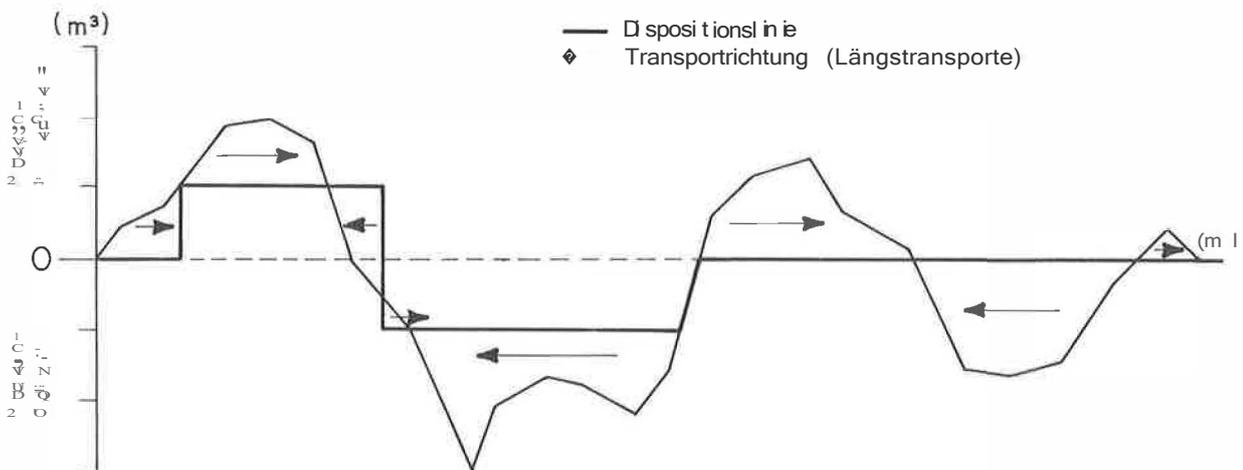
3.2 Dispositionslinie

Die Dispositionslinie ist die Linie, durch welche Transportmengen und -richtung, Deponien, Seitenentnahmen usw. festgelegt werden. Sie veranschaulicht die nach verschiedenen Kriterien gefassten Entscheidungen des Projektbearbeiters.

— Bei einfachen Verhältnissen fällt in der Regel die Dispositionslinie mit der Nullachse zusammen.

- Um grosse Massenüberschüsse bzw. -mankos und lange Transportdistanzen zu vermeiden, kann bei schwierigen Verhältnissen die Dispositionslinie von der Nullachse abweichen. Ansteigen der Dispositionslinie bedeutet Deponie oder anderweitige Verwendung des abgetragenen Materials; fallen bedeutet Seitenentnahme oder anderweitige Gewinnung von Schüttungsmaterial.
- In Anfangs- und Endpunkt des Projektes müssen Dispositions- und Massenlinie zusammenfallen.

Abbildung 6: Dispositionslinie und Transportrichtung



3.3 Auswertung des Massenprofils

Für die Beurteilung der Massenlinie und das Einlegen der Dispositionslinie (siehe Ziffer 3.2) sind folgende Kriterien in Betracht zu ziehen:

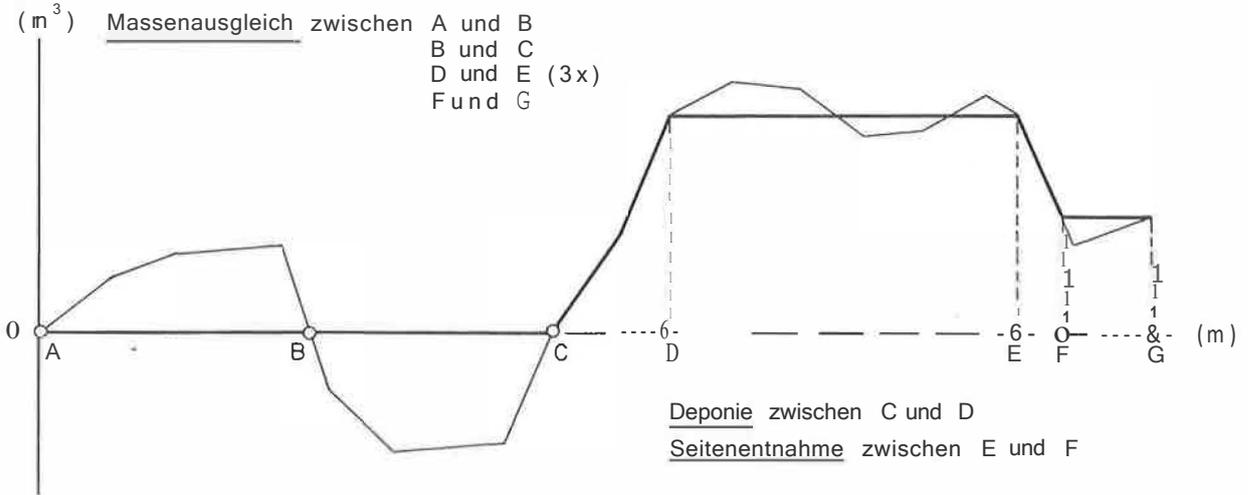
- Gelände- und Bodenverhältnisse
- Sicherheit von Böschungen und Aufschüttungen
- Mögliche Deponie- und Seitenentnahmestellen
- Materialgewinnung (Oberbau, Kunstbauten, Entwässerungen usw.)
- Kostenvergleich
 - Abtragskosten
 - Transportkosten
 - Kosten für Kunstbauten
- Schonung des Waldbestandes und der Landschaft

3.3.1 Transporthichtung

Die Transporte führen von der Stelle, wo Material anfällt zu der Stelle, wo Material benötigt wird (Abbildung 6). Demgemäss geht die Transporthichtung

- vom Abschnitt mit steigender zum Abschnitt mit fallender Massenlinie (bei horizontal verlaufender Dispositionslinie)
- vom Abschnitt mit steigender Massenlinie zur Deponie (steigende Dispositionslinie)
- von der Seitenentnahme (fallende Dispositionslinie) zum Abschnitt mit fallender Massenlinie.

Abbildung 7: Massenausgleich



3.3.3 Deponie und Seitenentnahme

Deponie ist seitliche Ablagerung von überschüssigem Abtragsmaterial; Seitenentnahme ist seitliche Gewinnung von zusätzlich benötigtem Auftragsmaterial.

Deponie und Seitenentnahme sind in den Querprofilen nicht dargestellt und werden somit in der Massenberechnung nicht erfasst. Ihre Darstellung erfolgt mit der Dispositionslinie im Massenprofil.

Abbildung 8: Darstellung von Deponien

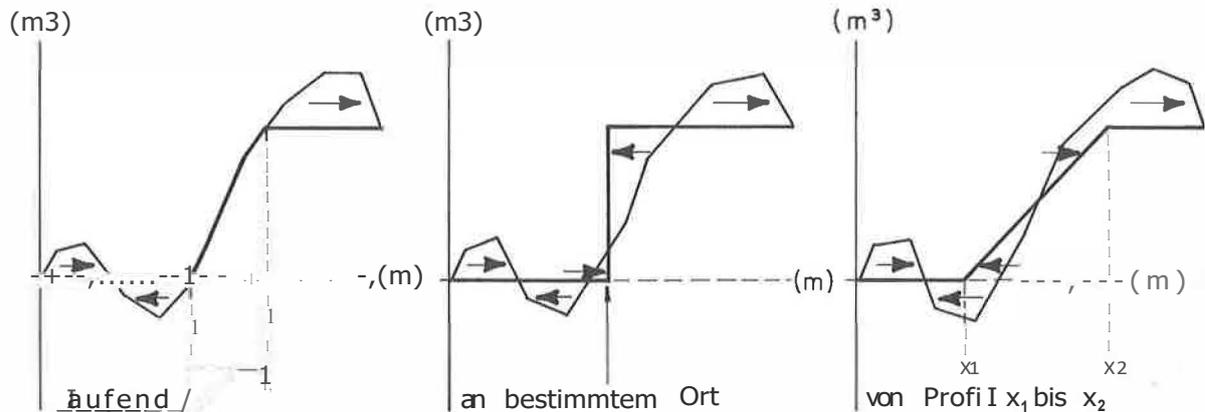
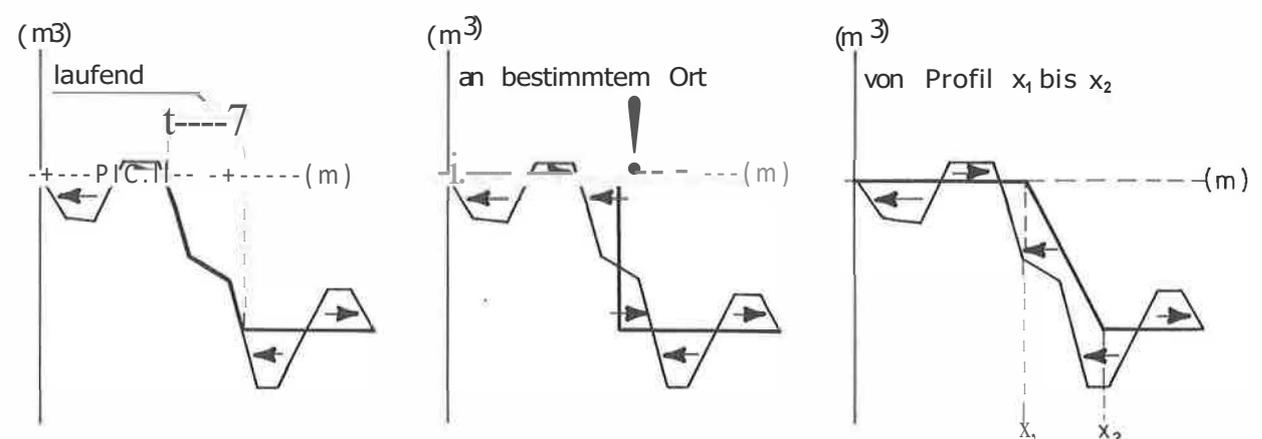


Abbildung 9: Darstellung von Seitenentnahmen



3.3.4 Spezialfälle

Neben Deponie und Seitenentnahme können weitere Verwendungs- bzw. Gewinnungsmöglichkeiten vorkommen:

- Die Verwendung von Abtragsmaterial für andere Zwecke im Projekt (z. B. Oberbau, Kunstbauten); wird im Massenprofil dargestellt wie eine laufende Deponie.
- Der Abtransport von Abtragsmaterial für andere Projekte oder auf Deponien ausserhalb des Projektes; wird im Massenprofil dargestellt wie eine laufende Deponie.
- Der Antransport von Auftragsmaterial von anderen Baustellen (Aushubmaterial usw.); wird im Massenprofil dargestellt wie eine laufende Seitenentnahme.

Diese Sonderfälle sind durch entsprechende Hinweise (Zweck, Transportdistanz usw.) zu ergänzen.

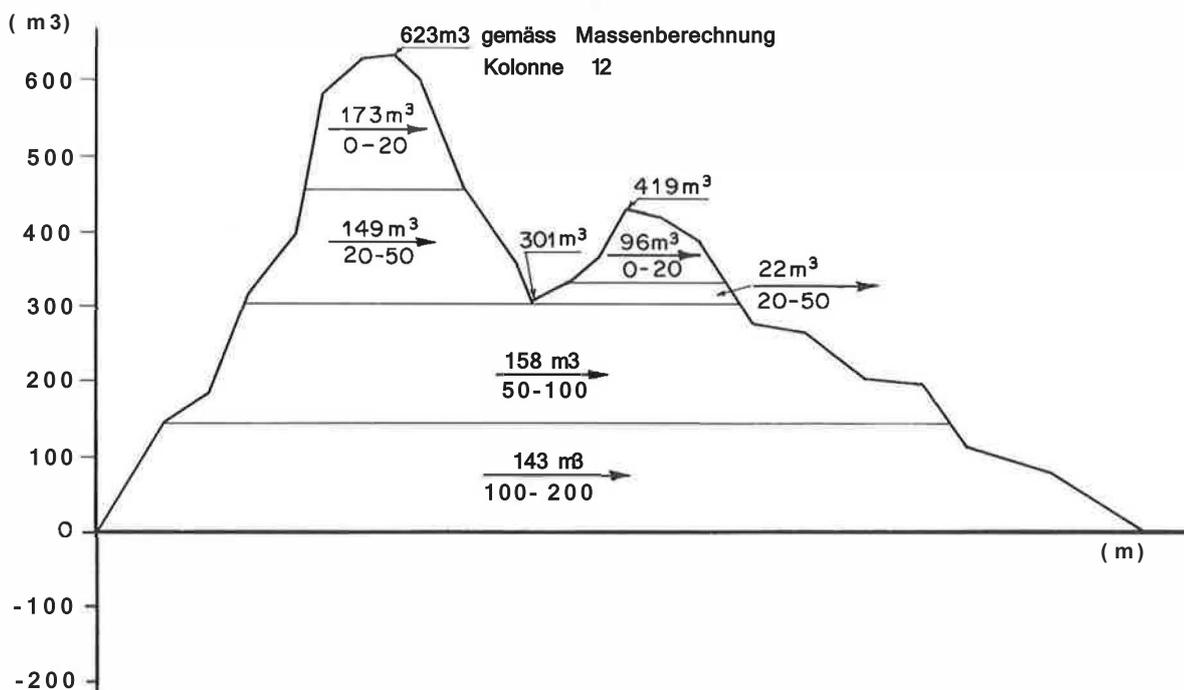
3.3.5 Aufteilung nach Grenztransportdistanzen

Ueblicherweise werden Längstransporte nach folgenden Grenztransportdistanzen unterteilt:

0-20 m	1	20-50 m	1	50-100 m	1	100-200 m	1	über 200 m	1
--------	---	---------	---	----------	---	-----------	---	------------	---

Am nachstehenden Beispiel ist die Aufteilung nach Grenztransportdistanzen dargestellt.

Abbildung 10: Aufteilung nach Grenztransportdistanzen



4. Massendisposition

Massenberechnung und Massenprofil mit Dispositionslinie liefern die Angaben zur tabellarischen Zusammenstellung über Gewinnung und Verwendung des Materials.

Die Massendisposition dient als Kontrolle und ist Unterlage für die Erstellung von Kostenvoranschlag und Offertformular.

Projekt;

Massendisposition

Gewinnung des Materials			Verwendung des Materials														
Abtrag gemäss Massenbe- rechnung	Seiten- entnahmen	ander- weitige Gewinnung	Auftrag							Deponien					anderw. Verwendung		
			an Ort und Stelle gemäss Massenbe- rechnung	Auftrag mit Transport						Transportdistanz							
				aus Abtrag und Seitenentnahmen						andw. Mat.	0-20m	20-50m	50-100m				
				0-20m	20-50m	50-100m			ca. — m								
m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
Total																	
Kontrolle			L 1 + L 2 + L 3 =	L 4 + L 5 + 6 + 7 + 8 + 9 + 10 | +	L (11 + 12 + 13 + 14 + 15 | + L (16 + 17)												
			L 1 bis 3	L 4 bis 17													

Unterbau

Merkblätter über den Bau und Unterhalt von Wald- und Güterstrassen

Unterbau: Begriffe

Dieses Merkblatt umschreibt Begriffe und Aufgaben des Unterbaues

1 Begriffe

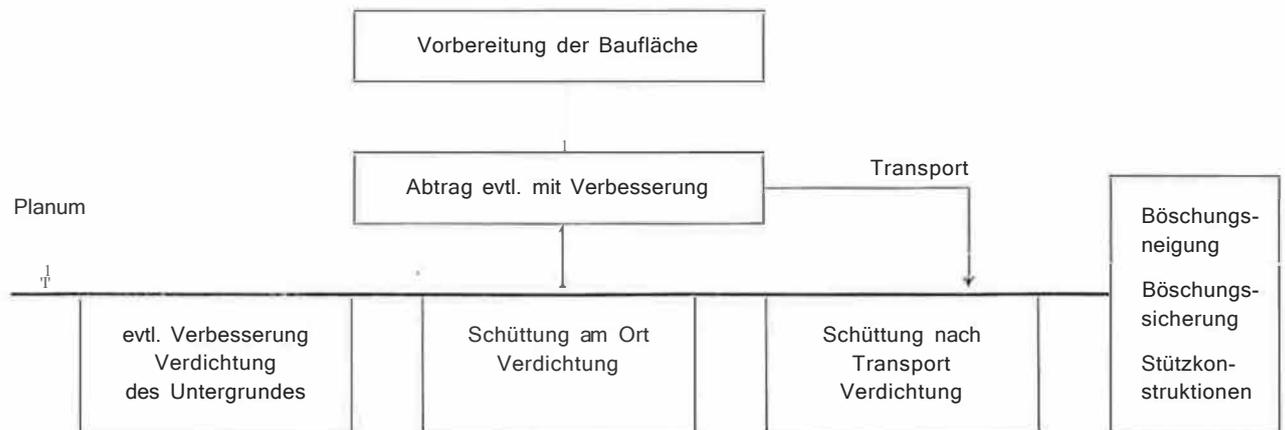
Der Begriff **Unterbau** hat zwei Bedeutungen:

1.1 Unterbau als Bezeichnung von Arbeitsgängen

Der Unterbau umfasst alle Arbeiten zur Herstellung des Planums, der Böschungen und Stützkonstruktionen. Dazu gehören:

- Vorbereitung der Baufläche (Merkblatt Nr. 215 ff)
- Erd- und Felsbau (Merkblatt Nr. 220 ff)
- Ausbildung und Sicherung der Böschungen (Merkblatt Nr. 230 ff)
- Stützkonstruktionen (Merkblatt Nr. 240 ff)

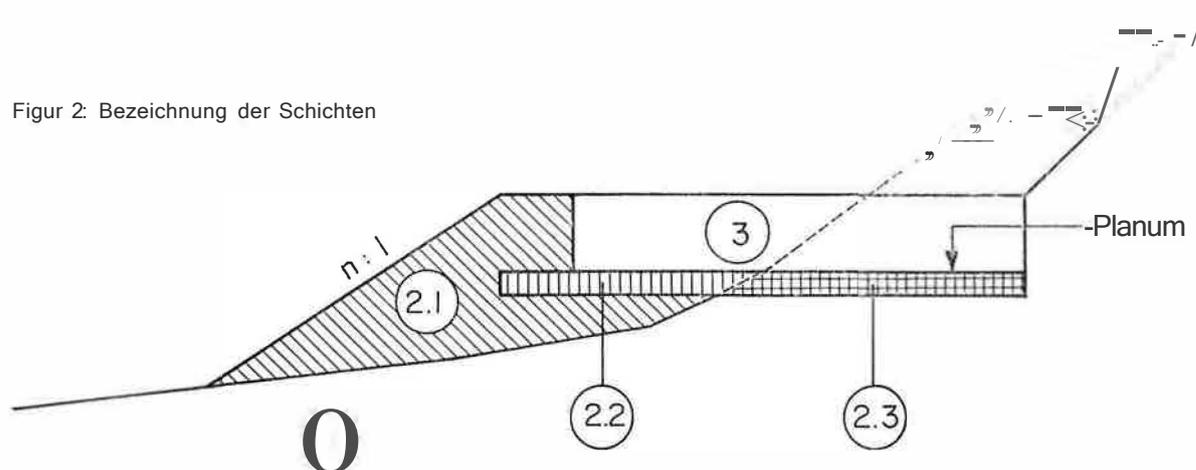
Figur 1: Schematische Darstellung der Arbeiten des Unterbaues

**1.2 Unterbau als Bezeichnung von Schichten im Vertikalaufbau**

Der Unterbau umfasst die Gesamtheit der Schichten zwischen Untergrund und Planum bzw. Oberbaul (Figur 2). Dazu gehören Dammschüttung und verbesser-

ter Untergrund (Verdichtung, Stabilisierung). Im reinen Einschnittsprofil kann der Unterbau fehlen; der Untergrund übernimmt seine Aufgaben.

Figur 2: Bezeichnung der Schichten



- | | | |
|---|------------|---|
| 1 | Untergrund | gewachsener Boden |
| 2 | Unterbau | 2.1 Dammschüttung
2.2 stabilisierte Dammschüttung
2.3 stabilisierter Untergrund |
| 3 | Oberbau | |

1.21 Untergrund

Als Untergrund wird das anstehende locker- oder Festgestein (gewachsener Boden oder anstehender Fels) bezeichnet, welches als Foundation für den Unterbau wirkt.

Strasse, welcher durch den Bauvorgang oder durch bauliche Massnahmen (Befahren mit Baumaschinen, Seitenentnahme zur Baustoffgewinnung, Entwässerung etc.) beansprucht wird.

1.22 Baugrund

Der Baugrund umfasst den Untergrund und den Boden oder Fels der weiteren Umgebung der

1.23 Planum

Als Planum wird die Fläche des Unterbaues bzw. des Untergrundes bezeichnet, auf welche die Schichten des Oberbaues folgen.

2 Aufgabe des Unterbaues

Der Unterbau bildet die Foundation für die Schichten des Oberbaues. Er muss die Beanspruchungen, die beim Einbringen und Verdichten des Oberbaues und durch

den Verkehr entstehen, schadlos übernehmen. Dazu werden an den Unterbau minimale Anforderungen gestellt, welche im Merkblatt Nr. 205 umschrieben sind.

Unterbau

Merkblätter über den Bau und Unterhalt von Wald- und Güterstrassen

**Anforderungen an den Unterbau
und Bestimmung des Tragfähigkeitswertes**

Dieses Merkblatt beschreibt die Anforderungen an den Unterbau und die Bestimmung des Tragfähigkeitswertes, der für die Dimensionierung des Oberbaues massgebend ist

1 Einleitung

An den Unterbau und an das Planum werden die folgenden Anforderungen gestellt:

- Einhaltung der Projektkoten
- Minimale Tragfähigkeit für die **Erstellung** des Oberbaues
- Gleichmässige Tragfähigkeit im Quer- und Längsprofil für die **Dimensionierung** des Oberbaues

2 Anforderung an die Genauigkeit der Bauausführung

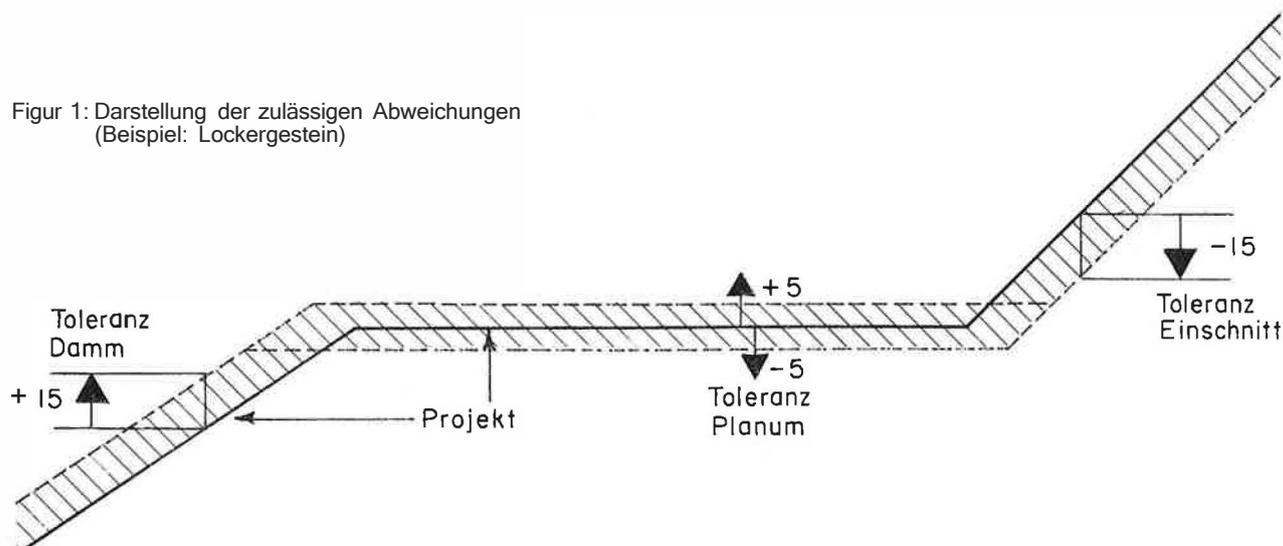
Tabelle 1: Zulässige Abweichungen von den Projektkoten

Ort	maximale Abweichung von der Projektkote		maximale Abweichung unter der 4-m-Latte (senkrecht zur Latte)
	Lockergestein	Fels	
Planum	± 5 cm	± 10 cm	5 cm
Einschnittsböschung	- 15 cm	(*)	20 cm
Dammböschung	+ 15 cm	-	20 cm

(*) Die Toleranz ist je nach Gesteinsart und Böschungsneigung durch die Bauleitung festzulegen. Auf keinen Fall darf die Profilbreite unterschritten werden.

Beim Vorliegen von ausserordentlichen Verhältnissen können diese Toleranzen durch die Bauleitung geändert werden.

Figur 1: Darstellung der zulässigen Abweichungen (Beispiel: Lockergestein)



3 Anforderung an die Tragfähigkeit für die Bauausführung

An das Planum wird für die Dauer des Bauvorganges eine bestimmte minimale Tragfähigkeitsanforderung gestellt, damit die Schichten des Oberbaues eingebracht und verdichtet werden können. Die Minimalwerte liegen bei:

CBR-Wert \geq 5%
 ME -Wert \geq 100 kg/cm²

Werden diese Werte unterschritten, so ist es nicht möglich die Schichten des Oberbaues genügend zu verdichten. In diesem Fall muss die Tragfähigkeit des Untergrundes bzw. Unterbaues durch eine der folgenden Massnahmen erhöht werden:

- Austrocknen und Verdichten des Untergrundes bzw. Unterbaues
- Stabilisieren der obersten Schicht des Untergrundes bzw. Unterbaues
- Ersatz von ungenügend tragfähigem Material

4 Anforderung an die Gleichmässigkeit der Tragfähigkeit für die Dimensionierung des Oberbaues

Die Tragfähigkeit des Unterbaues bzw. Untergrundes, gemessen als CBR-Wert oder ME-Wert, sollte in der Längs- und Querrichtung möglichst gleichmässig sein.

Die Gleichmässigkeit kann durch die Messung der Einsenkungstiefe der Räder eines Fahrzeuges (z.B.: Dum-

per, Traktor, Lastwagen) festgestellt werden (proof-rolling). Die Bestimmung der Tragfähigkeit (CBR-, ME-Wert) bei verschiedenen Spurtiefen ergibt die Streuung der Tragfähigkeit.

Sind die Abweichungen vom Mittel des Tragfähigkeitswertes grösser als 50%, so ist die Gleichmässigkeit durch eine der folgenden Massnahmen anzustreben:

- Stabilisierung der obersten Schicht des Untergrundes, bzw. Unterbaues
- Materialersatz an schwach tragfähigen Stellen.

Ist die Gleichmässigkeit nicht zu erreichen, so muss die ungleichmässige Tragfähigkeit in der Dimensionierung des Oberbaues berücksichtigt werden.

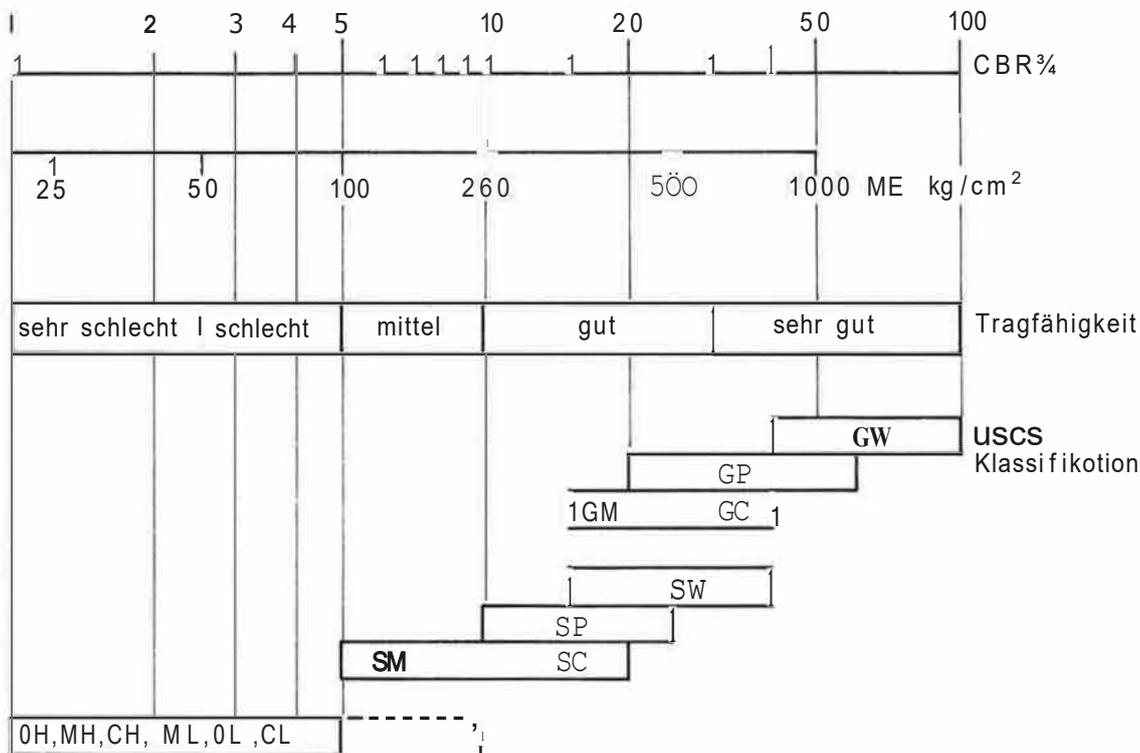
5 Massgebender Tragfähigkeitswert für die Dimensionierung des Oberbaues

Für die Dimensionierung des Oberbaues ist die Tragfähigkeit des Unterbaues bzw. Untergrundes bei Wassersättigung massgebend.

Die Tragfähigkeit kann mit folgenden Methoden bestimmt werden:

- direkte Messung im Felde (CBR-Wert, ME-Wert: Merkblatt Nr. 414 und Nr. 413)
- Laboruntersuchung (CBR-Wert)
- Schätzung auf Grund der Bodenklassifikation (Merkblatt Nr. 410) gemäss Figur 2

Figur 2: Massgebender Tragfähigkeitswert



Unterbau

Merkblätter über den Bau und Unterhalt von Wald- und Güterstrassen

Planung des Unterbaues

Dieses Merkblatt enthält Angaben zur Planung und Ausführung des Unterbaues

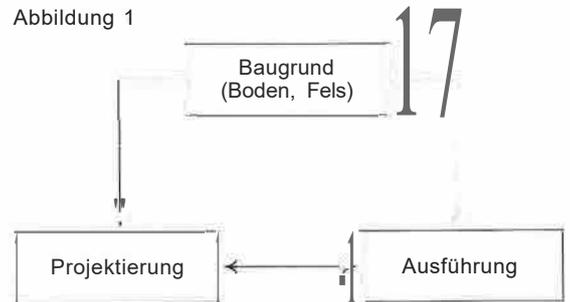
1 Ziel und Grundlagen der Planung

Das Ziel besteht in der technisch richtigen Ausführung des Unterbaues, namentlich

- in der Wahl einer geeigneten Geometrie rier Strasse: Linienführung, Gradiente, Normalprofile usw.
- in der Maschinenwahl, im Maschineneinsatz und Arbeitsverfahren
- in der Auswahl geeigneter Materialien
- in der Verbesserung ungeeigneter Materialien

Für die Planung des Unterbaues sind die Baugrundeigenschaften entscheidend. Sie beeinflussen grundlegend die Projektierung und Ausführung (Abbildung 1).

Abbildung 1

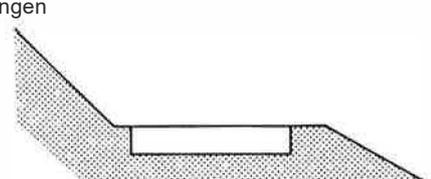
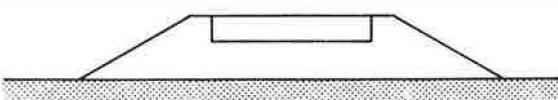
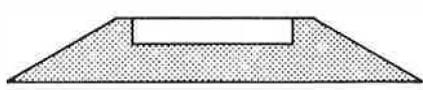
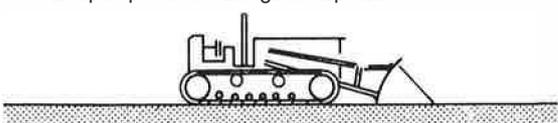


2 Baugrundeigenschaften

Der Baugrund - als Lockergestein oder Fels - erfüllt im Unterbau mehrere Funktionen. Die für die entspre-

chende Funktion wichtigen Baugrundeigenschaften sind in Abb. 2 dargestellt:

Abbildung 2

Funktionen des Baugrundes als:	massgebende Baugrundeigenschaften
Fundation des Oberbaues und Ausbildung der Böschungen 	<ul style="list-style-type: none"> - Scherfestigkeit - Verbesserungsmöglichkeit (Planum) - Erosionsfestigkeit
Fundation für die Unterbauschichten 	<ul style="list-style-type: none"> - Scherfestigkeit - Setzungseigenschaften
Baustoff für Dammschüttungen 	<ul style="list-style-type: none"> - Bearbeitbarkeit - Verdichtbarkeit - Verbesserungsmöglichkeit - Scherfestigkeit - Erosionsfestigkeit
Arbeitsplatz für Baumaschinen Transportpiste für Längstransporte 	<ul style="list-style-type: none"> - Befahrbarkeit

2.1 Festgestein (Fels)

Festgesteine sind in bezug auf die Funktionen des Baugrundes problemlos. Der Abtrag ist aber wegen der hohen Festigkeit erschwert und beeinflusst deshalb den Maschineneinsatz (Rippern, Sprengen) und den zeitlichen Arbeitsablauf.

2.2 Lockergestein (Boden)

Die Eigenschaften der Lockergesteine sind von der Kornzusammensetzung abhängig, was in der Abbildung 3 schematisch dargestellt ist.

Abbildung 3

Bodeneigenschaften		Ton < 0,002 mm	Sill 0,002-0,06 mm	Sand 0,06-2 mm	Kies 2-60 mm
Scherfestigkeit	Kohäsion	←	—	—	—
	Reibung	—	—	—	→
Wasserempfindlichkeit		—	→	—	—
Frostempfindlichkeit		—	→ ←	—	—
Erosionsempfindlichkeit		—	→ ←	—	—
Setzungsempfindlichkeit		←	—	—	—

Die Bestimmung dieser Eigenschaften auf Grund der Klassifikation (Merkblatt Nr. 410) und die entsprechenden Folgerungen für den Unterbau sind in den Merkblättern Nr. 220 ff. (Erd- und Felsbau), Nr. 230 ff. (Böschungen) und Nr. 240 ff. (Stützkonstruktionen) angegeben.

- Ausscheidung von locker- und Festgestein
- Klassifikation der Böden im Felde und im Labor
- Bestimmung der Bodenkennziffern
- direkte Messung von Bodeneigenschaften im Felde und im Labor

3 Baugrunduntersuchungen für den Unterbau

Für die Planung des Unterbaues ist eine Baugrundbeurteilung notwendig. Erste Angaben über die Baugrund- und Stabilitätsverhältnisse ergeben sich auf Grund der Erfahrung, geologischer, geotechnischer und bodenkundlicher Karten und Beschreibungen und durch die Betrachtung ingenieurbioologischer Gegebenheiten (z. B. standortskennzeichnende Pflanzen, Wuchsform der Bäume etc.).

Gezielte Untersuchungen und Beurteilungen erfolgen anhand von Sondierschlitz und Bohrungen durch:

In einfachen Verhältnissen genügt in der Regel die Klassifikation der Böden, d. h. ihre Zuordnung zu bestimmten Verhaltensklassen. Bei bautechnisch schwierigen Verhältnissen sind weitere Untersuchungen im Feld und im Labor notwendig.

4 Planung des Unterbaues

Die Planung des Unterbaues besteht in der Anpassung aller Elemente und Arbeitsvorgänge an die Eigenschaften des Baugrundes. Sie kann nach folgendem Schema (Abbildung 4) durchgeführt werden:

Abbildung 4

Elemente der Planung	Planungsarbeit
SITUATION LÄNGENPROFIL	<ul style="list-style-type: none"> - Vermeidung von instabilem und schwach tragfähigem Baugrund, Rutschgebiete, Torfe, Moore, weiche Tone usw. - Vermeidung grosser Einschnitte in instabilen Gebieten und weichen Tonen - Vermeidung hoher Dämme auf rutschgefährdeter, setzungsempfindlicher und weicher Fundation
BÖSCHUNGEN	<ul style="list-style-type: none"> - Bestimmung sicherer Böschungsneigungen - Festlegen von Böschungssicherungen und Stützkonstruktionen - Massnahmen für den Erosionsschutz
DAMMSCHÜTTUNG	<ul style="list-style-type: none"> - Beurteilen des anstehenden Materials - Verbesserung von ungeeignetem Material - Bestimmung der optimalen Verdichtungswerte - Wahl wirksamer Verdichtungsgeräte
MASSENBERECHNUNG	<ul style="list-style-type: none"> - Ausmass Lockergestein - Fels - Bestimmung des Ausmasses von geeignetem, verbesserbarem und ungeeignetem Schüttmaterial (eventuell Oberbaumaterial)
MASCHINENEINSATZ	<ul style="list-style-type: none"> - Wahl der Maschinen unter Berücksichtigung: <ul style="list-style-type: none"> - der Bearbeitbarkeit und Befahrbarkeit des Baugrundes - der Projektgrundlagen (Massenprofil, Massendispositionen, Querprofile) - Wahl von Spezialbauweisen bei nicht befahrbarem Baugrund
PLANUM	<ul style="list-style-type: none"> - Festlegen der Anforderungen an das Planum - Bestimmung des massgebenden Tragfähigkeitswertes für die Dimensionierung des Oberbaues - Untersuchung über die Notwendigkeit und Art der Stabilisierung

Unterbau

Merkblätter über den Bau und Unterhalt von Wald- und Güterstrassen

Erdbau: Begriffe und Grundlagen

Dieses Merkblatt definiert den Erd- und Felsbau
und enthält Grundlagen für die Ausführung

1 Definition

Die Arbeiten im Lockergestein (Boden) werden als Erdbau bezeichnet. Er umfasst Abtrag, allfällige Verbesserung, Transport, Schüttung und Verdichtung von Lockergestein (Merkblatt Nr. 221 ff.).

Die Arbeiten im Festgestein (Fels) werden als Felsbau bezeichnet. Er umfasst die Auflockerung von Festgestein durch Rippern oder Sprengen (Merkblatt Nr. 250 ff.).

2 Funktionen des Baugrundes im Erdbau

Im Erdbau hat der Baugrund folgende Funktionen:

- als Arbeitsplanum für Baumaschinen und als Transportpiste für den Längstransport
- als Baustoff für Dammschüttungen

3 Eignung der Böden als Arbeitsplanum und Transportpiste

Die Befahrbarkeit eines Bodens wird durch folgende Faktoren bestimmt:

- **Tragfähigkeit**, d. h. die Fähigkeit, ohne unzulässige Spurbildung eine Anzahl Lastwiederholungen zu tragen
- **Schlüpfriegkeit**, d. h. Verlust der Scherfestigkeit in der obersten Schicht durch Wasseranreicherung (Schmierschicht), so dass die Räder oder Raupen durchdrehen
- **Klebrigkeit**, d. h. die Fähigkeit des Bodens an den Fahrwerken zu kleben, so dass der Fahrwiderstand vergrössert und die Steuerung behindert wird

Tabelle 1: Befahrbarkeit der Böden

USCS-Klassifikation	Wassergehalt	Tragfähigkeit	Schlüpfriegkeit	Klebrigkeit	Befahrbarkeit	Bemerkungen
GW,GP SW,SP	trocken und nass	sehr gross	keine	keine	sehr gut	Unabhängig vom Wassergehalt, jederzeit mit Pneu- und Raupenfahrzeug befahrbar
GC,SC CL, CH	trocken	gross	schwach	schwach	gut	Bei Niederschlägen langsamer Uebergang von guter zu schlechter Befahrbarkeit
	nass	klein	sehr stark	sehr stark	schwierig bis unmöglich	
GM,SM ML, MH OL, OH	trocken	gross	schwach	schwach	gut	Bei Niederschlägen schlagartiger Uebergang von guter zu schlechter Befahrbarkeit
	nass	klein	mittel	schwach	schwierig bis unmöglich	

4 Eignung der Böden als Baustoff

Die Eignung eines Bodens als Baustoff hängt von seiner Bearbeitbarkeit und Verdichtbarkeit ab.

4.1 Bearbeitbarkeit

Die Bearbeitbarkeit eines Bodens umfasst die Eignung für die folgenden Arbeitsgänge: Abtrag, Durchmi-

schung, Schüttung und Planie. Sie beeinflusst die Arbeitsleistung der Erdbaugeräte. Grobkörnige Böden sind in der Regel gut bearbeitbar. Die Bearbeitbarkeit der feinkörnigen Böden ist abhängig von den Plastizitätseigenschaften und vom Wassergehalt. Die beste Bearbeitbarkeit wird im Bereich des optimalen Verdichtungswassergehaltes (Merkblatt Nr. 412) erreicht, d. h. bei den bindigen Böden im Bereich der Ausrollgrenze (Merkblatt Nr. 408).

Tabelle 2: Bearbeitbarkeit der Böden

USCS-Klassifikation	geotechnische Bezeichnung	Wassergehalt für optimale Bearbeitbarkeit	Wasserempfindlichkeit
GW,GP	saubere Kiese	5-10%	sehr klein
SW,SP	saubere Sande	8-150/o	klein
GM	siltige Kiese	5-100/o	klein bis mittel
GC	tonige Kiese	8-15%	klein bis mittel
SM	siltige Sande	8-150/o	mittel bis gross
SC	tonige Sande	10-180/o	mittel bis gross
ML, MH	Silte	12-18%	sehr gross
CL	siltige Tone	15-20%	gross
CH	fette Tone	20-25%	gross

4.2 Verdichtbarkeit

Die Lagerungsdichte eines Bodens, die durch Verdichtung erzielt wird, hängt von der Kornzusammensetzung und vom Wassergehalt ab. Es bestehen folgende Möglichkeiten:

verdichtbar: $W_{nat} < W_{opt}$: verwendbar

Boden

nicht verdichtbar: $W_{nat} > W_{opt}$: nach Austrocknung verwendbar
organischer Boden (Torf): unbrauchbar

Böden ohne organische Beimengungen sind in der Regel im Erdbau immer verwendbar, sofern eine genügend dichte Lagerung erreicht werden kann. In feinkörnigen Böden ist für die Verdichtung oft eine Reduktion des natürlichen Wassergehaltes notwendig. Sie kann durch Austrocknung oder durch Behandlung mit Kalk (Merkblatt Nr. 451) erreicht werden. Als Grundlage zur Beurteilung der Verdichtbarkeit von Böden dient der Verdichtungsversuch nach Proctor (Merkblatt Nr. 412).

Tabelle 3: Verdichtbarkeit der Böden

USCS-Klassifikation	geotechnische Bezeichnung	Richtwerte für die Verdichtung Trockenraumgewicht t_{im}	Beurteilung
GW,GP SW,SP	saubere Kiese mit oder ohne Sand saubere Sande mit oder ohne Kies	≥ 20	sehr gut verdichtbar
GM GC SM SC	siltige Kiese tonige Kiese mit oder ohne Sand siltige Sande tonige Sande mit oder ohne Kies	≥ 18	gut verdichtbar oft Austrocknung notwendig
ML MH CL CH	Sille spezielle Sille (Seekreide) siltige Tone Tone	≥ 16	verdichtbar meist erst nach Austrocknung
OL OH	tonige Silte Tone mit organischen Beimengungen	≥ 14	schlecht verdichtbar nur nach Austrocknung
PT	Torf	< 14	nicht verdichtbar

Unterbau

Merkblätter über den Bau und Unterhalt von Wald- und Güterstrassen

Erdbau: Ausführung und Baumaschinen

Dieses Merkblatt enthält Angaben über die Ausführung des Unterbaus und den Einsatz der Baumaschinen

1 Allgemeines

Das Ziel des Erdbaus besteht in der Herstellung des Planums und der Böschungen. Die minimalen Anforderungen an die Genauigkeit der Bauausführung (Projektkoten) und an die Tragfähigkeit des Planums (Merkblatt Nr. 205) müssen erfüllt werden. Die Arbeiten des Erdbaus umfassen:

- Abtrag
- Transport
- Schüttung
- Stabilisierung, Austrocknung (Merkblätter 431 ff: Stabilisierung)
- Planie
- Verdichtung

Für die Verschiebung der Erdmassen bestehen die folgenden Möglichkeiten:

+-Verwendung an Ort im Schwenkbereich der Maschine	--+
--+Transport mit Abtragsmaschine	-+-
+-Aufladung auf Transportmittel und Längstransport	-+-+!
+-Vollläufige seitliche Deponie und Längstransport nach Stabilisierung des Planums oder nach Vortrieb der Strasse	-+-

2. Kriterien für den Baumaschineneinsatz

Verschiedene Kriterien beeinflussen die Wahl und den wirtschaftlichen Einsatz der Erdbaumaschinen:

Besonderheiten des Wald- und Güterstrassenbaus

- Bauvortrieb vor Kopf
- Geringe Breite der Baufläche
- Keine Transportpisten

Eigenschaften des Baugrundes und des Geländes

- Befahrbarkeit des Baugrundes: Tragfähigkeit und Schlüpfrigkeit (Merkblatt Nr. 220)
- Neigung und Gliederung des Geländes
- Abbaubarkeit bzw. Baggerfähigkeit des Abtragmaterials (Ziff. 4.1)

Besonderheiten des Projektes

- Massenprofil und Massendisposition: Verwendung der Erdmassen, Transportdistanzen
- Schüttungsart bzw. Schüttungsmöglichkeiten: Lagenschüttung, Kopfschüttung, Seitenschüttung

3. Arbeitsweise und Eigenschaften der Erdbaumaschinen

Die für den Wald- und Güterstrassenbau geeigneten Erdbaumaschinen sind:

- Ladeschaufel (Traxcavator)
- Teleskopbagger
- Hydraulikbagger (Hoch- und Tieflöffel)
- Planierraupe (Bulldozer)
- Grader (hauptsächlich Planierarbeiten)

In der Regel kommen für den Erdbau selbstfahrende Maschinen auf Raupen zur Anwendung; der Einsatz von pneubereiften Maschinen ist nur bei gut tragfähigem Baugrund und guter Abbaubarkeit des Bodens möglich.

Eine wirtschaftliche Leistung wird erreicht, wenn die Arbeitsweise und die Eigenschaften der Erdbaumaschinen möglichst weitgehend an den Baugrund und das Gelände, sowie an die Besonderheiten des Projektes angepasst sind.

Die Eignung der Erdbaumaschinen für den Unterbau sind aus der Tabelle 1 ersichtlich.

Tabelle 1: Eignung der Erdbaumaschinen für den Unterbau

ARBEIT	MASCHINE		Teleskop- bagger	Hydraulik- bagger	Planier- raupe (Dozer)
	Ladeschaufel (Trax)	Raupen				Pneu
Abtrag in Böden mit guter Befahrbarkeit		2	2	2	2
in Böden mit schlechter Befahrbarkeit:					
- mit Normalraupe		0	-	0	0-1
- mit Moorraupe		1	-	-	1
- mit Vorstabilisierung (CaO)		1	-	-	-
- mit Vortrieb auf Prügelmatte		-	1	1	-
Transport wirtschaftliche Transportdistanz	0-50 m	0-150m	im Schwenk- bereich	im Schwenk- bereich	0-20 m
Auflad für Längstransport	1	2	2	2	-
Schüttung an Ort und Stelle (Schwenkbereich) mit Längstransport	1-2 2	1-2 2	2	2	1 1
Planle Planum Böschungen	1 0-1	0-1 -	2 2	0-1 1	1-2 0-1
Uebrige Arbeiten					
Humusabtrag	0-1	0-1	2	1	0-1
Aufreißen (Rippem)	1	-	-	-	2
Humusierung	0	0	2	1	0
Erstellen des Böschungsfusses	0-1	-	2	1	0
Aushub für Gräben, Durchlässe und Fundamente	-	-	2	2	0

Bewertung: 2 gut geeignet
1 geeignet
0 ungeeignet
- Einsatz bzw. Ausführung nicht möglich

4 Hinweise zur Ausführung des Unterbaus

4.1 Abtrag

Für die Beurteilung der Abbaubarkeit des Abtragsmaterials können 3 Klassen unterschieden werden:

- Normal abbaubar:
Lockergesteine im Bereich des optimalen Wassergehaltes
- Schwer abbaubar:
Weiche Sedimentgesteine, festgelagerte Moräne, feinkörnige und plastische Böden mit hohem Wassergehalt
- Nur durch Sprengen oder Rippem abbaubar;:
Fels und stark verkittete Lockergesteine.

4.2 Transport

Alle Abtragsmaschinen ermöglichen innerhalb ihres Einsatz- bzw. Schwenkbereiches eine Verschiebung der Erdmassen. Für den Längstransport mit Ladeschaufel und Planierraupe sollten die in der Tabelle 1 angegebenen Transportdistanzen nur in Ausnahmefällen überschritten werden.

Für grössere Massenverschiebungen auf längere Distanzen kommen in der Regel pneubereifte Fahrzeuge wie Lastwagen und Dumper zum Einsatz. Bei nicht befahrbarem Baugrund wird das Abtrags-

material vorerst deponiert. Nach Austrocknung oder Stabilisierung des Planums, oder nach dem Einbringen der Fundations- bzw. Tragschicht, wird das deponierte Material mit Transportfahrzeugen zu den Schüttstellen gebracht.

4.3 Schüttung

Bei der Schüttung werden 3 Arten unterschieden:

- Lagenschüttung (Abbildung 1)
Die Schüttung erfolgt in Schichten, die einzeln verdichtet werden. Die Schichtdicke ist abhängig vom Boden und der Wirkungstiefe des Verdichtungsgerätes (Merkblatt: Verdichtung).
- Kopfschüttung (Abbildung 2)
Die Schüttung erfolgt auf volle Schütthöhe. Sie kommt zur Anwendung, wenn keine Lagenschüttung möglich ist (bei kurzen Dämmen über Gräben und Rensen).
- Seitenschüttung (Abbildung 3)
Die Seitenschüttung erfolgt bei gemischten Profilen mit Abtrag und Auftrag auf volle Schütthöhe.
Im steilen Gelände besteht die Gefahr des Abgleitens der Schüttung; deshalb ist ein guter Böschungsfuss und eventuell zusätzlich eine Abtreppung der Auflagefläche notwendig.

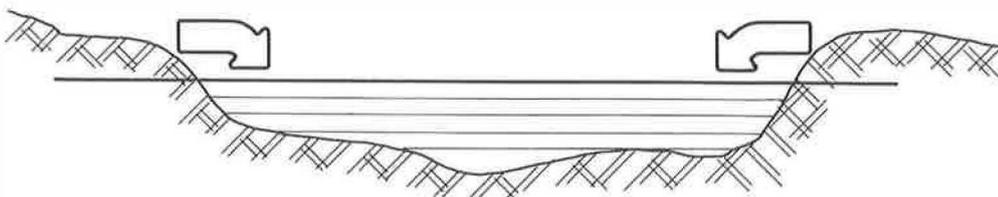


Abb.1
Lagenschüttung
(Längsschnitt)

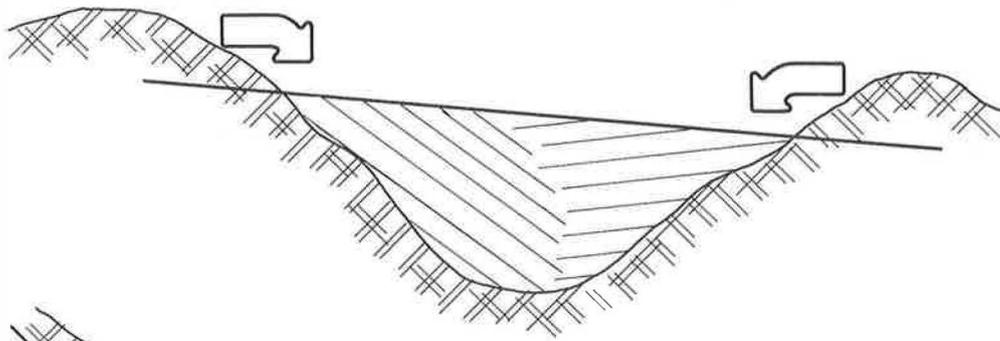


Abb.2
Kopfschüttung
(Längsschnitt)

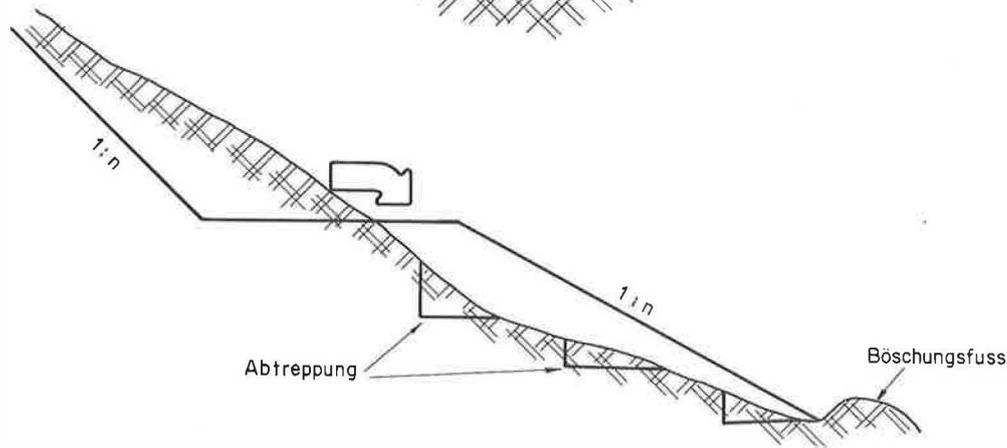


Abb.3
Seitenschüttung
(Querschnitt)

4.4 Verdichtung der Schüttung

Eine vorschriftsgemässe Verdichtung (Merkblatt Verdichtung) kann nur bei der Lagerschüttung ausgeführt werden.

Bei der Kopf- und Seitenschüttung führt die fehlende Verdichtung zu einer geringen Lagerungsdichte des aufgeschütteten Materials. Daraus können sich ungünstige Auswirkungen ergeben wie

- grosse Hohlräume bei scholligem Material
- Gefahr des Abgleitens der Schüttung als Folge grosser Wasseraufnahme
- grosse, ungleichmässige und lang andauernde Setzungen

Diese Nachteile können durch häufiges Befahren der Schüttung mit Raupenfahrzeugen bzw. durch Andrücken des Schüttmaterials mit dem Maschinen-

löffel verringert werden. Ausserdem sind die Schüttungen um etwa $\frac{1}{10}$ der Schütthöhe zu überhöhen.

4.5 Planle

Die Planle des Planums und der Böschungen haben den Anforderungen des Merkblattes Nr. 205, Ziff. 2 zu entsprechen. Insbesondere ist der Einsatz von grossen Baumaschinen, mit welchen die geforderten Toleranzen nicht eingehalten werden können, nicht zulässig.

4.6 Verdichtung

Im Lockergestein ist die oberste Schicht des Untergrundes bzw. Unterbaues grundsätzlich zu verdichten. Für die Bauausführung sind auf dem Planum folgende minimale Tragfähigkeitswerte notwendig (Merkblatt Nr. 205, Ziff. 3):

CBR ≥ 50
H_b Wert $\geq 100 \text{ kg/cm}^2$

Unterbau

Merkblätter über den Bau und Unterhalt von Wald- und Güterstrassen

Dimensionierung von Stützmauern: Allgemeines

Dieses Merkblatt enthält allgemeine Grundlagen für die Dimensionierung von Schwergewichtsmauern

1 Definition

Als Stützmauern werden alle Mauern bezeichnet, denen eine Stützfunktion zukommt:

Bergseitige Mauer: Belastungsfall a (Abbildung 1a)
(Futtermauer, Wandmauer)

Talseitige Mauer: Belastungsfall b (Abbildung 1b)
(Stützmauer, Fussmauer)

Abbildung 1a:
Belastungsfall a

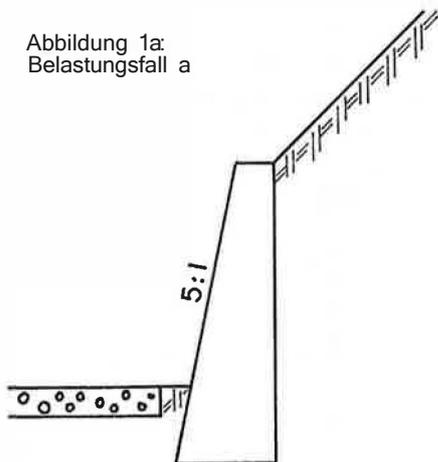
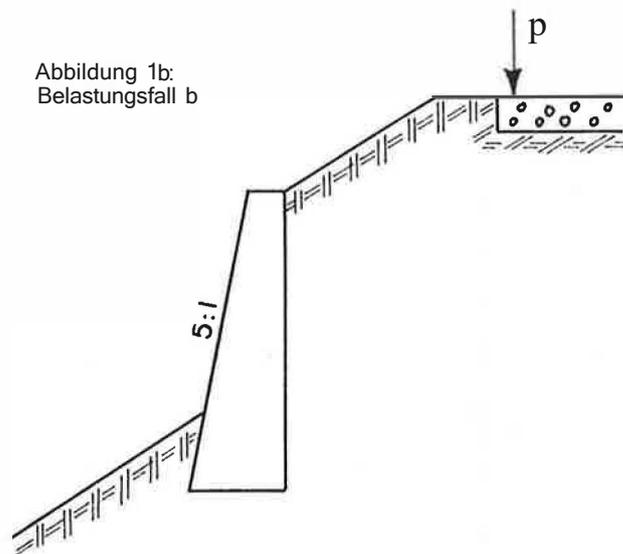


Abbildung 1b:
Belastungsfall b

**2 Prinzip der Schwergewichtskonstruktion**

Das Prinzip der Schwergewichtskonstruktion besteht darin, die Resultierende aus dem Erddruck und dem Gewicht des Stützkörpers derart in den Untergrund zu übertragen, dass keine schädlichen Bewegungen der Mauer und des abgestützten Erdkörpers auftreten und die Tragfähigkeit des Untergrundes nicht überschritten wird (Abb. 2).

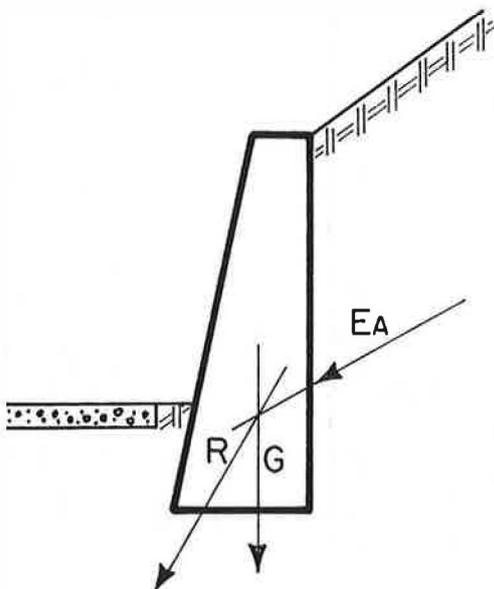


Abbildung 2: Prinzip der Schwergewichtsmauer

- EA aktiver Erddruck
- G Gewicht des Stützkörpers
- R Resultierende aus Gewicht und Erddruck

Für die Ausbildung des Stützkörpers sind folgende Konstruktionen möglich:

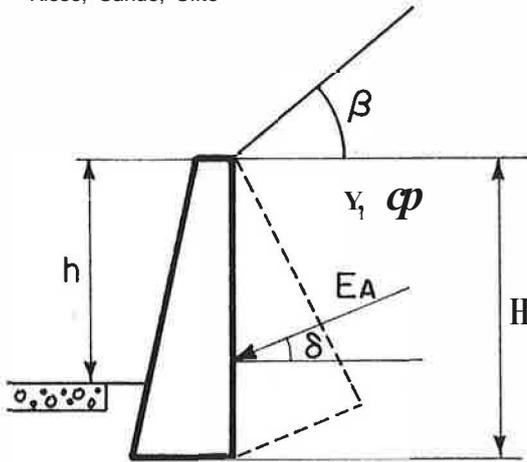
- Mauerwerk (Betonmauer-, Mörtelmauer-, Trockenmauerwerk)
- Kastensysteme (Holz, Metall, Beton)
- Drahtkörbe mit Steinfüllung

3 Berechnung des Erddrucks

Die Berechnung des aktiven Erddrucks E_A für einen kohäsionslosen Boden erfolgt nach Coulomb (Abbildung 3a). Die Kohäsion wird nach Rankine berücksichtigt, indem der Erddruck erst unterhalb der freien Standhöhe h_F wirksam wird (Abbildung 3b).

Abbildung 3a

Erddruck in kohäsionslosen Böden:
Kiese, Sande, Silte



$$E_A = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_A$$

wobei $K_A = f(\mu, \beta, \varphi)$

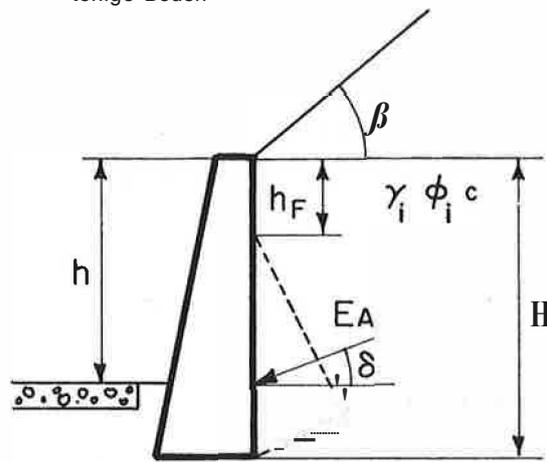
Für die im Merkblatt Nr. 241 (Diagramm Nr. 1 u. 2) tabellierten Mauern mit $\mu = \varphi$

wird $K_A = \frac{\cos^2 \varphi}{\cos^2 \mu}$ (Belastungsfall a).

Für den Belastungsfall b (Diagramm Nr. 3-10) kann der Erddruck wegen des gebrochenen Geländeverlaufes und der Linienlast P nicht mehr direkt berechnet werden. Für diesen Fall erfolgte eine abschnittsweise numerische Berechnung.

Abbildung 3b

Erddruck in kohäsiven Böden:
tonige Böden



$$E_A = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_A - 2 c \cdot H \sqrt{K_A} + \frac{2c^2}{\gamma}$$

Bezeichnungen

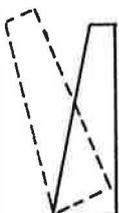
- φ Reibungswinkel | 1 Abschätzen nach Tabelle Seite 6
- c Kohäsion | 1
- γ Raumgewicht der Hinterfüllung (Annahme: $20 \text{ t} \cdot \text{m}^{-3}$)
- θ Reibungswinkel zwischen Hinterfüllung und Mauerrückwand (Wandreibungswinkel = θ)
- β Böschungsneigung
- H Stützhöhe
- h Sichthöhe
- h_F freie Standhöhe
- E_A Erddruckkraft (aktiv)
- K_A Erddruckbeiwert (aktiv)

4 Dimensionierungsgrundlagen

4.1 Kippsicherheit

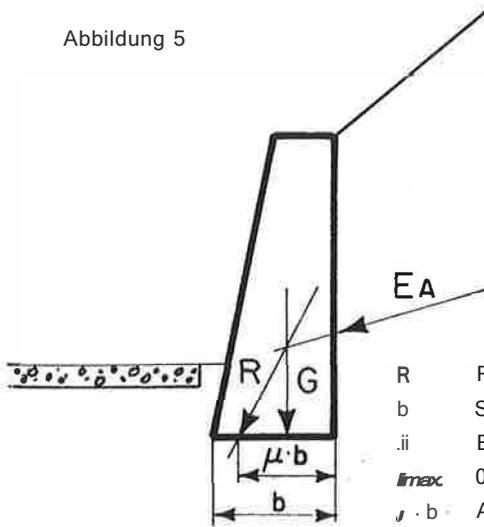


Abbildung 4



Eine genügende Kippsicherheit für Schwergewichtskonstruktionen wird erreicht, wenn die Resultierende aus Erddruck und Mauerwerk in der doppelten Kernweite verläuft. Der wirtschaftlichste Querschnitt ergibt sich, wenn die Resultierende am Rand der doppelten Kernweite die Fundamentsohle durchstößt also bei $\mu = 0.83$ (Abbildung 5).

Abbildung 5



- R Resultierende aus Erddruck und Mauergewicht
- b Standbreite
- e Exzentrizität der Resultierenden
- e_{max} 0.83 maximal zulässige Exzentrizität
- $e \cdot b$ Abstand des Durchstoßpunktes der Resultierenden von der Mauerhinterkante

4.2 Gleitsicherheit in der Fundamentsohle

Abbildung 6:



Die Gleitsicherheit bei **horizontaler** Fundamentsohle (Abbildung 7a) ist definiert:

$$F_a = \frac{\text{mobilisierbare Reibungskraft}}{\text{treibende Kraft}} = \frac{Q_H}{R_H} = \frac{R_V \cdot \text{tg } \delta_s}{R_H} = \frac{\text{tg } \delta_s}{\text{tg } \delta_R}$$

Für Stützmauern wird als Gleitsicherheit vorgeschrieben: $F_u \geq 1.5$

Ist bei horizontaler Sohle ($a = 0$) die Gleitsicherheit nicht erfüllt, so kann die Fundamentsohle um den Winkel a gedreht werden (Abbildung 7b), wodurch die treibende Kraft (R'_H) verkleinert wird. Die Gleitsicherheit beträgt dann:

$$F_u = \frac{Q'_H}{R'_H} = \frac{R'_V \cdot \text{tg } \delta_s}{R'_H} = \frac{\text{tg } \delta_s}{\text{tg } (\delta_R - a)}$$

Eine allfällige Kohäsion und der passive Erddruck an der Stirnfläche des Fundaments werden vernachlässigt.

Abbildung 7a:

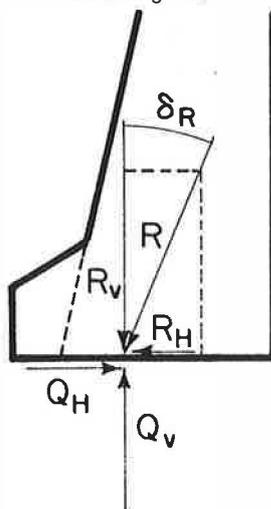
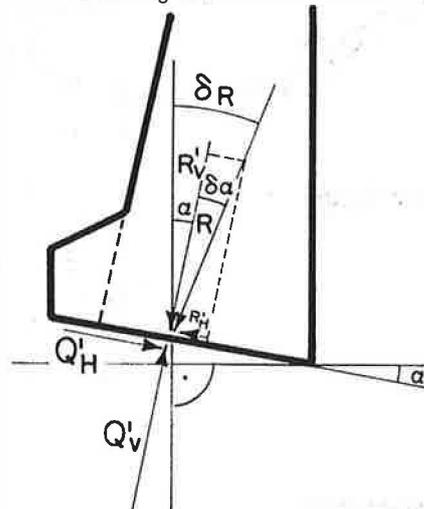


Abbildung 7b:



Bezeichnungen

- R Resultierende Belastung des Fundaments
- R_V Vertikale Komponente von R
- R_H Horizontale Komponente von R
- R'_V Komponente senkrecht zur Fundamentsohle
- R'_H Komponente parallel zur Fundamentsohle
- Q_V Vertikale Komponente der Tragfähigkeit
- Q_H Horizontale Komponente der Tragfähigkeit

- O_v Komponente senkrecht zur Fundamentsohle
- O_H Komponente parallel zur Fundamentsohle
- $tg\ \alpha$ Neigung der Fundamentsohle
- $tg\ \delta$ Neigung der Resultierenden R zur Vertikalen = $\frac{R_H}{R_V}$
- $tg\ \delta_s$ Neigung der Resultierenden R zur Senkrechten auf die Fundamentsohle = $\frac{R'_H}{R'_V}$
- δ_s Reibungswinkel zwischen Fundamentsohle und Untergrund ($\delta_s \neq \delta$)

4.3 Tragfähigkeit, bzw. Sicherheit gegen statischen Grundbruch

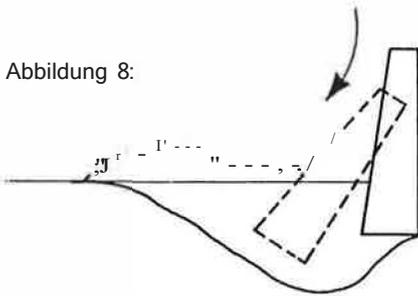


Abbildung 8:

Die Grenztragfähigkeit des Untergrundes ist der in der Gleitfläche mobilisierbare Scherwiderstand Q . Er ist von der Scherfestigkeit des Bodennaterials abhängig (Abbildung 9).

Der Tragfähigkeitsnachweis lässt sich durch den Vergleich der in der Fundamentsohle wirkenden Kräfte O_v und R_v erbringen:

Sicherheitsfaktor gegen statischen Grundbruch $F_{stat} = \frac{O_v}{R_v}$

Für Stützmauern wird gefordert: $F_{stat} \geq 2$

Der exzentrische Lastangriff der Resultierenden R wird berücksichtigt, indem rechnerisch die tatsächliche Fundamentbreite B durch die **wirksame Fundamentbreite \bar{b}** ersetzt wird, in welcher die Resultierende zentrisch angreift.

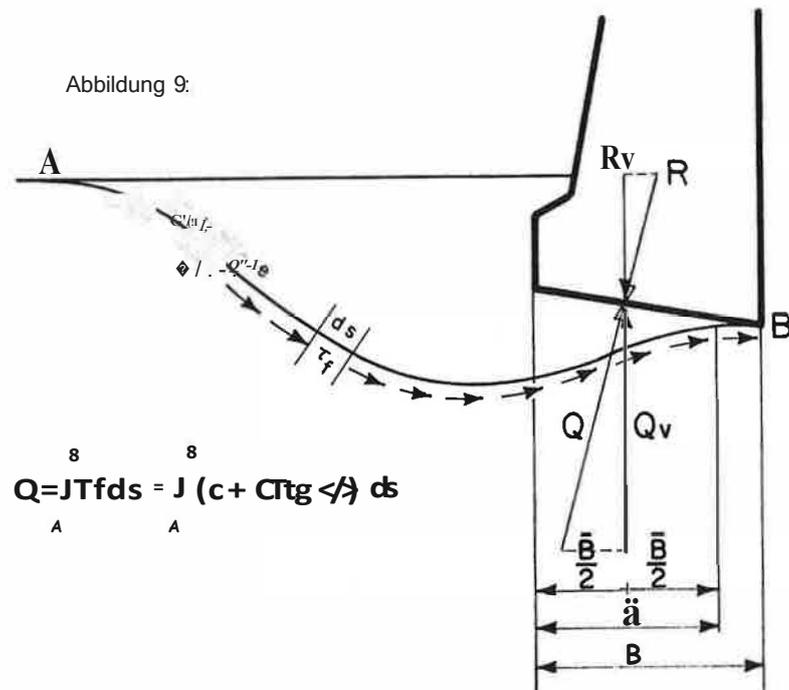


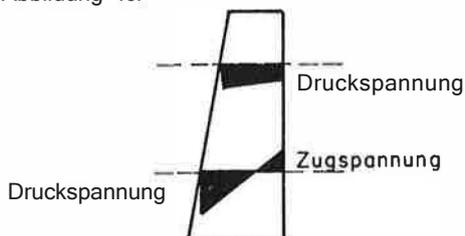
Abbildung 9:

$$Q = \int_A^B \tau_f ds = \int_A^B (c + T \cdot \tan \phi) ds$$

- R Resultierende
- R_v Vertikalkomponente der Resultierenden
- Q Tragfähigkeit
- O_v Vertikalkomponente der Tragfähigkeit
- B Fundamentbreite
- \bar{b} wirksame Fundamentbreite
- τ_f Scherfestigkeit im Element ds
- c Kohäsion
- T Normalspannung
- ϕ Reibungswinkel

4.4 Zulässige Mauer Spannungen

Abbildung 10:



Für die Schwerkriegtsmauern bis zu einer Stützhöhe von 4-5 m sind die Mauer Spannungen (Druck- und Zugspannungen) immer im zulässigen Bereich, so dass kein spezieller Spannungsnachweis erforderlich ist.

5 Weitere Untersuchungen

Abbildung 11a:
Geländebruch

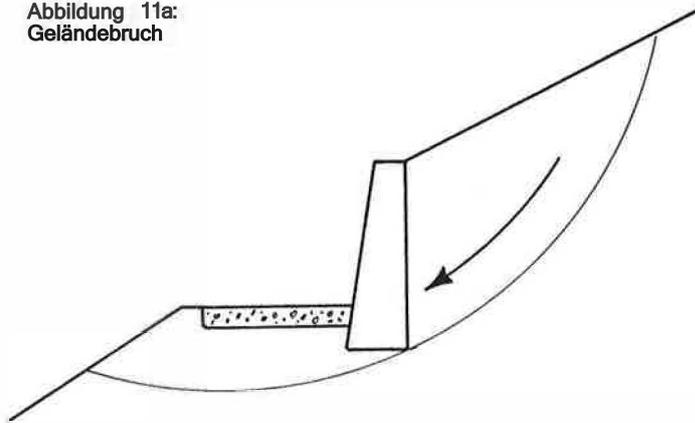
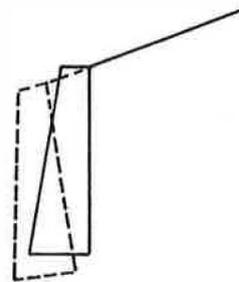


Abbildung 11b:
Setzungen, Verkantungen



Besondere Untersuchungen sind notwendig, wo z.B. Geländebruch (Abbildung 11a) zu erwarten ist, oder wo aus bestimmten Gründen z.B. Brückenwiderlager, Sicherheit von Gebäuden und Verkehrsanlagen) nur kleine Setzungen oder Verkantungen (Abbildung 11b) zulässig sind.

6 Vorgehen bei der Dimensionierung

Für nichtarmierte Schwergewichtsmauern mit lotrechter Rückwand und trapezförmigem Querschnitt kann der wirtschaftlichste Querschnitt direkt bestimmt werden.

Die Dimensionierung erfolgt in zwei Stufen:

Merkblatt Nr. 241: Dimensionierung der Mauer

Merkblatt Nr. 246: Dimensionierung des Fundaments

Für abweichende Mauerquerschnitte und Fundamentabmessungen sind die unter Ziffer 4 und 5 dargestellten Sicherheiten nachzuprüfen.

7 Bestimmung der Bodenkennziffern

Für Mauern bis zu einer Stützhöhe von 4 m bis 5 m werden die Bodenkennziffern in der Regel auf Grund der Bodenklassifikation nach USCS (Merkblatt Nr. 410) gemäss der folgenden Tabelle geschätzt.

Tabelle (nach VSS-Stützmauertabelle)

USCS	Geotechnische Bezeichnung	Mittlere Kornverteilung (mm)				Konsistenzgrenzen			Raumgewicht, Wassergehalt, Porosität			Scherfestigkeit			Durchlässigkeitskoeffizient	Boden nach Proctor verdichtet	
		0,0002	0,002-0,006	0,06-2,0	2,0-60,0	WL	Wp	Ip	γ	W	n	ϕ	c	u	k	Wopt	Yd opt
		Ton	Silt	Sand	Kies	'/o	'/o	'/o	tim,	'/o	'/o	(°)	tim'		cm/s	%	tim'
GW	Sauberer Kies (gut abgestuft)	0	2	26	72	-	-	-	2,00 ±0,25	5 ±3	30 ±6	40 ±5	0		10+1 ... 10-2	8 ±2	2,10 ±0,10
GP	Sauberer Kies (schlecht abgestuft)	Mittelwerte ähnlich wie bei GW				-	-	-	1,90 ±0,30	3 ±2	32 ±8	38 ±6	0		10+1 ... 10-2	9 ±2	2,05 ±0,10
GM	Siltiger Kies (mit wenig Feinanteilen)	2	8	30	60	17	13	4	2,10 ±0,25	8 ±5	28 ±8	36 ±4	0		10-3 ... 10-S	9 ±3	2,10
GC	Toniger Kies (mit wenig Feinanteilen)	3	9	23	65	25	15	10	2,05 ±0,20	11 ±6	32 ±8	34 ±4	0	*	1Q-6 ... 1Q-6	14 ±7	1,90
GM-ML	Siltiger Kies (mit viel Feinanteilen)	4	20	33	43	14	11	3	2,15 ±0,25	14 ±9	30 ±10	35 ±5	0		10-3 ... 10-S	8 ±2	2,15 ±0,10
GM-GC	Siltiger bis toniger Kies	6	22	30	42	19	13	6	2,15 ±0,20	11 ±4	28 ±7	33 ±3	0,2 ±0,2	*	10-S ... 10-S	9 ±3	2,10 ±0,10
GC-CL	Toniger Kies (mit viel Feinanteilen)	8	23	28	41	26	15	11	2,10 ±0,20	14 ±6	32 ±7	29 ±4	0,3 ±0,3	*	10-S ... 10-S	11 ±3	1,95 ±0,15
GC-CH	Toniger Kies (mit Feinanteilen hoher Plastizität)	10	23	29	38	57	23	34	1,95 ±0,20	20 ±10	40 ±10	28 ±4	0,4 ±0,4	*	10-S ... 10-8	1)	1)
SW	Sauberer Sand (gut abgestuft)	0	2	76	22	-	-	-	1,95 ±0,20	13 ±10	36 ±10	38 ±5	0		100 ... 10-3	9 ±3	2,05 ±0,20
SP	Sauberer Sand (schlecht abgestuft)	Mittelwerte ähnlich wie bei SW				-	-	-	1,85 ±0,25	11 ±9	38 ±10	36 ±6	0		10° ... 10-3	11 ±3	1,95 ±0,20
SM	Siltiger Sand (mit wenig Feinanteilen)	2	9	75	14	26	22	4	2,00 ±0,25	17 ±7	37 ±10	34 ±3	0		10-3 ... 10-S	11 ±4	1,95
SC	Toniger Sand (mit wenig Feinanteilen)	5	7	76	12	25	15	10	1,95 ±0,20	20 ±10	40 ±10	32 ±4	0	*	10-S ... 10-S	1)	1)
SM-ML	Siltiger Sand (mit viel Feinanteilen)	4	28	60	8	15	12	3	2,00 ±0,20	20 ±9	38 ±9	34 ±3	0		10-3 ... 10-S	9 ±3	2,05 ±0,25
SM-SC	Siltiger bis toniger Sand	9	32	45	14	19	13	6	2,10 ±0,20	15 ±8	32 ±10	31 ±3	0,5 ±0,5	*	1Q-6 ... 10-8	10 ±3	2,00 ±0,25
SC-CL	Toniger Sand (mit viel Feinanteilen)	9	30	43	18	25	15	10	2,05 ±0,20	19 ±10	36 ±11	28 ±4	0,5 ±0,5	*	1Q-6 ... 10-S	15 ±3	1,85 ±0,15
SC-CH	Toniger Sand (Feinanteile hoher Plastizität)	12	31	54	3	57	23	34	1,85 ±0,20	35 ±15	49 ±10	27 ±3	1,0 ±1,0	*	10-S ... 10-S	1)	1)
ML	Silt	6	64	29	1	30	26	4	1,90 ±0,25	32 ±21	47 ±15	33 ±4	0	(*)	10-3 ... 10-S	1)	1)
CL-ML	Sill bis toniger Sill	12	58	26	4	20	14	6	2,10 ±0,25	19 ±7	35 ±8	30 ±4	1,5 ±1,0	*	10-5 ... 10-S	1)	1)
CL	Siltiger Ton	20	61	16	3	33	17	16	2,00 ±0,15	25 ±10	41 ±8	27 ±4	2,0 ±1,0	**	10-S ... 10-S	14 ±3	1,85 ±0,15
CH	Ton	22	59	18	1	64	25	39	1,75 ±0,15	47 ±24	56 ±9	22 ±4	2,5 ±1,0	**	10-S ... 10-S	1)	1)
OL	Toniger Sill (mit organischen Beimengungen)	8	70	21	1	42	29	13	1,70 ±0,15	48 ±13	57 ±8	25 ±4	1,0 ±0,5	(*)	1Q-4 ... 1Q-6	1)	1)
OH	Ton (mit organischen Beimengungen)	12	70	17	1	71	40	31	1,55 ±0,15	68 ±22	66 ±8	22 ±4	1,0 ±0,5	**	10-S ... 10-8	1)	1)
MH	Spezielle Sille, zum Beispiel Seekreide	10	65	25	0	68	38	30	1,55 ±0,15	73 ±20	67 ±7	24 ±6	0,5 ±0,5	(*)	1Q-4 ... 1Q-6	1)	1)

Bezeichnungen:

- WL Fließgrenze
- Wp Ausrollgrenze
- Ip Plastizitätsindex
- i' Feuchtraumgewicht
- W Wassergehalt
- n Porosität
- ϕ Reibungswinkel
- c Kohäsion
- u Porenwasserspannung
- * Schwacher Einfluss der Porenwasserspannung auf die Scherfestigkeit
- ** Starker Einfluss der Porenwasserspannung auf die Scherfestigkeit
- k Durchlässigkeitskoeffizient
- Wopt optimaler Wassergehalt
- i' dopt optimales Raumgewicht
- 1) Die Verdichtung der Böden ist schwierig; die Proctorwerte sind von Fall zu Fall zu bestimmen

Unterbau

Merkblätter über den Bau und Unterhalt von Wald- und Güterstrassen

**Dimensionierung
nichtarmerter Schwergewichtsmauern**

Dieses Merkblatt enthält Diagramme zur direkten Bestimmung nichtarmerter Schwergewichtsmauern

1 Allgemeines

Die folgenden Tabellen ermöglichen die direkte Bemessung nichtarmerter Schwergewichtsmauern mit trapezförmigem Querschnitt und lotrechter Rückwand. Es sind zwei Belastungsannahmen tabelliert:

- bergseitige Mauer: Belastungsfall a (Abbildung 1)
- talseitige Mauer: Belastungsfall b (Abbildung 2)

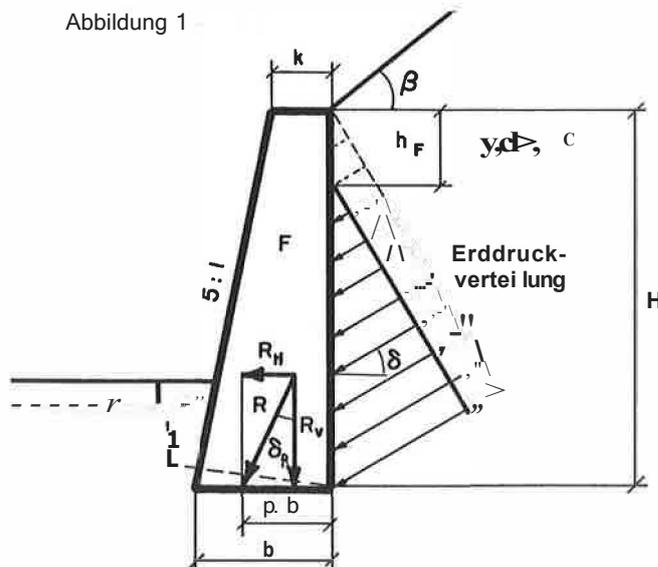
Die Mauern sind als Schwergewichtsmauern mit den Annahmen gemäss Merkblatt Nr. 240 berechnet. Der zulässige, minimale Querschnitt ergibt sich aus den Bedingungen:

maximale Exzentrizität $\mu_{\max} = 0.83$
minimale Kronenbreite $k_{\min} = 0.30 \text{ m}$

Bei kleinen Stützhöhen (bis ca. 4.0 m) sind nichtarmierte Schwergewichtsmauern in der Regel wirtschaftlicher als armierte Konstruktionen.

2 Beschreibung und Bezeichnungen der beiden Mauertypen**21 Bergseitige Mauer (Belastungsfall a)**

Abbildung 1

**Normiert**

n1	Anzug der Sichtfläche:	5:1
p	Böschungsneigung:	$\beta = \varphi$
l	Wandreibungswinkel:	$\frac{1}{3} \varphi$
γ	Raumgewicht der Hinterfüllung:	2.0 t/m ³
γ_s	Raumgewicht Beton:	2.4 t/m ³

Parameter

H	Stützhöhe	1.5-4.0 m
φ	Reibungswinkel	15;20;25;30;35;40;45°
c	Kohäsion	0;1.0t/m ²

Diagramme (Nr. 1+2)

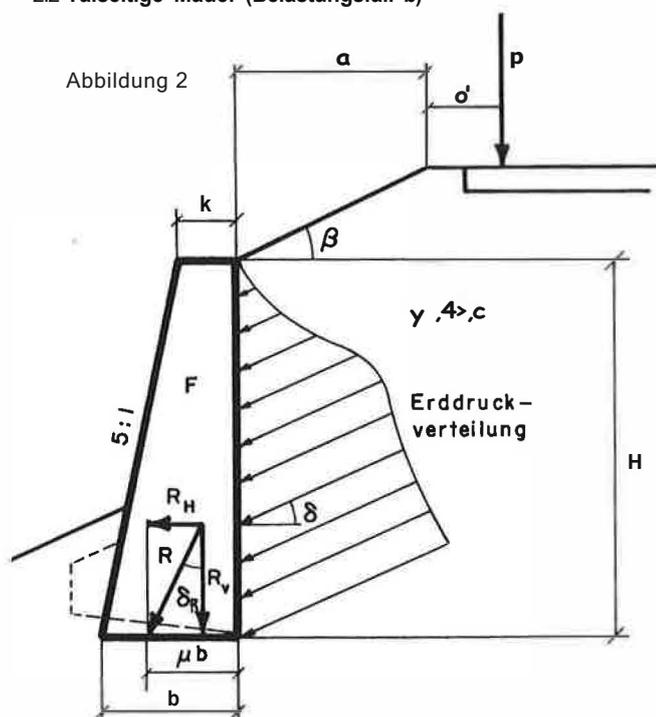
k	Kronenbreite (m)	(Standbreite $b = k + \diamond$)
F	Mauerfläche (m ²)	
R_H / R_V	Neigungswinkel der Resultierenden gegenüber der Vertikalen ($\tan \delta_R$)	
μ	Exzentrizität der Resultierenden	
h_F	freie Standhöhe (m)	
R_V	Vertikalkomponente der Resultierenden (tm')	

Beispiele: Belastungsfall a

H	(m)	2.5	3.5	2.5	3.8
μ	\varnothing	30	40	25	30
c	(t/m')	0	0	1.0	1.0
k	(m)	0.59	0.57	0.30	0.30
F	(m')	2.10	3.30	1.40	2.60
μ		0.83	0.83	0.51	0.76
RH/Rv		0.70	0.63	0.33	0.61
Rv	(tim')	6.70	11.30	3.70	8.10
hF	(m)	-	-	1.17	1.18

2.2 Talseltige Mauer (Belastungsfall b)

Abbildung 2


Normiert

n:1	Anzug der Sichtfläche:	5: 1
β	Böschungsneigung:	$\frac{3}{4} < \beta$
δ	Wandreibungswinkel:	$\frac{1}{2} \delta$
p	Linienlast:	3t/m'
a'	Abstand der Linienlast P von der Böschungskante:	0.5 m
γ	Raumgewicht der Hinterfüllung:	2.0 t/m ³
γ_s	Raumgewicht Beton:	2.4 t/m ³

Parameter

H	Stützhöhe	1.5-4.0 m
δ	Reibungswinkel	15;20;25;30;35;40;45°
c	Kohäsion	Q 1.0 t/m ²
a/H		0; 0.5; 1.0; 2.0

Diagramme (Nr. 3-10)

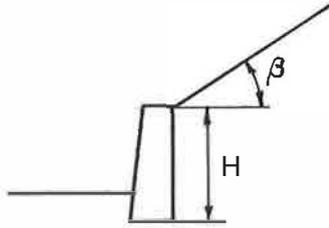
k	Kronenbreite (m)	(Standbreite $b = k + \dots$)
F	Mauerfläche (m ²)	
RH/Rv	Neigungswinkel der Resultierenden gegenüber der Vertikalen (tg α_R)	
H	Exzentrizität der Resultierenden	
hF	freie Standhöhe (m)	
Rv	Vertikalkomponente der Resultierenden (tim')	

Beispiele: Belastungsfall b

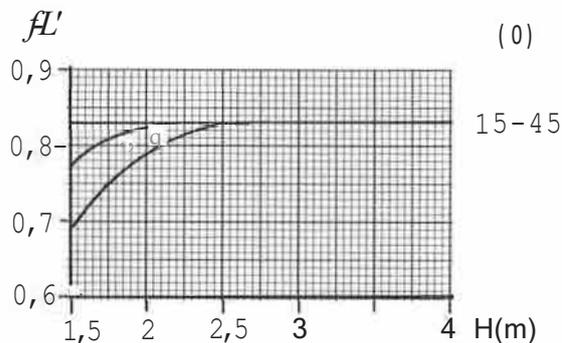
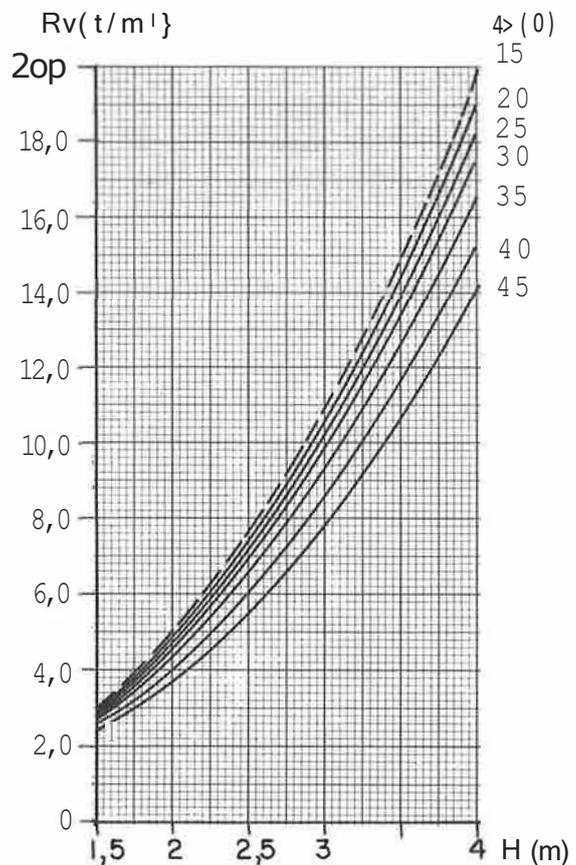
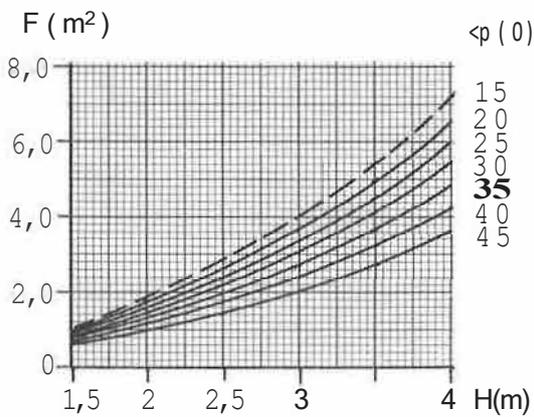
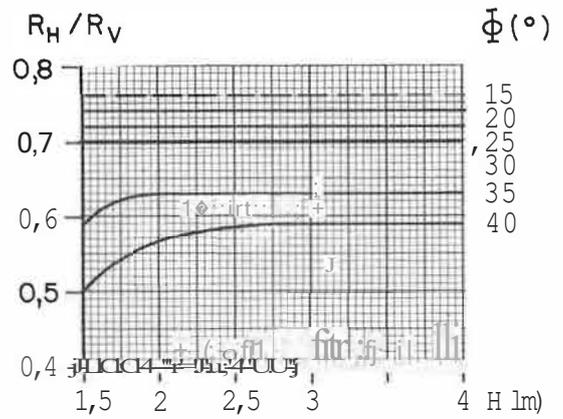
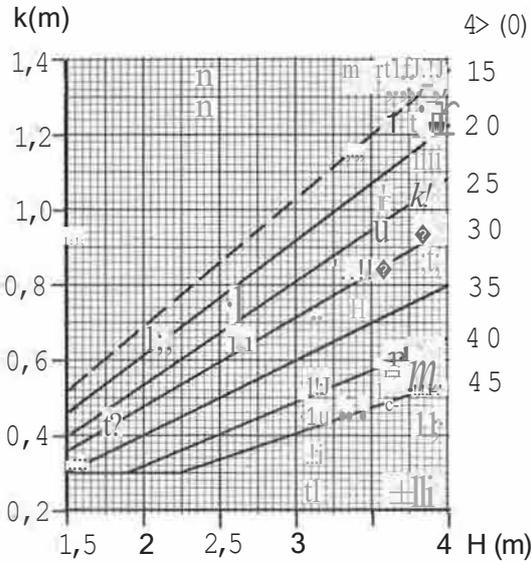
H	(m)	3.0	3.0	3.0	3.0
μ	\varnothing	35	35	35	35
c	(tim')	0	0	0	0
a/H		0	0.5	1.0	2.0
k	(m)	0.69	0.50	0.41	0.35
F	(m')	3.00	2.50	2.20	2.00
μ		0.83	0.83	0.83	0.83
RH/Rv		0.39	0.51	0.57	0.52
Rv	(tim')	8.60	7.60	6.80	6.00

Belastungsfall a

Diagramm Nr. 1

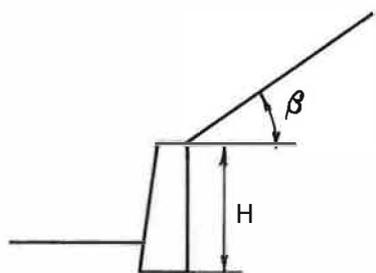


$\rho = 15-45^\circ$
 $C = 0 \text{ t/m}^2$
 $\beta = \Phi$

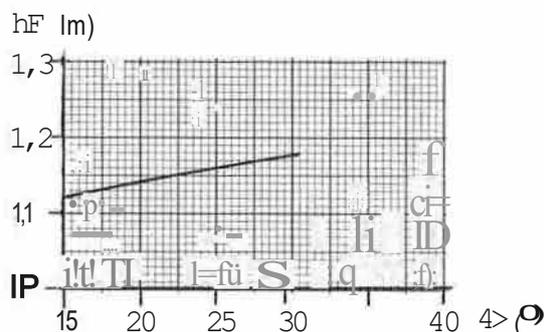
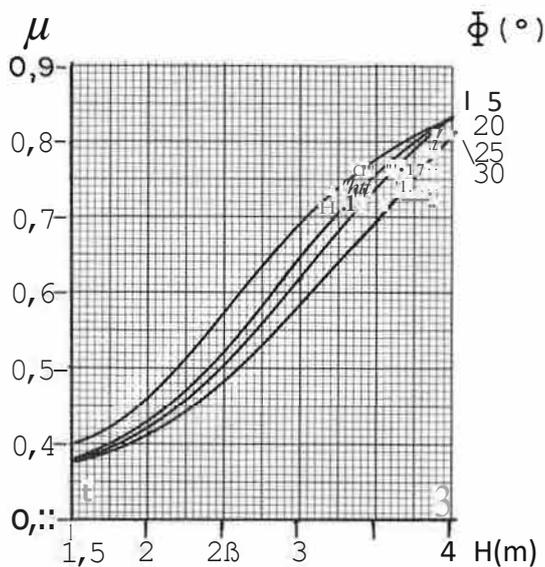
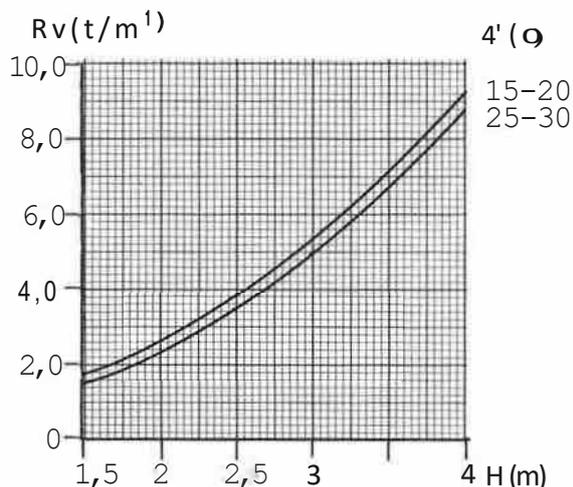
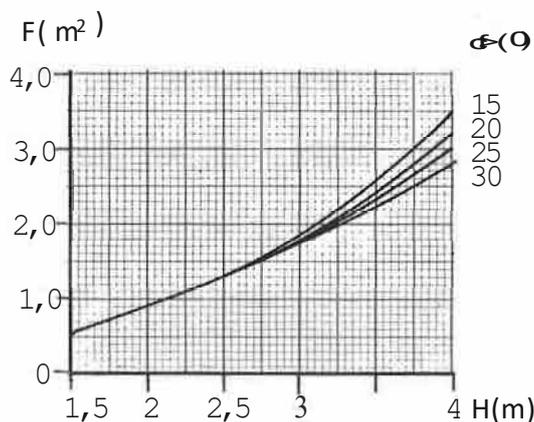
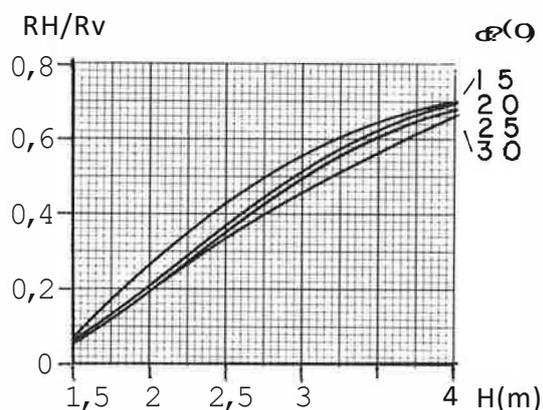
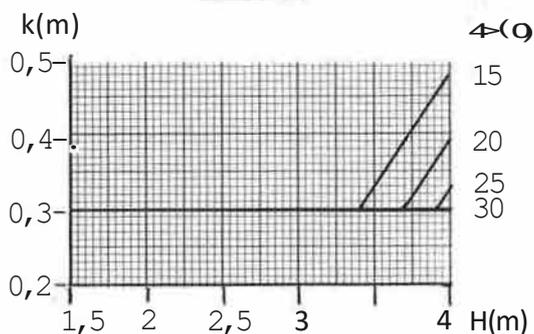


Belastungsfall a

Diagramm Nr. 2

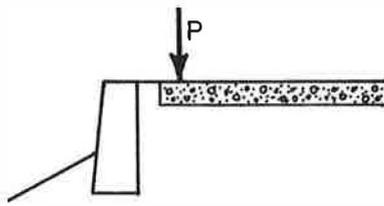


$\phi = 15-30^\circ$
 $c = 1,0 \text{ t/m}^2$
 $f_l = 4$



Belastungsfall b

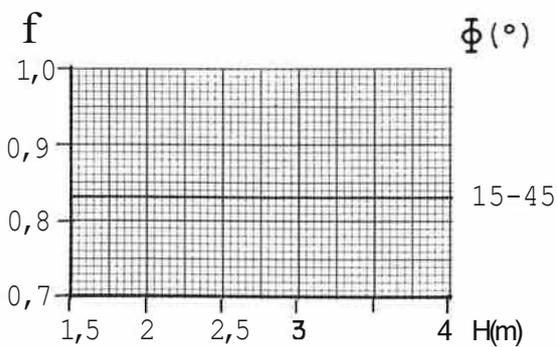
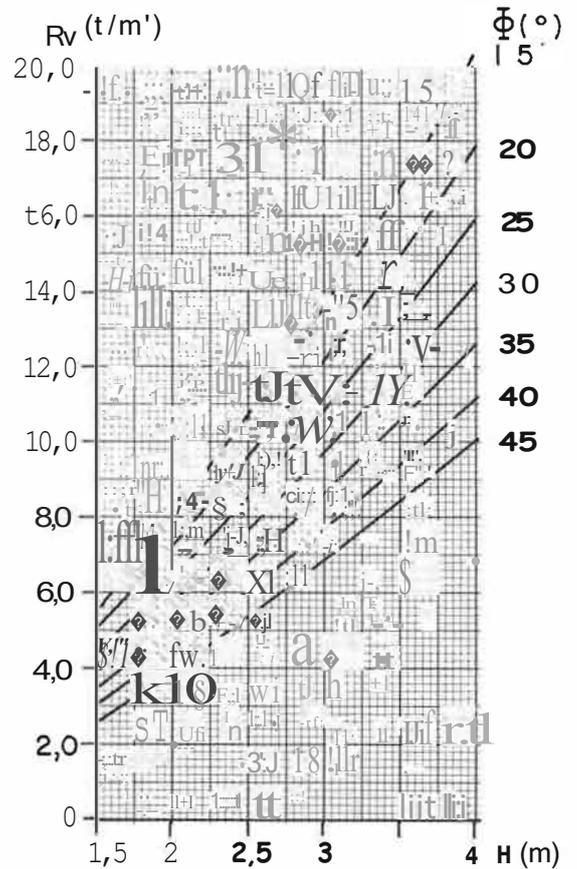
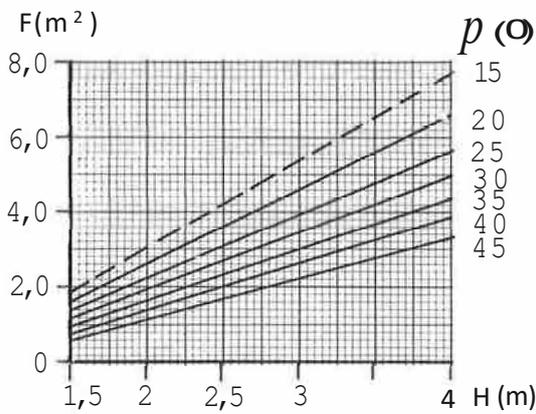
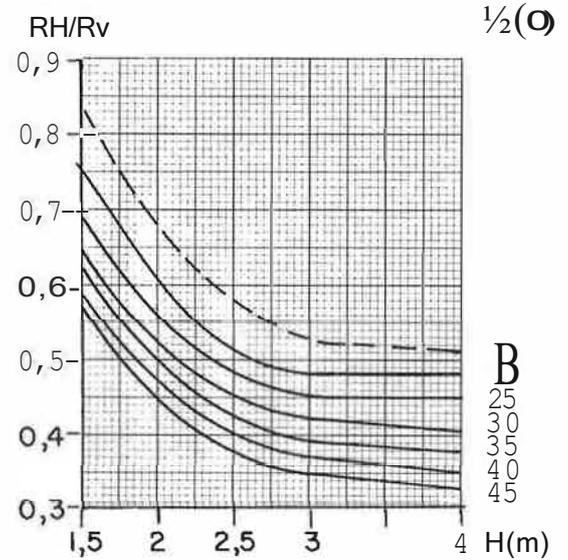
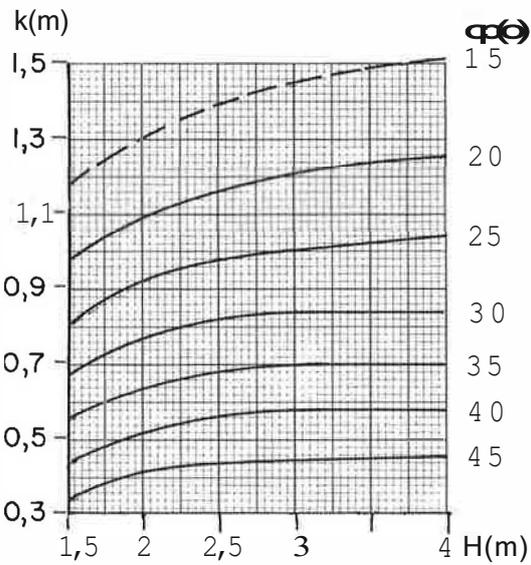
Diagramm Nr. 3



$$p = 15 - 45^\circ$$

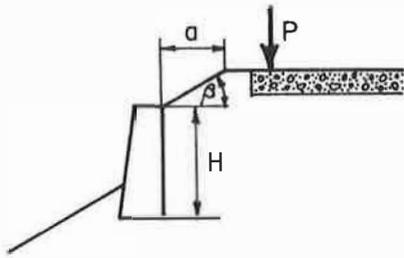
$$c = 0 \text{ t/m}^2$$

$$a/H = 0$$



Belastungsfall b

Diagramm Nr. 4

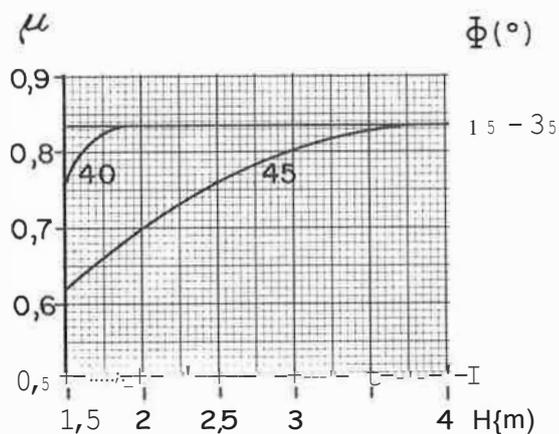
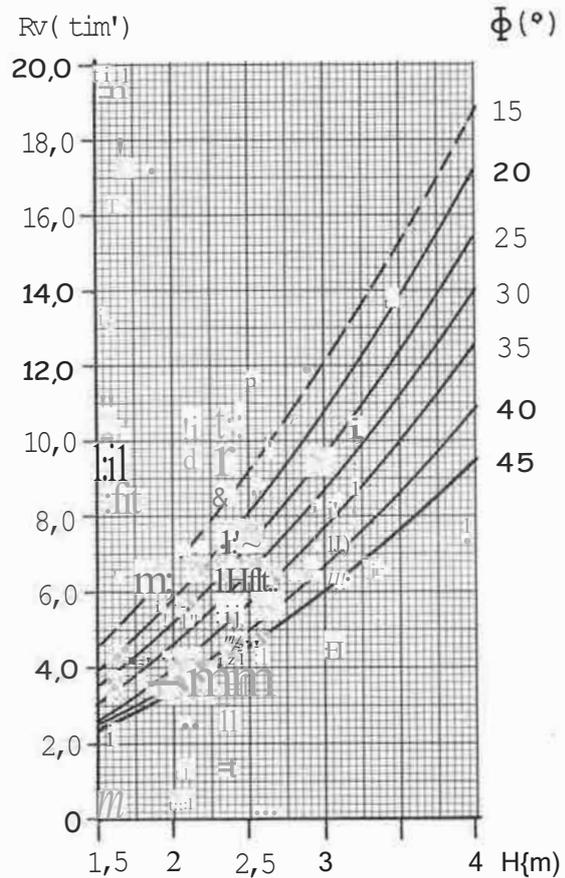
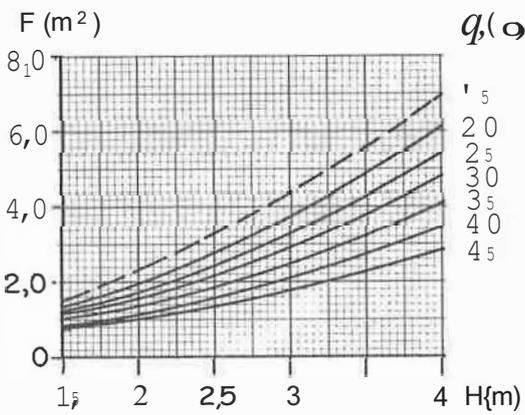
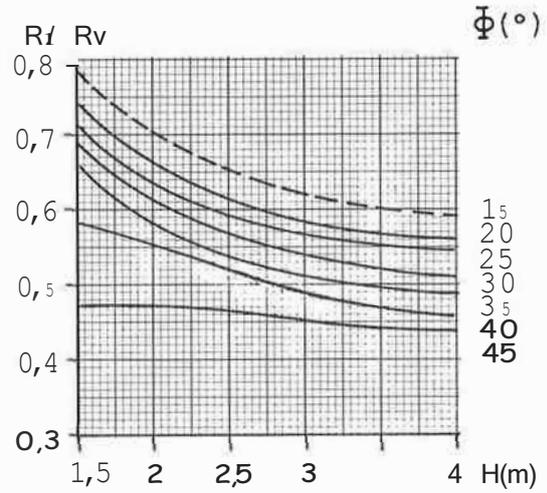
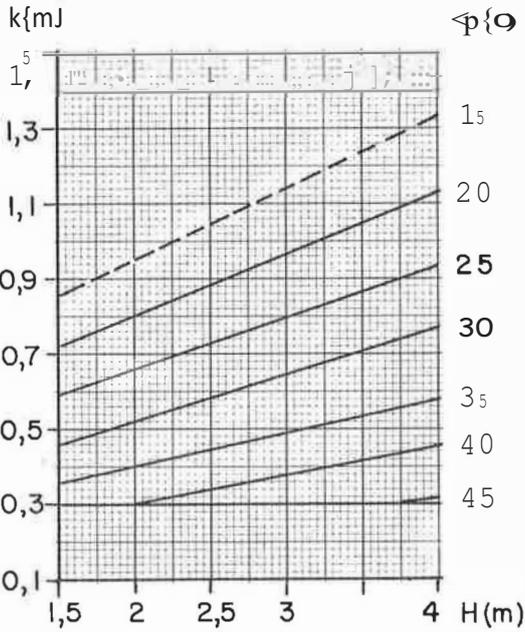


$$\alpha, = 1 - 45^\circ$$

$$c = 0 \text{ t/m}^2$$

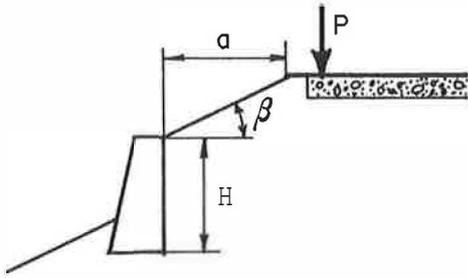
$$a/H = 0,5$$

$$J = 3/4$$



Belastungsfall b

Diagramm Nr. 5

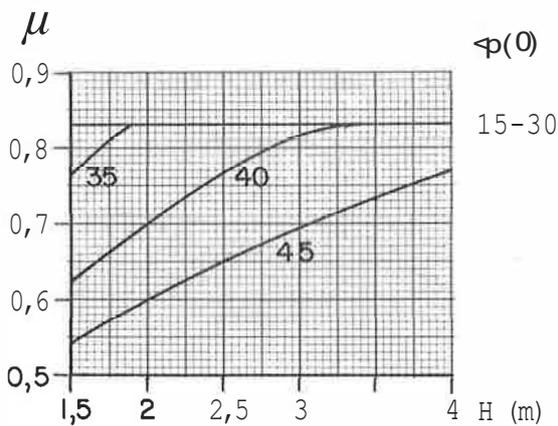
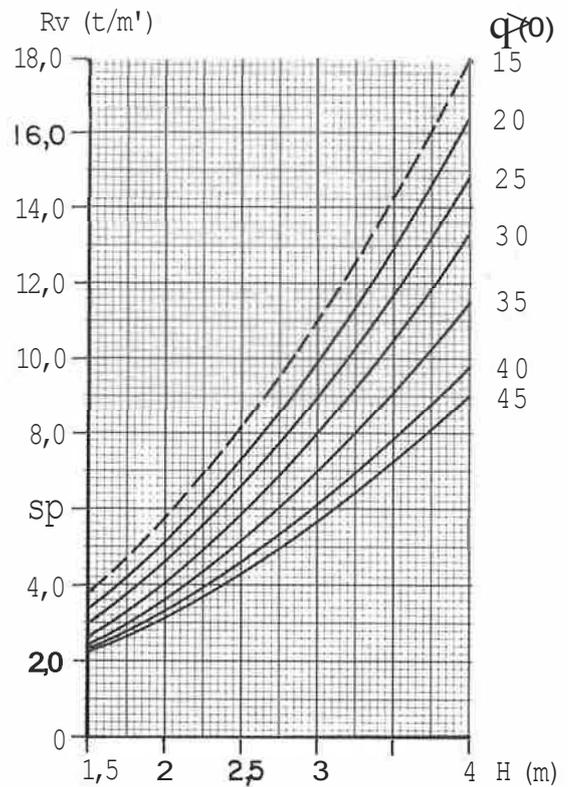
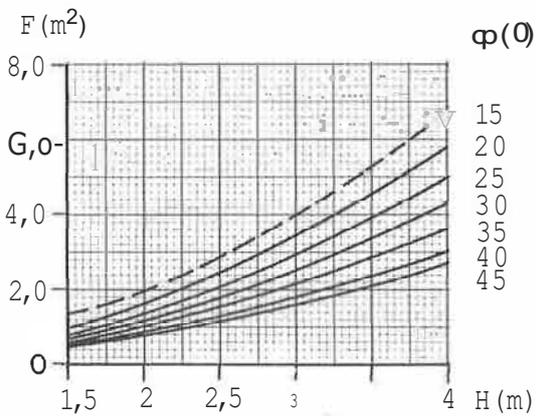
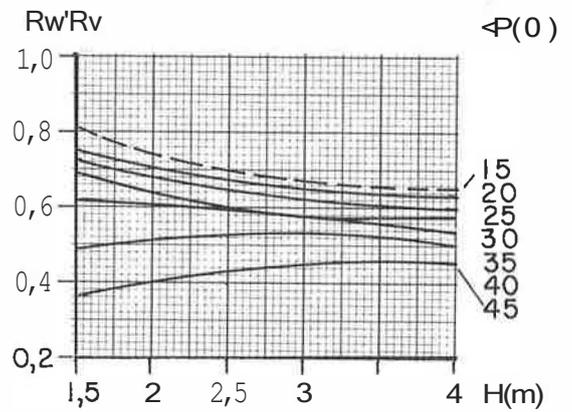
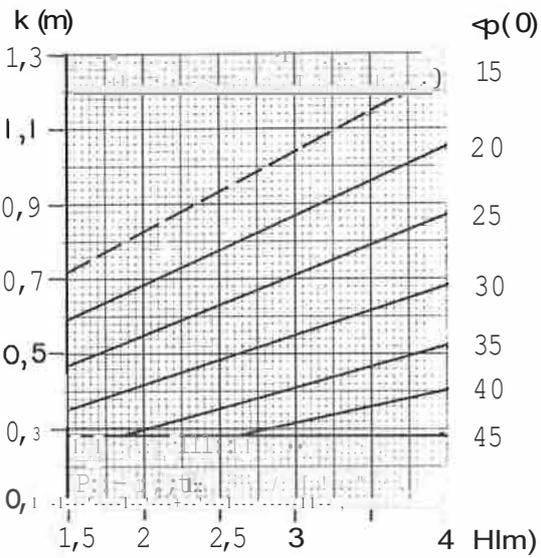


$$\rho = 15-45^\circ$$

$$c = 0 \text{ t/m}^2$$

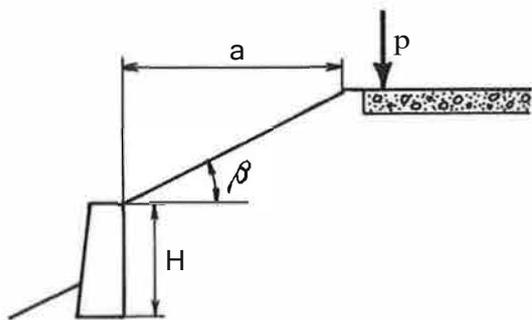
$$a/H = 1$$

$$\beta = 3/4 \rho$$



Belastungsfall b

Diagramm Nr. 6

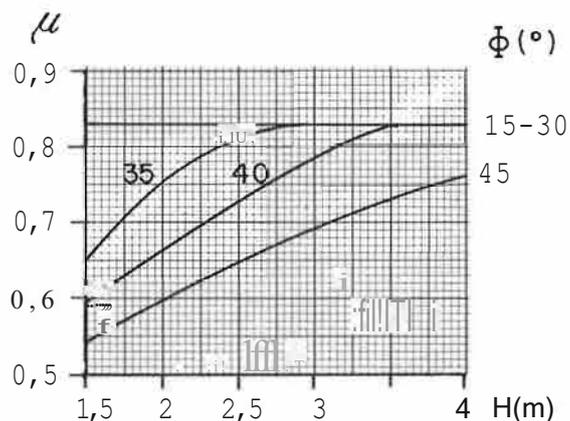
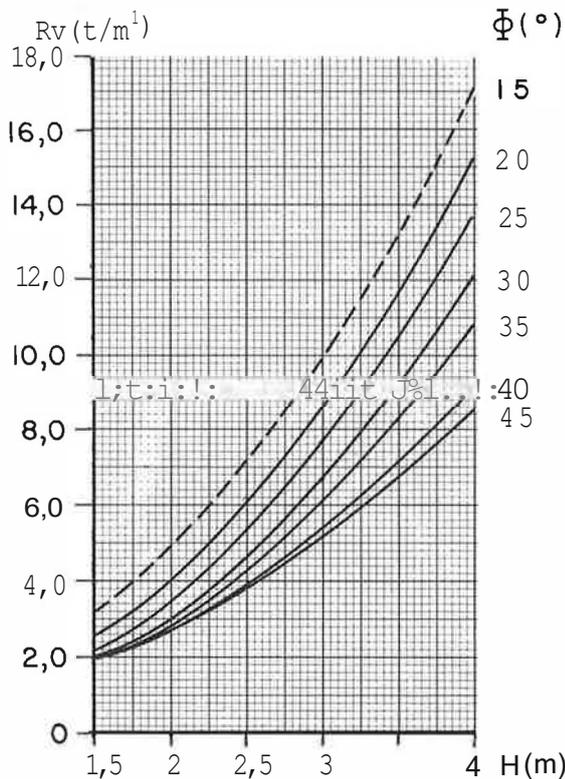
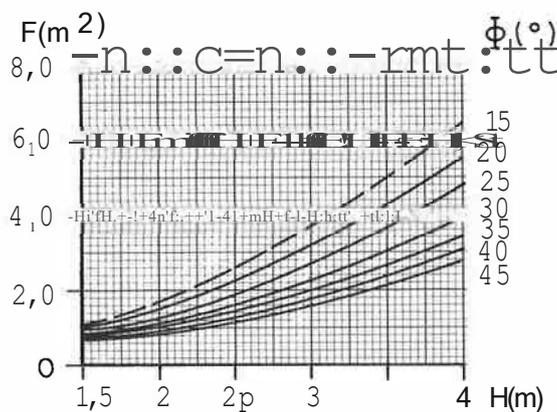
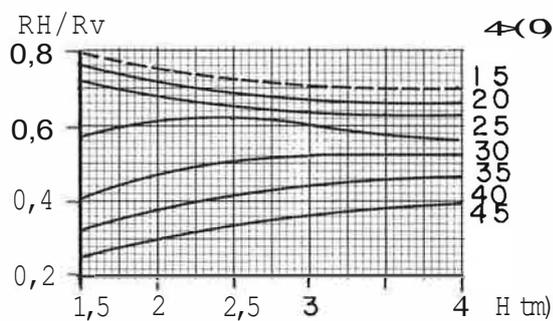
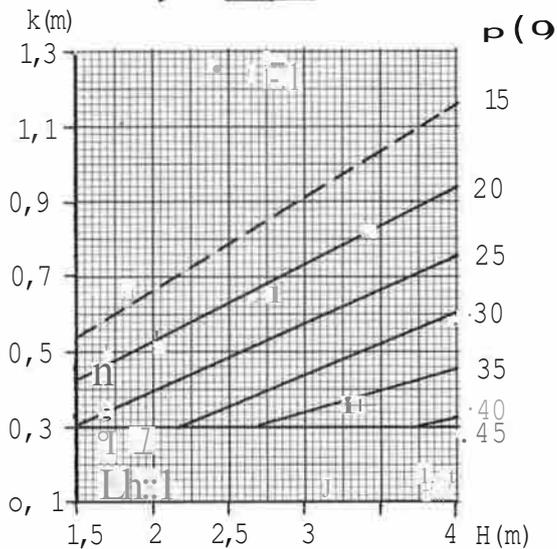


$\varphi = 15-45^\circ$

$c = 0 \text{ t/m}^2$

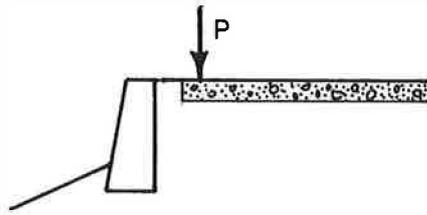
$a/H = 2$

$\beta = 3/4 \angle \varphi$

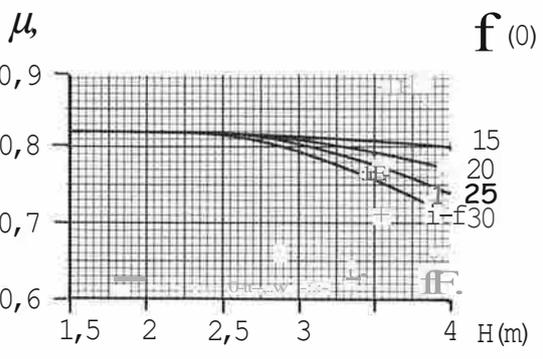
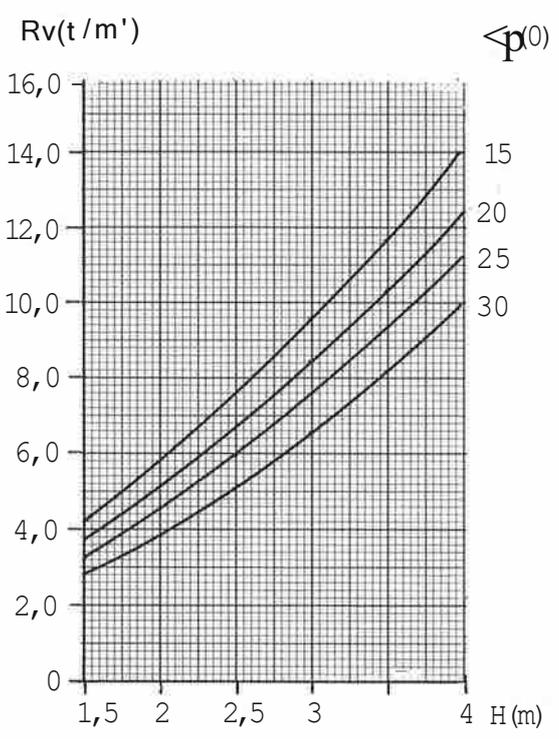
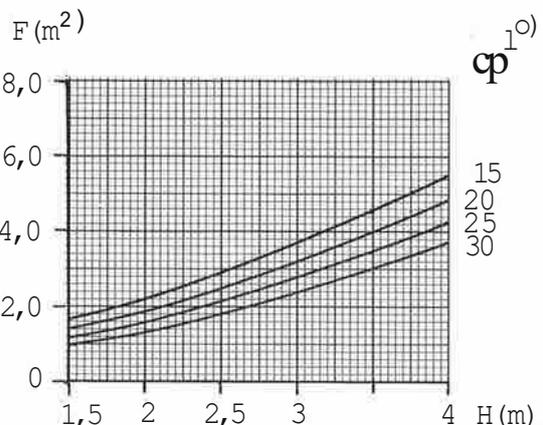
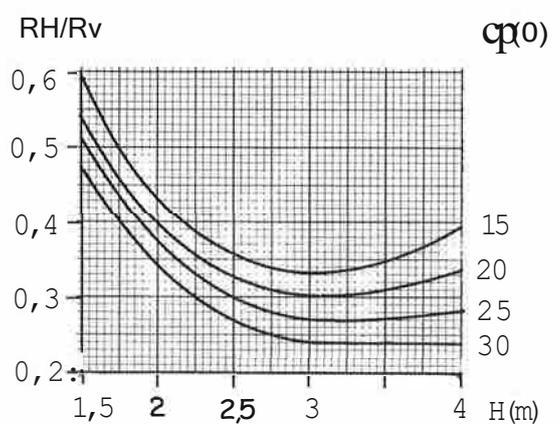
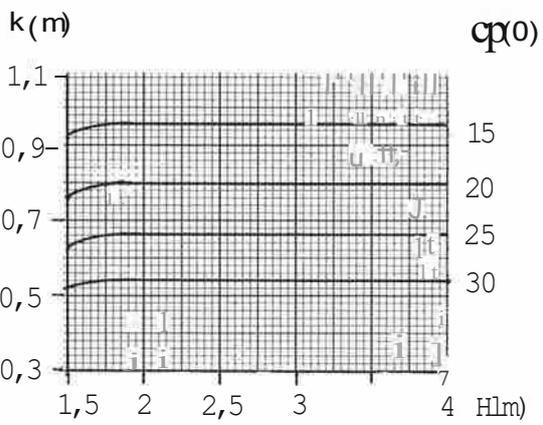


Belastungsfall b

Diagramm Nr. 7

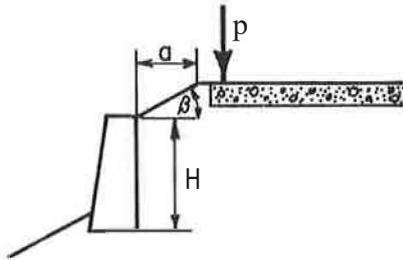


$$\begin{aligned} \angle \rho &= 15-30^\circ \\ c &= 1,0 \text{ t/m}^2 \\ o/H &= 0 \end{aligned}$$



Belastungsfall b

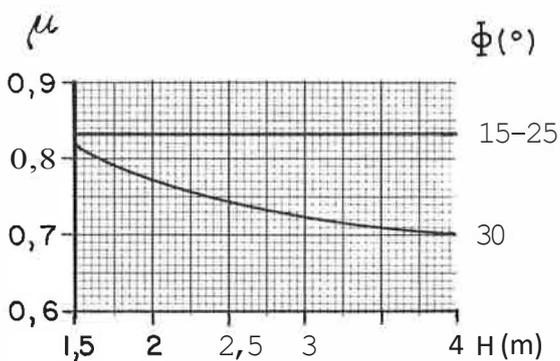
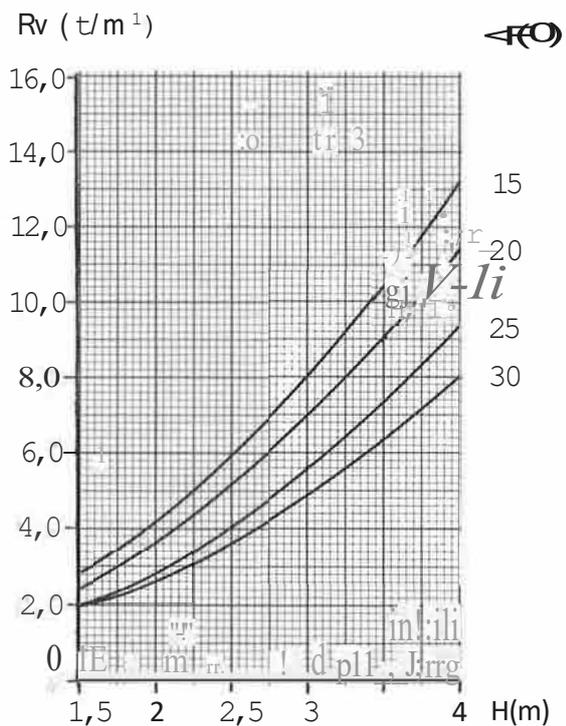
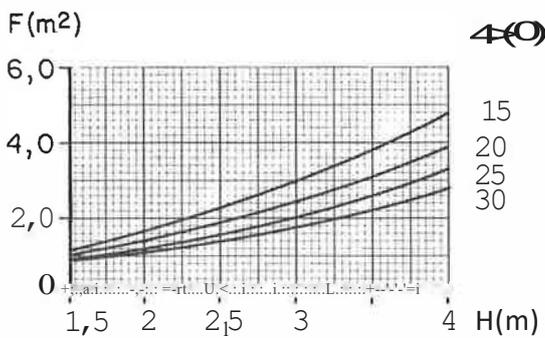
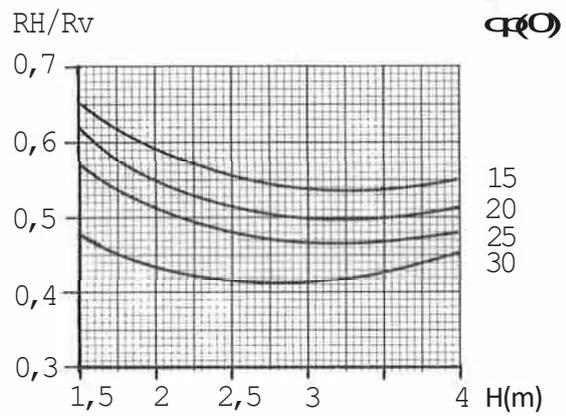
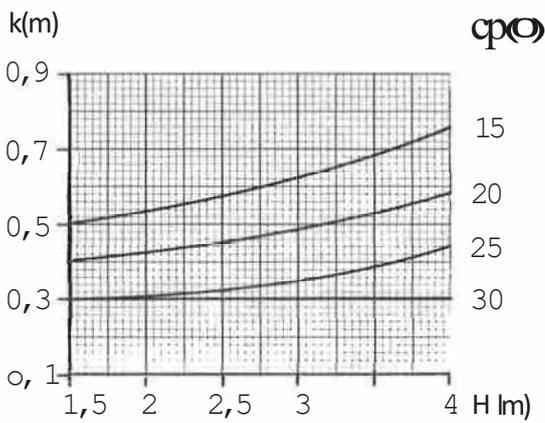
Diagramm Nr. 8



$$\phi = 15-30^\circ$$

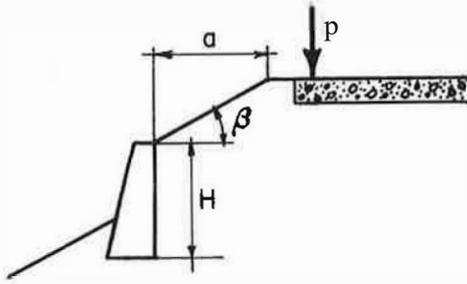
$$c = 1,0 \text{ t/m}^2$$

$$a/H = 0,5$$



Belastungsfall b

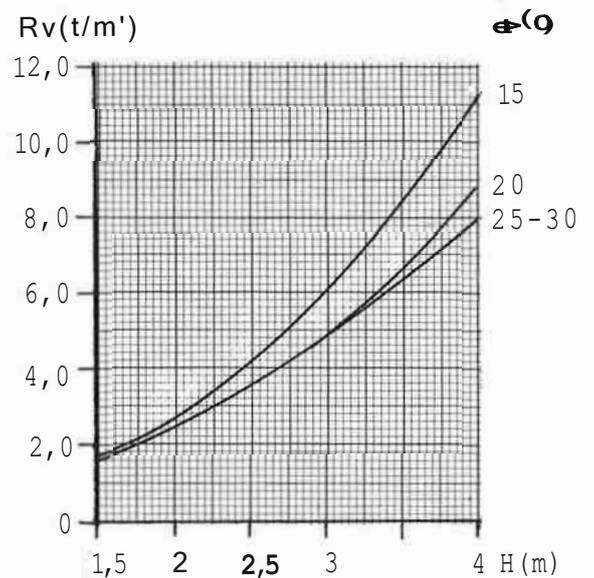
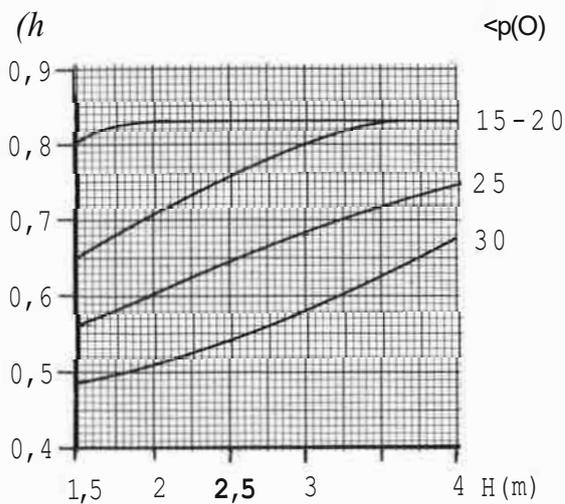
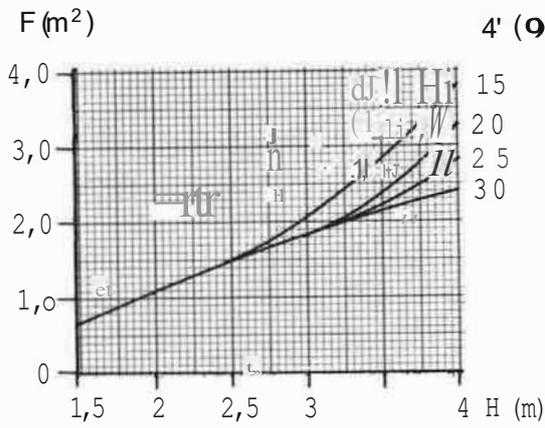
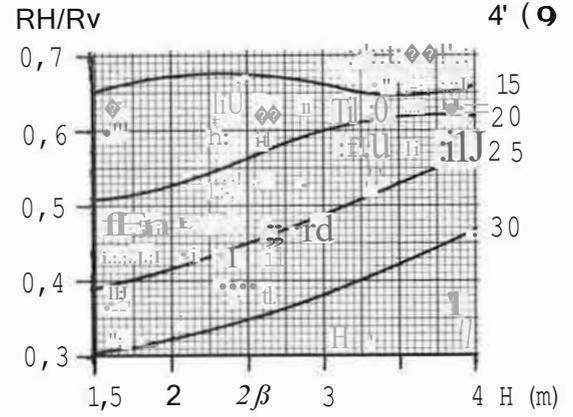
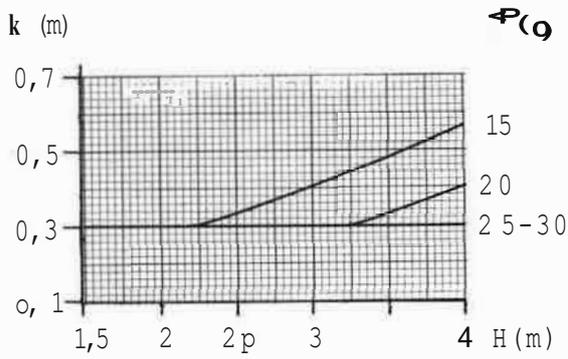
Diagramm Nr. 9



$$\beta = 15-30^\circ$$

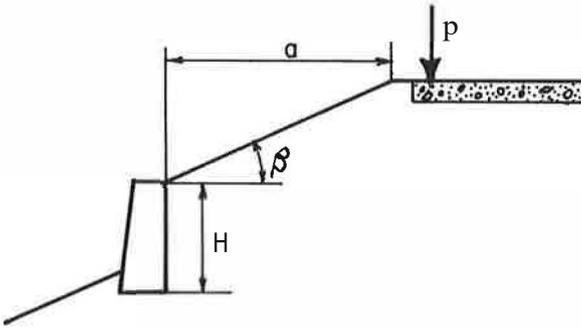
$$c = 1,0t/m^2$$

$$a/H = 1$$



Belastungsfall b

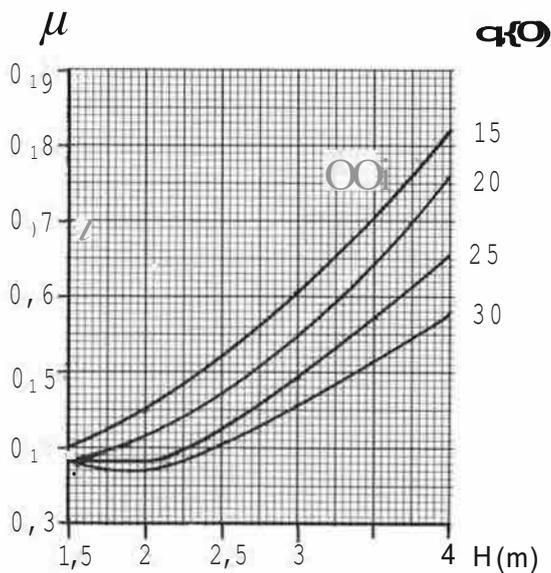
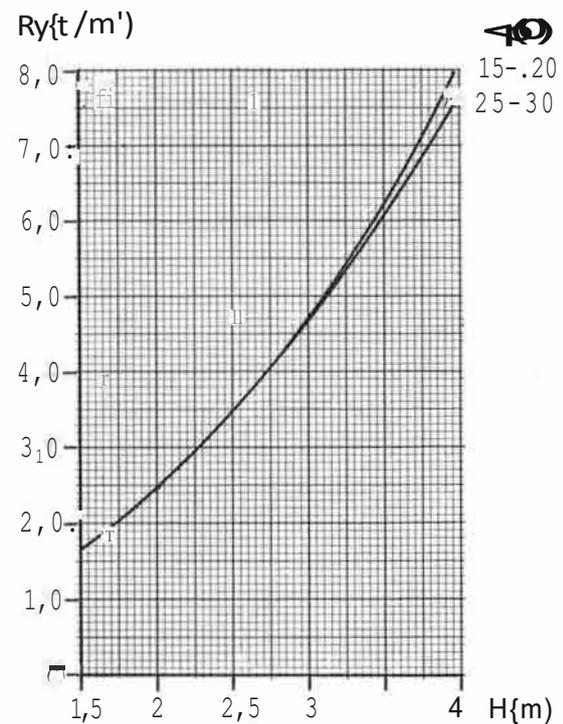
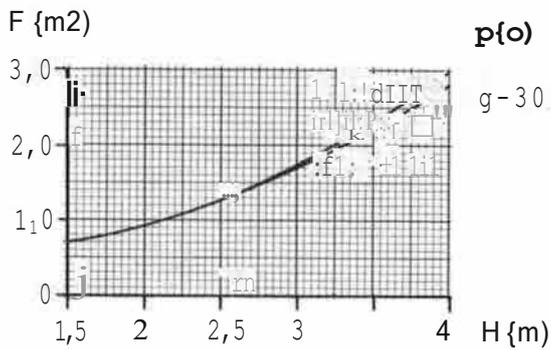
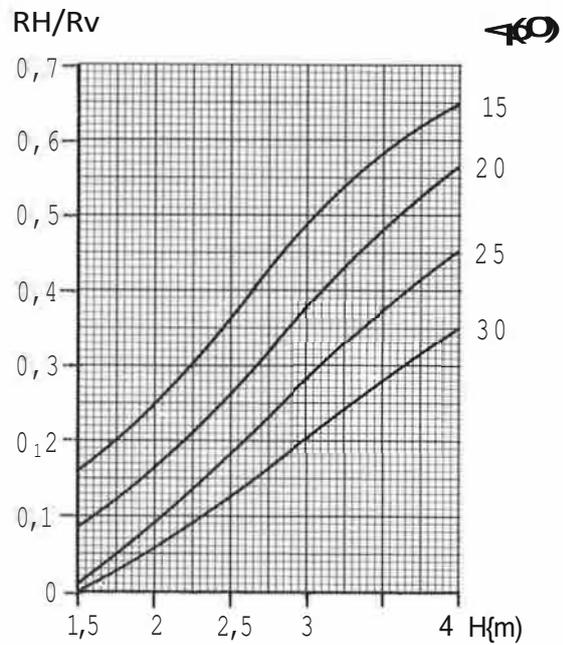
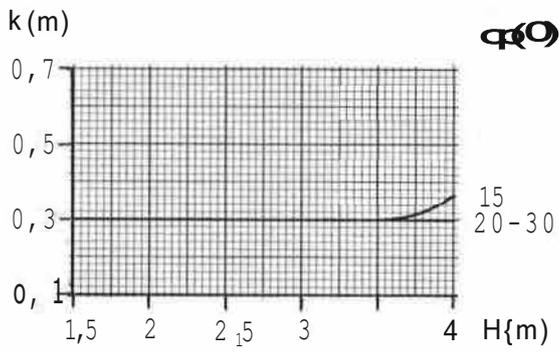
Diagramm Nr. 10



$$\varphi = 15 - 30^\circ$$

$$c = 1,0 \text{ t/m}^2$$

$$a/H = 2$$



Merkblätter über den Bau und Unterhalt von Wald- und Güterstrassen

Messung des CBR-Wertes mit dem Farnell-Handpenetrometer

Dieses Merkblatt enthält Angaben über die Durchführung und Auswertung der CBR-Messung mit dem Farnell-Handpenetrometer.

1. Begriff und Zweck

Das Farnell-Handpenetrometer dient der Messung des CBR-Wertes im Felde. Der CBR-Wert ist ein Mass für die Untergrundtragfähigkeit und stellt eine Eingangsgrösse für die Dimensionierung des Oberbaus von Strassen dar.

2. Anwendungsbereich

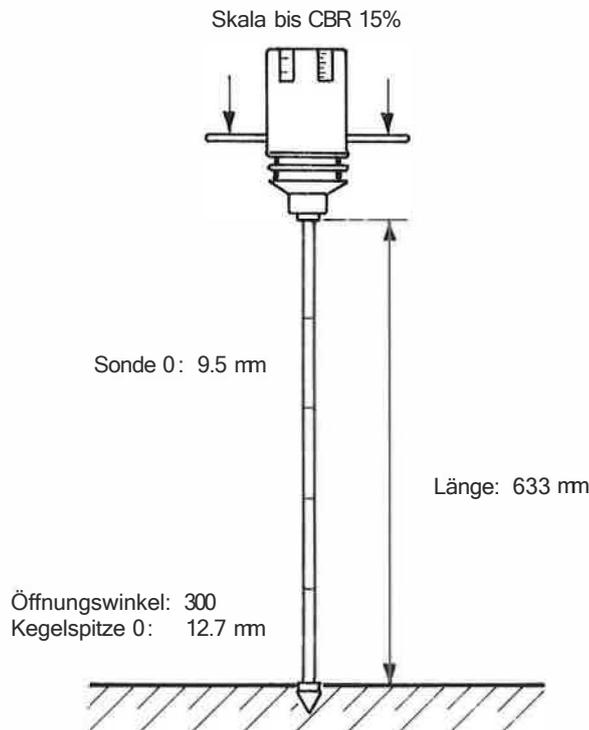
Das Farnell-Handpenetrometer ist für feinkörnige und sandige Böden bis zu einem CBR-Wert von 15% geeignet. Das Vorhandensein von einzelnen Steinen im Boden schliesst die Anwendung des Gerätes jedoch nicht aus. Sollte die Spitze des Penetrometers offensichtlich auf einen Stein anstossen, so ist die Messung im näheren Umkreis zu wiederholen. Für Messungen in steinigem oder kiesigen Böden ist das Gerät ungeeignet.

Die maximale Messtiefe beträgt rund 60 cm.

3. Messgerät

Das Gerät (Darstellung 1) besteht aus einem Gehäuse mit zwei ausklappbaren Handgriffen und einer vierteiligen, 933 mm langen Sonde, die mit einer 7.5 cm (3 Zoll)-Teilung versehen ist. Auf die Sonde ist eine Kegelspitze mit einem Öffnungswinkel von 30° und einem Durchmesser von 12.7 mm geschraubt (die kleinere von beiden Kegelspitzen des Farnell-Gerätes). Das Gehäuse enthält eine geeichte Druckfeder sowie eine Skala, die eine direkte Ablesung des CBR-Wertes erlaubt.

Darstellung 1: Farnell-Handpenetrometer



Gemäss: British Military Engineering
Experimental Establishment

4. Durchführung der Messungen

4.1 Messvorgang

Das Penetrometer wird senkrecht gehalten. Dann wird die Sonde langsam mit konstanter Geschwindigkeit (ca. 2.5 cm pro Sekunde) in den Boden gedrückt. Während des Eindrückens wird in festgelegten Eindringungstiefen der CBR-Wert am Gerät abgelesen. Bei jedem Einstich werden im Normalfall 4 Werte abgelesen (Eindringungstiefe 15, 30, 45 und 60 cm). Grundsätzlich sollte die Humusschicht vor der Messung entfernt werden, andernfalls dürfen die Werte dieser Schicht nicht berücksichtigt werden.

4.2 Messstellen

Zur Beurteilung der Grösse und Gleichmässigkeit der Untergrundtragfähigkeit sollten pro Kilometer Strasse etwas 25 Messstellen vorliegen. Dabei sollten pro Messstelle 4 bis 5 Einstiche durchgeführt werden, verteilt auf einer Fläche von etwa $\frac{1}{2} \text{ m}^2$.

5. Auswertung der Messergebnisse

Für jede Messstelle wird der Mittelwert aus allen abgelesenen CBR-Werten gebildet. Massgebend für die Oberbaudimensionierung ist das Mittel aus den Messstellen-Mittelwerten innerhalb eines homogenen Strassenabschnittes. Als homogen wird ein Abschnitt angesehen, wenn der Variationskoeffizient CV nicht grösser als 0.5 ist.

6. Beispiel einer Messung und Auswertung

Messreihe

Länge (m)	Mittel Messstelle CBR (%)
0	2.6
25	1.2
50	1.3
75	2.1
100	1.9
25	2.4
50	1.1
75	1.2
200	1.9
25	2.6
50	3.1
75	1.7
300	1.4
25	0.9
50	1.7
75	2.3
400	3.5
25	2.1
50	1.8
75	1.2
500	1.5

Statistische Auswertung

Anzahl Werte	n	= 21
Mittelwert	$\overline{\text{CBR}} = \frac{\sum \text{CBR}_i}{n}$	= 1.88%
Standardabweichung	$a = \sqrt{\frac{1}{n-1} (\text{CBR}_i - \overline{\text{CBR}})^2}$	= 0.69%
Variationskoeffizient	$\text{CV} = \frac{a}{\overline{\text{CBR}}}$	= 0.37

Oberbau**Merkblätter über den Bau und Unterhalt von Wald- und Güterstrassen****Deflektionsmessungen mit dem Benkelman-Balken**

Dieses Merkblatt beschreibt den Messvorgang und die Auswertung von Deflektionsmessungen mit dem Benkelman-Balken.

1. Begriff

Mit dem Benkelman-Balken wird die Einsenkung der Oberfläche des Strassenaufbaus unter der ruhenden Belastung des Zwillingsrades eines Lastwagens gemessen. Diese Einsenkung wird als elastische Deflektion bezeichnet.

2. Zweck

Die Grösse der elastischen Deflektion ist ein verlässliches Mass für die Tragfähigkeit der Schichten des Strassenaufbaus. Sie kann verwendet werden zur Kontrolle der Oberbaudimensionierung an neuerstellten Strassen (Merkblatt Nr. 321, Ziffer 6) oder zur Bestimmung der Tragfähigkeit und der Verstärkung bestehender Strassen (Merkblatt Nr. 331).

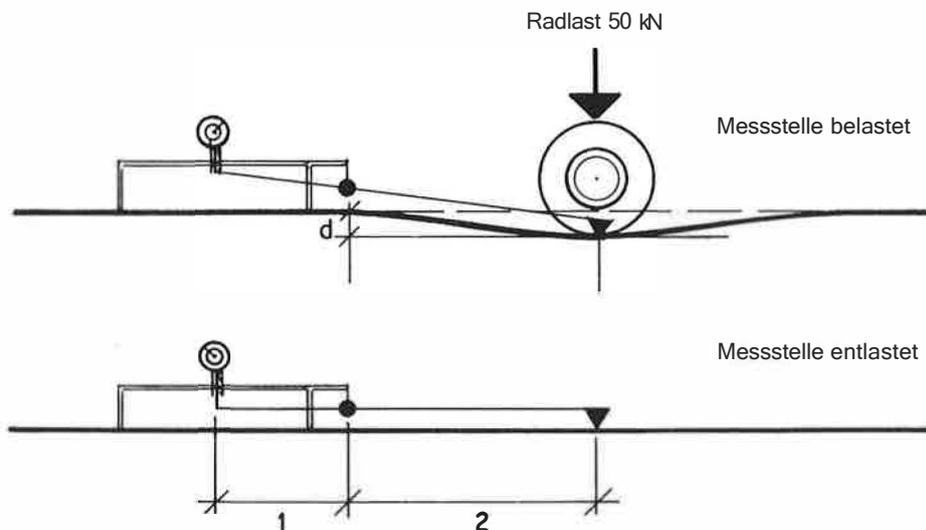
3. Anwendungsbereich

Der Benkelman-Balken kann auf allen Schichten des Strassenoberbaus von Wald- und Güterstrassen sowie auf gut tragfähigem Untergrund (CBR grösser 10%) verwendet werden. Nicht gemessen werden darf auf starren Betonplatten oder auf Schichten, die plastisch deformiert (verdrückt) werden.

4. Messgerät

Der Benkelman-Balken ist ein einfaches mechanisches Messgerät, dessen Abmessungen normiert sind (z.B. SN-Norm 670362). Über einen Hebelarm wird die Grösse der Einsenkung des Messpunktes auf eine Messuhr übertragen (Darstellung 1). Die Drehachse unterteilt den Balken in Verhältnis 2:1. Die Messuhr am kürzeren Ende des Hebelarms zeigt deshalb den halben Wert der Deflektion an. Ein eingebauter Vibrator dient dazu, durch kurze Vibration vor und nach der Messung das Hängenbleiben des Messbalkens und des Stiftes der Messuhr zu verhindern.

Darstellung 1 Prinzip der Deflektionsmessung

**5. Belastungsfahrzeug**

Als Belastungsfahrzeug ist ein zweiachsiger Lastwagen zu verwenden, dessen Hinterachse mit Zwillingsrädern versehen ist. Die Hinterachslast muss 100 kN (10 t), entsprechend einer Radlast von je 50 kN (5 t) betragen. Für den Pneudruck ist ein Wert von 0.7 N/mm² (7 kg/cm²) vorgeschrieben. Die Hinterachslast ist auf einer amtlich geprüften Waage zu kontrollieren, wobei der Wert 100 kN ± 2 kN (10 t ± 0.2 t) tolerierbar ist. Weicht die Last ausnahmsweise von diesem Normwert ab, so kann die Deflektion für die normierte Achslast mit der folgenden Formel angenähert werden:

$$d_{100} = \frac{100}{P_x} \cdot dx$$

d_{100} Deflektion, entsprechend der Achslast von 100 kN

dx Deflektion, gemessen unter der vorhandenen Achslast P_x (kN)

Diese Formel ist etwa im Bereich von 70-120 kN (7 - 12 t) anwendbar

6. Durchführung der Messungen

6.1 Lage und Anzahl Messstellen

Auf den einspurigen Wald- und Güterstrassen werden die Deflektionswerte durch systematisch angeordnete Stichproben gemessen. Bewährt hat sich ein Längsabstand von 25 m wobei abwechslungsweise in der linken und rechten Fahrspur gemessen wird. Zur Beurteilung von Grösse und Gleichmässigkeit der Deflektion eines Abschnittes sollten mindestens 20 Einzelwerte vorliegen. Gegebenenfalls ist der Messstellenabstand zu verkleinern.

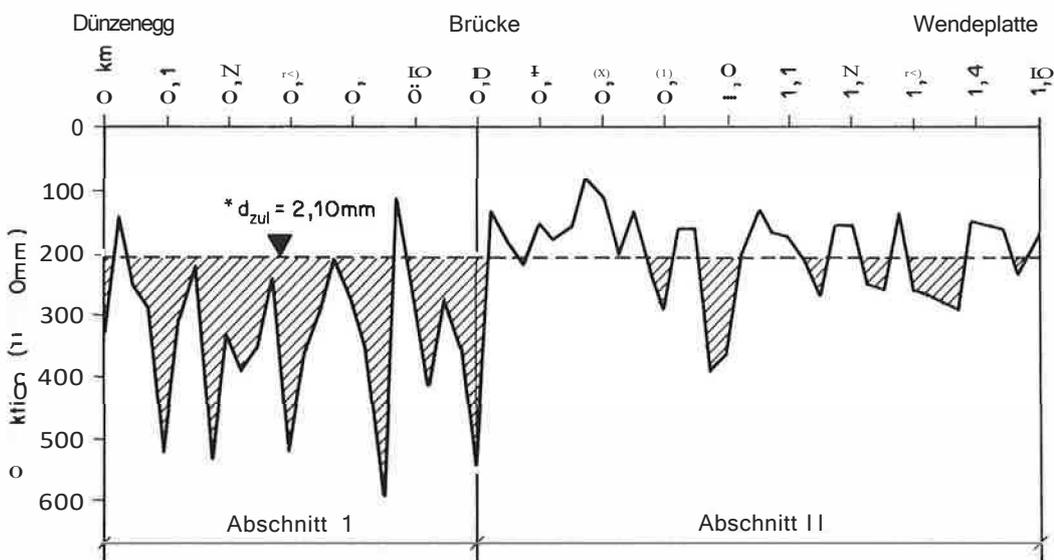
6.2 Messvorgang

Zur Ermittlung der Deflektion wird das Zwillingsrad des Lastwagens auf die Messstelle gebracht. Der arretierte Tastarm des Benkelman-Balkens wird so zwischen die Zwillingsreifen gestellt, dass der Taster im Lastzentrum unter der Achse liegt (Darstellung 1). Die Drehachse des Balkens wird mit Hilfe der Wasserwaage und der Fusschrauben horizontalisiert. Anschliessend wird die Arretierung des Messarms gelöst und die Messuhr auf Null gestellt. Durch Vibration werden mögliche Reibungen und Spannungen des Balkens und der Uhr gelöst. Nach Überprüfung oder Neueinstellung der Nullstellung der Uhr ist der Balken messbereit. Der Lastwagen wird dann von der Messstelle wegbewegt. Nach einer Entfernung von etwa 5 m hat sich die Deflektion zurückgebildet. Nach nochmaliger Vibration wird die zweite Uhrablesung ausgeführt. Die Differenz der beiden Ablesungen entspricht der halben Deflektion.

7. Auswertung der Ergebnisse

Die Deflektionswerte werden in einem geeigneten Massstab als Deflektions-Längenprofil dargestellt (Darstellung 2).

Darstellung 2: Deflektionsmessungen Dünzeneggstrasse



Abschnitt		I	II
Mittelwert	d (1/100 mm)	336	200
Standardabweichung	σ (1/100 mm)	128	67
90%-Grenze	$d + 1.3 \sigma$ (1/100 mm)	502	287
Variationskoeffizient	CV	0.38	0.34

* zul gemäss Merkblatt Nr. 321, Ziff. 6 bzw. Merkblatt Nr. 331, Ziff. 3.

Durch die Verbindung der Punkte ergibt sich ein Linienzug, dessen Verlauf eine gute visuelle Beurteilung der Tragfähigkeit und der Gleichmässigkeit des untersuchten Abschnittes ermöglicht. Die Messwerte eines homogenen Abschnittes (Merkblatt Nr. 331, Ziff. 7) werden als einer Normalverteilung zugehörig angenommen, so dass eine Messreihe mit den folgenden statistischen Masszahlen gut charakterisiert werden kann:

$\bar{d} = \frac{\sum d_i}{n}$	Mittelwert	d_i	Deflektion der i-ten Messung
$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (d_i - \bar{d})^2}{n-1}}$	Standardabweichung	n	Anzahl Messungen
$CV = \frac{\sigma}{\bar{d}}$	Variationskoeffizient	\bar{d}	Mittelwert der n Messungen
		σ	Standardabweichung
		$(\bar{d} + 1.3\sigma)$	90%-Grenze (90 Perzentile)
		$(\bar{d} + 2\sigma)$	98%-Grenze (98 Perzentile)
		CV	Variationskoeffizient

Für Wald- und Güterstrassen wird als massgebende Deflektion in der Regel die 90%-Grenze verwendet.

Merkblätter über den Bau und Unterhalt von Wald- und Güterstrassen

Dimensionierung von Strassen mit flexiblem Oberbau

Dieses Merkblatt enthält Angaben und Grundlagen für die Dimensionierung des Oberbaus von Strassen mit geringem Verkehr, insbesondere von Wald- und Güterstrassen.

1. Einleitung

Die Methode der Dimensionierung des Oberbaus basiert auf den Grundlagen und Resultaten des AASHO-Road-Tests sowie auf zahlreichen Untersuchungen an Wald- und Güterstrassen in der Schweiz.

2. Dimensionierungsparameter

Zu den Dimensionierungsparametern gehören

- die Untergrundtragfähigkeit
- der Verkehr
- der Regionalfaktor

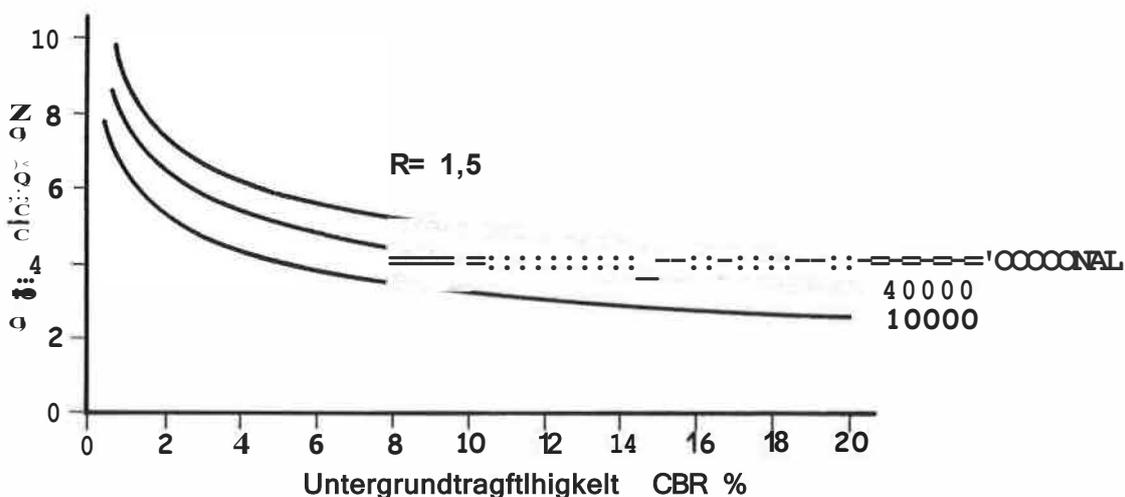
2.1 Untergrundtragfähigkeit

Die Untergrundtragfähigkeit ist als CBR-Wert (California Bearing Ratio) anzugeben. Er wird im Feld beim vorhandenen Wassergehalt gemessen (Merkblatt Nr. 311) oder aufgrund der Bodenbeurteilung geschätzt. Massgebend sind die CBR-Werte während der Sommer- und Herbstperiode. In dieser Zeit ist die Tragfähigkeit des Bodens nur relativ kleinen saisonalen Schwankungen unterworfen.

Eine genaue Messung des CBR-Wertes ist in schlecht tragfähigen Böden notwendig (CBR-Wert < 5%), weil in diesem Bereich schon kleine Änderungen in der Bodentragfähigkeit grosse Unterschiede in der Dicke des Oberbaus bewirken. In diesen Böden ist das Farnell-Handpenetrometer für die Messung des CBR-Wertes gut geeignet. Innerhalb eines homogenen Abschnittes ist für die Dimensionierung der Mittelwert massgebend. Als homogen wird ein Abschnitt beurteilt, wenn der Variationskoeffizient den Wert von 0.5 nicht überschreitet (Merkblatt Nr. 311).

Bei CBR-Werten über etwa 10% ist der Einfluss der Bodentragfähigkeit auf die Dicke des Oberbaus relativ klein (Darstellung 1). In diesem Fall ist eine Schätzung aufgrund einer Bodenbeurteilung meist ausreichend.

Darstellung 1: Einfluss der Untergrundtragfähigkeit auf den Stärkenindex



Darstellung 2: informatorische Werte für die Untergrundtragfähigkeit

Feinkörniger Flyschschutt	CBR %	0,5 ... 2
Verwitterter Mergel		1 ... 3
Verwitterter Sandstein		2 ... 5
Gehängelehme		1 ... 2
Feinkörnige Moräne		1 ... 3
Moräne mit reichlich Kies		5 ... 10
Grobkörnige Moräne		10 ... 20
Schotter		> 20
Blockschutt		> 20

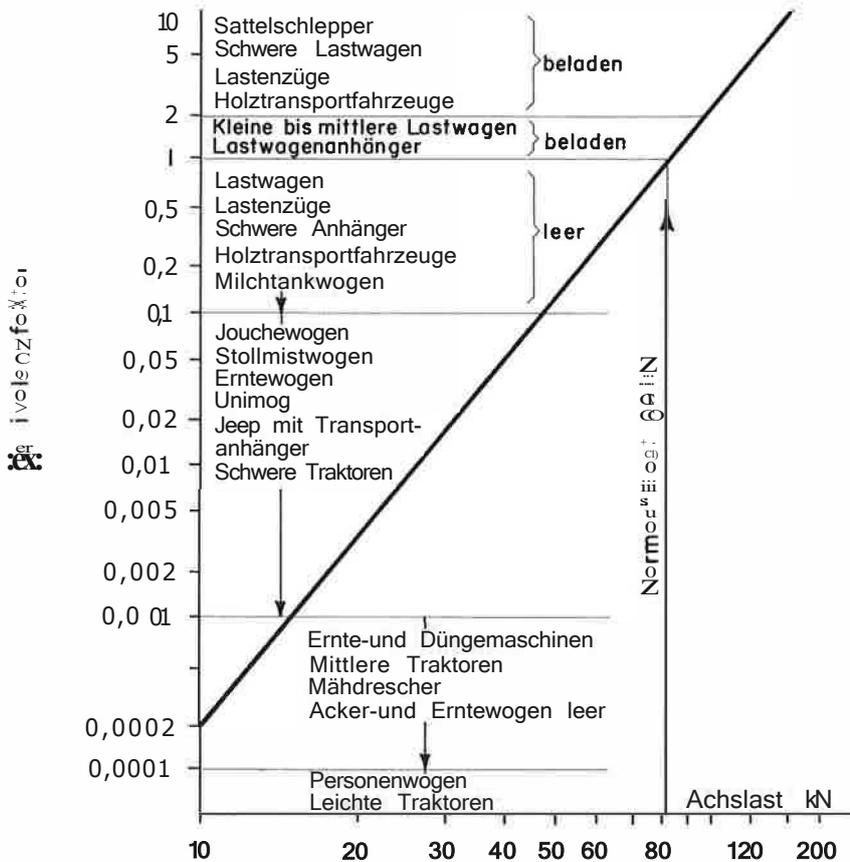
2.2 Dimensionierungsverkehr W

Die Wirkung des Verkehrs wird auf die Normachslast (NAL) von 82 kN (8.2 t) bezogen. Die Schadenwirkung davon abweichender Achslasten wird mit Hilfe des Lastäquivalenzfaktors e bestimmt. In der Darstellung 3 sind die Lastäquivalenzfaktoren für die in der Forst- und Landwirtschaft üblichen Fahrzeuge angegeben. Die Wirkung leichter Fahrzeuge ist vernachlässigbar klein; bedeutsam ist nur der Verkehr mit schwereren Fahrzeugen, insbesondere der Baustellenverkehr und der Verkehr für die land- und forstwirtschaftlichen Transporte.

Darstellung 3: Lastäquivalenzfaktoren e ausgewählter Fahrzeuge

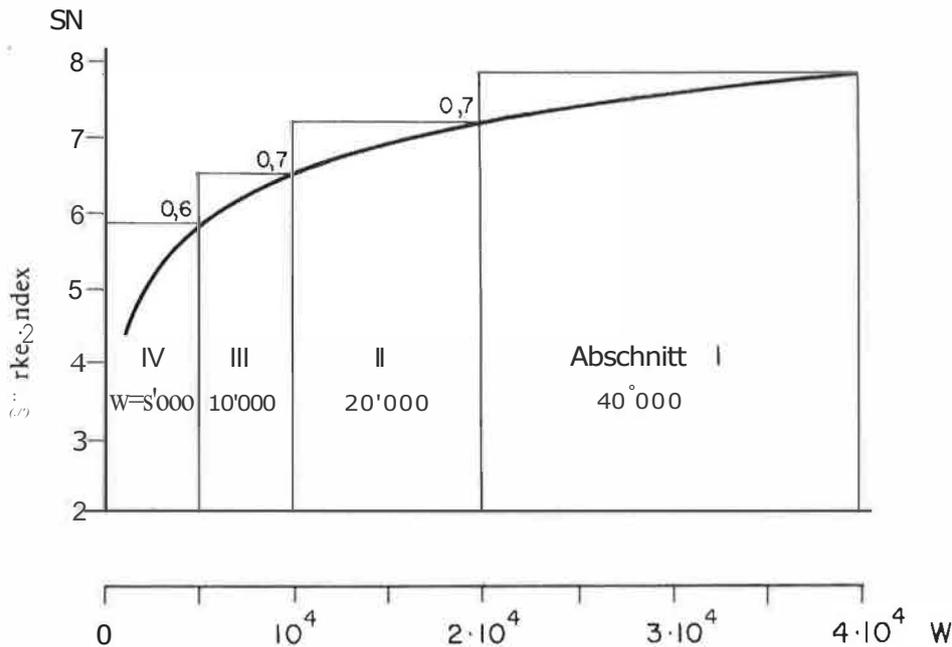
	zul. Höchstgewicht		e pro Fahrt (leer+beladen)	pro 10 kN pro t Nutzlast	pro m ³ Kies	pro m ³ Holz
	kN	t				
2-achsiger LKW	160	16	3.26	0.40	0.80	
3-achsiger LKW	250	25	2.63	0.20	0.40	
4-achsiger LKW	280	28	2.41	0.15	0.30	0.15
Anhänger	120	12	0.50	0.05	0.10	
Lastwagenzug mit Kran	280	28	3.91	0.25		0.20
3-achsiger LKW mit Kran	250	25	2.67	0.20		0.15
Langholzfahrzeug mit Kran	280	28	4.43	0.30		0.25
Forstraktor	70	7	0.12			
Traktor sehr schwer	40	4	0.02			
Traktor schwer	30	3	0.005			
Traktor+ Druckfass	40+60	10	0.18	0.05		
Traktor+ Ladewagen	40+60	10	0.13	0.05		

Darstellung 4: Bereich der Lastäquivalenzfaktoren



Die Schätzung des Dimensionierungsverkehrs verlangt keine sehr hohe Genauigkeit. Erst eine Verdoppelung des Verkehrs bzw. der Zahl der Normachlasten bewirkt eine wesentliche Zunahme des Stärkenindexes so z.B. bei Verkehrsklassen von 5000 NAL, 10000 NAL, 20000 NAL, 40000 NAL (vgl. Darstellung 5).

Darstellung 5: Zunahme des Stärkenindexes mit zunehmendem Verkehr (CBR = 1%, R = 2.0)



Für Waldstrassen mit ausschliesslicher Bewirtschaftungsfunktion setzt sich die gesamte Verkehrsbelastung zusammen aus Baustellenverkehr und dem Verkehr für den Holztransport. Der gesamte Verkehr kann mit guter Genauigkeit wie folgt geschätzt werden (Darstellung 6).

Darstellung 6: Schätzung des Verkehrs für Waldstrassen

Jura
Mittelland: $W = 3 \cdot L$
Alpen
Voralpen: $W = 4 \cdot L$

W Gesamtverkehr in Normachlasten NAL
L Strassenlänge in Metern

Als Richtwerte für einen Dimensionierungszeitraum von 40 Jahren können auch die Richtwerte der Darstellung 7 verwendet werden.

Darstellung 7: Richtwerte für den Dimensionierungsverkehr W auf Waldstrassen (Dimensionierungszeitraum: 40 Jahre)

Strassentyp	Normachlasten
Erschliessungsstrassen	
- Strassenlänge bis 1.5 km	5000
- Strassenlänge 1.5 - 3.0 km	5000 - 10000
Sammelstrassen	
- kleines Einzugsgebiet: 3 - 6 km Strassen	10000 - 20000
- mittleres Einzugsgebiet: 6 - 12 km Strassen	20000 - 40000
- grosses Einzugsgebiet: 12 - 18 km Strassen	40000 - 60000
Verbindungsstrassen	100000 - 200000

Analog dazu kann der Verkehr auf den Güterstrassen für den Bau und die Bewirtschaftung wie folgt abgeschätzt werden (Darstellung 8).

Darstellung 8: Schätzung des Verkehrs für Güterstrassen

W = 5 · L	W Verkehr in Normachslasten NAL
	L Strassenlänge in Metern

Als Richtwerte für Güterstrassen können die Angaben aus der Darstellung 9 entnommen werden.

Darstellung 9: Richtwerte für den Dimensionierungsverkehr auf Güterstrassen
(Dimensionierungszeitraum: 40 Jahre)

Strasstyp	Normachslasten
Erschliessungsstrassen (Nebenwege)	
- Strassenlänge bis 1 km	5 000
- Strassenlänge 1 - 2 km	5 000 - 10 000
Sammelstrassen (Hauptwege)	
- kleines Einzugsgebiet: 2 - 4 km Strassen	10 000 - 20 000
- mittleres Einzugsgebiet: 4 - 8 km Strassen	20 000 - 40 000
- grosses Einzugsgebiet: 8 - 16 km Strassen	40 000 - 80 000
Verbindungsstrassen	100 000 - 200 000

2.3 Regionalfaktor

Der Regionalfaktor berücksichtigt die während eines Jahres auftretenden Schwankungen der Tragfähigkeit des Strassenaufbaus, die durch Wasser- und Frosteinflüsse bewirkt werden. Für schweizerische Verhältnisse liegt er etwa zwischen 1 und 2

Die Annahme der Werte aus der Darstellung 10 ist hinreichend genau.

Darstellung 10: Regionalfaktor

günstige Umgebungsbedingungen Höhenlage unter 400 m ü M	R = 1.0
normale Umgebungsbedingungen Höhenlagen 400 bis 800 m ü.M.	R = 1.5
ungünstige Umgebungsbedingungen Höhenlagen über 800 m ü M (inkl. Schneeräumung)	R = 2.0

3 Bestimmung des Stärkenindex (Dimensionierung)

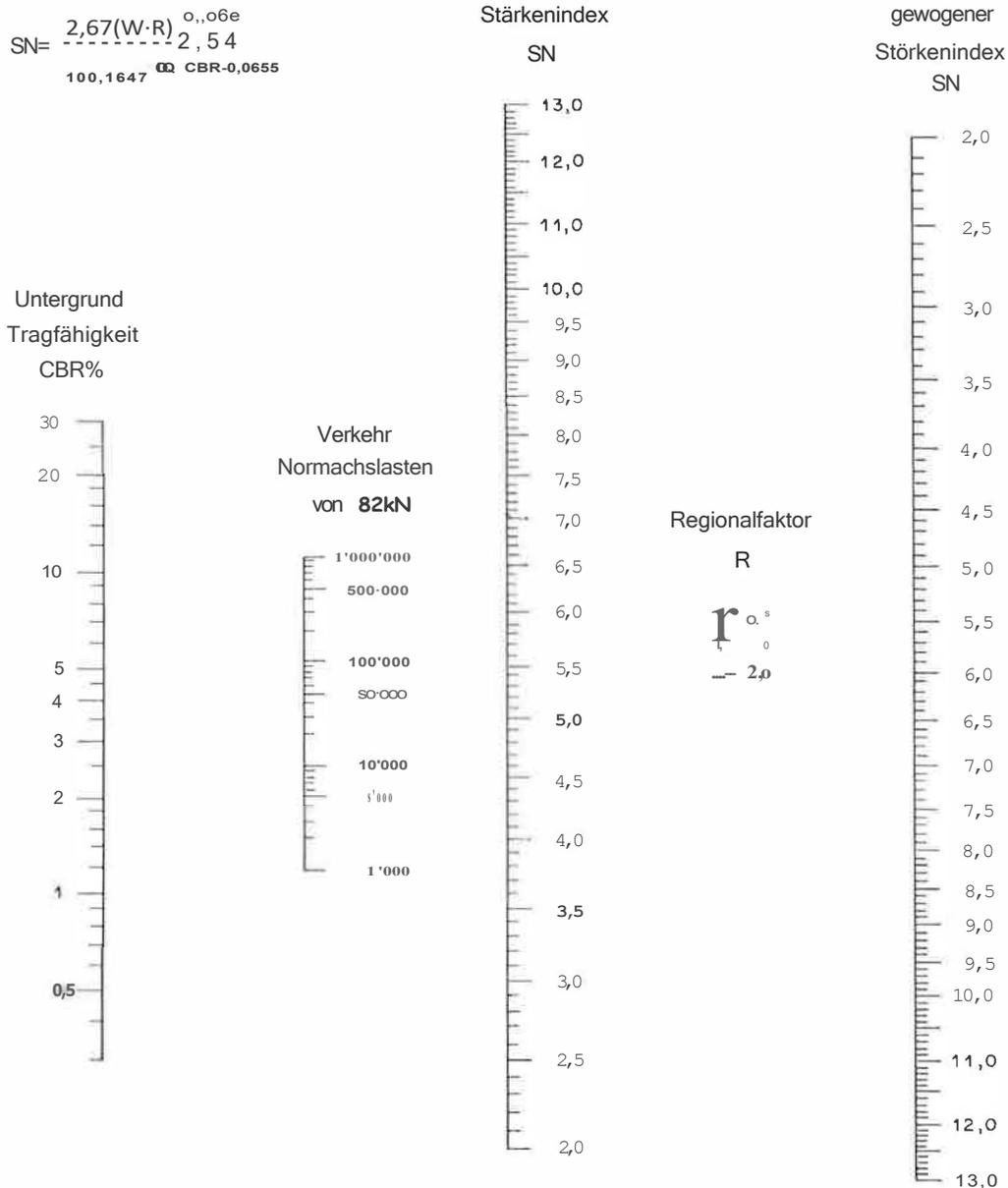
Mit den drei Grössen Untergrundtragfähigkeit, Verkehr und Regionalfaktor wird der gewogene Stärkenindex bestimmt. Für die analytische Bestimmung des Stärkenindex kann die folgende Formel angewendet werden:

$$SN = \frac{2,67 \cdot (W \cdot R)^{0,1068}}{10^{0,1647 \cdot \lg CBR - 0,0655}} - 2,54$$

SN	Stärkenindex
W	Verkehr in Normachslasten
R	Regionalfaktor
CBR	Tragfähigkeit als CBR-Wert [%]

Der Stärkenindex SN kann auch mit Hilfe des Nomogramms (Darstellung 11) bestimmt werden.

Darstellung 11: Dimensionierungsnomogramm

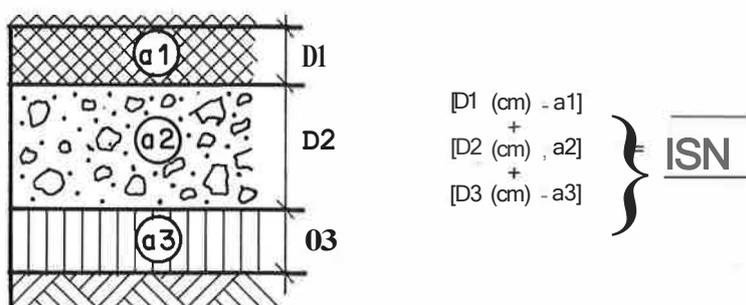


Der Stärkenindex SN setzt sich wie folgt zusammen:

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

d.h. der Stärkenindex entspricht der Summe der Produkte aus den Schichtdicken D in cm multipliziert mit ihren entsprechenden Tragfähigkeitskoeffizienten (a-Werte). Diese lineare Form zur Angabe der Oberbaudicke hat den Vorteil, dass bei Kenntnis der a-Werte die Schichten des Oberbaus innerhalb bestimmter Grenzen variiert werden können (Darstellung 12).

Darstellung 12: Aufbau des Stärkenindexes



4. Tragfähigkeitskoeffizienten (a-Werte)

Die Tragfähigkeitskoeffizienten sind ein Mass für die relative Tragfähigkeit bzw. die Festigkeit und Stabilität der Baustoffe des Oberbaus. Für die in der Schweiz gebräuchlichen Baustoffe sind die a-Werte in der Darstellung 13 zusammengestellt.

Darstellung 13: Tragfähigkeitskoeffizienten (a-Werte)

	a-Wert	minimale Schichtdicke cm
Heissmischbeläge		
Asphaltbeton AB	0.40	6
Teerasphalt TA	0.40	6
HMT L ¹ , HMT Melio	0.30	6
HMTN ²	0.40	6
Kiese		
Kies I rund	0.11	20
Kies I gebrochen	0.14	20
Kies I rund	0.07	20
Kies I gebrochen	0.11	20
Stabilisierungen		
mit Zement	0.20	15
mit bitum. Bindemittel	0.20	15
mit Kalk	0.15	15

¹HMT L entspricht in der Zusammensetzung etwa der HMT A: vorwiegend runde Mineralstoffe

²HMT N entspricht in der Zusammensetzung etwa der HMT B: mindestens 40% gebrochene Mineralstoffe

Die minimalen Schichtdicken entsprechen nicht den Einbaudicken. Diese sind unter Berücksichtigung der Einbautoleranzen zu erhöhen.

Deckschichten, wie z.B. wassergebundene Verschleisschichten, Cutbackbeläge, dünne Heissmischbeläge (TA, AB) usw. werden in der Dimensionierung nicht berücksichtigt.

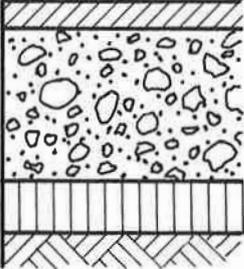
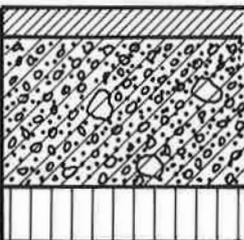
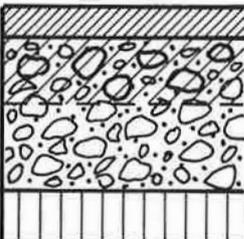
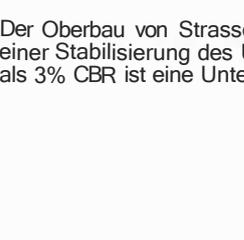
5. Schichtdicken und Anordnung der Schichten

Für Strassen mit geringem Verkehr sind aus Gründen der technischen Notwendigkeit, der begrenzten finanziellen Mittel, der maschinentechnischen Voraussetzungen nicht sehr viele Schichtkombinationen und Schichtdicken zweckmässig und wirtschaftlich.

Die in der Darstellung 13 angegebenen minimalen Schichtdicken dürfen nicht unterschritten werden, weil andernfalls die Tragfähigkeit des Schichtverbundes nicht gewährleistet ist.

Die häufigsten Aufbauarten sind in der Darstellung 14 angegeben.

Darstellung 14: Anordnung der Schichten

	Wassergebundene Verschleisschicht	D:;;. 6cm
	Cutbackbelag CB	D: 4 - 6 cm
	Kies	D: ;:20cm
	eventuelle Stabilisierung mit Kalk	D: 15-20 cm
	HMT, (AB, TA)	D: 6-10 cm
	Kies	D: ;:20 cm
	eventuelle Stabilisierung mit Kalk	D: 15-20 cm
	Cutbackbelag CB (evtl. 2fache OB)	
	Stabilisierung mit Zement (evtl. mit bituminösen Bindemitteln)	
	- Vollstabilisierung	D: 30-40 cm
	eventuelle Stabilisierung mit Kalk	D: 15-20 cm
	Cutbackbelag CB (evtl. 2fache OB)	
	Stabilisierung der obersten Schicht	D: 15-20 cm
	Kies	D:;;. 20cm
	eventuelle Stabilisierung mit Kalk	D: 15-20 cm

Der Oberbau von Strassen mit schwachem Verkehr ist in der Regel höchstens dreischichtig aufgebaut. Die Notwendigkeit einer Stabilisierung des Untergrundes ist abhängig von der Tragfähigkeit des Untergrundes. Bei Tragfähigkeitswerten kleiner als 3% CBR ist eine Untergrundstabilisierung mit Kalk zu prüfen.

6. Kontrolle der Dimensionierung

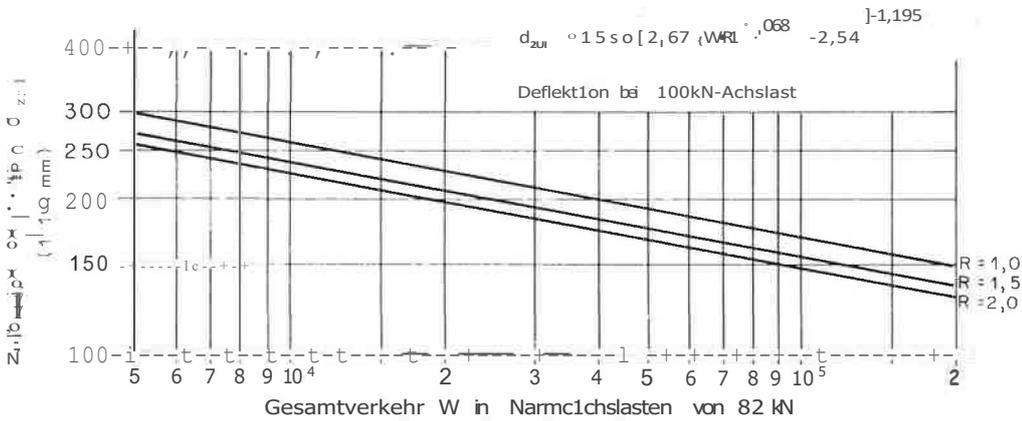
Die Oberbaudimensionierung kann nach der Bauausführung mit Hilfe der Deflektionsmessung überprüft werden. Die zulässige elastische Deflektion, gemessen mit dem Benkelman-Balken (Merkblatt Nr. 312) unter dem 50 kN-Zwillingsrad, kann mit der folgenden Formel bestimmt werden:

$$d_{zul} = 1580 [2,67 (W \cdot R)^{0,1068} \cdot 2,54]^{-1,195}$$

- d_{zul} zulässige Deflektion (d + 1.3 σ = 90%-Grenze)
- W Gesamtverkehr in Normachslasten NAL
- R Regionalfaktor

Diese Beziehung ist auch in der Darstellung 15 dargestellt.

Darstellung 15: Zulässige Deflektion

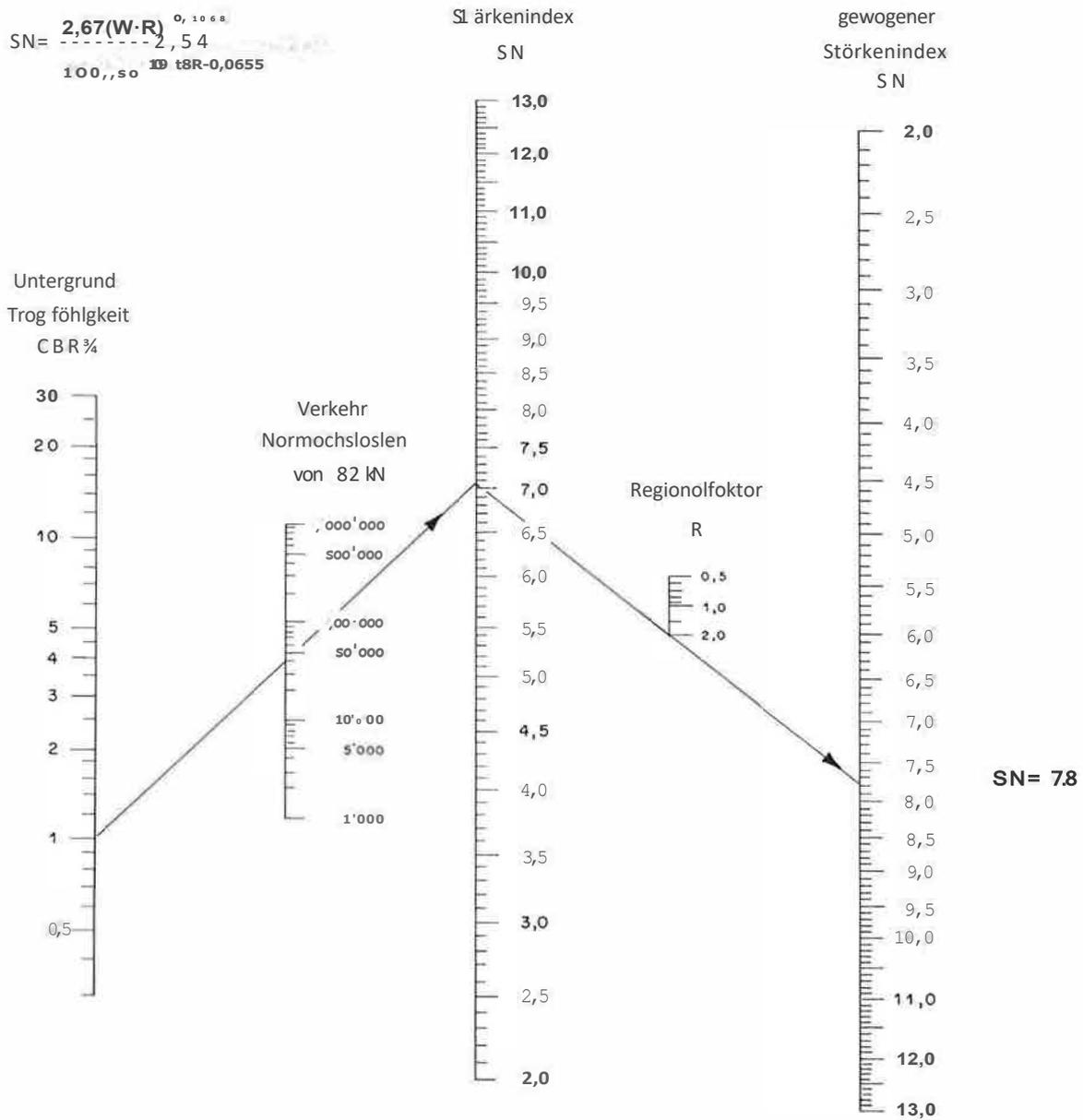


Auf ungebundenen Kiessandtragschichten sollten die Messungen frühestens nach einem halben Jahr nach Fertigstellung ausgeführt werden.

7. Beispiel einer Dimensionierung

Annahmen: Sammelstrasse CBA = 1%
 W = 40000 Normachslasten
 R = 2.0

Darstellung 16: Dimensionierungsnomogramm



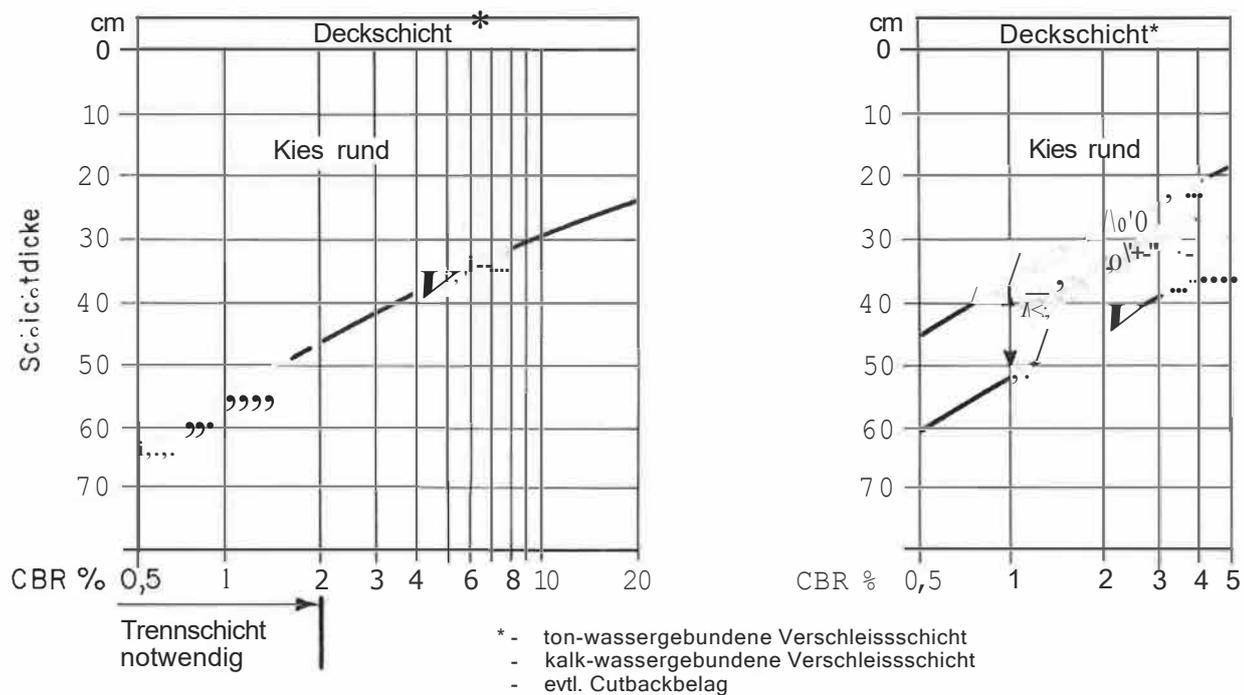
Darstellung 17: Varianten

		Dicke	a-Wert	SN
Variante 1				
	Deckschicht	5cm	—	—
	Kies rund	70cm	0.11	7.7
	Trennschicht	75cm		7.7
Variante I				
	Deckschicht	5cm	—	—
	Kies rund	50cm	0.11	5.5
	Kalkstabilisierung	15cm 70cm	0.15	2.3 7.8
Variante III				
	HMT	7cm	0.30	2.1
	Kies rund	30cm	0.11	3.3
	Kalkstabilisierung	15cm 52cm	0.15	2.3 7.7

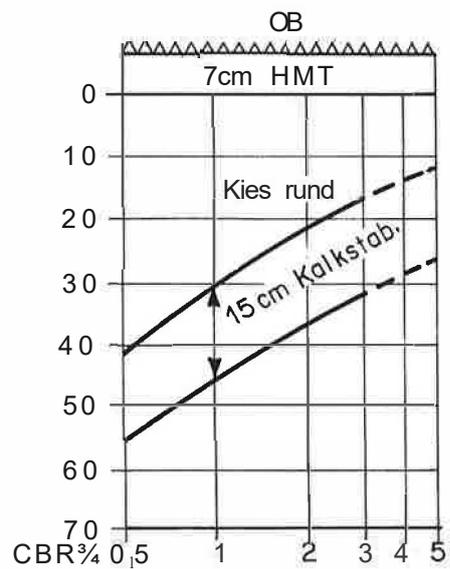
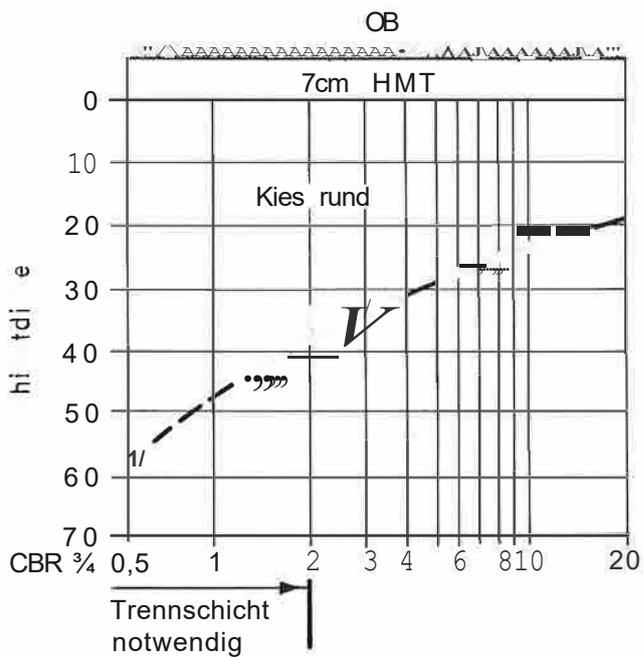
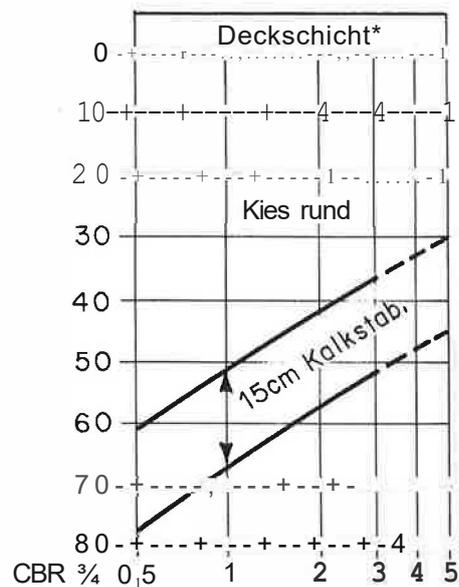
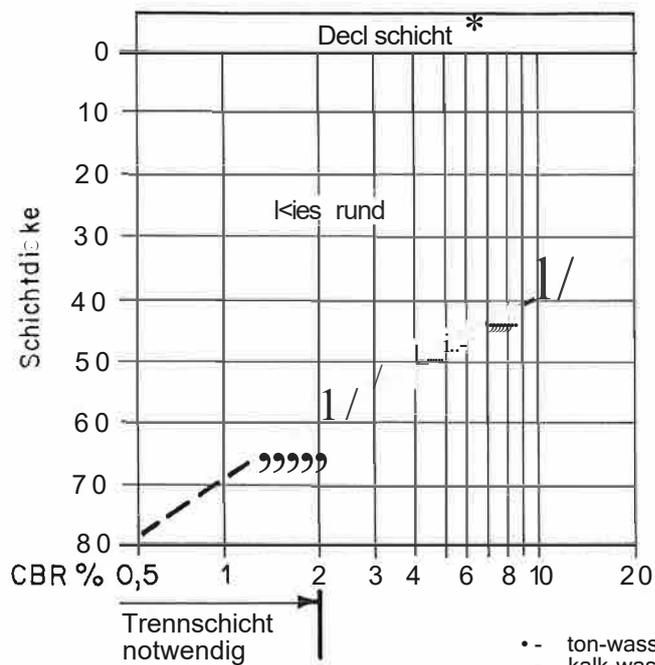
8 Dimensionierung mittels Diagrammen

Für die wichtigsten Aufbautypen können die Schichtdicken des Oberbaus direkt in Funktion der Untergrundtragfähigkeit angegeben werden (Darstellung 18-20).
Bei Tragfähigkeiten kleiner als ca. 2% CBR ist beim Aufbau ohne Stabilisierung eine Trennschicht (Kalkbehandlung, Geotextil) notwendig.

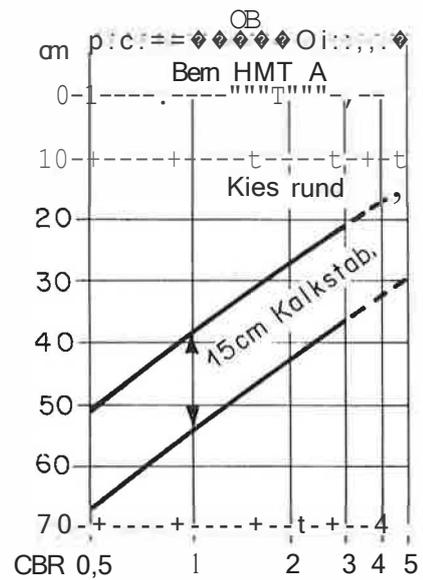
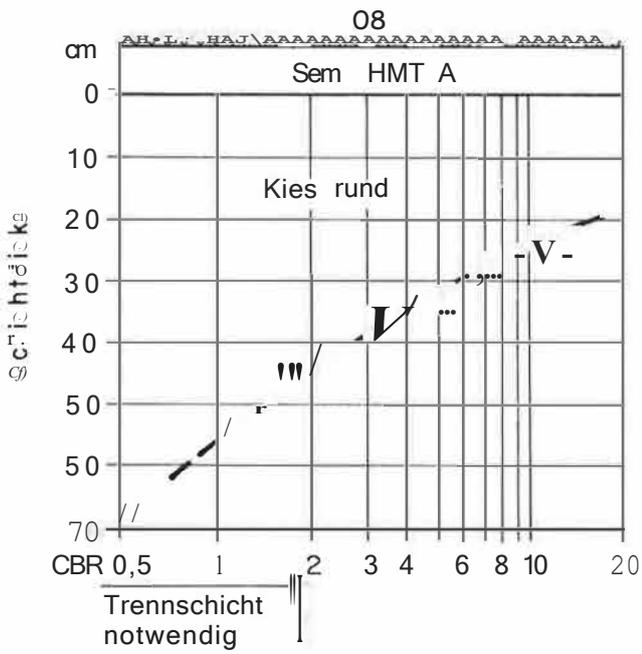
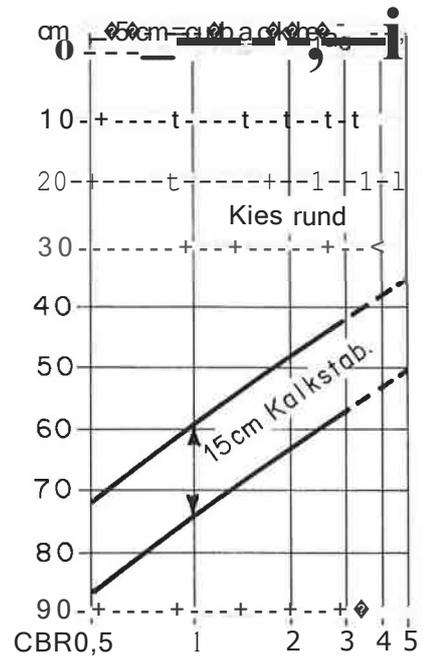
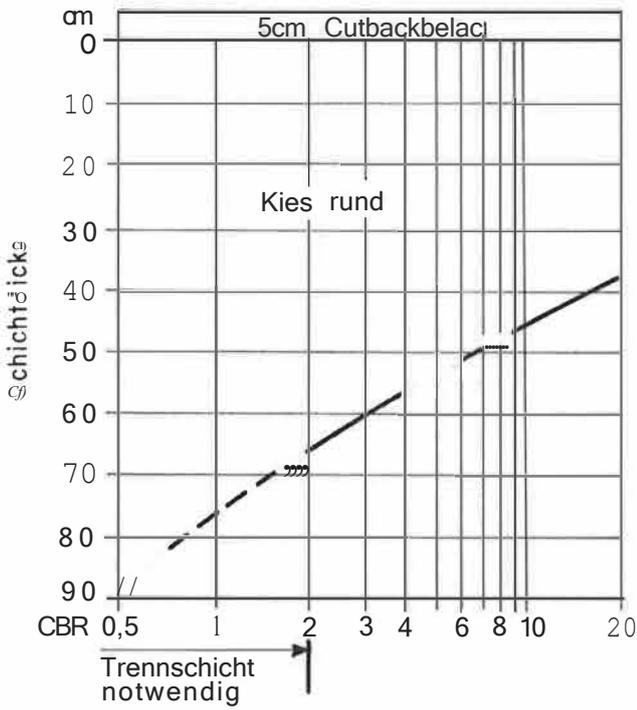
Darstellung 18: Erschliessungsstrasse W = 10000 Normachlasten



Darstellung 19: Sammelstrasse W = 40000 Normachlasten



Darstellung 20: Verbindungsstrasse W = 100000 Normachlasten



Oberbau

Merkblätter über den Bau und Unterhalt von Wald- und Güterstrassen

Verstärkung des Oberbaus von Strassen mit flexiblem Oberbau

Dieses Merkblatt enthält Angaben und Grundlagen für die Verstärkung des Oberbaus von Strassen mit geringem Verkehr, insbesondere von Wald- und Güterstrassen.

1. Einleitung

Eine Strasse wird für eine bestimmte Zahl von Normachslasten dimensioniert (Merkblatt Nr. 321). Nach der Beanspruchung der Strasse durch die vorgesehene Zahl von Achslastwechseln sinkt die Befahrbarkeit unter ein zulässiges Mass. Sie muss dann durch eine Verstärkung des Oberbaus an eine neue, zusätzliche Verkehrsbeanspruchung angepasst werden.

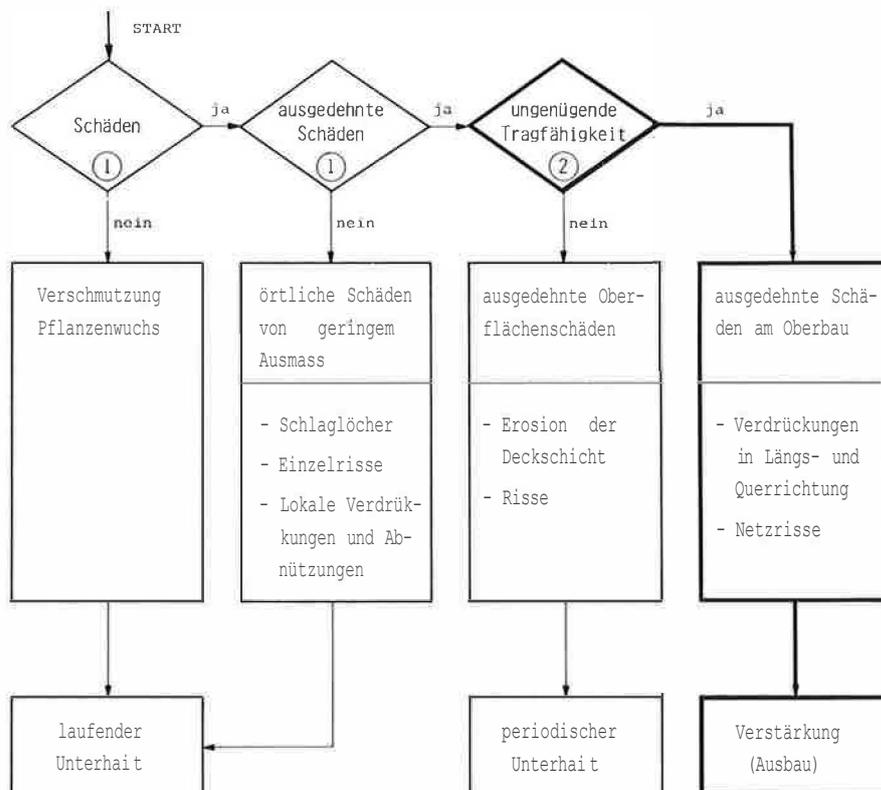
2. Grundlagen

Zur Bestimmung der notwendigen Verstärkung haben sich zwei Methoden bewährt. Sie basieren auf den Grundlagen des AASHO-Road-Tests sowie auf zahlreichen Untersuchungen an Wald- und Güterstrassen in der Schweiz.

3. Zeitpunkt der Verstärkung

Der Zeitpunkt bzw. die Notwendigkeit einer Verstärkung wird durch eine visuelle Beurteilung festgestellt. Eine ungenügende Befahrbarkeit und Tragfähigkeit zeigt sich durch Verdrückungen in Längs- und Querrichtung sowie durch Rissebildung. Die Verstärkung einer Strasse kann gegenüber dem laufenden und periodischen Unterhalt (Merkblatt Nr. 605) mit dem Diagramm der Darstellung 1 abgegrenzt werden.

Darstellung 1: Entscheidungsmodell für die Notwendigkeit einer Verstärkung



Ⓒ Beurteilung: visuell

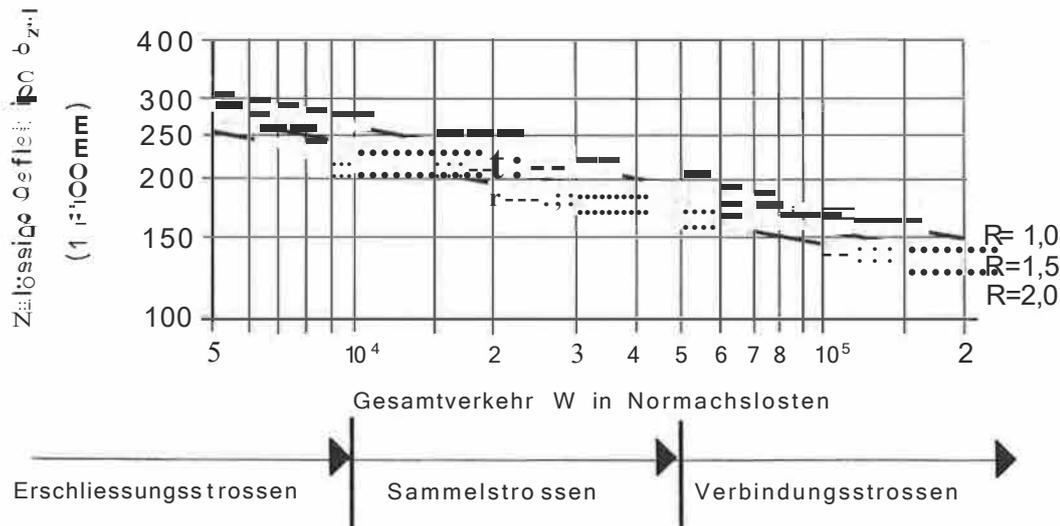
Ⓓ Beurteilung: visuell oder Deflektionsmessung

Eine objektive Angabe über die Notwendigkeit einer Verstärkung ergibt sich aus der Messung der Deflektion. Wird die zulässige Deflektion (Darstellung 2 und 3) für eine bestimmte Verkehrsbelastung wesentlich überschritten, so muss die Strasse verstärkt werden.

Darstellung 2: Zulässige Deflektion in Funktion des Verkehrs

$$d_{zul} = 1580 [2,67 (W \cdot R)^{0,1068} - 2,54] \cdot 10^{1,95}$$

Deflektion bei 100 kN - Achslast



Darstellung 3: Zulässige Deflektion nach Strassentyp

Strassentyp	Zulässige Deflektion [1/100 mm]
Erschliessungsstrasse	230 ... 300
Sammelstrasse	160 ... 230
Verbindungsstrasse	130 ... 160

4. Verstärkungsmethoden

Es sind zwei zweckmässige Methoden zur Bestimmung der Verstärkung verfügbar, welche beide die notwendige Verstärkung als zusätzlichen Stärkenindex angeben.

$$\Delta SN = \sum D_i \cdot a_i$$

D_i Schichtdicke in cm
 a_i Tragfähigkeitskoeffizient des Baustoffs

Die **Deflektionsmethode** ermittelt die Verstärkung IISN durch Vergleich der vorhandenen Deflektion mit der zulässigen Deflektion.

Die **Stärkenindexmethode** ermittelt die Verstärkung IISN als Differenz zwischen dem Sollaufbau SN1 und dem vorhandenen Aufbau SN0.

Mit der Deflektionsmethode allein fehlt die Beurteilung des Untergrundes sowie die Ermittlung der Qualität und Dicke der Oberbauschichten.

Mit der Stärkenindexmethode allein erhält man keinen hinreichenden Überblick über den Streubereich des vorhandenen Strassenaufbaus.

Eine optimale Aussage wird durch die kombinierte Anwendung beider Methoden erreicht.

4.1 Deflektionsmethode

Durch systematische Messung der elastischen Deflektion (Merkblatt Nr. 312) wird die Tragfähigkeit der vorhandenen Strasse ermittelt. Dazu wird die massgebende Deflektion bestimmt. Bei Strassen mit schwacher Verkehrsbelastung wird als massgebende Deflektion die 90%-Grenze ($\bar{d} + 1.3 \sigma$) angenommen.

Es ist nun jene Verstärkung IISN zu bestimmen, welche die vorhandene massgebende Deflektion ($\bar{d} + 1.3 \sigma$) von unzulässiger Grösse auf ein zulässiges Mass reduziert.

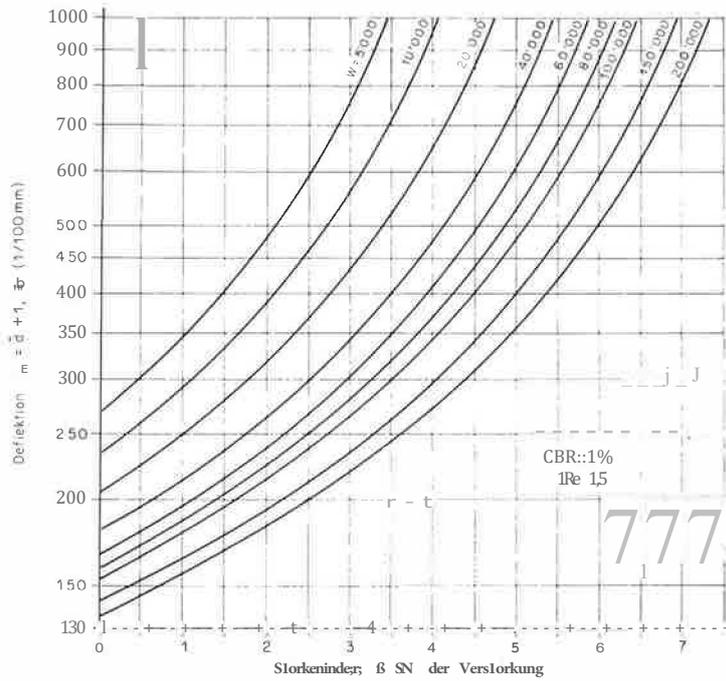
Die notwendige Verstärkung IISN kann mit Hilfe der Darstellung 4 in Funktion der Untergrundtragfähigkeit und der Verkehrsbelastung bestimmt werden. Die Untergrundtragfähigkeit ist in den Sondierschlitzten zu bestimmen.

Die gleiche Angabe liefert die entsprechende Formel:

$$IISN = \frac{2,67 (W, R)^{0,1068} \cdot 474,94 \cdot d_m^{0,8368} - 2,54}{100,1647 \cdot \log CBR - 0,0655}$$

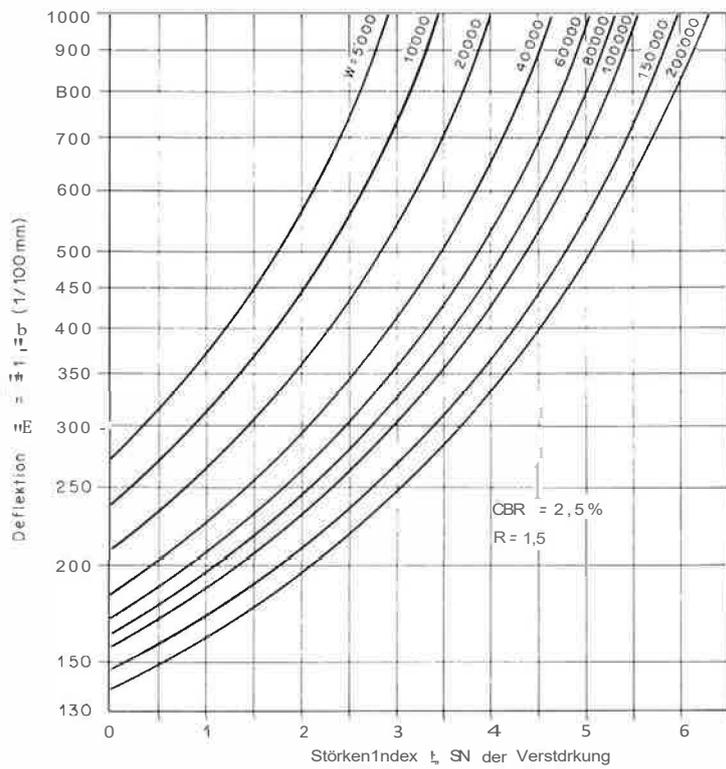
- IISN Verstärkung
- W Verkehr in Normachslasten
- R Regionalfaktor
- d_m Massgebende Deflektion $\bar{d} + 1.3 \sigma$ in 1/100 mm
- CBR Untergrundtragfähigkeit

Darstellung 4: Diagramme zur Bestimmung der Verstärkung IISN



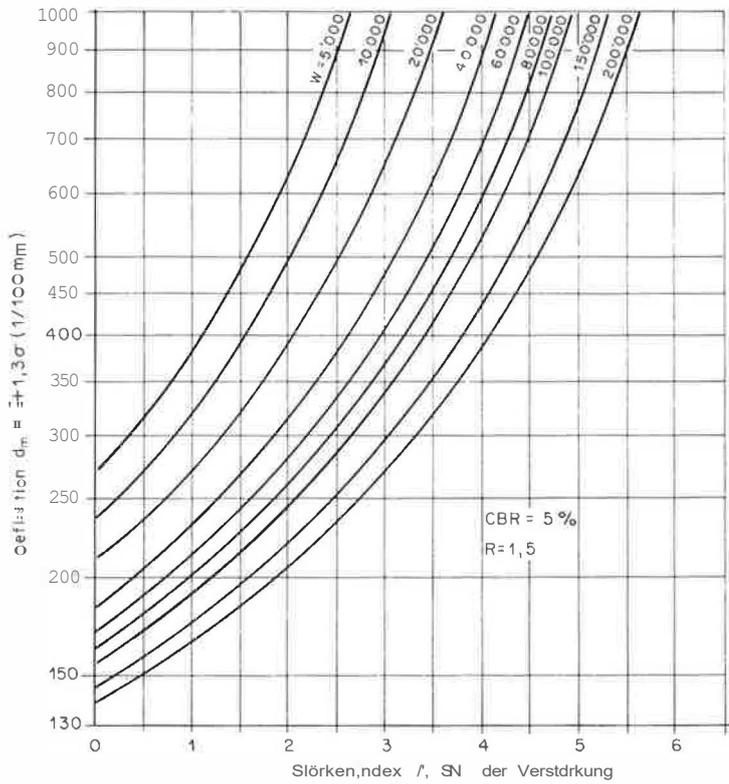
Korrekturwerte für $R \neq 15$

R = 1,0 LSN-0.45	R = 2.0 L S N + 0.30
---------------------	-------------------------



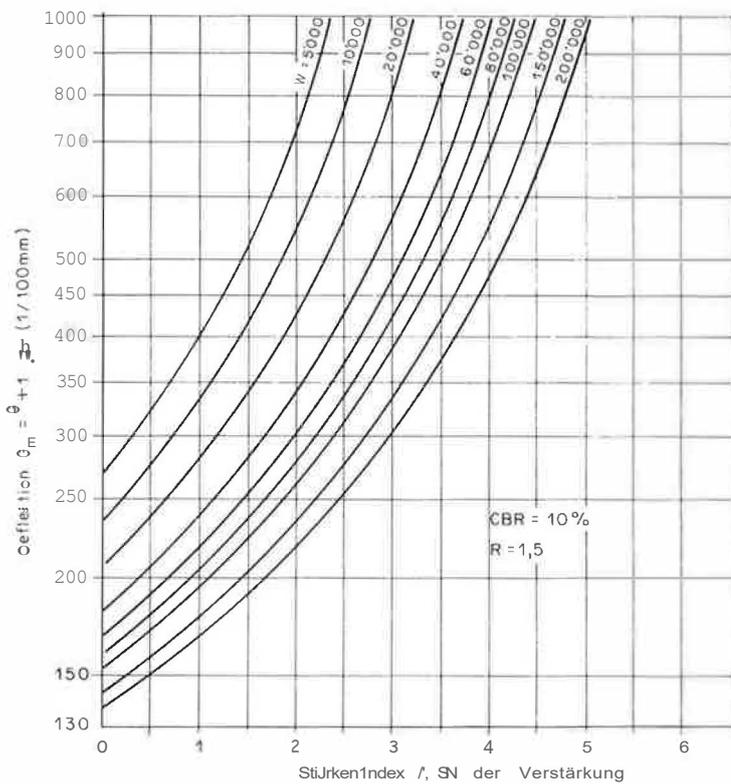
Korrekturwerte für $R \neq 15$

R = 1,0 „SN-0.40	R = 2.0 L S N + 0.30
---------------------	-------------------------



Korrekturwerte für R +15

R = 1.0 L-SN-0.35	R = 2.0 !.,SN+ 0.25
----------------------	------------------------



Korrekturwerte für R # 15

R = 1.0 -6 s N - 0.10	7 ... t.o. \ S
--------------------------	-------------------

4.2 Stärkenindexmethode

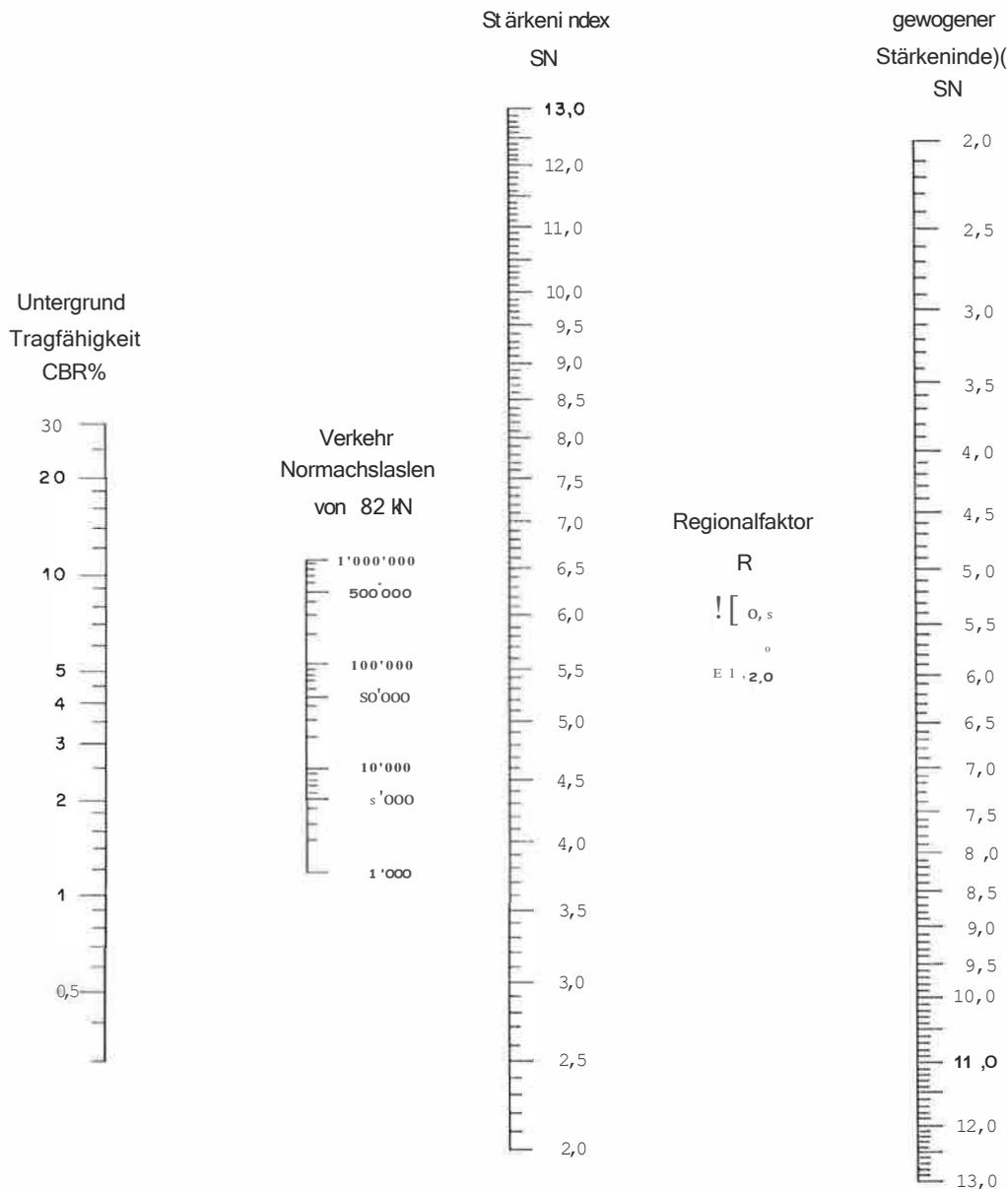
Die zu verstärkende Strasse wird bei dieser Methode wie ein Neubau behandelt. Die Bestimmung der Untergrundtragfähigkeit (CBR-Wert) sowie der Art und Dicke der Oberbauschichten erfolgt mittels Sondierschlitz in der bestehenden Strasse. Mit den gemessenen und geschätzten Dimensionierungsparametern

- Untergrundtragfähigkeit: CBR %
- Verkehr: W in Normachslasten
- Regionalfaktor: R

wird der Stärkenindex des Sollaufbaus SN1 bestimmt. Dazu wird das Nomogramm (Darstellung 5) oder die Dimensionierungsformel verwendet:

$$SN1 = \frac{2,67 \cdot (W \cdot R)^{0,1068}}{10^{0,1647 \cdot \lg CBR - 0,0655}} - 2,54$$

Darstellung 5: Dimensionierungsnomogramm



Sodann wird der Stärkenindex des vorhandenen Aufbaus SN0 bestimmt

$$SN0 = I D_i \cdot a_i$$

Die Schichtdicken D_i können in den Sondierschlitz gemessen werden. Für die Tragfähigkeitskoeffizienten (a-Werte) sind die Werte in Darstellung 6 massgebend.

Darstellung 6: Tragfähigkeitswerte der Baustoffe von bestehenden Strassen

Schicht	a-Wert
Steinbett verdrückt	0.05
Steinbett nicht verdrückt	0.1
Kies	0.1
HMT A, HMT L	0.3
HMT 8, HMT N	0.4
Stabilisierungen	0.2
Schottertränkung	0.1

Die Verstärkung $t.SN$ ergibt sich dann aus der Differenz der beiden Stärkenindizes.

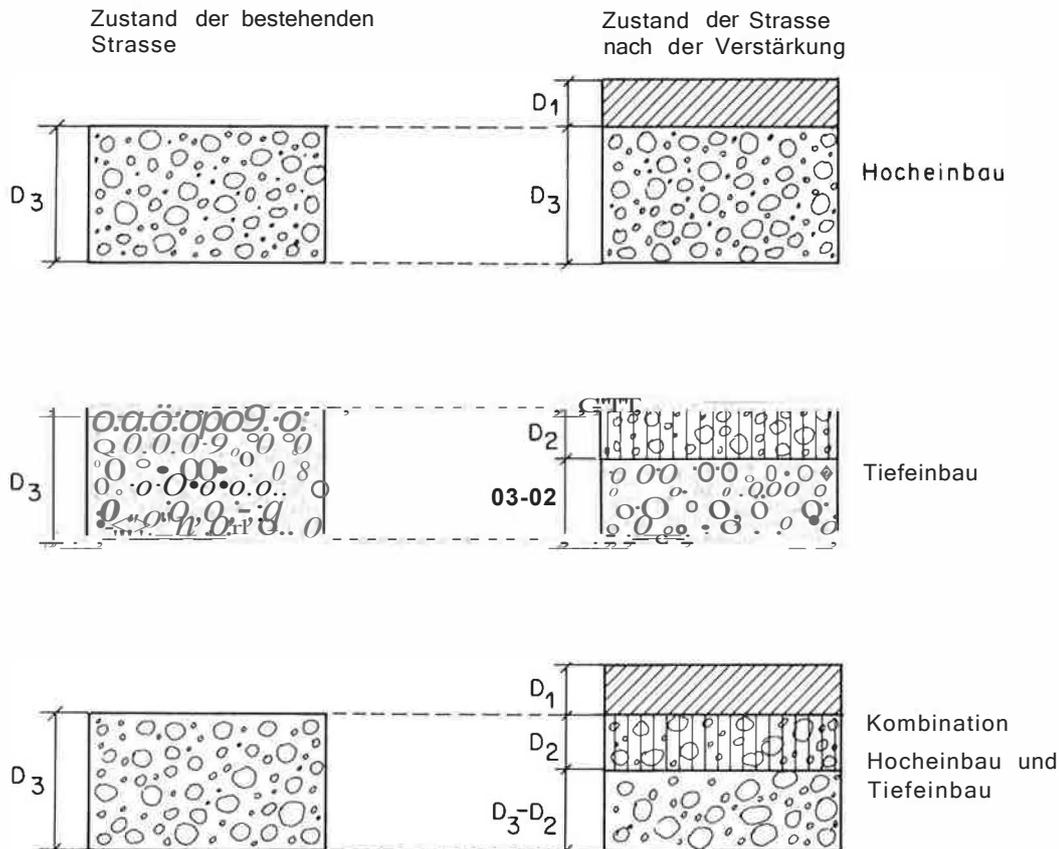
$$t.SN = SN1 - SNb$$

$t.SN$ Stärkenindex der Verstärkung
 $SN1$ Stärkenindex des Sollaufbaus
 SNb Stärkenindex des vorhandenen Aufbaus

5. Verfahren zur Oberbauverstärkung

Je nach Lage der Verstärkungsschicht werden die folgenden Verfahren unterschieden (Darstellung 7):

Darstellung 7: Verstärkungsverfahren



6. Wahl der Verstärkungsschichten

Für eine gegebene Verstärkung $t.SN = \sum D_i \cdot a_i$ sind jene Schichtdicken zu wählen, welche den geforderten zusätzlichen Stärkenindex erreichen. Dabei sind die folgenden Tragfähigkeitskoeffizienten (a-Werte) und Minimalschichtdicken anzuwenden (Darstellung 8).

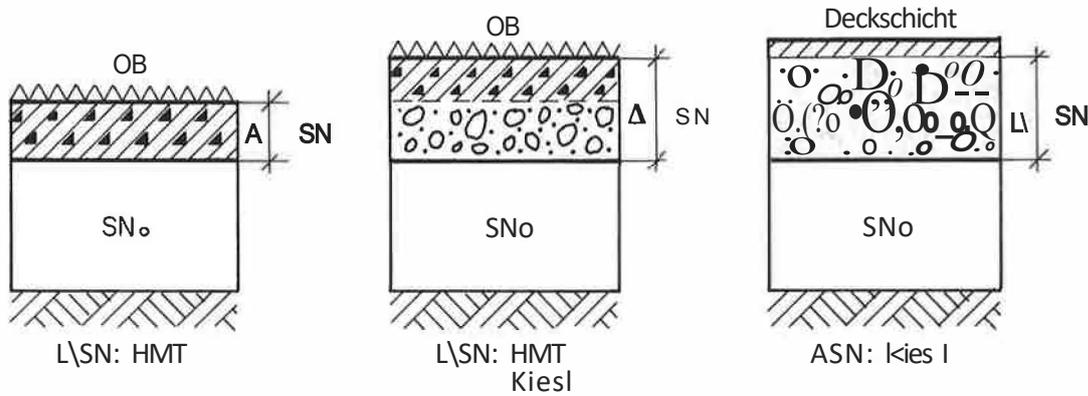
Darstellung 8: Tragfähigkeitswerte und Dicke der Verstärkungsschichten

Schicht	a-Wert	minimale Schichtdicke
HMT Melio	0.30	6 cm
HMT L (früher HMT A)	0.30	6 cm
HMT N (früher HMT B)	0.40	6 cm
Stabilisierungen	0.20	15 cm
Kies 1	0.11	20 cm

Die minimalen Schichtdicken entsprechen nicht den Einbautdicken. Diese sind unter Berücksichtigung der Einbautoleranz zu erhöhen.

Deckschichten, wie z.B. wassergebundene Verschleisschichten, Cutbackbeläge, dünne Heissmischbeläge (AB, TA) usw. werden in der Dimensionierung nicht berücksichtigt.

Darstellung 9: Übliche Verstärkungsschichten

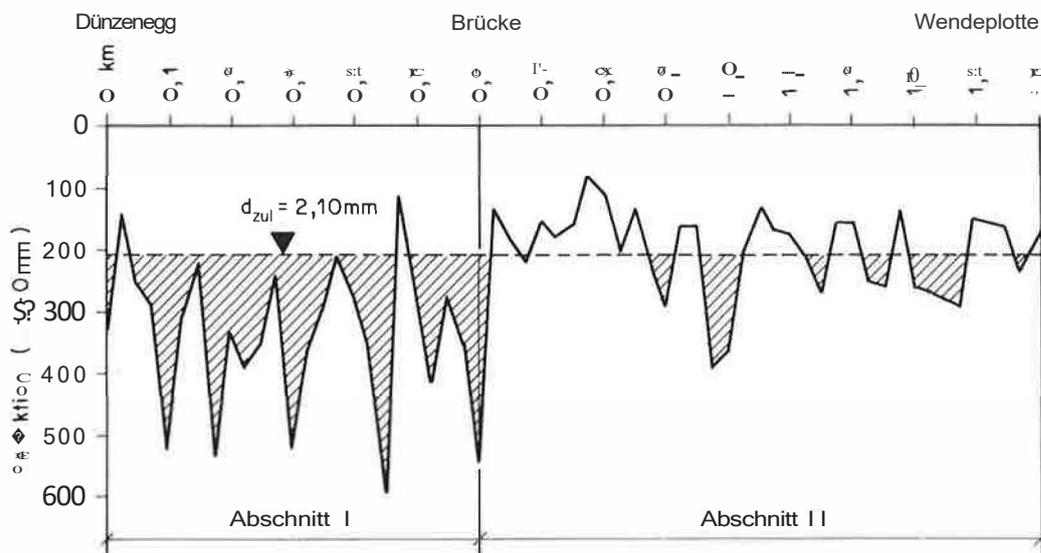


7. Vorgehen bei der Verstärkung

In der Regel werden auf dem zu verstärkenden Abschnitt zuerst die Deflektionsmessungen ausgeführt. Die Messstellen werden systematisch angeordnet. Bewährt hat sich bei den einspurigen Wald- und Güterstrassen ein Abstand von 25 m abwechslungsweise in der linken und rechten Fahrspur. Die Messresultate werden graphisch aufgetragen und homogene Abschnitte von genügender Länge - in der Regel länger als 200-300 m - ausgeschieden (Darstellung 10). Als sogenannt «homogen» wird ein Abschnitt mit gleichartiger Tragfähigkeit bezeichnet. Innerhalb eines solchen Abschnitts hat die gleiche Verstärkungsmassnahme zu erfolgen. Für die einzelnen Abschnitte werden dann die folgenden Werte für die Anwendung der Deflektionsmethode bestimmt:

- Mittelwert der Deflektion \bar{d}
- Standardabweichung σ
- Massgebende Deflektion $d + 1.3 \sigma$
- Variationskoeffizient CV

Darstellung 10: Darstellung der Deflektionsmessungen



Abschnitt		I	II
Mittelwert	\bar{d} (/ 100 mm)	336	200
Standardabweichung	σ (/ 100 mm)	128	67
90%-Grenze	$d + 1.3\sigma$ (/ 100 mm)	502	287
Variationskoeffizient	CV	0.38	0.34

In den homogenen Abschnitten werden Sondierschlitzte ausgehoben und darin die folgenden Werte bestimmt:

- CBR-Wert des Untergrundes
- Art und Qualität der vorhandenen Oberbauschichten
- Dicke der vorhandenen Oberbauschichten

Mit der angenommenen zukünftigen Verkehrsbelastung W und unter Berücksichtigung eines Regionalfaktors R (zwischen 1 ... 2) können die beiden Verstärkungsmethoden zur Bestimmung der Verstärkung t_{SN} angewendet werden.

8. Beispiel einer Verstärkung

Die Bestimmung einer Verstärkung wird am Beispiel der «Kaustrasse» dargestellt. Es handelt sich um eine Verbindungsstrasse, die zusätzlich der Forst- und Landwirtschaft dient.

8.1 Messungen und Schätzungen

8.1.1 Deflektionsmessung auf der bestehenden Strasse
homogene Abschnitte, statistische Auswertung, graphische Darstellung (Darstellung 13)

- ganze Strecke homogen
- statistische Messwerte:

Mittelwert	d	=	188	^{1/100} mm
Standardabweichung	σ	=	56	^{1/100} mm
Variationskoeffizient	CV	=	0.30	
massgebende Deflektion	$d + 1.3\sigma$	=	261	^{1/100} mm

8.1.2 Sondierschlütze

- CBR (Mittelwert): 2.5%
- vorhandener Aufbau:
 - 5 cm Schottertränkung (Zustand schlecht)
 - 25 cm Kies
 - 15 cm Steinbett (Zustand brauchbar)

8.1.3 Schätzung des Verkehrs

Annahme: 100 000 Normachlasten

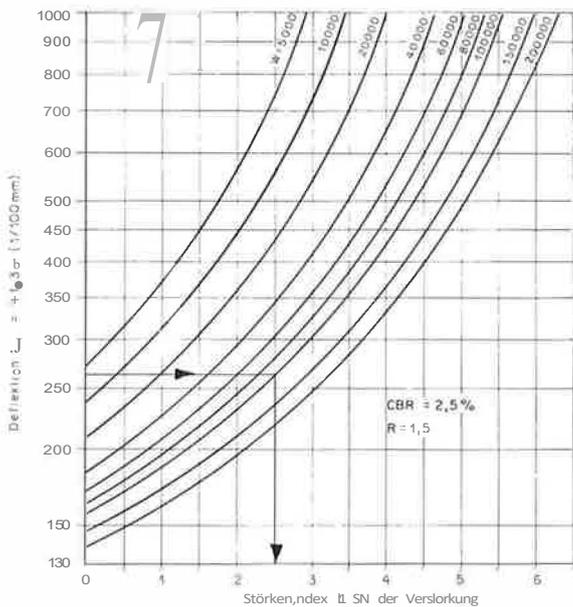
8.1.4 Regionalfaktor

Höhenlage über 800 m ü M, Schneeräumung: R = 2.0

8.2 Deflektionsmethode (Diagramm Darstellung 11)

dm = 261 ^{1/100} mm
 CBR = 2.5%
 R = 1.5 Korrektur für R = 2.0: IISN+0.30

Darstellung 11: Bestimmung der Verstärkung IISN



Verstärkung:
 IISN für R= 1.5: 2.5
 IISN für R=2.0: 2.8

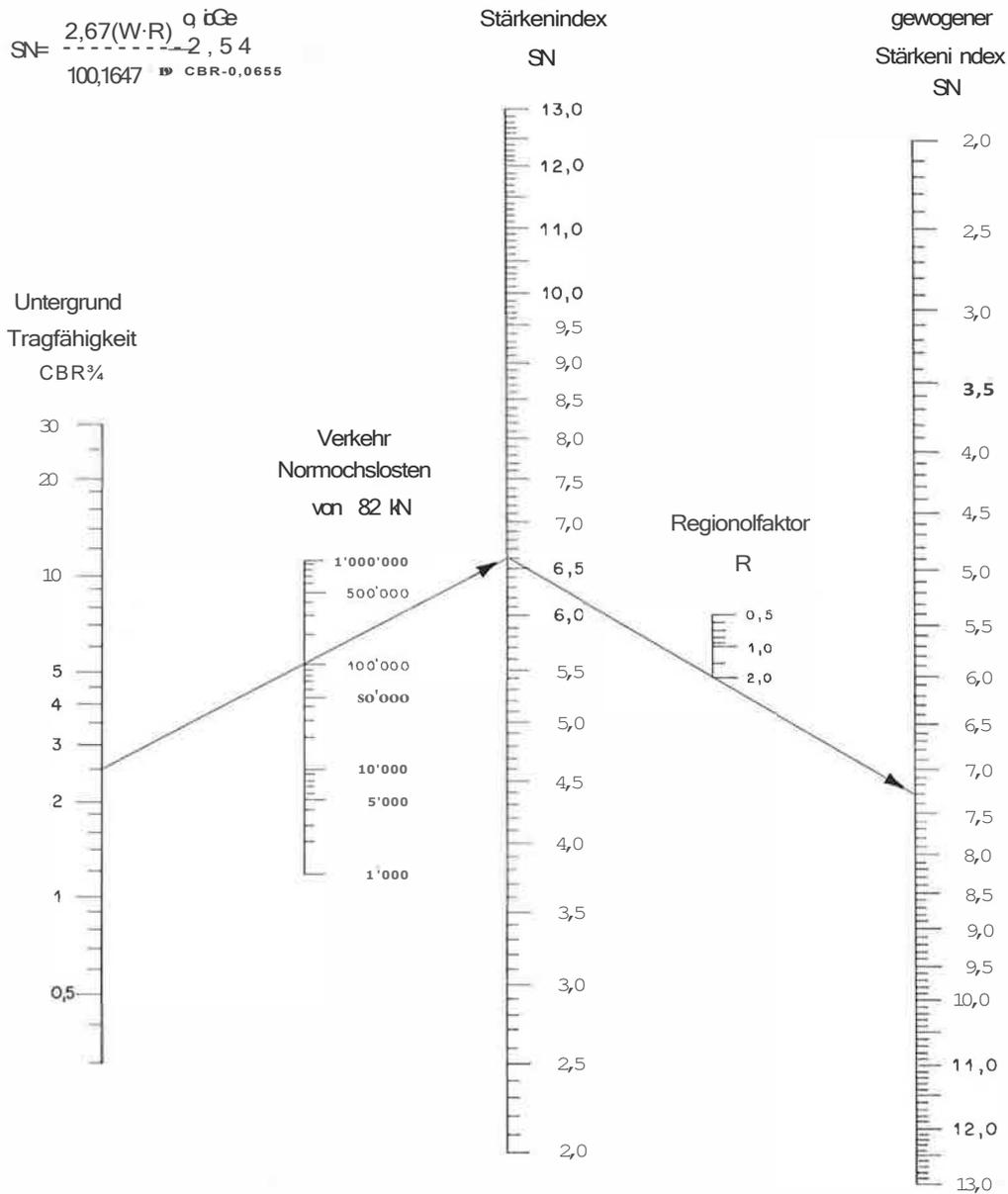
Korrekturwerte für R = 1.5

R 1.0	R 2.0
...SN-0.40	""SN+ 0.30

8.3 Stärkenindexmethode

Nach der Dimensionierungsformel bzw. dem Dimensionierungsnomogramm (Darstellung 12) wird der Stärkenindex SN_I des Sollaufbaus: $SN_I = 7.3$

Darstellung 12: Bestimmung des Sollaufbaus SN_I



Stärkenindex SN_b des vorhandenen Aufbaus:

Schicht	Dicke	a-Wert	SN_b
Schottertränkung	5cm	0.1	0.5
Kies	25cm	0.1	2.5
Steinbett	15cm	0.1	1.5
SN_b	45cm		4.5

Erforderliche Verstärkung t.SN:

Sollaufbau	$SN_I = 7.3$
Vorhandener Aufbau	$SN_b = 4.5$
Verstärkung	$t.SN = 2.8$

8.4 Ausbauvorschläge und Kontrolle

Für die Verstärkung der Strasse werden folgende Varianten vorgeschlagen:

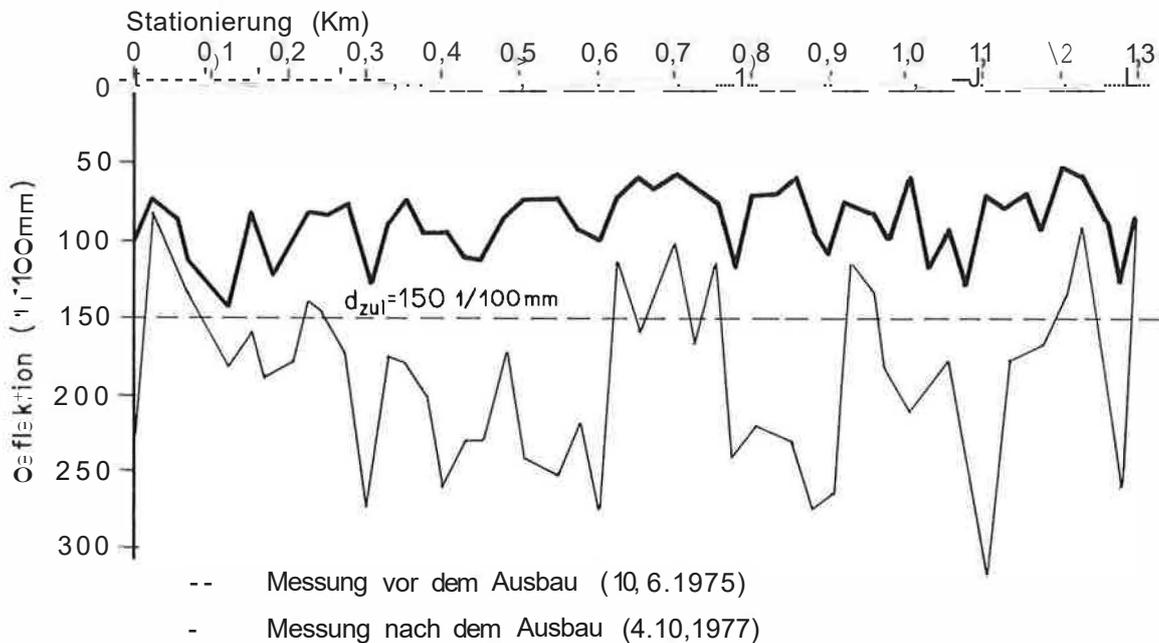
Variante	Dicke	a-Wert	Verstärkung liSN
I: HMTA+OB	9cm	0.3	2.7
II: HMTB+OB	7cm	0.4	2.8

Zur Ausführung gelangte eine 9 cm dicke HMT B. Somit weist die Strasse den folgenden Oberbau auf:

Schicht	Dicke	a-Wert	SN	
HMTB	9cm	0.4	3.6	Verstärkung
Schottertränkung	5cm	0.1	0.5	alter Oberbau
Kies	25cm	0.1	2.5	
Steinbett	15cm	0.1	1.5	
Total	54cm		8.1	

Die Deflektionswerte vor und nach der Verstärkung ergeben folgendes Bild:

Darstellung 13: Deflektionswerte



Messungen	Mittelwert \bar{d} (1/100 mm)	Streuung σ (1/100 mm)	90%-Grenze $\bar{d} + 1.3 \sigma$ (1/100 mm)	Variations- koeffizient
Messung vor dem Ausbau (10.6.1975)	188	56	261	0.30
Messung nach dem Ausbau (4.10.1977)	89	23	119	0.26

Stabilisierung, Bodenmechanik, Verdichtung

Merkblätter über den Bau und Unterhalt von Wald- und Güterstrassen

Bestimmung der Kornverteilung

Dieses Merkblatt enthält Richtlinien über die Methoden zur Bestimmung der Kornverteilung

1 Begriff und Zweck

Die Kornverteilung gibt den Anteil der einzelnen Korngrössengruppen (Fraktionen) in einer Bodenart an. Der Zweck der Untersuchung ist also die Bestimmung der Grösse der Bodenkörner und ihres prozentualen Anteils an der Gesamtmasse einer Probe. Ihre Kenntnis dient sowohl zur allgemeinen Beurteilung und Klassifikation der Böden als auch zur Beurteilung der Verdichtbarkeit, der Wasserdurchlässigkeit, der Frostempfindlichkeit und der Stabilisierbarkeit.

2 Bestimmung der Kornverteilung durch Trockensiebung**2.1 Geräte**

- Siebsatz mit Deckel und Auffangschale:
 - genormte Rundlochsiebe für Körner grösser als 1 mm Durchmesser
 - genormte Maschensiebe für Körner kleiner als 1 mm Durchmesser
- Waage mit einer Genauigkeit von mindestens 0,1% des Probengewichtes
- Trockenschrank

2.2 Probenmenge

Die Mindestmenge richtet sich nach dem vorhandenen Grösstkorn und kann aus nachstehender Tabelle entnommen werden:

Grösstkorn mm	Probenmenge g	Wägegenauigkeit g
2	100	0,1
10	1 000	1,0
15	1 500	1,5
20	2 500	2,5
25	3 000	3,0
35	5 000	5,0
45	10 000	10,0
65	20 000	20,0
100	30 000	30,0

2.3 Versuchsdurchführung

Die bis zur Gewichtskonstanz getrocknete Probe wird mit der vorgeschriebenen Genauigkeit gewogen und anschliessend solange gesiebt, bis kein Siebdurchgang mehr feststellbar ist. Die Rückstände auf den Sieben und der Auffangschale werden gewogen. Die Siebung erfolgt im allgemeinen bis zu einem Durchmesser von 1,0 mm, in Spezialfällen bis zu 0,06 mm (z. B. siltige Böden).

3 Bestimmung der Kornverteilung durch Nasssiebung

3.1 **Geräte**, wie 2.1

3.2 **Probenmenge**, wie 2.2

3.3 Versuchsdurchführung

Enthält ein Boden Feinanteile, die sich bei der Trockensiebung nicht von den Körnern lösen, so muss eine Nasssiebung durchgeführt werden. Von der getrockneten und gewogenen Probenmenge wird vorerst das anhaftende Feinmaterial durch sorgfältiges Spülen entfernt. Daraufhin wird das gereinigte Material getrocknet und nach 2.3 gesiebt. Die Differenz der Trockengewichte vor und nach dem Spülen ergibt das Gewicht des Siebdurchganges durch das kleinste benutzte Sieb. Auch hier erfolgt die Siebung bis 1 mm, eventuell bis 0,06 mm.

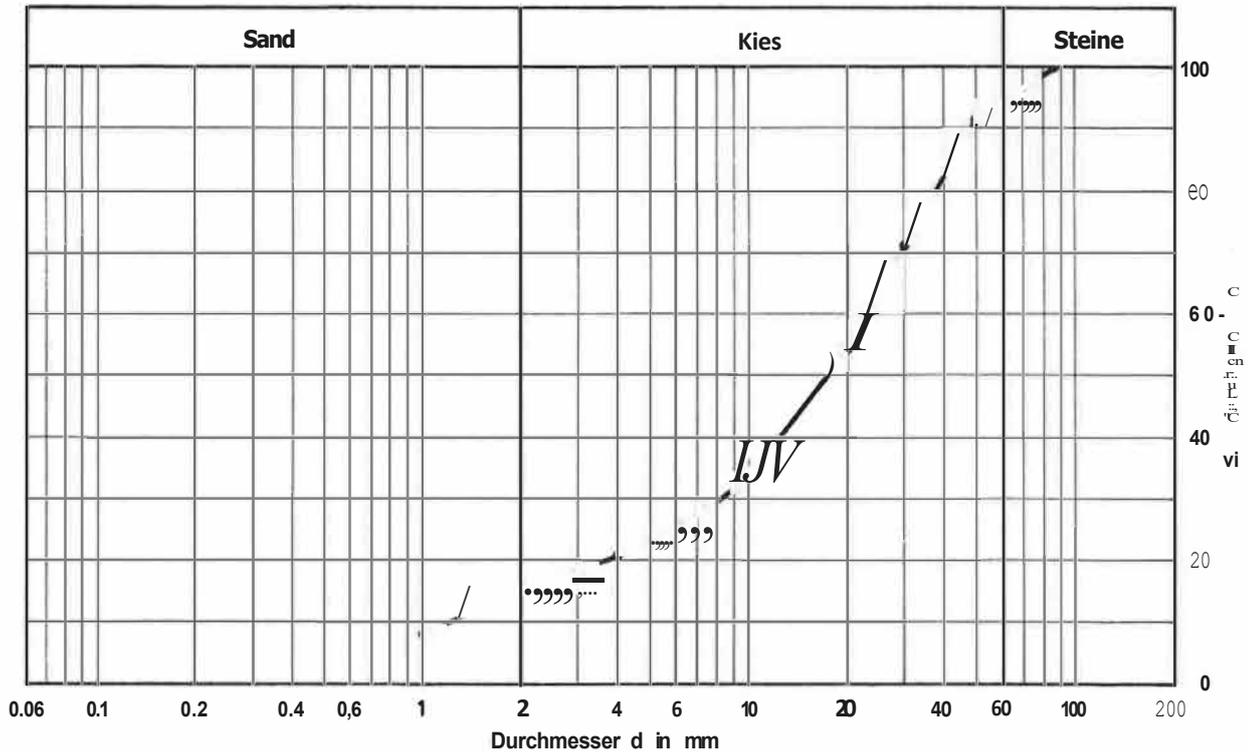
4 Auswertung

Die Gewichte der Rückstände auf den Sieben und der Auffangschale (resp. die Gewichts-differenz bei Nasssiebung) werden in Prozente des gesamten Probengewichtes umgerechnet und als Summenlinie auf einfachlogarithmisches Papier aufgetragen. Die Korndurchmesser d (mm) werden auf der Abszisse im logarithmischen, die dazugehörigen Siebdurchgänge in Prozenten des Gesamtgewichtes auf der Ordinate im linearen Massstab aufgetragen. Die Verbindung der Messpunkte ergibt die Kornverteilungs- oder Summationskurve. Jeder Punkt auf der Kornverteilungskurve gibt das Gewichtsprozent der Körner an, die kleiner sind als der entsprechende Durchmesser.

Versuchsprotokoll der Kornverteilung

Sieb mm	Siebrückstand		a		b	
	g	%	Σ	Σ	Σ	Σ
100	0	0	0	100		
70	750	3	3	97		
50	1 000	4	7	93		
31,5	5 000	20	27	73		
20	4 750	19	46	54		
10	5 500	22	68	32		
6,3	1 750	7	75	25		
4	1 000	4	79	21		
2	1 250	5	84	16		
1	1 750	7	91	9		
Auffangschale (kleiner 1 mm)	2 250	9	100	0		
Total	25 000	100				

Darstellung der Kornverteilung als Summationskurve



5 Bestimmung der Kornverteilung durch Schlämmanalyse (z. B. Aräometermethode)

Feinanteile kleiner als 1,0 mm, eventuell kleiner als 0,06 mm werden geschlämmt. Die Ausführung der Schlämmanalyse hat durch ein Speziallabor zu erfolgen.

6 Baukontrolle

Zur schnellen Überprüfung des auf die Baustelle gelieferten Materials genügt die Ermittlung von drei Kontrollpunkten, welche für den Verlauf der Kornverteilungskurve repräsentativ sind.

Beispiele: 0/80--; -0/50 Siebsatz: 31,5 mm; 10 mm; 4 mm
 0/50--; -0/30 Siebsatz: 20 mm; 6,3 mm; 2 mm
 0/20 Siebsatz: 20 mm; 6,3 mm; 2 mm

Stabilisierung, Bodenmechanik, Verdichtung

Merkblätter über den Bau und Unterhalt von Wald- und Güterstrassen

Bestimmung des Wassergehaltes

Dieses Merkblatt enthält Richtlinien über die Bestimmung des Wassergehalts im Labor und im Feld

1 Labormethode**1.1 Begriff**

Der Wassergehalt W einer natürlichen oder aufbereiteten Bodenprobe ist das Verhältnis des Gewichts des Bodenwassers zum Gewicht der getrockneten Probe. Er wird in Prozent ausgedrückt.

$$W \text{ ‰} = \frac{G_w}{G_d} 100$$

G_w = Gewicht des Wassers

G_d = Gewicht der bei 105--110° C bis zur Gewichtskonstanz getrockneten Probe

1.2 Geräte

- Schalen je nach Proben- und Korngrößen
- Waage je nach Probengröße mit einer Genauigkeit von etwa 0,10% des Probengewichtes
- Trocknungsofen mit konstanter Temperatur zwischen 105 und 110° C.

1.3 Versuchsdurchführung

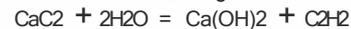
Die zur Bestimmung des Wassergehalts repräsentative Bodenprobe wird in eine Schale von bekanntem Gewicht eingefüllt, gewogen und darauf im Ofen bis zur Gewichtskonstanz getrocknet. Die von der Bindigkeit des Bodens, vom Wassergehalt und von der Probengröße abhängige, ungefähre Trocknungszeit ergibt sich aus Tab. 1. Die getrocknete Probe wird erneut gewogen. Das Wassergewicht ergibt sich aus der Differenz des Probengewichts im feuchten und im trockenen Zustand (Schalengewicht berücksichtigen). Der Wassergehalt wird dann nach der Formel unter Ziffer 1.1 berechnet.

Tabelle 1

Bodenart	Probengewicht	Genauigkeit der Waage	Trocknungszeit
stark bindig	15-50 g	0,02 g	24 h
leicht bindig	15-50 g	0,02 g	12 h
nicht bindig			
- feinkörnig	15-50 g	0,02 g	4 h
- grobkörnig	1-10 kg	1,0 g	4 h
- sehr grobkörnig	10 u. m. kg	10,0 g	4 h

2 Feldmethoden**2.1 Kalziumkarbidmethode (CM-Gerät)**

Bei dieser Methode lässt man das Bodenwasser mit einer bestimmten Menge Kalziumkarbid reagieren. Dabei wird nach folgender Reaktion Azetylen gas frei:



Mit Hilfe dieses Gasvolumens resp. des entstehenden Gasdruckes, welcher von der Wassermenge abhängig ist, kann mit einer Eichkurve auf den Wassergehalt geschlossen werden.

2.1.1 Anwendungsbereich

Mit der Kalziumkarbidmethode kann der Wassergehalt in bindigen und nichtbindigen, feinkörnigen Böden bestimmt werden.

2.1.2 Geräte und Zubehör

- Stahl Druckflasche mit Manometer
- Stahlkugeln
- Feinwaage
- Kalziumkarbidampullen
- Zerkleinerungsschale, Spachtel, Hammer
- Reinigungszubehör

2.1.3 Versuchsdurchführung

Von der zerkleinerten Bodenprobe werden je nach Größe des geschätzten Wassergehaltes und dem Grösstkorndurchmesser 5-20 gr eingewogen und in die Stahlflasche geschüttet. Dann werden die Stahlkugeln und die Kalziumkarbidampulle vorsichtig in die Flasche eingebracht und das Gefäss mit dem Manometer verschlossen. Diese Arbeiten sind zur Vermeidung von Wasserverlusten sehr rasch durchzuführen. Durch kräftiges Schütteln wird die Ampulle zerstört und durch kreisende Bewegungen eine innige Durchmischung des Bodens mit dem Kalziumkarbid erreicht. Die Durchmischung hat solange zu erfolgen, bis der Manometerdruck nicht mehr ansteigt. Steigt der Druck sehr schnell auf den oberen Grenzwert des Manometers, so ist der Versuch abzubrechen und mit einer kleineren Einwaage zu wiederholen. Die erforderliche Einwaage ist abhängig vom Gerät und kann aus der dem Gerät beigelegten Tabelle entnommen werden. Wegen der sehr kleinen möglichen Einwaagemenge, ist der Versuch zu wiederholen.

2.1.4 Auswertung

Mit Hilfe von Eichkurven kann für die verschiedenen Einwaagen von der Grösse des Manometerdruckes auf den Wassergehalt geschlossen werden. Diese Eichkurven sind dem Gerät beigelegt.

22 Benzinmethode

22.1 Anwendungsbereich

Mit der Benzinmethode kann der Wassergehalt nur in grobkörnigen Böden (Kies, Sand) bestimmt werden.

22.2 Geräte und Zubehör

- Blechbehälter
- Waage
- Eisenstab
- Benzin

22.3 Versuchsdurchführung

Der feuchte Boden wird gewogen, in Blechbehälter ausgebreitet, mit Benzin überschüttet, angezündet und mit dem Eisenstab umgerührt. Durch die Verbrennungswärme wird dem Boden das Wasser entzogen. Die getrocknete Probe wird wieder gewogen. Die Differenz aus Feucht- und Trockengewicht ergibt das Gewicht des Wassers.

22.4 Auswertung

Die Bestimmung des Wassergehaltes erfolgt gemäss Formel unter Ziffer 1.1.

Stabilisierung, Bodenmechanik, Verdichtung

Merkblätter über den Bau und Unterhalt von Wald- und Güterstrassen

Bestimmung der Zustandsformen des Bodens

Dieses Merkblatt enthält die Definitionen der Konsistenzgrenzen nach Atterberg, die Methoden und Geräte zu ihrer Bestimmung sowie die daraus abgeleiteten Kennziffern: Plastizitätsindex, Liquiditätsindex, Konsistenzindex.

1 Begriffe

Je nach Grösse des Wassergehaltes befindet sich ein Boden im festen, plastischen oder fliessbaren Zustandsbereich. Die Konsistenz bedeutet also den Grad des inneren Zusammenhangs, durch den der Zustand des Bodens bestimmt wird. Der Wassergehalt, bei dem der Boden von einem Zustand in den andern übergeht, hängt sehr stark von der Bodenart ab, so dass diese Werte zur Identifizierung und Klassifikation geeignet sind.

- Die Fließgrenze W_L eines Bodens ist derjenige Wassergehalt, bei welchem der Boden vom plastischen (knetbaren) in den fliessbaren Bereich übergeht.
- Die Ausrollgrenze W_p ist derjenige Wassergehalt, bei dem das Material vom festen in den plastischen Bereich übergeht.

- Plastizitätsindex $I_p = W_L - W_p$

- Liquiditätsindex $I_L = \frac{W_{nat} - W_p}{I_p}$

- Konsistenzindex $I_c = \frac{W_L - W_{nat}}{I_p}$

W_{nat} = natürlicher Wassergehalt

2 Bestimmung der Fließgrenze W_L (liquid limit)

Der Versuch wird mit dem Gerät nach A. Casagrande durchgeführt. Der Übergang vom plastischen in den fliessbaren Bereich wird dann als gegeben betrachtet, wenn der Boden eine so kleine Scherfestigkeit besitzt, dass er bei der festgelegten Erschütterung im Casagrande-Gerät in einer genormten Furche auf 1 cm Länge zusammenfließt.

Zur Durchführung des Versuchs wird das Material kleiner 0,5 mm mit Wasser zu einer strichreinen Paste aufgearbeitet und in die Metallschale des Casagrande-Gerätes eingebracht. Die Oberfläche der Schicht wird glattgestrichen, so dass die Schicht an keiner Stelle höher als 10 mm ist. Im Schalendurchmesser, quer zur Nockenwelle, wird mit dem Furchenzieher die genormte

Furche gezogen, deren Länge 50-60 mm beträgt. Durch Drehen der Kurbel hebt sich die Schale um 10 mm und fällt frei auf eine Hartgummiunterlage zurück (Frequenz zwei Schläge pro Sekunde).

Die Fließgrenze ist dann erreicht, wenn sich die Furche bei 25 Schlägen auf einer Länge von 10 mm schliesst. Normalerweise wird dies im Versuch nicht bei 25 Schlägen erreicht. Deshalb wird die Fließgrenze aus drei Versuchen mit variierendem Wassergehalt und entsprechenden Schlagzahlen zwischen 16 und 32 ermittelt. Unmittelbar nach dem Zusammenfließen wird eine Probe zur Bestimmung des Wassergehaltes aus der Schalenmitte genommen. In einem Diagramm werden die Schlagzahlen im logarithmischen und die entsprechenden Wassergehalte im linearen Massstab aufgetragen. Bei sorgfältiger Versuchsdurchführung liegen diese Punkte auf einer Geraden. Der Wassergehalt der Fließgrenze bei 25 Schlägen kann dann aus dem Diagramm herausgelesen werden.

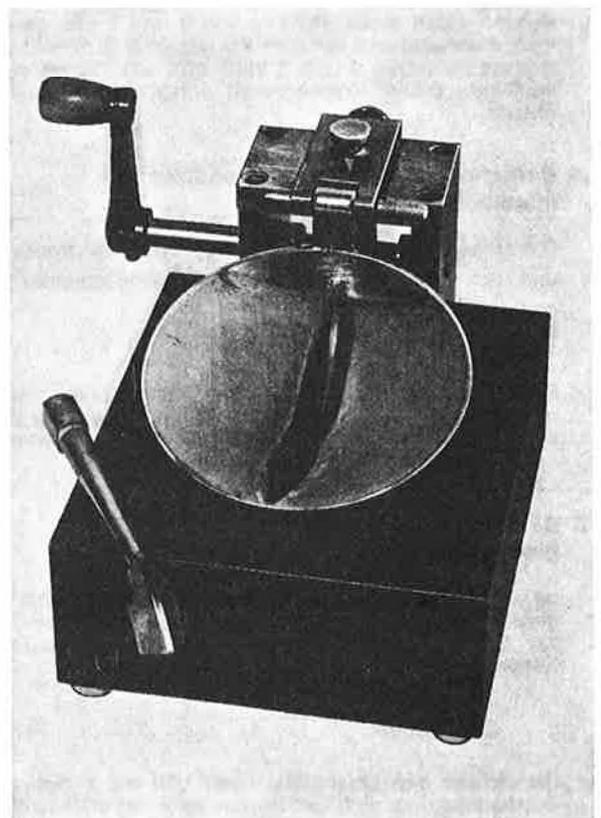
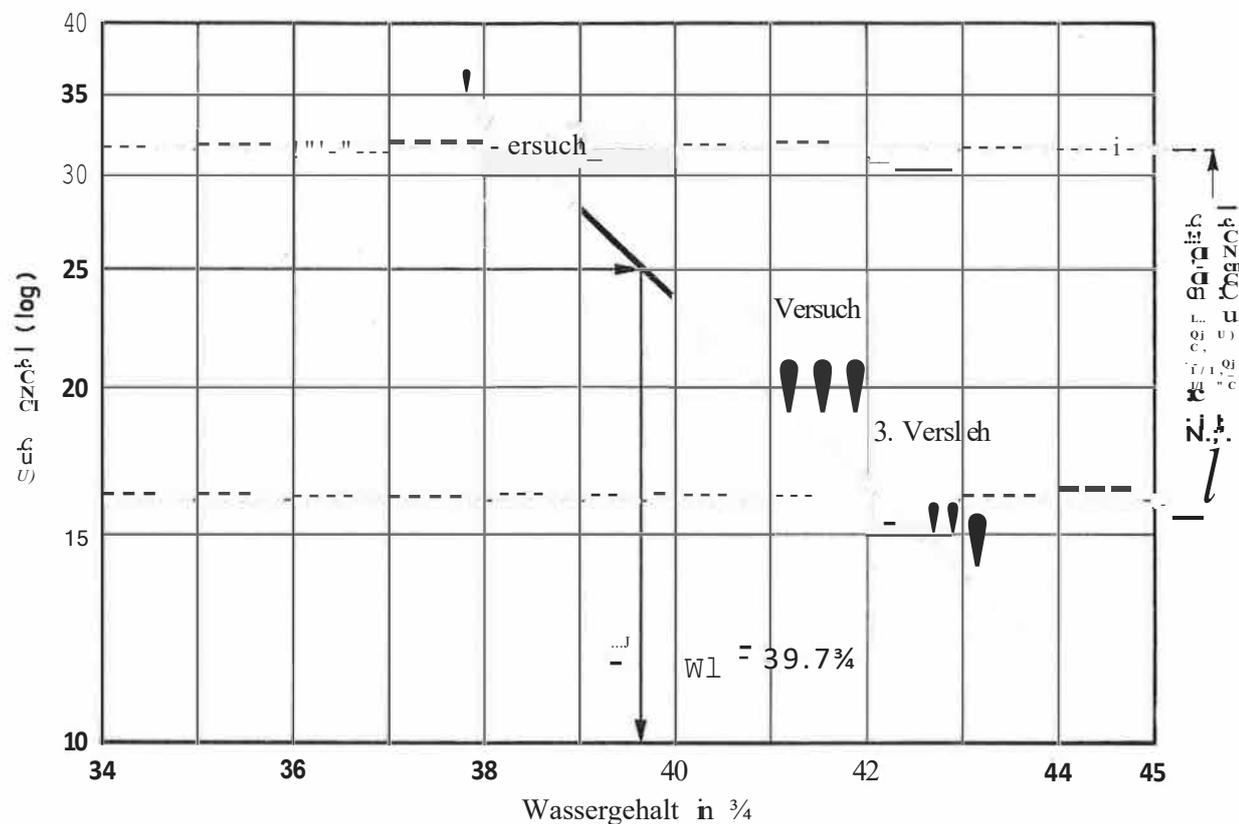


Abb.: Bestimmung der Fließgrenze



3 Bestimmung der Ausrollgrenze W_p (plastic limit)

Der in der Definition der Ausrollgrenze erwähnte Übergang vom festen zum plastischen Zustand wird dann als gegeben betrachtet, wenn eine Bodenprobe, die ausgerollt wird, bei 3 mm Dicke zu zerbröckeln beginnt.

Für die Versuchsdurchführung wird das Bodenmaterial in gleicher Weise wie für die Bestimmung der Fließgrenze vorbereitet. Die Probe wird auf einem saugfähigen Papier solange ausgerollt, bis die Mehrzahl der Krümel einen Durchmesser von 3 mm besitzt. Die Krümel werden durch einen Siebsatz von 3 und 2 mm gesiebt. Vom Siebrückstand auf dem 2,0 mm-Sieb (Krümeldurchmesser zwischen 2 und 3 mm) wird der Wassergehalt bestimmt. Dieser Wassergehalt entspricht der Ausrollgrenze.

4 Berechnung des Plastizitätsindex I_p (plasticity index)

Die numerische Differenz zwischen der Fließgrenze W_L und der Ausrollgrenze W_p wird Plastizitätsindex genannt.

$$I_p = W_L - W_p$$

Die Grösse des Plastizitätsindex charakterisiert einen plastischen Boden in seinem Verhalten gegenüber Wasser und erlaubt seine Zuteilung in eine der Gruppen der Bodenklassifikation (Merkblatt 410).

5 Bestimmung des Liquiditätsindex I_L (liquidity index)

Ist der Wassergehalt eines Bodens bei natürlicher Lagerung bekannt, so kann mit Hilfe des Plastizitätsindex der Liquiditätsindex nach folgender Formel berechnet werden:

$$I_L = \frac{W_{nat} - W_p}{I_p}$$

Die Grösse des Liquiditätsindex gibt an, in welchem Zustandsbereich sich der Boden beim natürlichen Wassergehalt befindet.

- I_L kleiner als 0: Der Boden befindet sich im festen Zustand
- I_L 0—1: Der Boden befindet sich im plastischen Zustand
- I_L grösser als 1: Der Boden befindet sich im fließbaren Zustand

6 Bestimmung des Konsistenzindex I_c (consistency index)

In seiner Bestimmung wird der natürliche Wassergehalt in Beziehung zum Wassergehalt der Fließgrenze gesetzt. Der Konsistenzindex ist eine zum Liquiditätsindex I_L analoge Kennziffer und berechnet sich wie folgt:

$$I_c = \frac{W_L - W_{nat}}{I_p}$$

Diese Kennziffer gibt wiederum an, in welchem Zustandsbereich sich der Boden beim natürlichen Wassergehalt befindet.

- I_c kleiner als 0: Der Boden befindet sich im messbaren Bereich
- I_c 0—1: Der Boden befindet sich im plastischen Bereich
- I_c grösser als 1: Der Boden befindet sich im festen Bereich

7 Beispiel: Boden Nr. 18 890

Natürlicher Wassergehalt $W_{nat} = 28,70\%$
 Fließgrenze $W_L = 35,40\%$; Ausrollgrenze $W_p = 14,80\%$
 Plastizitätsindex $I_p = W_L - W_p = 35,4 - 14,8 = 20,6$

$$I_L = \frac{W_{nat} - W_p}{I_p} = \frac{28,7 - 14,8}{20,6} = 0,68$$

$$I_c = \frac{W_L - W_{nat}}{I_p} = \frac{35,4 - 28,7}{20,6} = 0,32$$

Auf Grund von I_L und I_c befindet sich der Boden im plastischen Bereich.

Bodenklassifikation aus I_p und W_L : CL-Boden (gemäss Merkblatt 410).

Stabilisierung, Bodenmechanik, Verdichtung

Merkblätter über den Bau und Unterhalt von Wald- und Güterstrassen

Bodenklassifikation und Bodenbeurteilung

Dieses Merkblatt enthält Grundlagen zur Klassifikation und Beurteilung der Lockergesteine

1 Grundlagen**1.1 Allgemeines**

Die vorliegende Bodenklassifikation entspricht dem Unified Soil Classification System = USCS, welches in Übereinstimmung mit dem Bureau of Reclamation, dem US-Army Corps of Engineers und A. Casagrande aufgestellt wurde. Sie definiert 15 grundlegende Bodentypen hinsichtlich ihrer qualitativen Eigenschaften. Mit Hilfe der Feld- oder Labormethode wird ein zu untersuchender Boden in eine der Klassen eingeordnet.

1.2 Unterscheidungsmerkmale

Ein Boden (Lockergestein) setzt sich im allgemeinen aus verschiedenen Komponenten zusammen (mineralische Einzelbestandteile, Wasser, organisches Material). Diese beeinflussen die Eigenschaften und das Verhalten eines Bodens. Die Zuteilung zu einer Bodenklasse erfolgt mit Hilfe der nachstehenden Unterscheidungsmerkmale:

- Kornverteilung
- Plastizitätseigenschaften
- Organische Beimengungen

1.2.1 Kornverteilung

Die Klassifikation unterscheidet folgende Korngrößenbereiche (Fraktionen):

0	-	0,002 mm	Tonfraktion	}	feinkörnig
0,002	-	0,06	Silt		
0,06	-	2	mm Sand	}	grobkörnig
2	-	60	mm Kies		
60	-	200	mm Steine		
über		200	mm Blöcke		

Für die Klassifikation ist nur der Kornbereich von 0-60 mm massgebend. Der Anteil jeder Fraktion wird auf das Trockengewicht aller Körner 0-60 mm (= 100%) bezogen und in Gewichtsprozenten ausgedrückt.

1.2.2 Plastizitätseigenschaften

Diese werden im Feld mittels Handversuchen, im Labor nach den üblichen Methoden (vgl. Merkblatt 408) bestimmt.

1.2.3 Organische Beimengungen

Bei der feldmässigen Untersuchung lässt sich organisches Material an der dunklen Farbe, am Geruch und durch das schwammige Anfühlen erkennen. Bei der Laboruntersuchung kann sie ergänzt werden durch den Farbttest mit Natronlauge (Merkblatt 409) oder durch die Bestimmung der Plastizitätsgrenzen vor und nach der Ofentrocknung des Bodens. Die Plastizität von stark organischen Böden ist nach der Ofentrocknung - herrührend von der Verbrennung des organischen Materials - deutlich reduziert.

1.3 Kurzbezeichnungen

G	Gravel	Kies als Hauptbestandteil
S	Sand	Sand als Hauptbestandteil
M	Silt (Mud)	Silt als Haupt- oder Nebenbestandteil
C	Clay	Ton als Haupt- oder Nebenbestandteil
O	Organic	Organische Beimengungen
Pt	Peat	Torf
W	well graded	gut abgestuft, keine Fraktion fehlend oder übervertreten
p	poorly graded	schlecht abgestuft, Kornfraktionen fehlend oder übervertreten
H	high liquid limit	Fließgrenze hoch
L	low liquid limit	Fließgrenze klein

Es werden nur die in Tab. 1 angegebenen Kombinationen von je 2 Buchstaben verwendet. Diese können aber zu Doppelklassen verbunden werden, um Grenzfälle zu bezeichnen (Feinanteile zwischen 15-490/o, z. B. GC-CL, GM-ML).

2 Bodenklassifikation nach der Feldmethode

Für die Feldmethode ist die Tabelle 1 zu verwenden, wobei folgendermassen vorzugehen ist:

2.1 Unterscheidung zwischen grob- und feinkörnigen Böden

Die Einteilung erfolgt in zwei Hauptgruppen:

- grobkörnige Böden
- feinkörnige Böden

Als grobkörnig wird ein Boden klassiert, wenn mehr als 50 Gewichtsprozent der Bodenkörner einen Durchmesser grösser als 0,06 mm aufweisen. überwiegt der Anteil der Körner unter 0,06 mm Durchmesser (mehr als 50 Gewichtsprozent), so handelt es sich um einen feinkörnigen Boden. Körner mit einem Durchmesser von 0,06 mm sind von blasser Auge gerade noch sichtbar.

2.1.1 Unterteilung der grobkörnigen Böden (Kies und Sand)

Wird ein Boden nach Ziffer 2.1 als grobkörnig taxiert, so liegt ein Kies oder Sand vor. Ist der Gewichtsanteil der Körner vom Durchmesser 2-60 mm grösser als derjenige von 0,06 bis 2,0 mm, so handelt es sich um einen Kies. Um einen Sand handelt es sich, wenn der Gewichtsanteil der Körner von 0,06-2,0 mm Durchmesser grösser ist als derjenige von 2-60 mm. Die weitere Unterteilung der Kiese und Sande ergibt sich dann folgendermassen:

2.1.1.1 Sind keine oder nur wenig (max. 5 Gewichtsprozente) Feinanteile vorhanden, d. h. erscheint das Material sauber, so sind je 2 Klassen möglich:

- GW: saubere Kiese mit guter Kornverteilung (keine Korngruppe vorherrschend oder fehlend)
- GP: saubere Kiese mit schlechter Kornverteilung (eine oder mehrere Korngruppen fehlend oder übervertreten)
- SW: saubere Sande mit guter Kornverteilung (keine Korngruppe fehlend oder vorherrschend)
- SP: saubere Sande mit schlechter Kornverteilung (eine oder mehrere Korngruppen fehlend oder übervertreten)

2.1.1.2 Enthält das Material beträchtliche Mengen (5-15 Gewichtsprozente) Feinanteile, sind diese für sich auf ihre Plastizitätseigenschaften hin zu untersuchen. Entscheidend für die weitere Gliederung ist der siltige oder tonige Charakter der feinkörnigen Anteile:

- GM: siltige Kiese; Feinanteile nicht oder nur sehr schwach bindig
- GC: tonige Kiese; Feinanteile bindig
- SM: siltige Sande; Feinanteile nicht oder nur sehr schwach bindig
- SC: tonige Sande; Feinanteile bindig

2.1.2 Unterteilung der feinkörnigen Böden (Tone und Silte)

Die feinkörnigen Böden werden mit Hilfe nachstehender Handversuche weiter unterschieden:

2.1.2.1 Schüttelprobe

Die Bodenprobe wird im wassergesättigten Zustand gut durchgeknetet und zu einer Kugel von 2-3 cm Durchmesser geformt. Sie wird in der offenen Hand geschüttelt (Hand gegen Hand). In einem stark tonigen Boden tritt kein Wasser an die Oberfläche, sie bleibt matt. In einem schwach tonigen, siltigen oder sandigen Boden tritt Wasser an die Oberfläche; sie wird glänzend. Erscheint das Wasser erst nach längerem Schütteln, so handelt es sich um einen schwach tonigen resp. siltigen Boden. Wird die Oberfläche schlagartig glänzend, handelt es sich um einen sandigen Boden. Der auftretende Glanz verschwindet wieder, wenn die Probe leicht zusammengedrückt wird.

2.1.2.2 Knetprobe

Die Probe wird geknetet und anschliessend auf einer porösen Unterlage oder zwischen den Handballen solange zu einer dünnen Walze gerollt, bis diese beim Durchmesser von 3 mm zu krümeln beginnt (Ausrollgrenze). Die dabei benötigte Zeit für das Ausrollen ist ein Mass für die Grösse der Plastizität. Zusätzlich kann durch Zerdrücken der Probe zwischen den Fingern beim Beginn des Krümelns die Steifheit der Probe geprüft werden. Je grösser diese ist, desto grösser ist die Plastizität. Nichtplastische Böden können nicht bis auf 3 mm Durchmesser ausgerollt werden.

2.1.2.3 Trockenfestigkeit

Die Probe wird ausgetrocknet (Luft, S"nne, Ofen) und die Trockenfestigkeit durch Brechen oder Zerdrücken zwischen den Fingern geprüft. Tone haben eine sehr hohe, nichtplastische Silte eine kleine Festigkeit.

2.2 Torf

Böden, bei denen der organische Anteil überwiegt, werden als Torf bezeichnet. Sie können einen verschieden grossen Zersetzungsgrad aufweisen.

3 Bodenklassifikation nach der Labormethode

3.1 Kriterien

Diese Klassifikation verwendet folgende Kriterien:

- Kornverteilung
- Plastizitätseigenschaften
- Organische Beim,angungen

Diese Eigenschaften werden im Labor nach den genormten Versuchen bestimmt (Merkblatt 406, 408, 409).

3.2 Klassifikation der grobkörnigen Böden (Kiese, Sande)

Ist der Gewichtsanteil der Körner mit einem Durchmesser von 0,06-60 mm grösser als 50%, so handelt es sich um einen grobkörnigen Boden.

Beträgt der Gewichtsanteil der Körner vom Durchmesser 2-60 mm mehr als die Hälfte des grobkörnigen Anteils, so liegt ein Kies vor.

Ist der Gewichtsanteil der Körner vom Durchmesser 0,06-2 mm grösser als die Hälfte des grobkörnigen Anteils, so liegt ein Sand vor.

Die weitere Unterteilung der grobkörnigen Böden erfolgt auf Grund der Kornabstufung sowie der Menge und Plastizität der Feinanteile (kleiner 0,06 mm).

3.2.1 Materialien mit einem Feinanteil von 0-50/o

Diese Materialien werden als sauber bezeichnet. Die Feineinteilung erfolgt nach der Ermittlung der folgenden beiden Koeffizienten:.

$$\text{Steilheit } C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

$$\text{Krümmung } C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \cdot D_{60}}$$

D_x bedeutet den Korndurchmesser des x-prozentigen Anteils der Summationskurve. Die Grösse dieser Koeffizienten sind Kennziffern für den Verlauf der Kornverteilungskurve.

Kiese	$\left\{ \begin{array}{l} C_u \text{ grösser } 4 \\ C_c \text{ } 1 - 3 \end{array} \right.$	sauberer, gut
		abgestufter Kies oder Kies-Sand GW
Sande	$\left\{ \begin{array}{l} C_u \text{ grösser } 6 \\ C_c \text{ } 1 - 3 \end{array} \right.$	sauberer, gut abgestufter Sand mit oder ohne Kies SW

Sind die obigen Bedingungen nicht erfüllt, so handelt es sich entweder um einen schlecht abgestuften Kies = GP oder um einen schlecht abgestuften Sand = SP. Eine oder mehrere Korngrössen oder Korngrössengruppen fehlen oder sind übervertreten. Die fehlende oder übervertretene Fraktion ist anzugeben.

3.2.2 Materialien mit einem Feinanteil von 5-15 Gewichtsprozenten

Der Feinanteil wird wie die feinkörnigen Böden (nach Ziff. 3.3) auf die Atterberggrenzen hin untersucht. Ist der Plastizitätsindex grösser als 7, so handelt es sich um einen tonigen Kies = GC oder einen tonigen Sand = SC. Ist der Plastizitätsindex kleiner als 4, so handelt es sich um einen siltigen Kies = GM oder einen siltigen Sand = SM. Liegt der Plastizitätsindex zwischen 4 und 7, so liegt ein Grenzfall (GC-GM; SC-SM) vor.

3.2.3 Materialien mit einem Feinanteil von 15-49 Gewichtsprozenten

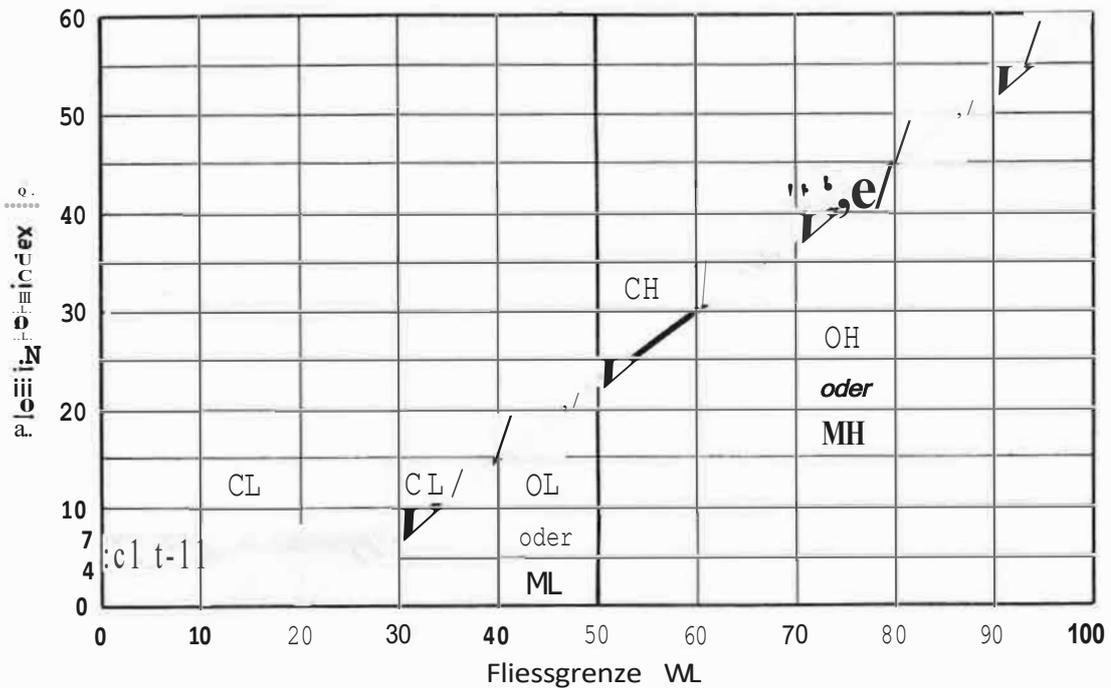
In solchen Böden werden der grobkörnige und der feinkörnige Anteil für sich betrachtet. Daraus ergeben sich die folgenden Doppelklassen mit 2 Symbolen: GC-CL, GM-ML, SC-CL, SM-ML.

3.3 Klassifikation der feinkörnigen Böden

Böden mit einem Feinanteil von mehr als 50% sind feinkörnig. Nach Bestimmung der Plastizitätsgrenzen und des Plastizitätsindex (Merkblatt 408) können

sie mit Hilfe des Plastizitätsdiagramms einer der 6 Klassen zugeordnet werden: ML, CL, OL, MH, CH, OH.

Plastizitätsdiagramm



In diesem Diagramm sind auf der Ordinate der Plastizitätsindex und auf der Abszisse die Flie遡grenze aufgetragen. Ein bestimmter Boden wird durch einen Punkt mit den entsprechenden Koordinaten (Plastizitätsindex, Flie遡grenze) repräsentiert. Die Gruppe, zu welcher ein bestimmter Boden gehört, geht aus der Bezeichnung des Bereiches hervor, in welchem der Punkt liegt. Eine Unterteilung in verschiedene Bereiche erfolgt durch die Senkrechte bei der Flie遡grenze $WL = 500\phi$ und durch die sogenannte A-Linie, welche durch die empirisch bestimmte Formel $I_p = 0,73 (WL - 20)$ gegeben ist.

Silte und magere Tone mit organischem Material (OL, OH) haben auf dem Plastizitätsdiagramm die gleiche Position wie die Silte ohne organisches Material (ML, MH). Die durch die organischen Beimengungen beeinflussten Böden können am Geruch oder an der Farbe erkannt werden. Im Zweifelsfalle können die Plastizitätsgrenzen vor und nach der Ofentrocknung bestimmt werden. Eine dadurch bedingte Reduktion der Flie遡grenze um mehr als $\frac{1}{4}$ ist eine positive Identifikation für das Vorhandensein von organischem Material (OL, OH). Die feinkörnigen Böden werden also folgendermassen unterteilt:

3.3.1 Flie遡grenze kleiner als 50%

- ML hat eine Flie遡grenze kleiner 500ϕ , und der Plastizitätsindex variiert zwischen 0-22. (Bereich ML oder OL unterhalb der A-Linie)
- CL hat eine Flie遡grenze kleiner 500ϕ und einen Plastizitätsindex grösser 7. (Bereich CL oberhalb der A-Linie)
- OL hat eine Flie遡grenze kleiner 500ϕ , und der Plastizitätsindex variiert zwischen 0-22. Der Boden enthält organisches Material,

welches die Bodeneigenschaften (Plastizität) merklich beeinflusst. (Bereich ML oder OL unterhalb der A-Linie)

3.3.2 Flie遡grenze grösser als 50%

- MH hat eine Flie遡grenze grösser 500ϕ , und der Plastizitätsindex variiert zwischen 0 bis ca. 50. (Bereich MH oder OH unterhalb der A-Linie)
- CH hat eine Flie遡grenze grösser 500ϕ , und der Plastizitätsindex variiert zwischen 22 bis über 50. (Bereich CH über der A-Linie)
- OH hat eine Flie遡grenze grösser 500ϕ , und der Plastizitätsindex variiert zwischen 0 bis ca. 50. Der Boden enthält organisches Material, welches die Bodeneigenschaften (Plastizität) merklich beeinflusst.

3.3.3 Grenzfälle

feinkörnige Böden, die bei der Darstellung auf dem Plastizitätsdiagramm genau oder annähernd auf die A-Linie oder auf die Linie bei $WL = 500\phi$ zu liegen kommen, werden als Grenzfälle klassifiziert (z. B. CL-CH, CH-MH etc.). Böden über der A-Linie mit einem Plastizitätsindex zwischen 4 und 7 sind ebenfalls Grenzfälle und werden als CL-ML klassifiziert.

4 Bodenbeurteilung

Die Zuordnung eines Bodens zu einer bestimmten Klasse erlaubt eine grobe Beurteilung seiner bodenmechanischen Eigenschaften als Baugrund und Baustoff (siehe Tabelle 2).

	Vp Oc m	Beschreibung	Durchlässigkeit im verdichteten Zustand cm/sec	Scherfestigkeit	Zusammen-drückbarkeit	Einfluss des Frostes	Bearbeitung Abbau, Einbau, Durchmischung, Planie, Verdichtung	Eignung			Tabelle 2 Vorkommen
				in verdichteten und gesättigten Zustand				als Baugrund, Schüttung	als Tragschicht	als Verschleiss-schicht	
G r u n d t y p e n	GW	gut abgestufte Kiese oder Kiessande mit Obis 5% Feinanteilen	durchlässig 10 ⁺¹ ... 10 ⁻¹	sehr gut	keine	kein	sehr gut	sehr gut	sehr gut		Alluvionen Bachsutt Moräne
	GP	schlecht abgestufte Kiese oder Kiessande mit 0-5% Feinanteilen	durchlässig 10 ⁺¹ ... 10 ⁻¹	sehr gut-gut	keine	kein	gut	gut-sehr gut	gut		Alluvionen / Schotter Bergsturzmaterial (Moräne)
	GM	siltige Kiese, Kies-Sand-Silt-Mischungen mit 5-15% Feinanteilen	schwach durchlässig 10 ⁻³ ... 10 ⁻⁶	gut	keine	leicht-mittel (Hebung)	gut-sehr gut	gut-sehr gut	mittel-schlecht		Alluvionen Gehängeschutt Moräne
	GC	tonige Kiese, Kies-Sand-Silt-Ton-Mischungen mit 5-15% Feinanteilen	undurchlässig 10 ⁻⁶ ... 10 ⁻⁸	mittel	sehr gering	leicht-mittel (Tragfähigkeitsverlust)	gut	gut	mittel-schlecht	sehr gut	Moräne Gehängeschutt
	SW	gut abgestufte Sande oder kiesige Sande mit Feinanteilen von 0-5%	durchlässig 100 ... 10 ⁻³	sehr gut	keine	kein	sehr gut	sehr gut	gut-sehr gut		Alluvionen Schwemmsand (See-ablagerung)
	SP	schlecht abgestufte Sande oder kiesige Sande mit Feinanteilen von 0-5%	durchlässig 10 ⁰ ... 10 ⁻³	sehr gut-gut	sehr gering	kein	mittel	mittel-gut	mittel-schlecht		Alluvionen Schotter
	SM	siltige Sande, Sand-Silt-gemische mit 5-15% Feinanteilen	schwach durchlässig 10 ⁻³ ... 10 ⁻⁶	mittel	gering	leicht-gross (Hebung)	mittel	mittel			Molasseschutt Löss Wüstensand
	SC	tonige Sande, Sand-Silt-Tongemische mit 5 bis 15% Feinanteilen	undurchlässig 10 ⁻⁶ ... 10 ⁻⁸	mittel	gering	leicht-gross (Tragfähigkeitsverlust)	gut	mittel		gut-sehr gut	Moräne Molasseschutt
F i n d e r e n	ML	Silte, kiesige, sandige Silte mit kleiner Plastizität	schwach durchlässig 10 ⁻³ ... 10 ⁻⁶	gering	mittel	mittel-sehr gross (Hebung)	mittel-schlecht	schlecht			Seeablagerung Lösslehm
	CL	Tone kleiner-mittlerer Plastizität, kiesige, sandige, siltige, magere Tone	undurchlässig 10 ⁻⁶ ... 10 ⁻⁸	gering	mittel-gross	mittel-gross (Tragfähigkeitsverlust)	schlecht	schlecht			Flyschschutt/Seeablage- rung Molasseschutt/Moräne- schutt / Gehängelehm
	OL	Silte, tonige Silte, magere Tone geringer Plastizität mit organischem Material	schwach durchlässig 10 ⁻⁴ ... 10 ⁻⁶	sehr gering	sehr gross	gross (Hebung; Tragfähigkeits- verlust)	schlecht	sehr schlecht			Verlandungsböden Flyschschutt
	MH	Spezielle Silte organischen Ursprungs	schwach durchlässig 10 ⁻⁴ ... 10 ⁻⁶	sehr gering	gross	mittel - sehr gross (Hebung)	schlecht	sehr schlecht			Seekreide
	CH	hochplastische Tone, fette Tone	undurchlässig 10 ⁻⁶ ... 10 ⁻⁸	sehr gering	sehr gross	mittel-gross (Tragfähig- keitsverlust)	schlecht- sehr schlecht	schlecht- sehr schlecht			Seebodenlehm Gehänetone (Opalinuston)
	OH	Tone mittlerer bis hoher Plastizität mit starken organischen Beimengungen	undurchlässig 10 ⁻⁶ ... 10 ⁻⁸	sehr gering	sehr gross	mittel- sehr gross (Tragfähig- keitsverlust)	sehr schlecht	sehr schlecht			Verlandungsböden Untergrund von Mooren Flyschschutt
	Pt	Torf und stark organische Böden									Moore Verlandungsböden

FELDKLASSIFIKATION			Symbol	Typische Bezeichnung des Bodenmaterials	Weitere notwendige Angaben		
		Alle Korngrößen vertreten, keine davon vorherrschend oder fehlend	GW	gut abgestufte Kiese oder Kies-Sande mit wenig oder keinen Feinanteilen	<ul style="list-style-type: none"> - Typ. Bezeichnung des Bodenmaterials - Ungefährer Anteil der Fraktionen (Kies, Sand, Feinanteile) - Grösstkorndurchmesser - Oberflächenbeschaffenheit, Form und Härte der Einzelkörner - Geolog. Bezeichnung (soweit bekannt) und lokale Namen - Weitere wichtige Informationen - Kurzbezeichnung (Symbol) <p>Für ungestört gelagerte Böden sind zusätzliche Informationen, wie Schichtung, Lagerungsdichte, Verkittung, Feuchtigkeits- und Drainageverhältnisse etc. anzugeben.</p>		
		Eine Korngrösse oder Korngrössengruppe vorherrschend oder fehlend	GP	schlecht abgestufte Kiese oder Kies-Sande mit wenig oder keinen Feinanteilen			
		Nichtbindige Feinanteile (Identifikation wie bei ML)	GM	siltige Kiese Kies-, Sand-, Siltmischungen			
		Bindige Feinanteile (Identifikation wie bei CL)	GC	tonige Kiese Kies-, Sand-, Silt-, Tonmischungen			
			Alle Korngrößen vertreten, keine davon vorherrschend oder fehlend	SW		gut abgestufte Sande oder kiesige Sande, wenig oder keine Feinanteile	
			Eine Korngrösse oder Korngrössengruppe vorherrschend oder fehlend	SP		schlecht abgestufte Sande oder kiesige Sande, wenig oder keine Feinanteile	
			Nichtbindige Feinanteile (Identifikation wie bei ML)	SM		Siltige Sande Sand-, Kies-, Siltgemische	
			Bindige Feinanteile (Identifikation wie bei CL)	SC		tonige Sande Sand-, Kies-, Silt-, Tongemische	
		Trockenfestigkeit	Schüttelprobe (Wasseraustritt)	Knetprobe Steifheit	<ul style="list-style-type: none"> - Typ. Bezeichnung des Bodenmaterials - Grad und Charakter der Bindigkeit - Anteil und Grösstkorndurchmesser der groben Körner - Farbe im naturfeuchten Zustand - Geruch - Geolog. Bezeichnung und lokaler Name - Weitere wichtige Informationen - Kurzbezeichnung (Symbol) 		
		keine-klein	schnell	keine		ML	Silte und Feinsande, siltige oder tonige Feinsande kleiner Plastizität
		mittel-gross	klein-langsam	mittel		CL	Tone kleiner bis mittlerer Plastizität, kiesige, sandige, siltige, magere Tone
		klein-mittel	langsam	klein		OL	Silte und siltige Tone mit starken organischen Beimengungen und geringer Plastizität
		klein-mittel	langsam-klein	klein-mittel		MH	Spezielle Silte, anorganisch, jedoch organischen Ursprungs, z. B. Seekreide
		gross-sehr gross	sehr klein	gross		CH	Hochplastische Tone, fette Tone
mittel-gross	klein-langsam	klein-mittel	CH	Tone mittlerer bis hoher Plastizität mit starken organischen Beimengungen			
Stark organische Böden	An Geruch, dunkler Farbe, schwammigem Anfühlen, faseriger Textur, geringem Raumgewicht zu erkennen			Pt	Torf und stark organische Böden	Für ungestört gelagerte Böden sind weitere Informationen wie oben anzugeben.	

Stabilisierung, Bodenmechanik, Verdichtung

Merkblätter über den Bau und Unterhalt von Wald- und Güterstrassen

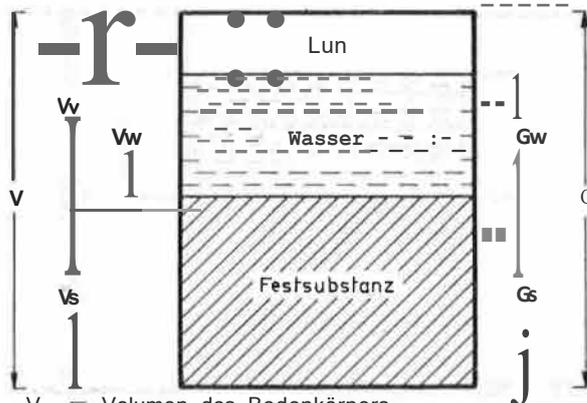
Raumgewichte und davon abhängige Bodenkennziffern

Dieses Merkblatt enthält Definitionen und Richtlinien über die Bestimmung der verschiedenen Raumgewichte und weiteren davon abhängigen Kennziffern

1 Grundlagen und Begriffe

Der Boden ist ein Dreiphasen-System. Er ist aus der Zusammenballung von festen Teilchen (Mineralkörner und organische Bestandteile) entstanden und bildet eine poröse Struktur, wobei die Poren Luft oder Wasser oder beides zusammen enthalten. Das Gewicht einer Volumeneinheit Boden ändert sich deshalb mit dem Wassergehalt.

Modell einer Volumeneinheit (cm³, m³) Boden, dargestellt als Dreiphasen-System:



- V = Volumen des Bodenkörpers
 V_v = Porenvolumen
 V_w = Wasservolumen
 V_s = Festsubstanzvolumen
 G = Gewicht des Bodenkörpers (Feuchtschubstanz)
 G_w = Wassergewicht
 G_s = Gewicht der Trockenschubstanz

Folgende Raumgewichte (in g/cm³ oder Vm³) können unterschieden werden:

- Feuchtraumgewicht y :
Die Poren sind ganz oder teilweise mit Wasser gefüllt
- Trockenraumgewicht y_d :
Die Poren sind ausschliesslich mit Luft gefüllt
- Spez. Gewicht γ_s :
Es ist das Raumgewicht der festen Bodenschubstanz (ohne Poren und Wasser)

Aus dem Raumgewicht und dem Wassergehalt werden Porosität, Porenziffer und Sättigungsgrad eines Bodens berechnet. Die Lagerungsdichte wird entweder durch das Trockenraumgewicht oder die Porosität angegeben.

2 Definitionen

2.1 Das **Feuchtraumgewicht** y ist das Gewicht des Bodens pro Volumeneinheit beim Wassergehalt W

$$y = \frac{\text{Gewicht der Feuchtschubstanz}}{\text{Volumen des Bodenkörpers}} = \frac{G}{V}$$

2.2 Das **Trockenraumgewicht** y_d ist das Gewicht der entsprechenden Trockenschubstanz des Bodens pro Volumeneinheit

$$y_d = \frac{\text{Gewicht der Trockenschubstanz}}{\text{Volumen des Bodenkörpers}} = \frac{G_s}{V}$$

2.3 Das **spezifische Gewicht** γ_s ist das Verhältnis des Gewichtes der Trockenschubstanz zu ihrem Volumen

$$\gamma_s = \frac{\text{Gewicht der Trockenschubstanz}}{\text{Volumen der Trockenschubstanz}} = \frac{G_s}{V_s}$$

3 Bestimmung des Feuchtraumgewichtes (Ziffer 2.1)

In bindigen, feinkörnigen Böden wird ein Probekörper mit Hilfe eines Zylinders von bekanntem Volumen ausgestochen und gewogen.

In verkitteten Materialien, wie Moräne, Nagelfluh, Löss, stabilisierten Böden etc., wird eine Probe herausgebroschen, paraffiniert und das Volumen mit Hilfe der Wasserverdrängung bestimmt (Volumen des Paraffins berücksichtigen!).

In losen, nichtbindigen Böden können keine ungestörten Proben entnommen werden, so dass nur Feldversuche zum Ziel führen.

(Ballonmethode SNV-Norm 70 337, Sandersatzmethode SIN-Norm 70 335, Gipsersatzmethode).

4 Bestimmung des Trockenraumgewichtes y_d

(Ziffer 2.2)

Nach der Bestimmung des Feuchtraumgewichtes nach Ziffer 3 wird der Wassergehalt der ausgestochenen Bodenprobe ermittelt. Das Trockenraumgewicht kann nach folgenden Formeln gerechnet werden:

$$y_d = \frac{\text{Feuchtraumgewicht}}{(1 + \text{Wassergehalt } W)} = \frac{y}{1 + W}$$

(W als Dezimalbruch)

$$\text{oder } y_d = \frac{\text{Gewicht der Trockenschubstanz}}{\text{Volumen des Bodenkörpers}} = \frac{G_s}{V}$$

$$\text{oder } y_d = \frac{\text{Gewicht des Bodenkörpers}}{\text{Volumen des Bodenkörpers} \cdot (1 + W)} = \frac{G}{V(1 + W)}$$

5 Bestimmung des spezifischen Gewichtes γ_s (Ziffer 2.3)

Das spezifische Gewicht wird durch den Pyknometerversuch (Speziallabor) bestimmt. Das spezifische Gewicht ist abhängig von der mineralogischen Zusammensetzung des Bodens und liegt für schweizerische Böden zwischen 2.6 und 2.75 t/m³.

6 Herleitung weiterer, von den Raumgewichten abhängiger Kennziffern

Aus den primär bestimmten Größen γ , γ_d , γ_s sowie dem Wassergehalt W lassen sich eine Reihe weiterer Kennziffern herleiten.

6.1 Porosität n

Die Porosität n ist das Verhältnis des Porenvolumens zum Totalvolumen der Materialprobe. Sie lässt sich aus den Größen γ , γ_s und W wie folgt berechnen:

$$\text{Porosität } n \% = \frac{\text{Porenvolumen}}{\text{Volumen des Bodenkörpers}} \cdot 100 = \frac{V_v}{V} \cdot 100 =$$

$$\left(1 - \frac{\gamma}{\gamma_s (1+W)} \right) \cdot 100 = \left(1 - \frac{\gamma}{\gamma_s} \right) \cdot 100 = \left(\frac{\gamma_s - \gamma_d}{\gamma_s} \right) \cdot 100 = \left(\frac{\gamma_s - \gamma_d}{\gamma_s} \right) \cdot 100$$

6.2 Porenziffer e

Die Porenziffer e ist das Verhältnis des Porenvolumens zum Volumen der Festsubstanz. Sie berechnet sich wie folgt:

$$\text{Porenziffer } e = \frac{\text{Porenvolumen}}{\text{Volumen der Festsubstanz}} = \frac{V_v}{V_s} = \frac{\gamma_s}{\gamma_d} - 1 = \frac{\gamma_s - \gamma_d}{\gamma_d} = \frac{n}{1-n}$$

6.3 Sättigungsgrad S_r

Der Sättigungsgrad S_r ist das Verhältnis des mit Wasser angefüllten Porenvolumens zum Gesamtporenvolumen. Die Berechnung erfolgt nach folgenden Formeln:

$$\text{Sättigungsgrad } S_r \% = \frac{\text{Wasservolumen}}{\text{Porenvolumen}} \cdot 100 = \frac{V_w}{V_v} \cdot 100 = \frac{W \% \cdot \gamma_d}{\gamma_s - \gamma_d}$$

bei $\gamma_w = \text{spez. Gewicht des Wassers} = 1.0 \text{ t/m}^3$ geht die Formel über in:

$$S_r = \frac{W}{\frac{\gamma_d}{\gamma_s} - 1} = \frac{W \cdot \gamma_d}{\gamma_s - \gamma_d} \cdot 100$$

7 Beispiel

Gemessen an einem bindigen CL-Boden:

- Gewicht der ausgestochenen Probe von 100 cm³ beim natürlichen Wassergehalt $G = 184,1 \text{ g}$
- Wassergehalt = 22,10%
- Spezifisches Gewicht γ_s (bestimmt nach der Pyknometermethode) = 2,68 g/cm³

Berechnungen

- Feuchtraumgewicht $\gamma = \frac{\text{Probengewicht}}{\text{Probenvolumen}} = \frac{184,1 \text{ g}}{100 \text{ cm}^3} = 1,84 \text{ g/cm}^3$
- Trockenraumgewicht $\gamma_d = \frac{\text{Feuchtraumgewicht}}{(1 + \text{Wassergehalt } W)} = \frac{\gamma}{1 + W} = \frac{1,84}{1,22} = 1,51 \text{ g/cm}^3$
- Porosität $n = \frac{(\gamma_s - \gamma_d) \cdot 100}{\gamma_s} = \frac{(2,68 - 1,51) \cdot 100}{2,68} = 43,70\%$
- Porenziffer $e = \frac{\gamma_s - \gamma_d}{\gamma_d} = \frac{2,68 - 1,51}{1,51} = 0,78$
- Sättigungsgrad $S_r = \frac{\gamma_d \cdot W \cdot 100}{\gamma_s - \gamma_d} = \frac{1,51 \cdot 22,1 \cdot 100}{2,68 - 1,51} = 76,3\%$

Stabilisierung, Bodenmechanik, Verdichtung

Merkblätter über den Bau und Unterhalt von Wald- und Güterstrassen

Verdichtungsversuch nach Proctor (Proctorversuch)

Dieses Merkblatt enthält Angaben über Durchführung und Anwendung des Verdichtungsversuches nach Proctor

1 Begriff und Zweck

Der Verdichtungsversuch nach Proctor ergibt die Beziehung zwischen Wassergehalt und Trockenraumgewicht bei konstanter Verdichtungsarbeit. Diese Beziehung wird graphisch als Proctorkurve dargestellt. Daraus lassen sich folgende beiden Kennwerte bestimmen:

- **optimales Trockenraumgewicht:**
Raumgewicht, welches dem Maximum der Proctorkurve entspricht.
- **optimaler Verdichtungswassergehalt:**
Wassergehalt, bei welchem das optimale Trockenraumgewicht erhalten wird.

Der Versuch ermöglicht somit die Bestimmung der Verdichtbarkeit von Böden.

2 Daten für den Verdichtungsversuch

Zylinderdurchmesser	10,16 cm
Zylinderhöhe	11,70 cm
Durchmesser des zylindrischen Fallgewichts	5,10 cm
Fallgewicht	2,49 kg
Fallhöhe	30,50 cm
Anzahl Schichten	3
Schläge pro Schicht	25
Verdichtungsenergie	6,05 kgcm/cm ³

3 Durchführung

Das luftgetrocknete Material der Kornfraktion kleiner als 7 mm wird zu einem Wassergehalt aufgearbeitet, welcher ungefähr 5-60/o unterhalb des geschätzten optimalen Wassergehalts liegen soll. Als Richtwerte für den optimalen Wassergehalt gelten folgende Annahmen:

saubere oder siltige Kiese	ca. 80b
tonige Kiese	ca. 110b
saubere oder siltige Sande	ca. 100b
tonige Sande	ca. 140b
siltige Böden (ML, MH)	ca. 14-180/o
bindige Böden (CL, CH, evtl. OH)	ca. 15-200/o
	(2-40/o weniger als die Ausrollgrenze)

Der Einbau des sorgfältig gemischten Materials erfolgt in 3 Schichten, von denen jede durch 25 Schläge des Fallgewichtes verdichtet wird.

Die Gesamtprobe soll im verdichteten Zustand ca. 13 cm aufweisen. Nach Entfernung des Aufsatzringes wird die Probe auf der Zylinderhöhe abgeschnitten. Probe und Zylinder werden gewogen und hernach das Feuchtraumgewicht bestimmt. Aus der Mitte der Probe wird ein kleiner Teil für die Ermittlung des gesamten Wassergehaltes entnommen.

Der Versuch wird mit steigendem Wassergehalt von 2-30/o Unterschied so oft durchgeführt, bis das Feuchtraumgewicht abnimmt.

4 Auswertung

Das aus dem Feuchtraumgewicht r und dem Wassergehalt W bestimmte Trockenraumgewicht wird in Abhängigkeit vom Wassergehalt als Proctorkurve aufgetragen (s. Darstellung S. 2).

$$\text{Trockenraumgewicht } \gamma_d = \frac{G}{V(1+W)} \quad (\text{g/cm}^3, \text{ t/m}^3)$$

Zusätzlich wird noch der Sättigungsgrad S_r für das optimale Raumgewicht oder irgendeinen Punkt der Proctorkurve nach folgender Formel berechnet:

$$\text{Sättigungsgrad } S_r = \frac{W}{\frac{1}{\gamma_d} - \frac{1}{\gamma_s}}$$

Bezeichnungen

G	= Gewicht der Probe
V	= Volumen der Probe
W	= Wassergehalt der Probe
S_r	= Sättigungsgrad
γ_d	= Trockenraumgewicht
γ_w	= spez. Gewicht des Wassers $\rightarrow 1 \text{ t/m}^3$
γ_s	= spez. Gewicht des Bodens

Meist werden für einen Proctorversuch die sogenannten Sättigungslinien für eine Sättigung von 1000/o, 900/o, 800/o etc. berechnet und aufgetragen, wobei für einen beliebigen Punkt der Proctorkurve der Sättigungsgrad aus dem Diagramm herausgelesen wird. Die Sättigungslinien lassen sich nach der folgenden Formel oder nach Tabellen bestimmen:

$$\gamma_d = \frac{\gamma_w \cdot \gamma_s}{\gamma_w + W \gamma_s} = \frac{\gamma_s}{1 + \frac{W}{S_r} \gamma_s}$$

Der Verdichtungsversuch wird im Laboratorium durchgeführt und ermöglicht:

- Die Bestimmung des Einflusses einer Änderung des Wassergehaltes auf die Verdichtbarkeit des Materials.
- Die Bestimmung des Wassergehaltes, bei welchem sich das Material am stärksten verdichten lässt (optimaler Wassergehalt, entsprechend dem optimalen Raumgewicht).

5 Anwendung der Versuchsergebnisse

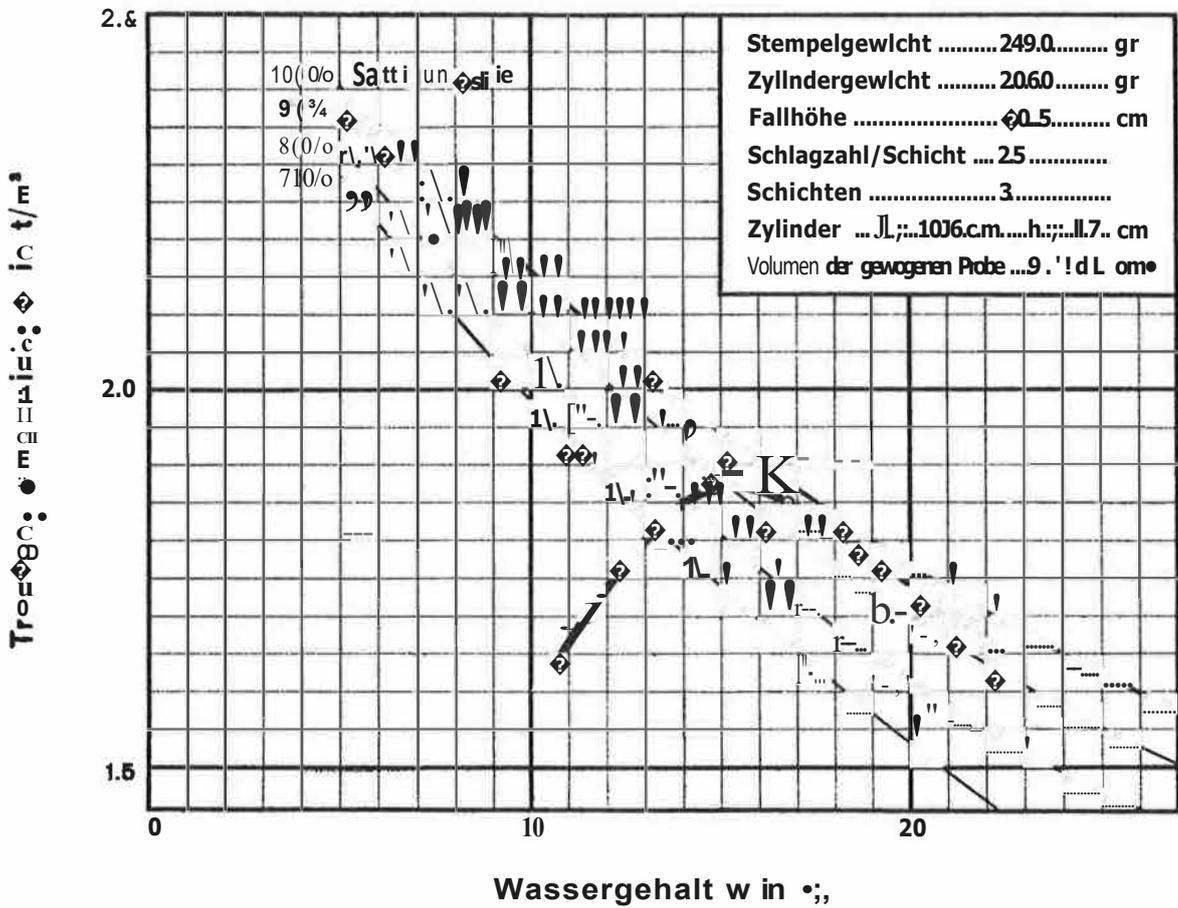
- Der Verdichtungsversuch ermöglicht den Vergleich des optimalen Raumgewichtes γ_d opt. mit dem Raumgewicht bei natürlicher Lagerung γ_d nat.
- Der Verdichtungsversuch liefert den Richtwert für den Wassergehalt für die Verdichtung.
- Der Proctorversuch ermöglicht eine Verdichtungskontrolle durch Vergleich des optimalen Trockenraumgewichtes mit dem Raumgewicht nach der Verdichtung.

Verdichtungsversuch

Labor Nr.: 18 890
 Komponenten: kleiner 10 mm
 USCS-Klass.: CL

Günstigster Einbauwassergehalt	14,9 %
Entsprechendes Trockenraumgewicht	1,87 t/m ³
Entsprechendes Nassraumgewicht	2,15 t/m ³
Spezifisches Gewicht	2,74 t/m ³
Sättigungsgrad	88 %

Versuch Nr.		1	2	3	4	5	6	7
Wassergehalt	Wa in %	11	13	15	17	19	21	
Gewicht der Probe + Zylinder	in g	3850	4015	4100	4105	4070	3990	
Gewicht des Zylinders	in g	2060	2060	2060	2060	2060	2060	
Gewicht der Probe	G in g	1790	1955	2040	2045	2010	1930	
Endwassergehalt	We in %	11,5	13,2	14,9	16,8	19,0	21,4	
Nassraumgewicht	$\gamma = \frac{GN}{V}$ in g/cm ³	1,89	2,06	2,15	2,16	2,12	2,04	
Trockenraumgewicht	$\gamma_d = \frac{G}{V(1+We)}$ in g/cm ³	1,70	1,82	1,87	1,85	1,78	1,68	



Stabilisierung, Bodenmechanik, Verdichtung**Merkblätter über den Bau und Unterhalt von Wald- und Güterstrassen****Plattendruckversuch**

Dieses Merkblatt enthält Angaben über Durchführung und Auswertung des Plattendruckversuches

1 Zweck

Der Plattendruckversuch dient im Strassenbau zur Ermittlung der Tragfähigkeit des Untergrundes, sowie der Schichten des Unter- und Oberbaus, sofern diese nicht bituminös- oder zementgebunden sind. Je nach Platten-grösse und Schichtdicke wird beim Versuch das Zusammenwirken verschiedener Schichten erfasst.

2 Grundlagen

Beim Plattenversuch wird die kreisrunde starre Belastungsplatte stufenweisen Laständerungen ausgesetzt. Die dabei auftretenden Setzungen werden gemessen. Aus dem Versuch wird der MFWert (Zusammendrückungsmodul) nach folgender Formel bestimmt:

$$ME = f_0 \cdot \frac{\Delta p}{6s} \cdot D \quad (\text{kg/cm}^2)$$

Es bedeuten:

f_0 : Formfaktor der Spannungsverteilung; für runde Platten = 1

p : von der Platte auf den Boden übertragene, spezifische Belastung (kg/cm^2)

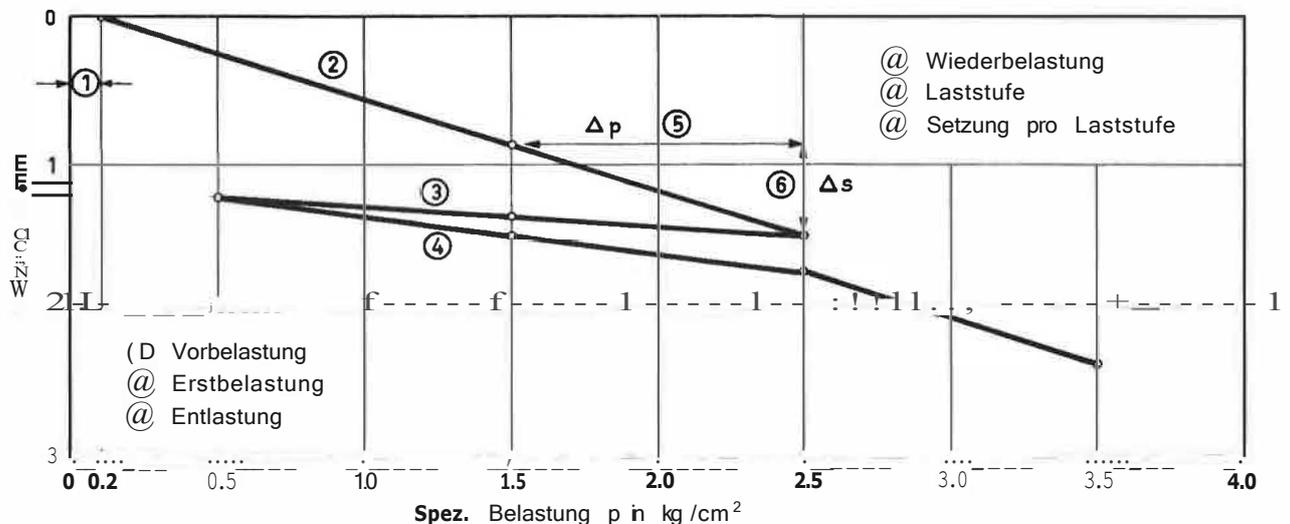
Δp : Differenz zweier Laststufen (kg/cm^2)

$6s$: Differenz der Setzungen der Lastplatte in cm bei Änderung der spezifischen Belastung um Δp

D : Plattendurchmesser in cm

Den gemessenen oder in Normen geforderten MFWerten wird die Erstbelastung zugrunde gelegt. Nebst den Erstbelastungswerten können auch ME-Werte aus zweiten oder wiederholten Belastungen und Entlastungen ermittelt werden.

Aus den gemessenen Werten lässt sich ein Lastsetzungsdiagramm aufstellen (Fig. 1).

Fig. 1: Lastsetzungsdiagramm**3 Gerät**

Die Versuche werden mit dem normierten VSS-Gerät (SNV-Norm 70 312) durchgeführt.

4 Vorbereitung des Versuches**4.1 Feuchtigkeitsgehalt des Bodens**

Auf dem gewachsenen Boden ist der Versuch beim natürlichen Wassergehalt durchzuführen. Auf Schüttungen, Fundations- und Tragschichten darf der Versuch nicht nach starker Durchnässung (Regen) oder Austrocknung durchgeführt werden.

4.2 Plattengrösse

Für die Prüfung von Untergrund, Unterbau und Fundationsschicht kann wahlweise die 200 cm^2 oder die 700 cm^2 -Platte verwendet werden. Die Prüfung des Oberbaus soll mit der 700 cm^2 -Platte durchgeführt werden. Der Durchmesser der Platte muss mindestens 3-5 mal grösser sein als das Maximal-korn des Bodens unmittelbar unter der Platte.

4.3 Aufstellen des Gerätes

An der Prüf stelle muss eine einwandfreie, horizontale Unterlage geschaffen werden, auf der die Platte satt aufliegt. In bindigen Böden wird die oberste Schicht abgetragen und die Prüf stelle abgeglättet. In nicht-

bindigen Böden wird die ebenflächige Unterlage durch das Aufbringen einer dünnen Schicht von Gips oder Feinsand erreicht.

Die Platte wird auf die so vorbereitete Prüfstelle gelegt und horizontalisiert. Sodann wird der Druckstempel mit Presse, Manometer und einem eventuellen Verlängerungsstück zwischen Platte und Gegengewicht aufgestellt.

Das Gegengewicht muss für die 200 cm²-Platte ca. 2 t und für die 700 cm²-Platte ca. 5 t betragen;

es soll einfach und leicht beweglich sein (z. B. Lastwagen).

4.4 Anordnung des Gerätes für die Messung der Setzung

Es werden in der Regel 3 Messuhren verwendet, welche von einem Stativ aus auf die Bodenplatte aufgesetzt werden. Die Auflager des Stativs müssen von der Bodenplatte und vom Auflager des Gegengewichts genügend weit (mindestens 50 cm) entfernt sein, damit keine gegenseitige Beeinflussung stattfinden kann. Die Messvorrichtung ist so anzubringen, dass die Messuhren gut abgelesen werden können.



5 Durchführung des Versuches

- Um ein sicheres Aufliegen der Bodenplatte zu gewährleisten, wird diese zunächst mit 0,2 kg/cm² vorbelastet, wobei das Eigengewicht von Platte und Presse mitzurechnen ist.
- Sodann werden die Messuhren abgelesen.
- Mit Hilfe der Presse wird die Platte kontinuierlich auf die erste Laststufe von 0,5 kg/cm² gebracht.
- Nach Erreichen dieser Laststufe werden die Messuhren bei bindigen Böden nach 3, 6, 9 ... usw. Minuten, bzw. bei nichtbindigen Böden nach 2, 4, 6 ... usw. Minuten abgelesen und die Ergebnisse im Protokoll eingetragen. Die Steigerung zur nächsten Laststufe wird vorgenommen, sobald die Setzung in einem vorgeschriebenen Zeitintervall (3 bzw. 2 Minuten) weniger als 0,05 mm beträgt. Die bei der ersten Laststufe ermittelte Belastungszeit (z. B.: 9 Minuten) muss bei den folgenden Laststufen ebenfalls eingehalten werden.
- Nach der Durchführung des Versuchs ist der Boden unter der Platte durch Ausgraben bis in eine Tiefe des 1,5-fachen Durchmessers der Platte auf seine Homogenität zu prüfen.

6 Laststufen

- Es sind folgende Laststufen anzuwenden:
- für den Untergrund und Unterbau: von 0,5 kg/cm² bis zur Endbelastung von 2,5 kg/cm² in Stufen von 0,5 kg/cm²
 - für die Fundations- und Tragschicht: von 0,5 kg/cm² bis zur Endbelastung von 5,5 kg/cm² in Stufen von 1 kg/cm².

7 Auswertung der Versuche

7.1 Lastsetzungskurve

Mit den an den Messuhren abgelesenen und gemittelten Setzungswerten ist eine Lastsetzungskurve aufzuzeichnen (s. Fig. 1).

7.2 ME-Werte

Die Berechnung der MIE-Werte erfolgt nach der in Ziff. 2 angegebenen Formel.

Die massgebenden ME-Werte sind aus den nachfolgenden Belastungsbereichen zu ermitteln.

- Untergrund und Unterbau: 0,5-1,5 kg/cm²
- Fundations- und Tragschicht: 2,5-3,5 kg/cm²
ev. 1,5-2,5 kg/cm²

Die ME-Werte werden aus der **Erstbelastung** errechnet.

Stabilisierung, Bodenmechanik, Verdichtung**Merkblätter über den Bau und Unterhalt von Wald- und Güterstrassen****Bodenstabilisierung: Allgemeines**

Dieses Merkblatt enthält allgemeine Richtlinien über den Anwendungsbereich und die Wirkungsweise der hauptsächlichsten Stabilisierungsarten. Richtlinien, welche für eine bestimmte Stabilisierungsart gelten, sind in den entsprechenden Merkblättern enthalten.

1 Allgemeines**1.1 Begriff und Zweck**

Die Bodenstabilisierung ist ein Verfahren, welches zur **Erhöhung und Erhaltung** der Widerstandsfähigkeit eines Bodens gegen mechanische und klimatische Beanspruchungen führt. Dabei werden die Bodeneigenschaften durch

- Verbesserung der Kornzusammensetzung
- Beigabe von Bindemitteln
- Beigabe von Chemikalien

derart verändert, dass der Boden als Baustoff den gewünschten Anforderungen entspricht.

1.2 Stabilisierungsarten

Folgende Stabilisierungsarten werden unterschieden:

- Mechanische Bodenstabilisierung (Nr. 441 ff.)
- Bodenstabilisierung mit Kalk (Nr. 451 ff.)
- Bodenstabilisierung mit Zement (Nr. 461 ff.)
- Bodenstabilisierung mit bituminösen Bindemitteln (Nr. 471 ff.)

Oft kommen Kombinationen verschiedener Stabilisierungsarten zur Anwendung, wie Stabilisierung mit Kalk + mechanische Stabilisierung, Stabilisierung mit Kalk + Zement, mechanische Stabilisierung + bituminöse Stabilisierung.

2 Wahl der Stabilisierungsart

Sie hängt ab

- vom vorhandenen Boden als Baugrund
- vom vorhandenen Boden als Baustoff
- von der Wirkungsweise des Stabilisierungsmittels
- von der Funktion und Lage der stabilisierten Schichten im Strassenaufbau

2.1 Boden als Baugrund

Die Tragfähigkeit des Baugrundes ist für den Aufbau der Strasse weitgehend massgebend. Sie kann erfasst werden durch

- Bestimmung der Bodenkennziffern und Klassifikation
- Tragfähigkeitsversuche

Böden, welche wegen eines hohen natürlichen Wassergehaltes ($W_{nat.} >> W_{opt.}$; $\gamma'_{dvorh.} << \gamma'_{doot}$) nur eine geringe Tragfähigkeit haben und die Richtwerte:

ME -Wert 6G-100 kg/cm²

CBR-Wert 3-4 % nicht erreichen,

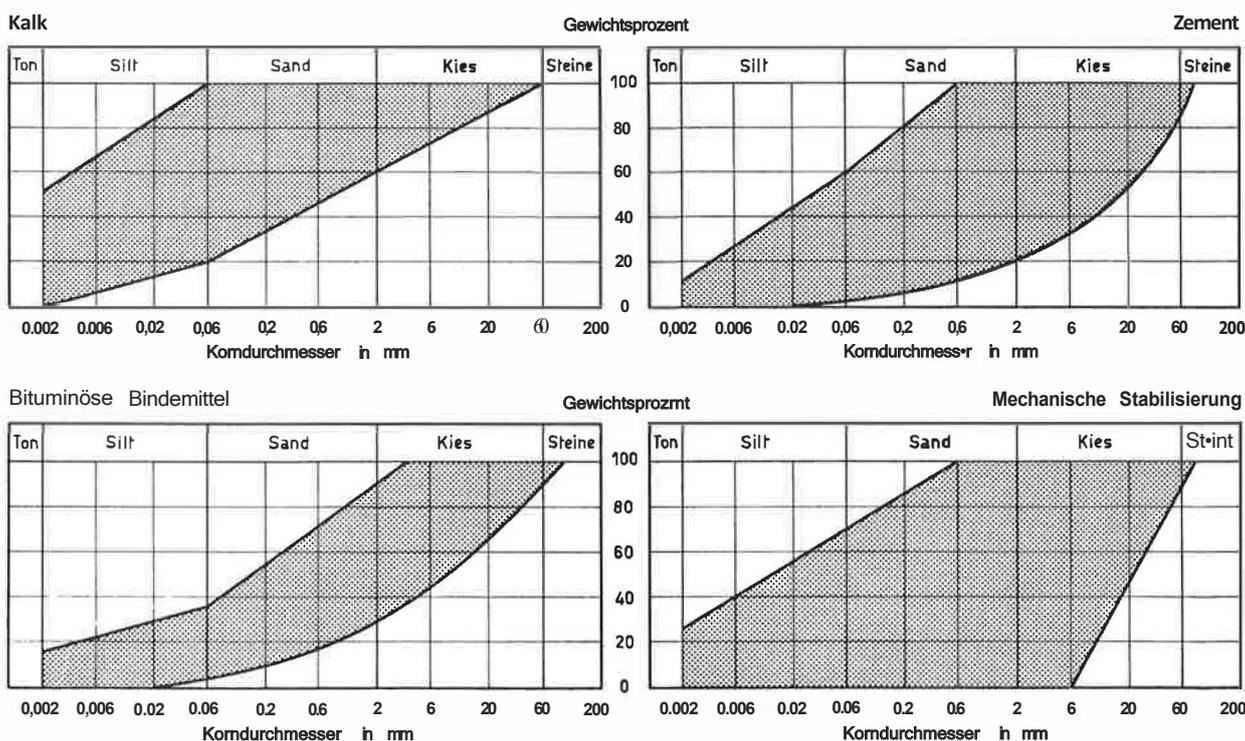
sind entweder durch eine Stabilisierung zu verbessern oder durch ein tragfähigeres Material soweit zu ersetzen, bis die geforderten Mindestwerte erreicht sind. Dieses zugeführte Material kann zusätzlich stabilisiert werden. Wird stabilisiert, so ist die Stabilisierungsart nach Ziffer 2.2-2.5 zu wählen.

2.2 Boden als Baustoff

Der zu stabilisierende Boden ist durch Feld- und Laborversuche zu identifizieren und zu klassifizieren. Die bisherigen Erfahrungen zeigen, dass bei einem gegebenen Boden mehrere Stabilisierungsarten anwendbar sind.

2.2.1 Einfluss der Kornzusammensetzung

Die nachfolgende Darstellung gibt für bestimmte Kornbereiche die wirtschaftlich möglichen Stabilisierungsarten an.



2.2 Einfluss der Plastizität

Mit steigender Plastizität wird der Boden schwerer bearbeitbar und der Bindemittelbedarf nimmt zu. Bei Böden mit einem Plastizitätsindex kleiner als 15 sind noch verschiedene Stabilisierungsarten wirtschaftlich. Liegt der Plastizitätsindex über 15, kommt nur noch eine Stabilisierung mit Kalk in Frage, weil durch die Wirkung des Kalkes die Plastizität stark abnimmt und der Boden aufgeschlossen wird.

2.2.3 Einfluss organischer Beimengungen

Organisches Material kann die Wirkungsweise des Stabilisierungsmittels nachteilig beeinflussen. Durch Eignungsprüfungen sind diese Auswirkungen auf alle Fälle abzuklären.

2.3 Wirkungsweise der Stabilisierungsmittel

- Mechanische Bodenstabilisierung:
Erhöhung der Verdichtbarkeit
Erhöhung der Tragfähigkeit bzw. der Erosionsfestigkeit
- Bodenstabilisierung mit Kalk:
Reduktion des Wassergehaltes
Veränderung der Plastizitätseigenschaften
Veränderung der Wasseraffinität
Verminderung der Frostempfindlichkeit
Erhöhung der Festigkeit
- Bodenstabilisierung mit Zement:
Vermörtelung vorwiegend nichtbindiger Böden
Veränderung der Plastizitätseigenschaften
Verminderung der Frostempfindlichkeit
Erhöhung der Festigkeit
- Bodenstabilisierung mit bituminösen Bindemitteln:
Verkittung der Körner vorwiegend nichtbindiger Böden
Verminderung der Frostempfindlichkeit
Impermeabilisierung des Bodens
Erhöhung der Festigkeit

2.4 Lage und Funktion der stabilisierten Schichten

Wegen der unterschiedlichen Eigenschaften der stabilisierten Schichten, wie Erosions- und Abriebsfestigkeit, Rissbildung, Flexibilität, Zeitpunkt der Befahrbarkeit etc., werden die verschiedenen Stabilisierungsarten zweckmässig folgendermassen im Strassenaufbau angewandt:

- Mechanische Stabilisierung: Unterbau und Oberbau
- Stabilisierung mit Kalk: Vor allem im Unterbau und in der Übergangsschicht
- Stabilisierung mit Zement: Oberste Schicht des Unterbaus, Übergangsschicht, Teil der Tragschicht
- Stabilisierung mit bituminösen Bindemitteln: Oberer Teil der Tragschicht.

3 Eignungsprüfung

Vor jeder Stabilisierung ist durch eine Untersuchung festzustellen, ob zwischen Boden und Stabilisierungsmittel die gewünschte Wirkung erzielt wird. Die Zeitdauer für die Eignungsprüfung beträgt:

Mechanische Stabilisierung	20 Tage
Kalkstabilisierung	
- Sofortwirkungen (Erdbau)	20 Tage
- Langzeitwirkungen (Übergangs- und Tragschicht)	100-150 Tage
Zementstabilisierung	50 Tage
Stabilisierung mit bituminösen Bindemitteln	50 Tage

Die Eignungsprüfung für die verschiedenen Stabilisierungsarten sind in den speziellen Merkblättern Nr. 442, 452, 462 und 472 beschrieben.

4 Bauverfahren

Für die Mischung werden zwei Verfahren unterschieden:

- Ortsmischverfahren (mix-in-place):
Der Mischvorgang erfolgt auf der Baustelle mit fahrbarem Mischer
- Zentralmischverfahren (mix-in-plant, plant-mix):
Der Mischvorgang erfolgt in zentraler Mischanlage

Für die Wahl des Bauverfahrens sind entscheidend:

- Maximalkorn
- Schichtstärke
- Erforderliche Dosier- und Mischgenauigkeit

Anstehende Böden werden in der Regel im Ortsmischverfahren stabilisiert.

5 Verdichtung

Bei allen Stabilisierungsarten muss der stabilisierte Boden beim optimalen Wassergehalt verdichtet werden.

6 Ausführungskontrollen

Je nach Notwendigkeit sind während, bzw. nach der Ausführung zu kontrollieren:

- Kornverteilung
- Bindemittel
- Dosierungsgenauigkeit
- Mischqualität
- Schichtstärke
- Wassergehalt
- Verdichtung (Zeitpunkt, Qualität)
- Höhe und Ebenföchigkeit der stabilisierten Schicht.

Stabilisierung, Bodenmechanik, Verdichtung

Merkblätter über den Bau und Unterhalt von Wald- und Güterstrassen

Mechanische Bodenstabilisierung

Dieses Merkblatt enthält Richtlinien über die Anwendung und Ausführung der mechanischen Bodenstabilisierung. Die allgemein gültigen Grundsätze der Bodenstabilisierung sind im Merkblatt 431 enthalten.

1 Begriff und Zweck

Die mechanische Bodenstabilisierung ist ein Verfahren zur Verbesserung des Kornaufbaus und der Plastizitätseigenschaften des Bodens durch:

- Mischung des Bodens mit einem oder mehreren Böden oder mineralischen Zuschlagsstoffen
- Eliminierung ungeeigneter Kornfraktionen

Der Zweck der mechanischen Stabilisierung besteht in der Herstellung eines Bodengemisches, welches sich möglichst hohlraumarm verdichten lässt. Wird das Bodengemisch als Verschleisschichtmaterial verwendet, muss es zudem eine bestimmte Kohäsion besitzen.

2 Wirkungsweise der mechanischen Stabilisierung

Durch die mechanische Stabilisierung können die folgenden Wirkungen erreicht werden:

- Vergrößerung der Stabilität durch Erhöhung der Verdichtbarkeit
- Verbesserung der Eigenschaften gegenüber Frost
- Veränderung der natürlichen Kohäsionseigenschaften

3 Boden

Ziffer 2.2 und dazugehörige Darstellung des Merkblattes 431 zeigen, welche Böden mechanisch stabilisiert werden können.

4 Lage und Funktion der stabilisierten Schicht

Die mechanische Stabilisierung ist geeignet

- zur Erreichung eines körnigen Traggerüstes im feinkörnigen Untergrund
- zur Herstellung von Tragschichten
- zur Herstellung von Verschleisschichten

5 Kornzusammensetzung idealer Gemische**5.1 Grundlagen**

Ideale Mischungen für die mechanische Stabilisierung sind solche, die sich hohlraumarm verdichten lassen; d. h. die verschiedenen Korngrößen müssen in einer solchen Verteilung vertreten sein, dass jeweils die Hohlräume zwischen den gröberen Körnern von den nächst kleineren ausgefüllt werden. Die Kornverteilungskurve solcher Mischungen wird durch die folgende Parabel dargestellt:

p = Durchgang in % durch das Sieb mit der Sieböffnung d

$$P = 100 \frac{d^m}{0m}$$

D = Grösstkordurchmesser
 d = Durchmesser des Kornes für Siebdurchgang p
 m = Parabelexponent

Hohlraumarme Gemische erhält man für folgende Parabelexponenten:

$$0,4 < m < 0,55$$

Der Parabelexponent der Fullerkurve beträgt 0,5. Je nach Lage und Funktion der stabilisierten Schicht werden verschiedene Anforderungen an das Bodengemisch gestellt.

5.2 Untergrund und Unterbau

Bei der mechanischen Stabilisierung eines feinkörnigen Untergrundes wird ein grobkörniger Boden (Kies, Sand) beigemischt, so dass die resultierende Mischung ein körniges Traggerüst und eine möglichst parabelförmige Kornverteilungskurve erhält. Ein Boden hat ein körniges Traggerüst, wenn der Anteil von Kies und Sand (größer als 0,06 mm Durchmesser) mehr als 65% beträgt.

5.3 Tragschicht

Für die Tragschicht bilden die parabelförmige Kornabstufung (gute Verdichtbarkeit) und die Frostsicherheit des Materials das ausschlaggebende Kriterium. Die Frostsicherheit ist abhängig von der Art und Menge des Feinanteils. Die Anforderungen in bezug auf die Kornverteilung und den zulässigen Feinanteil für ungebundene Kies-Sandtragschichten gehen aus den entsprechenden Merkblättern über den Oberbau hervor.

Eine mechanisch stabilisierte Tragschicht kann zusätzlich mit hydraulischen oder bituminösen Bindemitteln stabilisiert werden.

5.4 Verschleisschicht

Für die Herstellung einer mechanisch stabilisierten, ton-wassergebundenen Verschleisschicht ist die parabelförmige Kornverteilung und der richtig dosierte Tonanteil zur Erzeugung der notwendigen kohäsiven Bindung von entscheidender Bedeutung. Die Anforderungen für die Verschleisschicht in bezug auf Kornverteilung und Plastizitätseigenschaften sind in den entsprechenden Merkblättern über den Oberbau ersichtlich.

6 Schichtstärke und Grösstkorn

Im Unterbau richten sich Schichtstärke und Grösstkorn nach dem Stabilisierungsgerät. Die Schichtstärke beträgt normalerweise 15-20 cm.

Für die Schichten des Oberbaus gelten die diesbezüglichen Merkblätter für den Oberbau.

7 Eignungsprüfung

Für die mechanische Stabilisierung ist eine Eignungsprüfung durchzuführen (Merkblatt 442).

8 Bauausführung

8.1 Gewinnung oder Aufbereitung Idealer Gemische

Vielfach stehen in natürlichen Vorkommen Bodengemische an, die keiner Aufbereitung bedürfen. Bodenmaterialien, welche den geforderten Vorschriften nicht entsprechen, können durch folgende Massnahmen aufbereitet werden:

- Mischung des Bodens mit einem oder mehreren Böden oder Kornfraktionen im Ortsmisch- oder Zentralmischverfahren
- Eliminierung ungeeigneter Kornfraktionen durch Waschen, Sieben oder Brechen

8.2 Einbringen

Das in stationären Anlagen aufbereitete Material wird auf der Baustelle mit einem geeigneten Gerät (Grader, Fertiger, Dozer, Trax etc.) eingebracht. Die Anforderungen in bezug auf die Planiegenauigkeit der einzelnen Schichten sind in den entsprechenden Merkblättern über den Oberbau enthalten.

8.3 Verdichtung

Die Verdichtung hat beim optimalen Wassergehalt zu erfolgen. Die Wahl der Verdichtungsgeräte richtet sich nach den Materialeigenschaften (Merkblatt Verdichtung).

Stabilisierung, Bodenmechanik, VerdichtungMerkblätter über den Bau und Unterhalt von Wad- und Güterstrassen**Bodenstabilisierung mit Kalk**

Dieses Merkblatt enthält Richtlinien über die Anwendung und Ausführung der Bodenstabilisierung mit Kalk. Die allgemein gültigen Grundsätze der Bodenstabilisierung sind im Merkblatt **431** enthalten.

1 Begriff

Die Bodenstabilisierung mit Kalk ist ein Verfahren, bei dem Kalk als Stabilisierungsmittel verwendet wird. Sie findet in der Regel in bindigen Böden Anwendung.

2 Bindemittel

Für die Stabilisierung wird Kalk in fein gemahlener Form verwendet. Der Rückstand auf einem Sieb von 0,2 mm Maschenweite darf nicht mehr als 5% betragen. Zur Bodenstabilisierung können folgende Kalkarten verwendet werden:

- a) **Kalkhydrat** = gelöschter Weissfeinkalk
- Ca(OH)_2 kalkzitisches Kalkhydrat
 - $\text{Ca(OH)}_2 + \text{MgO}$ dolomitisches Kalkmonohydrat
 - $\text{Ca(OH)}_2 + \text{Mg(OH)}_2$ dolomitisches Kalkdihydrat
- b) **Branntkalk** = ungelöschter Weissfeinkalk
- CaO kalkzitischer Brantkalk
 - $\text{CaO} + \text{MgO}$ dolomitischer Brantkalk

Der Brantkalk löscht sich mit Wasser nach folgender Formel ab:



Zur Prüfung der Aktivität von Brantkalk kann folgender Versuch vorgenommen werden: 100 gr Brantkalk werden mit 200 gr Wasser gemischt. Nach ca. 5 Minuten muss das Gemisch eine Temperatur von 70-90° C aufweisen.

c) hydraulischer Kalk

Dieser wird hergestellt aus Kalkmergeln oder Kieselkalken, so dass verschiedene Zusammensetzungen möglich sind, z. B.:



Verschiedene Kalkarten können auch miteinander verwendet werden, z. B.: Brantkalk + hydraulischer Kalk.

3 Wirkungsweise des Kalkes**31 Brantkalk und Kalkhydrat**

Brantkalk und Kalkhydrat bewirken die folgenden Veränderungen der Bodeneigenschaften:

- Reduktion des vorhandenen Wassergehaltes (Brantkalk verkleinert den Wassergehalt durch das Ablösen im Boden viel stärker als Kalkhydrat).

- Veränderung der Konsistenzgrenzen: Die Plastizität wird verkleinert, die Ausrollgrenze wird erhöht, und damit wird der feste Zustandsbereich grösser.
- Krümelung des Bodens: Die Bearbeitbarkeit wird verbessert.
- Veränderung der Verdichtungseigenschaften: Der optimale Wassergehalt nach Proctor wird erhöht, das optimale Raumgewicht nimmt ab.
- Zunahme der Festigkeit und Abnahme der Zusammendrückbarkeit, obwohl das optimale Raumgewicht kleiner ist als beim verdichteten Boden ohne Kalk.
- Stabilität des Bodens gegenüber Wasser: Reduktion der Wasseraufnahme und des Quell- und Schumpfermögens.

32 Hydraulischer Kalk

Seine Wirkung liegt zwischen derjenigen von Weissfeinkalk und Zement. Der Abbindevorgang im Boden-Kalkgemisch geht langsamer vor sich und die Endfestigkeiten sind kleiner als im Boden-Zementgemisch.

4 Wahl der Kalkart**41 in Abhängigkeit von der Differenz des vorhandenen Wassergehaltes zum optimalen Wassergehalt**

Jede Kalkart entzieht dem Boden Wasser. Das **Mass** des Wasserentzugs hängt ab von der Kalkart, der Kalkmenge, der Luftfeuchtigkeit, der Aussentemperatur und von der Durchlüftungswirkung des Mischgerätes. Die intensive Durchmischung und die Krümelung des Bodens bewirken bei allen Kalkarten eine Reduktion des Wassergehaltes von ca. 4-70/o. Zusätzlich wird mit Brantkalk durch das Ablösen und durch die Erwärmung des Bodens der Wassergehalt um ca. 1-20/o pro Gewichtsprozent Kalk reduziert. Liegt der vorhandene Wassergehalt mehr als 4-70/o über dem Optimum, so ist daher Brantkalk zu verwenden. In allen andern Fällen kommt Kalkhydrat oder hydraulischer Kalk zur Anwendung.

42 in Abhängigkeit des Tonanteils

- Brantkalk, Kalkhydrat: für tonige Böden, z. B.: CH, CL, SC-CL, G C-CL, evtl. OH, OL
- hydraulischer Kalk: für Böden mit wenig oder keinem Tonanteil: z. B.: ML, SM-ML, GM-ML.

5 Boden

Ziffer 22 und dazugehörige Darstellung des Merkblattes 431 zeigen, welche Böden mit Kalk stabilisiert werden können.

6 Lage und Funktion der stabilisierten Schicht

Die Bodenstabilisierung mit Kalk wird angewandt:

6.1 im Erdbau: Unterbau, Untergrund

- Austrocknung und Verbesserung der Verdichtbarkeit von nassem Dammschüttmaterial. Wenn möglich soll dies schon an der Abbaustelle erfolgen und das gemischte Material schichtweise im Dammkörper eingebracht werden.
- Austrocknung von durchnässten Schichten
- Aufschluss von Böden für andere Stabilisierungsverfahren
- Verbesserung der obersten Schicht des Unterbaus. Sie verhindert eine Durchmischung von Untergrund und Tragschichtmaterial und übernimmt somit die Funktion der Übergangs- oder Sauberkeitsschicht.

6.2 im Oberbau

- Verbesserung der Tragschicht, vor allem bei Böden der Gruppen: GC-CL, SC-CL, evtl. GC, SC (auf Frostsicherheit zu untersuchen).

7 Dosierung und Schichtstärke

Für die Veränderungen der Bodeneigenschaften, wie Austrocknung, Verbesserung von Dammschüttmaterial, Aufschluss von Böden, werden **minimale** Kalkmengen angestrebt. Die Schichtstärke richtet sich in diesem Fall nach der maximalen Mischtiefe des Gerätes, bzw. der Stärke der durchnässten oder aufzuschliessenden Schicht.

Für die **Stabilisierung** der obersten Schicht des Unterbaus (Übergangsschicht) sowie der Tragschicht sind **optimale** Kalkmengen einzumischen. Die verdichtete Schichtstärke muss in diesem Fall mindestens 15 cm betragen.

Tabelle: Kalkart und Dosierung

Anwendungsbereich	Dosierung in Gew.% bezogen auf Trockengew.		
	Branntkalk	Kalkhydrat	hydraul. Kalk
Erdbau- Veränderung der Bodeneigenschaften: Austrocknung und Verbesserung der Verdichtbarkeit	1-3%	(1-30/o)	---
Unter- und Oberbau: Oberste Schicht des Unterbaus Teil der Tragschicht	4-80/o	5-100/o	bis 100b

Bei gleichen Gewichtsanteilen enthält Branntkalk ca. 250b mehr Calcium als Kalkhydrat. Der Wirkung von 30b CaO entsprechen ca. 4% Ca(OH)₂. Daraus ergibt sich der Unterschied in der Dosierung zwischen Branntkalk und Kalkhydrat.

8 Eignungsprüfung

Für jedes Stabilisierungsvorhaben ist eine Eignungsprüfung durchzuführen (Merkblatt 452).

9 Ausführung

Grundsätzlich werden Stabilisierungen mit Kalk im Ortsmischverfahren (mix-in-place) durchgeführt.

9.1 Vorbereitung

Grobe Steine sind mit Hilfe von Aufreissern, Scheibeneggen oder Wurzelrechen aus dem Boden zu entfernen, evtl. unter Beigabe von Kalk. Anschliessend ist die Planie wieder herzustellen.

9.2 Kalkzugabe und Mischung

Die erforderliche Bindemittelmenge wird durch Streugeräte oder evtl. von Hand verteilt. Für die Durchmischung sind geeignete Geräte, wie Bodenfräsen, Scheibeneggen usw. zu verwenden (Merkblatt 432).

9.3 Qualität und Dauer der Mischung

Es ist solange zu mischen, bis eine homogene Durchmischung des Kalkes mit dem Boden erreicht ist, was an der gleichmässigen Farbe und Struktur des Mischgutes zu erkennen ist. Bei der Stabilisierung dürfen überdies keine Krümel grösser als 5 mm Durchmesser vorhanden sein, die nicht mit Kalk in Berührung gekommen sind. Der Wassergehalt ist zu kontrollieren und durch Wasserzugabe oder Belüftung dem Optimum anzunähern. Wird Branntkalk verwendet, hat die Mischung so lange zu erfolgen, bis aller Kalk abgelöscht ist.

9.4 Verdichtung und Nachbehandlung

Zur Erreichung der grössten Festigkeit ist beim Weissfeinkalk (Branntkalk, Kalkhydrat) die Verdichtung innert einer Zeit von 8 bis 48 Stunden, beim hydraulischen Kalk von 4 bis 8 Stunden durchzuführen. Die Verdichtungswerte können in Prozenten der Proctordichte, in CBR- oder ME-Werten vorgeschrieben werden. Die Grössenordnung dieser Werte ist je nach Lage der Schicht oder nach Ergebnissen aus Versuchsabschnitten festzulegen.

Um eine Austrocknung der Schicht zu verhindern, wird mit Vorteil auf die fertig stabilisierte Schicht sofort die nächste Schicht eingebracht. Liegt sie mehrere Tage ungedeckt an der Sonne, ist sie feucht zu halten.

9.5 Witterung

Bei Regen darf nicht stabilisiert werden. Vor Gewittern ist die Mischarbeit sofort zu unterbrechen und die gelockerte Schicht ist vor eindringendem Wasser zu schützen (z. B. Abglätten mit Hilfe von geeigneten Verdichtungsgeräten oder Abdecken mit Plastik-Folien). Die unterbrochene Arbeit wird bei schönem Wetter wieder aufgenommen, evtl. unter Beigabe von geringen Kalkmengen.

10 Lagerung des Kalkes

Kalk ist vor Feuchtigkeit zu schützen. Branntkalk soll in Papiersäcken nur wenige, höchstens 10 Tage gelagert werden. In Plastik-Säcken und Silos ist unter günstigen Bedingungen eine längere Lagerung möglich.

11 Schutzmassnahmen

Bei Arbeiten mit Branntkalk sind (im Sinne der SUVA-Vorschriften) zur Verhütung von Verätzungen folgende Schutzmassnahmen einzuhalten:

- Die Arbeiter, welche beim Abladen, Verteilen und Mischen des Kalkes beteiligt sind, müssen Schutzbrillen tragen (SUVA-Brille).
- Arbeiter, die unmittelbar mit Branntkalk in Berührung kommen (vor allem der Fahrer des Mixers) haben zudem Schutzmasken oder Gazefiltermasken mit Schutzbrillen zu tragen.
- Die Kleidung der Arbeiter muss so beschaffen sein, dass sie am Hals und an den Handgelenken eng anliegt (zusätzlich evtl. Handschuhe). Bei Arbeiten mit Kalkhydrat und hydraulischem Kalk sind diese Schutzmassnahmen sinngemäss zu beachten.
- frisches Wasser sowie Borwasser mit Augenspülgläsern müssen auf der Baustelle vorhanden sein.

Bodenstabilisierung mit Zement

Dieses Merkblatt enthält Richtlinien über die Anwendung und Ausführung der Bodenstabilisierung mit Zement. Die allgemein gültigen Grundsätze der Bodenstabilisierung sind im Merkblatt 431 enthalten.

1 Begriff

Die Bodenstabilisierung mit Zement ist ein Verfahren, bei dem Zement als Stabilisierungsmittel verwendet wird. Sie findet in der Regel in nicht oder nur schwach bindigen Böden Anwendung.

2 Bindemittel

Für die Stabilisierung sind folgende Zemente gebräuchlich:

- Normaler Portlandzement
- Hochwertiger Portlandzement (frühhochfester Portlandzement)

3 Wirkungsweise des Zementes

Der Zement bewirkt die folgenden Veränderungen der Bodeneigenschaften:

- Vermörtelung vorwiegend nichtbindiger Böden
- Veränderung der Plastizitätseigenschaften
- Verminderung der Frostempfindlichkeit
- Verminderung der Wasseraffinität

4 Wahl der Zementart

In der Regel gelangt normaler Portlandzement zur Anwendung. Hochwertiger Portlandzement kann verwendet werden, wenn ein frühzeitiges Befahren der stabilisierten Schicht unbedingt notwendig ist.

5 Boden

Ziffer 22 und dazugehörige Darstellung des Merkblattes 431 zeigen, welche Böden mit Zement stabilisiert werden können.

6 Lage und Funktion der stabilisierten Schicht

Die Bodenstabilisierung mit Zement ist geeignet zur Herstellung von tragfähigen und frostsicheren Schichten des Oberbaus mit lastverteilernder Plattenwirkung. In den meisten Fällen wird zugeführtes Material stabilisiert:

- als Übergangsschicht
- als Teil der Tragschicht

7 Dosierung und Schichtstärke

Die Dosierung ist abhängig von der Kornzusammensetzung und der Plastizität des Bodens und der Beanspruchung der stabilisierten Schicht. Grundsätzlich gilt: Je feinkörniger der Boden, desto höher der Bindemittelgehalt.

Für die verschiedenen Materialien gelten folgende Richtwerte:

Bodenarten

Bodenarten	Dosierung in % des Trockengewichtes
- Kiese: GW, GP, GM, GC; evtl. GM-ML, GC-CL	3 - 6
- Sande: SW, SP	5 - 8
- Silte und siltige Sande: SM, SM-ML; evtl. ML, MH	8 - 12
- Tonige Sande und siltige Tone: SC, SC-CL; evtl. CL	12 - 20

Die Schichtstärke ist im Rahmen des Gesamtaufbaus des Strassenkörpers den Verkehrsverhältnissen und den klimatischen Beanspruchungen anzupassen. Sie beträgt in der Regel mindestens 15 cm.

8 Eignungsprüfung

Für jedes Stabilisierungsvorhaben ist eine Eignungsprüfung durchzuführen (Merkblatt 462).

9 Ausführung

Die Stabilisierung mit Zement kann im Ortsmisch- oder Zentralmischverfahren ausgeführt werden.

9.1 Vorbereitung

- Beim **Ortsmischverfahren** ist die zu stabilisierende Schicht vorgängig aufzulockern. Grobe Steine sind zu entfernen. Diese Schicht ist leicht anzuwalzen und so zu planieren, dass sie der geforderten Genauigkeit der fertig stabilisierten Schicht entspricht.
- Beim **Zentralmischverfahren** muss die Unterlage einwandfrei planiert und verdichtet werden.

9.2 Zementzugabe und Mischverfahren

Beim Ortsmischverfahren wird die notwendige Bindemitteldosierung mit Streugeräten verteilt (evtl. von Hand). Die Durchmischung hat mit einer Bodenfräse zu erfolgen (Merkblatt 432).

Beim Zentralmischverfahren erfolgt die Zementzugabe und Mischung in einer Aufbereitungsanlage.

9.3 Mischung

Die Mischung hat kurzfristig nach der Zementverteilung zu erfolgen. Der Wassergehalt ist zu kontrollieren und durch Wasserzugabe oder Belüftung dem Optimum anzunähern.

9.4 Verdichtung und Nachbehandlung

Die Verdichtung sowie ein allfälliges Nachplanieren müssen bei Beginn des Abbindevorganges abge-

schlossen sein, spätestens jedoch 3 Stunden (bei hochwertigem Zement: 2 Stunden) nach dem Beginn des Mischvorganges.

Unmittelbar nach der Verdichtung hat eine Nachbehandlung zu erfolgen, damit die stabilisierte Schicht während der ersten 7 Tage der Erhärtung vor dem Austrocknen geschützt ist. Das geschieht durch ständiges Feuchthalten oder durch Abspritzen der verdichteten, feuchten und noch nicht abgebundenen Oberfläche mit alkalischer Bitumenemulsion.

9.5 Witterung

Während Frostperioden darf nicht stabilisiert werden. Bei Regen kann stabilisiert werden, wenn Gewähr besteht, dass dadurch der Wassergehalt des Bodens nicht über das Optimum ansteigt.

Bodenstabilisierung mit bituminösen Bindemitteln

Dieses Merkblatt enthält Richtlinien über die Anwendung und Ausführung der Bodenstabilisierung mit bituminösen Bindemitteln. Die allgemein gültigen Grundsätze der Bodenstabilisierung sind im Merkblatt 431 enthalten.

1 Begriff

Die Bodenstabilisierung mit bituminösen Bindemitteln ist ein Verfahren, bei welchem Teer oder Bitumen (evtl. deren Mischungen) als Bindemittel verwendet werden. Sie findet in der Regel in nicht oder schwach bindigen Böden Anwendung.

2 Bindemittel

Für die Stabilisierung sind folgende bituminöse Bindemittel gebräuchlich:

2.1 Strassenteer

Der Strassenteer T muss die Qualitätsanforderungen gemäss SNV 71 520 und 71 510 (VSS-Normen) erfüllen. Die Verarbeitungstemperatur muss zwischen 100 und 120° C liegen. Der obere Grenzwert darf nicht überschritten werden. Die Viskosität des Teers ist der Temperatur und der Kornzusammensetzung des Bodens anzupassen (Tabelle). Zur Erhöhung der Haftfähigkeit des Teers ist ein geeigneter chemischer Zusatz beizugeben. Dies ist in der Regel Kalkhydrat Ca (OH)₂, welches auch als zusätzliches Bindemittel für die Feinanteile des Bodens wirkt.

Tabelle

Bodenklasse	Viskosität für Lufttemperaturen von:		
	5-12° C	12-20° C	über 20° C
GW, GP, GM, SW, SP	T 45/70 RC 25/75	T 80/125 RC 25/ 75	T 135/250 RC 100/250
GC, GM-ML, GC-CL, SC, SM (SM-ML, SC-CL)	(T 45/70) (RC 25/75)	T 45/ 70 RC 25/ 75	T 80/125 RC 25/ 75

2.2 Cutback

Der Cutback vom Typ RC muss die Qualitätsanforderungen gemäss SNV 71 410 und 71 411 erfüllen. Die Verarbeitungstemperatur muss zwischen 80 bis 120° C liegen. Die Viskosität des Cutback ist der Temperatur und der Kornzusammensetzung des Bodens anzupassen (Tabelle). In Böden mit relativ vielen Feinanteilen wird mit Vorteil Kalk (in der Regel Kalkhydrat) beigemischt.

2.3 Bitumenemulsion

Die anionische oder kationische Bitumenemulsion vom Typ EL muss die Qualitätsanforderungen gemäss SNV 71 310 und 71 320 erfüllen und wird kalt verwendet. Stabilität und Konzentration der Bitumenemulsion sind abhängig von der Gesteinsart und der

Kornzusammensetzung. Art, Stabilität und Konzentration der zu wählenden Bitumenemulsion sind durch Voruntersuchungen abzuklären.

3 Wirkungsweise der bituminösen Bindemittel

Bituminöse Bindemittel bewirken folgende Veränderungen der Bodeneigenschaften:

- Verkittung der Bodenkörner (Kohäsion)
- bleibende Verfestigung
- Verminderung der Frostempfindlichkeit

4 Wahl des Bindemittels

Im allgemeinen wird mit den unter Ziffer 2 angeführten Bindemitteln eine ähnliche Wirkung erzielt. Die Wahl ist daher auf Grund wirtschaftlicher, technischer und organisatorischer Gesichtspunkte zu treffen. Teer und Cutback werden dem Boden heiss beigemischt, während die Verarbeitung der Bitumenemulsion kalt erfolgt. Bei der Verwendung von Teer und Cutback sind daher heizbare Tankwagen, bzw. Anlagen notwendig.

5 Boden

Ziffer 2.2 und dazugehörige Darstellung des Merkblattes 431 zeigen, welche Böden mit bituminösen Bindemitteln stabilisiert werden können.

6 Lage und Funktion der stabilisierten Schicht

Durch die Stabilisierung mit bituminösen Bindemitteln wird eine erosionsfeste, frostsichere und tragfähige Schicht mit flexiblen Eigenschaften hergestellt. Sie bildet bei Wald- und Güterstrassen normalerweise den obersten Teil der Tragschicht. Weitgehend übernimmt die stabilisierte Schicht auch die Funktion der Verschleisschicht, wobei der Porenschluss dauernd gewährleistet sein muss.

7 Dosierung und Schichtstärke

Die Bindemitteldosierung ist abhängig von der Kornzusammensetzung des Bodens. Sie wird durch eine Eignungsprüfung im Labor festgelegt. Grundsätzlich gilt: Je feinkörniger der Boden, desto höher der Bindemittelgehalt.

Für einen Boden der Klassen GW, GM, GC (Körnung 0/50 mm) kann als Richtwert für Teer und Cutback eine Dosierung von etwa 4 Gew.0/o, für Bitumenemulsion 3 Gew.0/o aktives Bindemittel angenommen werden (Dosierung bezogen auf das optimale Trockenraumgewicht des Bodens).

Die Schichtstärke ist der Tragfähigkeit der darunter liegenden Schicht, den Verkehrsverhältnissen und den klimatischen Beanspruchungen anzupassen. Sie beträgt in der Regel 7-12 cm und muss in jedem Fall mindestens 2 Mal stärker sein als das Grösstkorn dieser Schicht.

8 Eignungsprüfung

Für jedes Stabilisierungsvorhaben ist eine Eignungsprüfung auszuführen (Merkblatt 472).

9 Ausführung

Die Stabilisierung mit bituminösen Bindemitteln kann im Ortsmisch- oder Zentralmischverfahren ausgeführt werden.

9.1 Vorbereitung

Ortsmischverfahren

Zu hoher Wassergehalt im Boden soll mittels Durchlüftung herabgesetzt werden. Bei zu niedrigem Wassergehalt ist die fehlende Wassermenge beizugeben. Wird das **vorhandene Material** stabilisiert, so ist dieses vorgängig aufzulockern. Die aufgelockerte Schicht soll ca. 20% stärker sein als die Mischtiefe. Gleichzeitig sind die zu grossen Steine herauszulesen.

Wird **ausschliesslich Fremdmaterial** stabilisiert, soll die Schichtstärke ca. 20% grösser sein als die Mischtiefe. In jedem Fall muss die geforderte Planiegenauigkeit bereits vor der Durchführung der Stabilisierung hergestellt und das zu stabilisierende Material leicht angewalzt werden.

Zentralmischverfahren

Vor dem Einbringen des Mischgutes ist eine möglichst gute Planie der Unterlage anzustreben, wobei diese normgemäss verdichtet sein muss.

9.2 Bindemittelzugabe und Mischvorgang

Für die Zugabe und das Einmischen der Bindemittel in den Boden sind geeignete Geräte zu verwenden (Merkblatt 432). Die Mischgeräte müssen eine gleichmässige Bindemitteldosierung und eine homogene Durchmischung gewährleisten. Bei der Stabilisierung im Ortsmischverfahren sind bei der Verwendung von Geräten mit nur einer Mischwelle mindestens 2 Mischdurchgänge notwendig, welche einander möglichst schnell folgen sollen.

9.3 Verdichtung

Bei der Verdichtung ist der in der Eignungsprüfung bestimmte optimale Feuchtigkeitsgehalt einzuhalten. Die Verdichtung der stabilisierten Schicht ist in der Regel wie folgt durchzuführen:

Strassenteer, Cutback:

- Andrücken unmittelbar nach dem letzten Mischdurchgang mit ca. 2-t-Walze, um eine geschlossene Oberfläche zu erhalten.
- Verdichten mit Pneuwalzen, Glatwalzen (statisch), wobei das Leistungsgewicht der Verdichtungsgeräte der Tragfähigkeit des Gesamtaufbaus zu entsprechen hat. Mit der Verdichtung ist dann zu beginnen, wenn das Mischgut unter der Walze nicht mehr «geschoben» wird.
- Nachverdichten mit Pneuwalzen, Glatwalzen (statisch) und dgl. 1-2 Tage nach der Ausführung.

Bitumenemulsion:

- Anwalzen mit 2-t-Walze.
 - Nach dem Farbwechsel der Emulsion von braun auf schwarz (Brechung) verdichten mit Pneuwalzen, Glatwalzen oder dgl.
- Unmittelbar nach der Verdichtung kann die stabilisierte Schicht befahren werden.

9.4 Witterung

Während Frostperioden darf nicht stabilisiert werden. Die Aussentemperatur soll mindestens 5° C betragen. Bei starkem Regen und stark durchnässtem Boden ist die Stabilisierungsarbeit zu unterbrechen.

Entwässerung, Wasserableitung

Merkblätter über den Bau und Unterhalt von Waldstraßen

Flächenentwässerung durch offene Gräben

Das Merkblatt enthält Richtlinien über die zu treffenden Maßnahmen zur Trockenlegung vernäßter Böden durch offene Gräben

1 Beschaffung des Vorfluters

Natürliches oder künstliches Gerinne, welches das Wasser aus der zu entwässernden Fläche aufnehmen kann.

2 Arten von offenen Gräben

Unterteilung der Gräben je nach ihrer Funktion in:

Hauptgräben: sammeln das Wasser der Neben- und Stichgräben und leiten es in den Vorfluter. Dienen nur in geringem Maße der Entwässerung des Bodens.

Nebengräben: bewirken die eigentliche Entwässerung. Führen ihr Wasser in die Hauptgräben.

Stichgräben: dienen der direkten Wasserableitung aus lokalen Naß-Stellen außerhalb des Wirkungsbereiches der Nebengräben.

Fang- oder Randgräben: fassen das von außerhalb des Entwässerungsgebietes auf der Oberfläche und im Boden zufließende Wasser und leiten es seitlich ab.

3 Systeme der Anordnung

Je nach Lage der Nebengräben zur Fallrichtung eines Hanges ergibt sich das System der Längs- bzw. Querentwässerung.

3.1 Längsentwässerung

In der Regel bestes und billigstes System für wenig geneigte Hänge (unter 4%).

Grundsätze für die Anordnung

Hauptgräben: quer zur Fallrichtung

Nebengräben: in der Fallrichtung

Stichgräben: kürzeste Verbindung nach dem nächsten Neben- oder Hauptgraben ohne Rücksicht auf die Lage zur Fallrichtung

Fang- oder Randgräben: dem oberen Rand des zu entwässernden Gebietes entlang. Genügend tief, um ein Maximum an Hangwasser abzufangen.

3.2 Querentwässerung

In der Regel bestes und billigstes System für steilere Hänge (über 4%).

Grundsätze für die Anordnung

Hauptgräben: in der Fallrichtung, in Mulden an tiefster Stelle

Nebengräben: quer zur Fallrichtung

Stichgräben: kürzeste Verbindung nach dem nächsten Neben- oder Hauptgraben ohne Rücksicht auf die Lage zur Fallrichtung

Fang- oder Randgräben: dem oberen Rand des zu entwässernden Gebietes entlang. Genügend tief, um ein Maximum an Hangwasser abzufangen.

4 Vorteile offener Gräben

- wesentlich niedrigere Erstellungskosten als für geschlossene Drainage
- gut zu kontrollieren
- gut zu ergänzen
- gut wiederherzustellen, vor allem auch bei Rutschungen
- keine Gefährdung durch Baumwurzeln.

5 Nachteile offener Gräben

- erschweren die Bewirtschaftung des zu entwässernden Gebietes
- verlangen periodischen Unterhalt (Verunkrautung, Nachrutschen der Böschungen usw.)
- zwingen zur zusätzlichen Anlage von Fuß- und Rückwegen.

6 Anwendung

- auf bestockten Flächen
- auf landwirtschaftlich benutzten Flächen, soweit es deren Bewirtschaftung zuläßt.

7 Grundsätze der Projektierung**7.1 Minimalgefälle**

muß den ungehinderten Wasserabfluß gewährleisten. Das Minimalgefälle ist abhängig von der Abflußmenge, der Form und Größe des Durchflußprofils und der Rauigkeit des benetzten Umfangs (Grabenwände und -sohle).

Erfahrungswerte:

- Erdgräben: um 4%
- Gräben mit künstlicher Sohle: nicht unter 2%

7.2 Maximalgefälle für ungesicherte Gräben

darf keine Erosion bewirken. Diese ist abhängig von der Bodenart, der Abflußmenge und dem Grabengefälle.

Erfahrungswerte:

- Hauptgräben: 6 - 8%
- Nebengräben: 9 - 11%

Bei größeren Gefällen tritt in der Regel Erosion auf. Wo Erosionsgefahr besteht, sind Sicherungen einzubauen.

7.3 Richtungsänderungen im Grabenverlauf

sind bogenförmig auszuführen. Dabei müssen die Außenböschungen (bei Einmündung von Nebengräben die gegenüberliegende Böschung) auf genügende Höhe gesichert werden.

7.4 Abstände zwischen den Nebengräben

sind abhängig von der Durchlässigkeit des Bodens, der Hangneigung, der gewählten Grabentiefe und der Intensität und Häufigkeit der Niederschläge. Erfahrungswerte: zwischen 4 m (sehr dichte Böden) und 12 m (weniger dichte Böden).

Bei Flächenentwässerungen zur Bodenverbesserung sollte der durchschnittliche Grabenabstand aus Kostengründen nicht unter 6 m sinken. Ausnahmen sind gegeben, wo eine Trockenlegung zum Schutze bestimmter Bauwerke u. dgl. unbedingt notwendig ist.

7.5 Tiefe der Nebengräben

ist so zu wählen, daß der vorhandenen oder vorgesehenen Vegetation während der für ein gutes Gedeihen erforderlichen Jahreszeit genügend wasserfreier Wurzelraum zur Verfügung steht (Entwässerungstiefe). Sie ist abhängig von der Durchlässigkeit des Bodens, der Hangneigung und dem gewählten Grabenabstand.

Erfahrungswerte: 60-80 cm

Sind zur Erreichung des Entwässerungszweckes größere Tiefen notwendig (z. B. zur Sicherung von Bauwerken, Böschungen u dergl.), so ist die geschlossene Drainage vorzuziehen.

7.6 Festlegung der Grabenprofile

Form und Querschnitt eines Profiles sind abhängig von:

— der Bodenbeschaffenheit

- schwere Böden: Böschung 2 : 1 bis 4 : 3
- lockere Böden: Böschung 1 : 1 bis 2 : 3

- der zu erwartenden Wassermenge
 - der Rauigkeit des Durchflußprofiles
 - dem Grabengefälle.
- infolge der notwendigen Entwässerungstiefe sind offene Gräben immer überdimensioniert, sodaß sich die rechnerische Ermittlung der erforderlichen Querschnittsfläche im allgemeinen erübrigt.

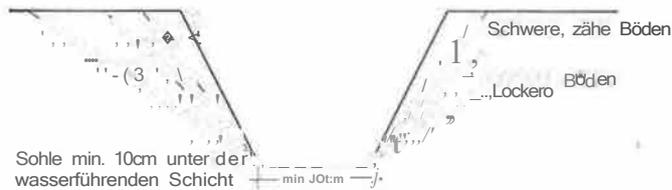
7.7 Bepflanzung der Grabenböschungen

Sofern es die Bewirtschaftung des zu entwässernden Gebietes zuläßt, empfiehlt sich die Bepflanzung der Böschungen von Vorflutern und Hauptgräben mit Erlen oder Weiden. Zweck:

- Sicherung der Böschungen gegen Erosion
- Erhöhung der Lebensdauer der Holzsicherungen durch Beschattung.

8 Bauausführung

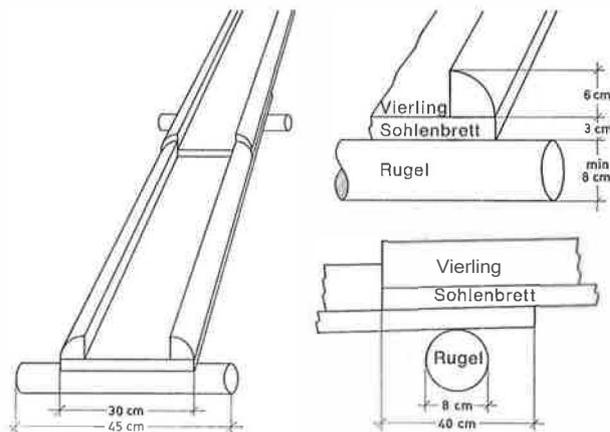
81 Gräben ohne Sicherung



82 Gräben mit Sicherung

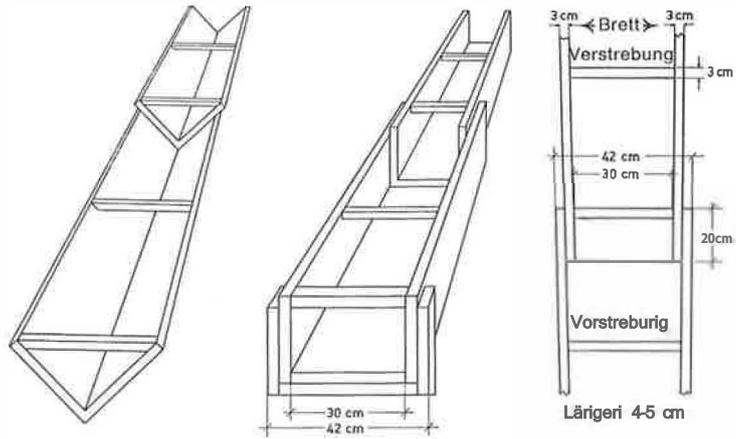
Aus Holz:

Sohlenbrett mit Vierling

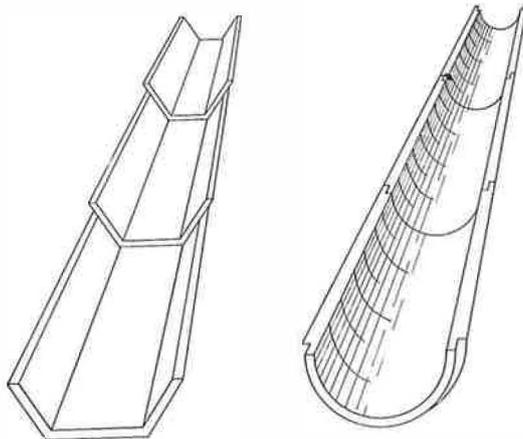


Kännel

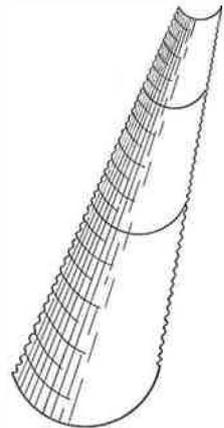
zweckmäßig konisch, ausnahmsweise nur stumpf gestoßen



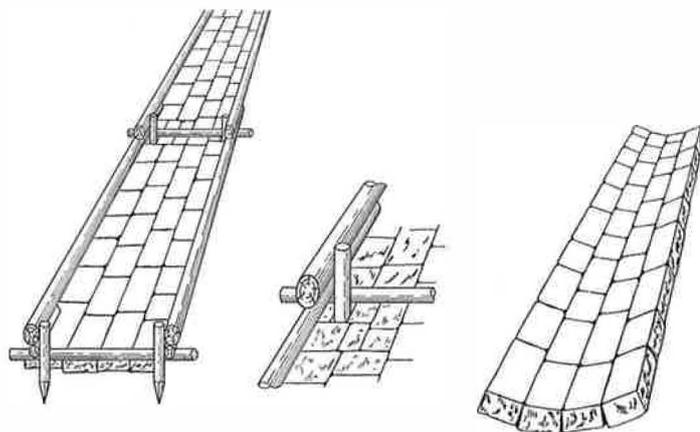
Aus Beton:



Aus Metall:



Aus Steinen:



Entwässerung, Wasserableitung

Merkblätter über den Bau und Unterhalt von Wald- und Güterstraßen

Flächenentwässerung durch geschlossene Drainage

Das Merkblatt enthält Richtlinien über die zu treffenden Maßnahmen zur Trockenlegung vernäster Böden durch die geschlossene Drainage

1 Beschaffung des Vorfluters

Natürliches oder künstliches Gerinne, welches das Wasser aus der zu entwässernden Fläche aufnehmen kann.

2 Arten der geschlossenen Leitungen

Unterteilung der Leitungen je nach ihrer Funktion in:

Hauptsammler: übernehmen das Wasser der Nebensammler und leiten es in den Vorfluter.

Nebensammler: übernehmen das Wasser der Sauger der einzelnen Teilflächen (Projektierungseinheiten) und führen es einem Hauptsammler zu.

Sauger: bewirken die eigentliche Entwässerung des Bodens.

3 Systeme der Anordnung

Je nach Lage der Sauger zur Fallrichtung eines Hanges ergibt sich das System der Längs- bzw. Querdrainage.

3.1 Längsdrainage

In der Regel bestes und billigstes System für wenig geneigte Hänge (unter 4%).

Grundsätze für die Anordnung

Hauptsammler: quer zur Fallrichtung

Nebensammler: quer zur Fallrichtung

Sauger: in der Fallrichtung.

3.2 Querdrainage

In der Regel bestes und billigstes System für steilere Hänge (über 4%).

Grundsätze für die Anordnung

Hauptsammler: quer zur Fallrichtung

Nebensammler: in der Fallrichtung, in Mulden an tiefster Lage

Sauger: quer zur Fallrichtung.

4 Vorteile der geschlossenen Drainage

- geringer Aufwand für den Unterhalt
- praktisch keine Beeinträchtigung der Bewirtschaftung des zu entwässernden Gebietes.

5 Nachteile der geschlossenen Drainage

- wesentlich höhere Erstellungskosten als für offene Gräben
- schwierig zu kontrollieren
- schwierig wiederherzustellen und zu ergänzen
- bei Rohrleitungen Gefahr der Querschnittverengung (bis zur Verstopfung) durch Verlandung, Versinterung, Wurzeleinwuchs usw.
- Rohrleitungen in Wald- und Rutschgebieten praktisch nicht anwendbar.

6 Anwendung

- auf landwirtschaftlich benutzten Flächen, auf welchen die Bewirtschaftung durch offene Gräben stark behindert würde

- auf dauernd unbestockten Flächen, auf welchen offene Gräben mit normalem Böschungswinkel einsturzgefährdet wären
- Drainagen mit Ton- und Zementrohren eignen sich nur für ruhiges Gelände. In Rutschgebieten dürfen nur Kunststoffrohre oder Faschinen eingebaut werden. Erstere sind noch relativ teuer, letztere in der Wirkung sehr beschränkt.

7 Grundsätze der Projektierung**7.1 Drainagetiefe**

Die Sohle muß in oder unter der wasserführenden Schicht - in Rutschgebieten immer unterhalb der Gleitschicht - liegen.

Für Flächenentwässerungen zum Zwecke der Bodenverbesserung genügt es in der Regel, die Sauger in 60-120 cm Tiefe zu verlegen. Wo eine Trockenlegung zwecks Behebung der Rutschgefahr zum Schutze bestimmter Bauwerke u. dgl. unbedingt erforderlich ist, sind gegebenenfalls größere Tiefen notwendig.

7.2 Gefälle der Sauger**7.2.1 Drainage aus Rohrleitungen (Normalfall)**

Das Gefälle ist so zu wählen, daß

- das abfließende Wasser das Rohr höchstens bis zur Hälfte füllt
- trotzdem aus Kostengründen ein möglichst kleiner Rohrdurchmesser genügt. Wegen der möglichen Verschlämmung und Versinterung soll jedoch der Durchmesser der verwendeten Rohre mindestens 8-10 cm betragen.
- möglichst auf den Einbau künstlicher, kostenverteuernder Unterlagen verzichtet werden kann.

Für Sauger und Sammler empfiehlt es sich, Gefälle von 3-80/0 anzuwenden. Bei minimal 30/0 ist der Wasserabfluß auch bei den unvermeidlichen Ungenauigkeiten der Herrichtung der Sohle und der Verlegung noch gewährleistet. Kleinere Gefälle sind möglich, erfordern jedoch die Einhaltung höherer Genauigkeit, die entsprechend kostspieligere Maßnahmen verlangt.

Zur Erzielung optimaler Entwässerungswirkung soll das Gefälle der Sauger möglichst an der unteren Grenze gehalten werden.

7.2.2 Drainage aus anderen, an Ort und Stelle hergestellten Leitern

Bezüglich Gefälle gilt für Holzkännel praktisch dasselbe wie für Rohre. Dagegen erfordern Drainageleitungen aus Faschinen, Steinplatten u. dgl. Gefälle von mindestens 5%.

7.3 Abstände zwischen den Saugern

Erfahrungswerte für Flächenentwässerungen zur Bodenverbesserung: zwischen 6 m (sehr dichte Böden) und 15 m (weniger dichte Böden), in der Regel 8-10 m.

Wo eine möglichst vollständige Trockenlegung zum Schutze bestimmter Bauwerke, Böschungen u. dgl. notwendig ist, müssen gegebenenfalls engere Abstände gewählt werden.

7.4 Wahl der Querschnittfläche

ist abhängig von:

- der zu erwartenden Wassermenge
- dem gewählten Gefälle
- dem Profilradius
- der Rauigkeit des Durchflußprofils.

7.4.1 Drainage aus Rohrleitungen (Normalfall)

Der notwendige Rohrdurchmesser von Haupt- und Nebensammlern wird zweckmäßig aus Diagrammen ermittelt.

Bei kleineren Drainageprojekten genügen erfahrungsgemäß Durchmesser zwischen 15 und 30 cm.

Für Sauger sind wegen Verschlammungsgefahr Durchmesser von 8-10 cm üblich. Diese genügen dem Wasserabfluß in jedem Fall, sodaß sich eine nähere Querschnittbestimmung erübrigt.

7.4.2 Drainage aus anderen, an Ort und Stelle hergestellten Leitern

Leitungen aus Holz, Faschinen, Steinplatten u dgl. ergeben praktisch in jedem Fall größere als die notwendigen Querschnittflächen, sodaß sich auch hier deren Bestimmung erübrigt.

- Verlegen der Rohre von oben nach unten (Vermeidung der Verschlammung während des Einbaus).
- Gutes Einbetten der Rohre bis auf halbe Höhe mit möglichst dichtem, vorhandenem Erdmaterial.
- Kontrolle des gleichmäßigen Leitungsgefälles mit Visierkreuz oder (bei sehr kleinen Gefällen) Nivellierinstrument.
- Sorgfältiges Eindecken unter Vermeidung der Verlagerung und Beschädigung der Rohre.
- Als Abschluß-Schicht ist ein schwer durchlässiges Material zu verwenden (z. B. umgekehrte Rasenziegel), damit das spätere Eindringen von oberflächlich zugeführtem Schwemm-Material verhindert wird.
- Bei schlecht tragfähigem Baugrund und bei sehr kleinen Gefällen (unter 3%) sind die Rohre auf besondere Unterlagen (Bretter, Schwarten, Stangen von ca. 6-8 cm Durchmesser u dgl.) zu verlegen.
- An Stellen mit starkem Wasserandrang empfiehlt es sich, die Tonrohre mit kleinen Löchern zu versehen und mit Tannästen, Holzprügeln u. dgl. zu bedecken, damit das Wasser besser eindringen kann.

8 Bauausführung

8.1 Drainage aus Rohrleitungen (Normalfall)

- Grabenaushub grob bis 1 Spatentiefe über der Sohle. Kontrolle mittels Visierkreuz. Letzten Stich (Sohlenstich) möglichst genau auf die projektierte Tiefe ausstechen. Kontrolle mit Visierkreuz oder (bei sehr kleinen Gefällen) Nivellierinstrument.

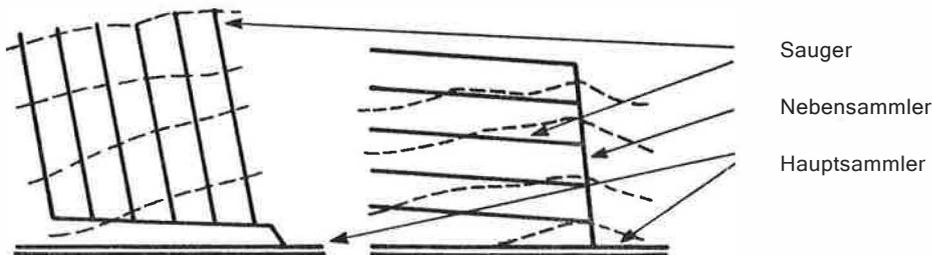
8.2 Drainage aus anderen, an Ort und Stelle hergestellten Leitern

- Da schon die Herstellung solcher Leitungen ungenau ist, erübrigt sich auch die Einhaltung großer Genauigkeit bezüglich gleichmäßigen Gefälles, gegebener Richtung und Verlegung.
- Die Verlegung erfolgt in der Regel von unten nach oben, da eine Verschlammungsgefahr nicht besteht.

9 Bautypen

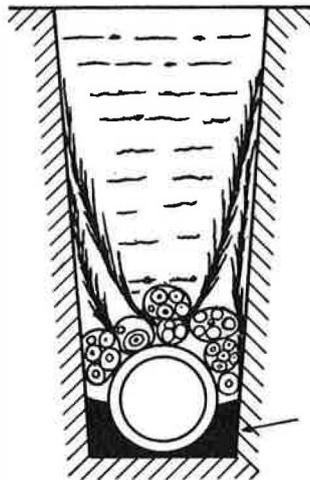
Längsdrainage

Querdrainage



Drainage mit Ton- oder Zementrohren

Guter Abfluß, gute Bodendurchlüftung

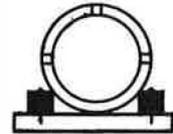


Gestellte Tannäste

liegende Tannäste
einzeln oder in Bündeln,
oder
lehmfreier Kies ab Wand

Lehm

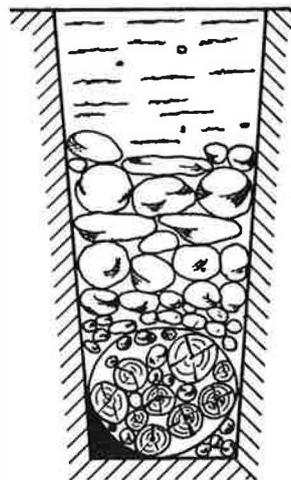
In unstabilen Böden
mit Bretterunterlage:



Drainage mit Faschinen oder Lattenbündeln

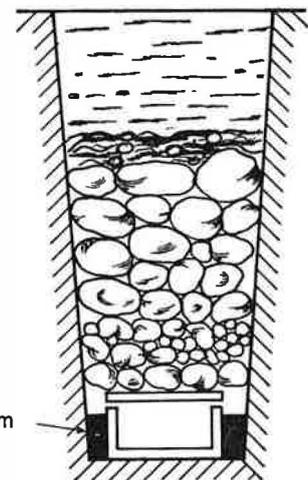
Drainage mit Holzkasten System Ramser

Die Wahl eines dieser beiden Systeme ist dort angezeigt, wo der Boden in Bewegung ist. In solchem Terrain eignen sich auch gelochte oder geschlitzte Kunststoffrohre. Damit die Steinpackungen weniger schnell dichtgeschwemmt werden, empfiehlt es sich, über den Steinen eine Lage von Tannästen einzulegen.



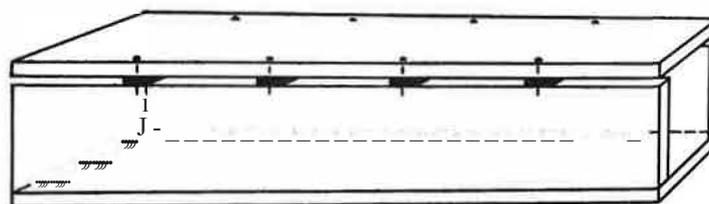
Tannäste

Gesunde Steine
oder lehmfreier Kies
ab Wand



Lehm

Holzkastensystem Ramser, Normalstück



Holzleisten unter dem Deckel: 1 cm dick
Bretter: 1,5-2 cm dick, 10-20 cm breit, 3-6 m lang
Beim Anschluß-Stück sind die Bretter verschieden lang.

Entwässerung, Wasserableitung

Merkblätter über den Bau und Unterhalt von Wald- und Güterstrassen

Sickerleitungen

Das Merkblatt enthält Richtlinien über die Aufnahme und Ableitung des Wassers aus lokal vernässten Bodenstellen

1 Begriff und Arten

Wasserableitung, die mit Material überdeckt wird, dessen Zusammensetzung dem Sickerungsgesetz entsprechen muss.

Arten:

- Sickerrohr aus Ton, Zement oder Kunststoff (gelocht oder geschlitzt), Innendurchmesser 10--15 cm
- Holzkännel (geschlossener Kasten mit Einlaufschlitzen), innere Breite 20--25 cm
- Faschine (Astbündel), in Grabenbreite
- evtl. Kännel aus natürlichen Steinplatten
- Steinpackung (verkeilte Steinbrocken), in Grabenbreite.

2 Vorteile

- geringerer Aufwand für den Unterhalt als bei offenen Gräben
- bessere Aufnahme des Bodenwassers als bei normaler Drainage mit geschlossenen Rohren
- praktisch keine Beeinträchtigung der Bewirtschaftung des zu entwässernden Gebietes.

3 Nachteile

- schwieriger zu kontrollieren, wiederherzustellen und zu ergänzen als offene Gräben
- wesentlich höhere Erstellungskosten als offene Gräben wie auch normale geschlossene Drainage
- Gefahr der Querschnittsverengung durch Verlandung, Versinterung, Wurzeleinwuchs usw.

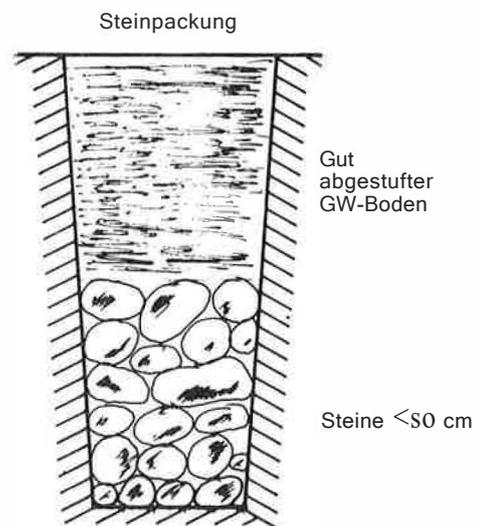
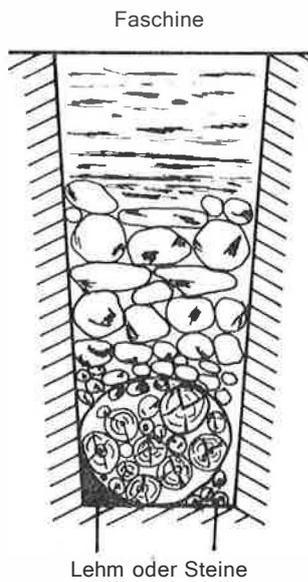
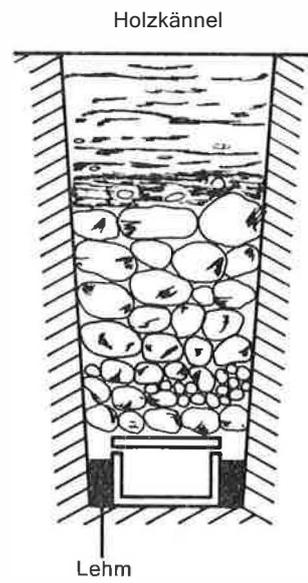
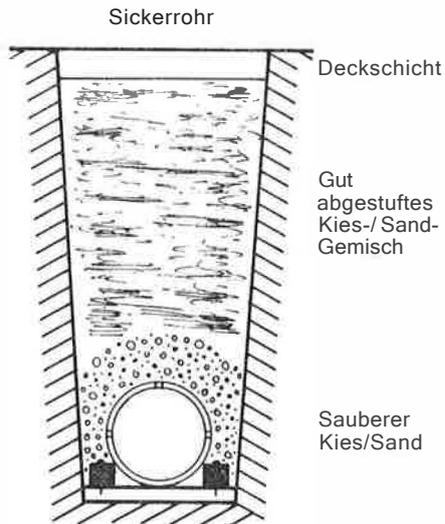
4 Anwendung

- bei besonders stark vernässten Stellen in der Flächendrainage
- bei Bergwasser längs Strassenkörpern
- bei nasser, rutschiger Auflagefläche für Dammaufschüttungen
- bei sehr nassen Einschnittsböschungen
- hinter Beton- und Mörtelmauern.

5 Grundsätze für die Projektierung und den Bau

- Die Leitung ist in sauberen Kies abgestufter Körnung (Typ GW der Bodenklassifikation, siehe Merkblatt Nr. 410) einzupacken.
- Auffüllung des Grabens mit gut abgestuftem Kies-Sandgemisch, zum Einsparen von Material evtl. mit einer Zwischenlage von Nadelholz-Reisig.
- Abdeckung der Oberfläche mit Material, das einen dichten Porenschluss gewährleistet (umgekehrte Rassenziegel, tonig-siltiger Boden).
- Gesammeltes Oberflächenwasser darf wegen der Gefahr der Verschlammung nicht in Sickerleitungen eingeführt werden.
- Die Sohle muss in oder unter der wasserführenden Schicht, in Rutschgebieten immer unterhalb der Gleitschicht, und auf alle Fälle unterhalb der Frosttiefe liegen.
- Sickerleitungen längs eines Strassenkörpers können unter der befahrbaren Schale oder ausserhalb der Fahrbahn verlegt werden.
- Für Sickerleitungen unter Dammaufschüttungen sind wegen allfälliger Setzungen zweckmässig Steinpackungen oder Faschinen zu verwenden.
- Sickerleitungen in nassen Böschungen sind so anzuordnen, dass sie zugleich als Böschungsstütze wirken (Y- oder Bogenform).
- Sickerleitungen hinter Beton- oder Mörtelmauern müssen auf der Höhe der Fundamentsohle (bei Felsfundation auf der Felsoberfläche) liegen.

Arten von Sickerleitungen



Entwässerung, Wasserableitung

Merkblätter über den Bau und Unterhalt von Wald- und Güterstrassen

Quellfassungen

Das Merkblatt definiert die verschiedenen Quellenarten und enthält Richtlinien für deren zweckmässige Fassung

1 Begriff

Quellen entstehen dort, wo wasserführende Schichten an die Erdoberfläche treten oder wo gestautes Grundwasser eine schwer durchlässige oder undurchlässige Deckschicht unter Druck durchstösst.

Sekundärquelle:

Wiederaustritt von versickertem Bach- und Flurwasser.

2 Quellenarten

Nach der Art des Wasseraustrittes werden unterschieden:
Schichtquelle:

Austritt des Wassers auf einer undurchlässigen Schicht

Ueberlaufquelle:

Austritt des Wassers über den Rand eines undurchlässigen Beckens

Verwerfungs- oder Spaltquelle:

Gestautes Grundwasser tritt infolge geologischer Verwerfungen aus grösserer Tiefe mit artesischem Druck durch Spalten aus (Mineralquelle)

Stauquelle:

Grundwasser - durch natürliche Untergrundsperrn bzw. Querschnittsverengung des Grundwasserleiters angestaut - durchbricht die Erdoberfläche

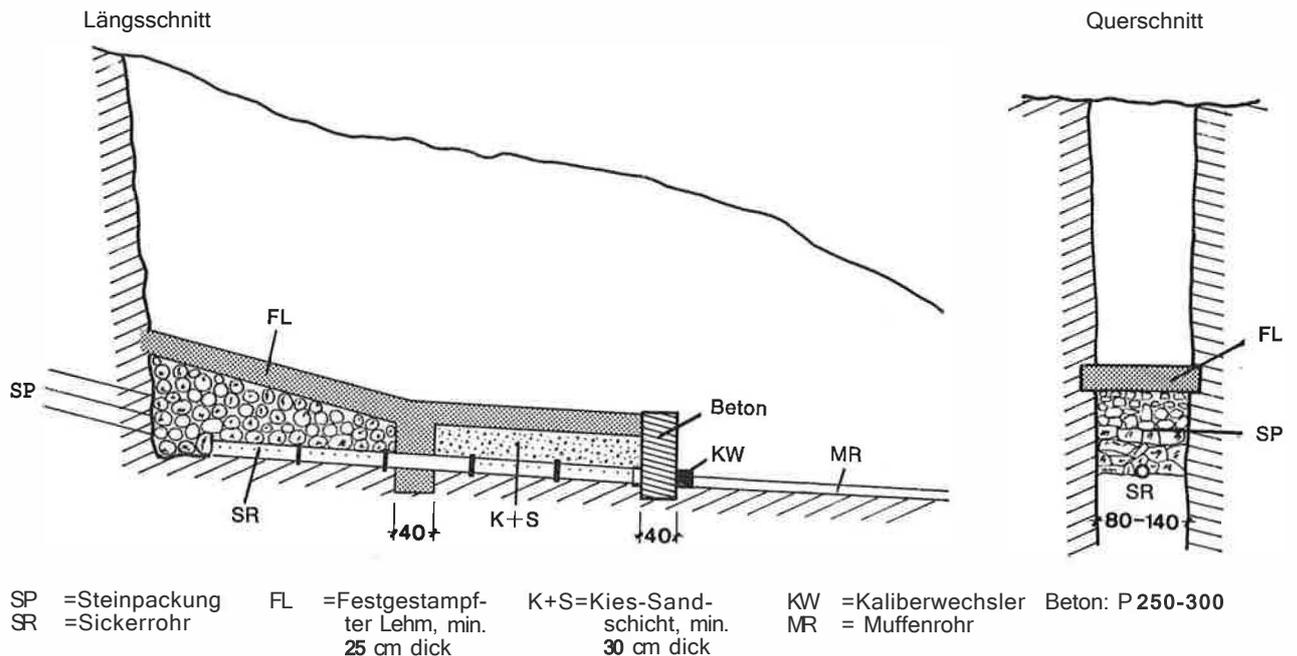
3 Trinkwasser

Die Verwendung von Quellwasser als Trinkwasser ist von folgenden Bedingungen abhängig:

- Die Wasserqualität muss den Vorschriften des Eidg. Gesundheitsamtes entsprechen
- Wassertemperatur und Abflussmenge sollen möglichst konstant sein.

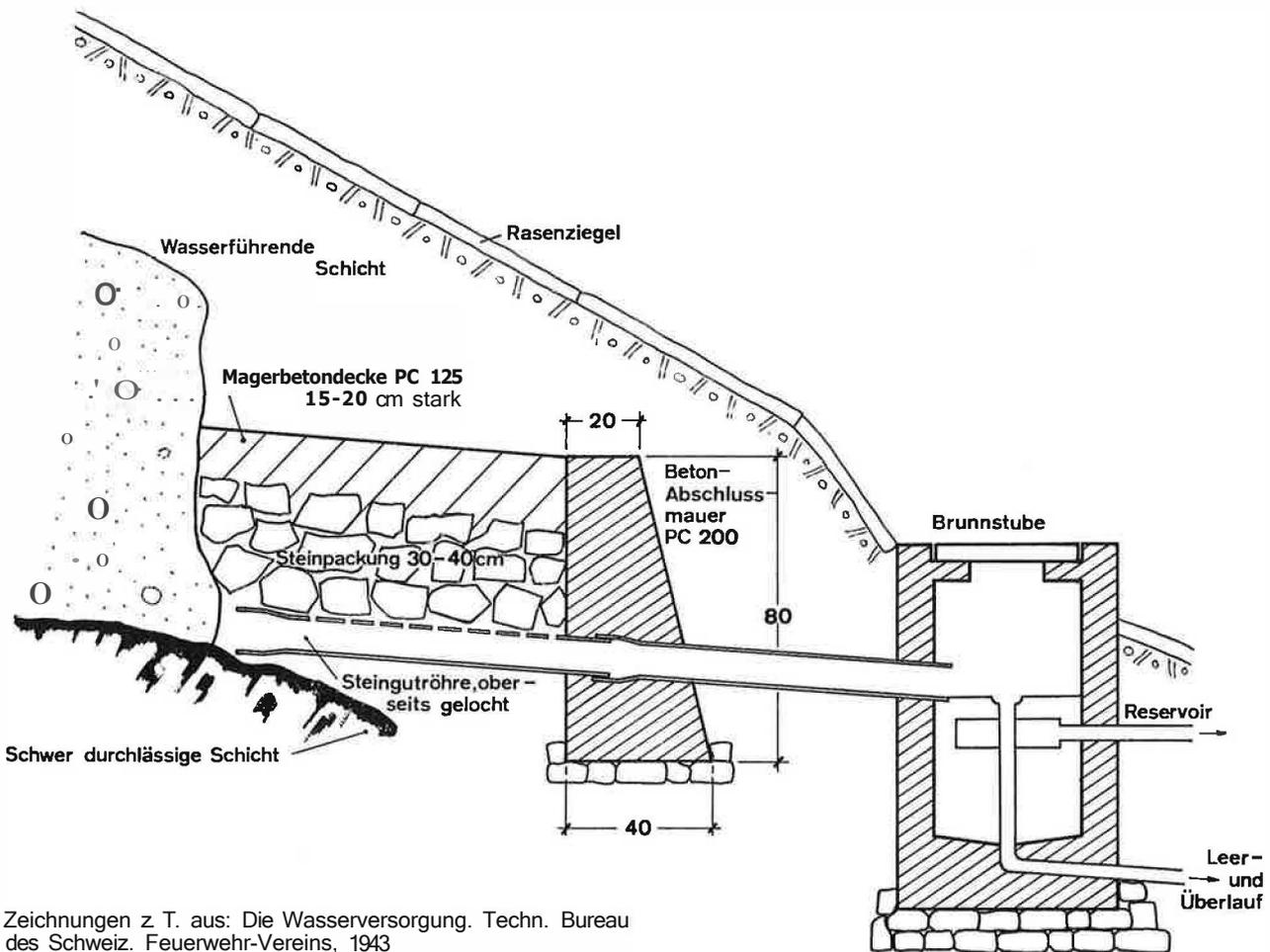
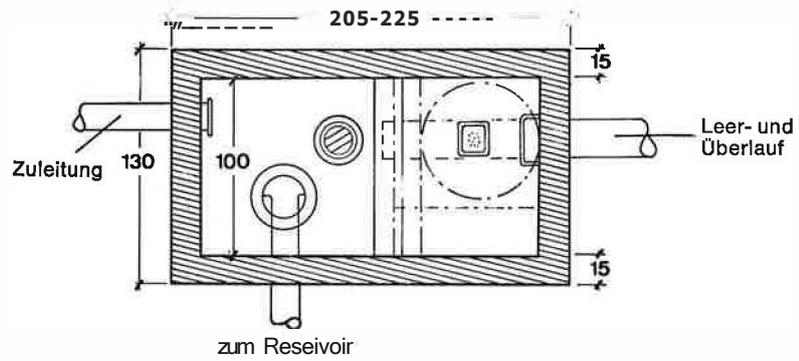
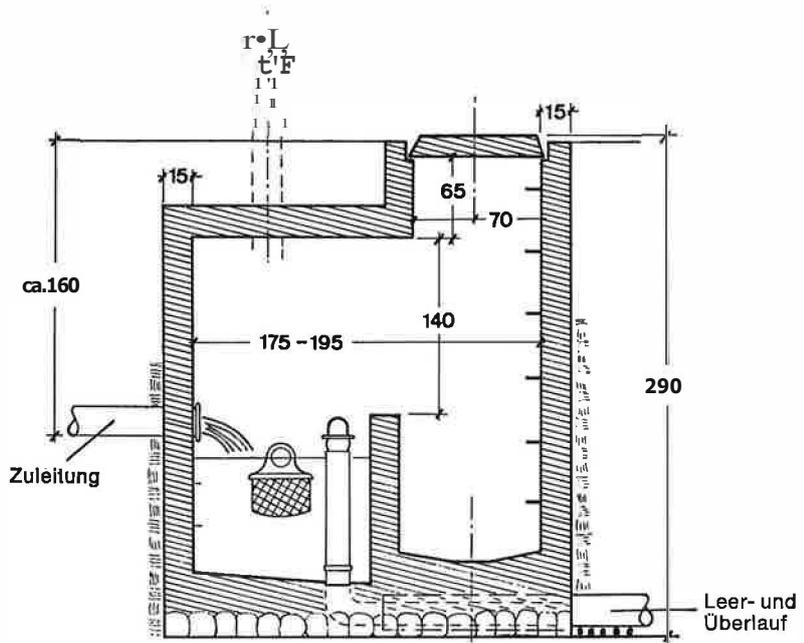
4 Bauliche Bestandteile einer vollständigen Quellfassung

- Wasserfassung
- Verbindungsleitung
- Brunnenstube (Reservoir) mit Leerlauf, Ueberlauf und Entlüftung
- Verbraucherleitung.

5 Beispiel einer Quellfassung**51 Wasserfassung**

5.2 Brunnenstube

Schwimmstoffe werden durch einen Seiherr zurückgehalten. Für die Entfernung der Sinkstoffe und die Reinigung der Brunnenstube ist der Leerlauf zu betätigen.



Zeichnungen z. T. aus: Die Wasserversorgung. Techn. Bureau des Schweiz. Feuerwehr-Vereins, 1943

Entwässerung, Wasserableitung**Merkblätter über den Bau und Unterhalt von Wald- und Güterstrassen****Oberflächenentwässerung der Fahrbahn**

Das Merkblatt enthält Richtlinien über die primäre Ableitung des auf der Fahrbahn anfallenden Tagwassers

1 Möglichkeiten

Ausbildung der Fahrbahn

- mit Neigung nach beiden Seiten
- mit einseitiger Neigung bergwärts
- mit einseitiger Neigung talwärts
- horizontal in der Senkrechten zur Achse (bedingt Einbau von Querrinnen).

2 Bedingungen zur Gewährleistung guten Wasserabflusses

Das Wasser soll gleichmässig verteilt, möglichst rasch und vollständig abfliessen können. Dies erfordert:

- genügend tragfeste Fahrbahn, damit keine Fahrspuren entstehen
- gleichmässig möglichst glatte Fahrbahnoberfläche
- genügend grosse Querneigung
- genügend grossen Höhenunterschied zwischen der Fahrbahnoberfläche und dem anschliessenden Ableitungssystem (2-5 cm je nach Ausbildung, Rauigkeit und Längsgefälle der Fahrbahn).

3 Neigung der Fahrbahn nach beiden Seiten**3.1 Ausbildung**

Bezüglich Wasserabfluss sind praktisch gleichwertig:

- gewölbtes Profil (Korbbogen oder Parabel)
- Dachprofil (beidseitig lineare Neigung).

3.2 Vorteil

Relativ geringste Erosionskraft des Wassers (Halbierung der anfallenden Wassermenge durch Verteilung nach beiden Seiten mit entsprechend kurzen Abflussdistanzen auf der Fahrbahn).

3.3 Nachteil

Gefährdung der Aussenböschung durch das von der talseitigen Fahrbahnhälfte unkontrolliert abfliessende Wasser (Vernässung insbesondere bei nicht überhöhtem Bankett, Erosion bei überhöhtem Bankett infolge Konzentration des Wassers auf die Schlitzle).

3.4 Bedingung

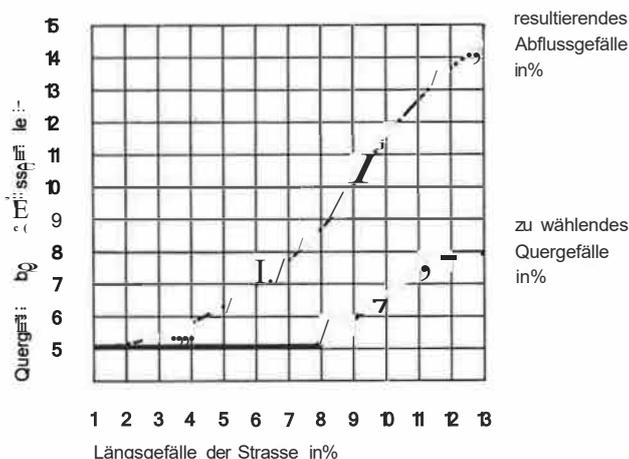
Erfordert die Anlage einer bergseitigen Längsableitung.

3.5 Anwendung

Beste Lösung für alle Ton-Wasser-gebundenen Oberflächen, vor allem bei Fahrbahnbreiten über 3 m

3.6 Bestimmung der Querneigung (Quergefälle der Fahrbahn)

- Ton-Wasser-gebundene Verschleiss-Schicht:



- Hartbeläge: 1-20/o.

4 Einseitige Neigung der Fahrbahn bergwärts**4.1 Ausbildung**

Ebene, quer zur Achse geneigte Fahrbahn.

4.2 Vorteil

Kein Wasserabfluss von der Fahrbahn in die Aussenböschung und damit keine Gefährdung der letzteren.

4.3 Nachteil

Relativ grosse Erosionskraft des Wassers, besonders gegen den bergseitigen Fahrbahnrand (Konzentration der anfallenden Wassermenge auf eine Seite mit entsprechend längeren Abflussdistanzen auf der Fahrbahn).

4.4 Bedingung

Erfordert die Anlage einer bergseitigen Längsableitung.

4.5 Anwendung

Zulässig für verkehrsarme Strassen mit Fahrbahnbreiten bis 3 m

5 Einseitige Neigung der Fahrbahn talwärts**5.1 Ausbildung**

Ebene, quer zur Achse geneigte Fahrbahn.

5.2 Vorteil

Billigste Lösung, weil weder Längs- noch Querableitungsanlagen erforderlich. Zweckmässigkeitsbereich aber beschränkt.

5.3 Nachteile

- Relativ grosse Erosionskraft des Wassers, besonders gegen den talseitigen Fahrbahnrand (Konzentration der anfallenden Wassermenge auf eine Seite mit entsprechend längeren Abflussdistanzen auf der Fahrbahn).
- Gefährdung der Aussenböschung durch das von der ganzen Fahrbahnoberfläche unkontrolliert abfliessende Wasser (Vernässung insbesondere bei nicht überhöhtem Bankett, Erosion bei überhöhtem Bankett infolge Konzentration des Wassers auf die Schlitzle).

5.4 Anwendung

- Im Allgemeinen nicht zu empfehlen. Ist nur zulässig
- auf durchlässigem Baugrund
 - in niederschlagsarmen Gebieten
 - bei Längsgefällen der Strasse unter 5‰
 - für verkehrsarme Strassen mit Fahrbahnbreiten bis 3 m

5.5 Ausführung

- Ausbildung des talseitigen Bankettes 2-5 cm niedriger als die anschliessende Fahrbahnhöhe, oder gegenüber der Fahrbahn überhöht. In diesem Falle sind genügend Auslaufschlitze vorzusehen (Abstand 5-8 m).
- Berücksichtigung des Setzungsmasses bei Aufschüttungen, damit sich nach dem Setzen die vorgesehene Querneigung ergibt.

6 Fahrbahn horizontal in der Senkrechten zur Strassenachse

6.1 Ausbildung

Ebene, quer zur Achse horizontale Fahrbahn.

6.2 Vorteil

Relativ billige Lösung, weil keine Längs-, sondern nur Querableitungsanlage erforderlich. Zweckmässigkeitsbereich grösser.

6.3 Nachteile

- Relativ grösste Erosionskraft des Wassers, besonders gegen die Querrinnen (lange Abflussdistanzen)
- grosse Anfälligkeit der Querrinnen gegen Auffüllung, wodurch die Ableitung unwirksam wird
- fehlende Wirksamkeit im Bereich von Kurvenüberhöhungen
- erschwerte maschineller Unterhalt der Fahrbahn.

6.4 Bedingungen

- Erfordert
- Einbau von Querrinnen
 - relativ grosses Grösstkorn der Verschleiss-Schicht (20 mm ()), Bremswirkung auf Wasser).

6.5 Anwendung

- Zulässig für
- verkehrsarme Strassen mit Fahrbahnbreiten bis 3 m
 - Strassen mit Längsgefälle über 6‰

6.6 Ausführung

- Anschluss der Fahrbahn an die Querrinnen beidseits unbedingt 2-5 cm überhöht

- bei Erosionsgefahr sind am Auslauf der Querrinnen Böschungssicherungen anzubringen
- das Gefälle der Querrinnen muss mindestens 5‰ betragen.

6.7 Querrinnen

6.7.1 Wirkungsbereich

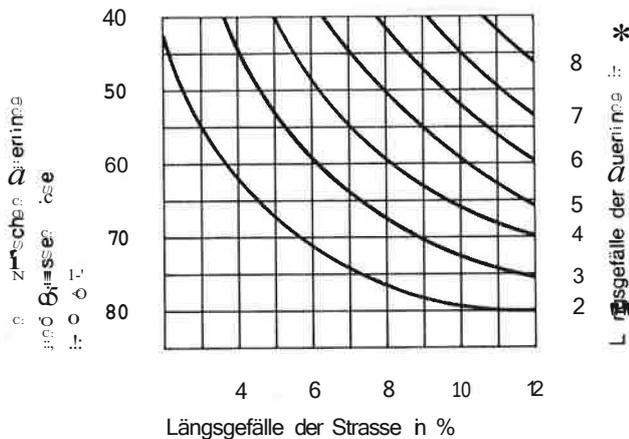
Querrinnen dienen ausschliesslich der Ableitung des auf der Fahrbahn anfallenden Tagwassers. Bergseits zuflussendes Wasser muss durch zusätzliche Anlagen abgeleitet werden:

- ständig oder periodisch konzentriert anfallend: quer zur Fahrbahn (Durchlässe)
- kleine Mengen: längs der Fahrbahn (Schalen, Spitzgraben, Rohrleitungen).

6.7.2 Art der Anlage

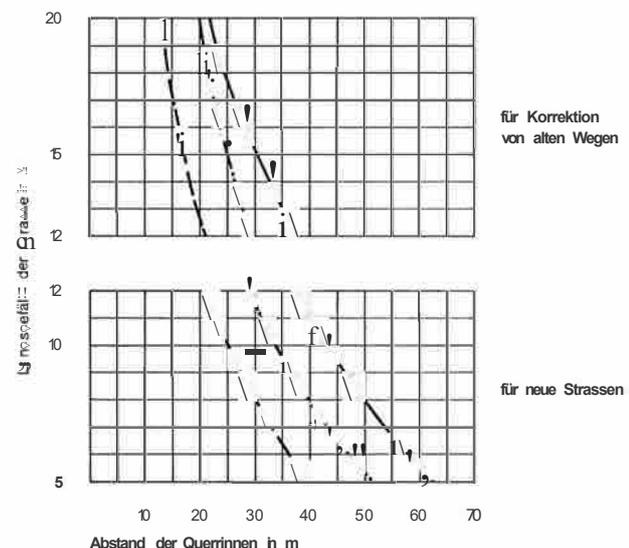
- Senkrecht zur Strassenachse
- abgewinkelt zur Strassenachse:

Ermittlung des Winkels für Querrinnen



6.7.3 Abstand

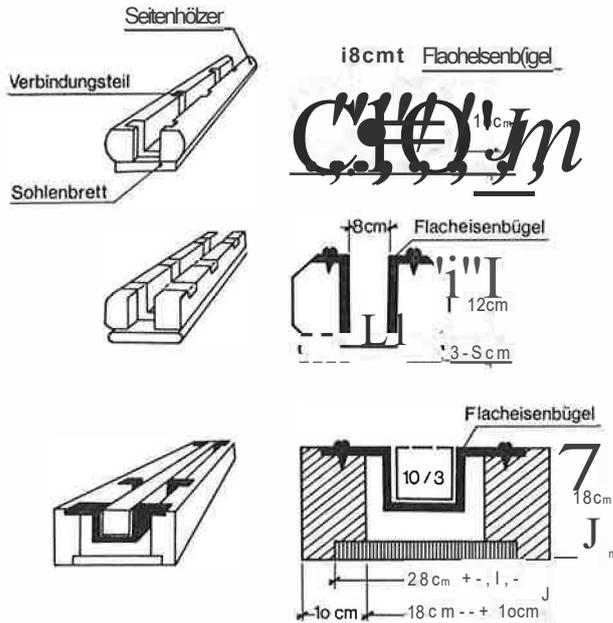
Richtet sich nach dem Längsgefälle der Strasse, der Niederschlagsmenge des Baugebietes und der Rauigkeit der Fahrbahnoberfläche:



Verhältnisse	Niederschlag mm pro Jahr	Waldanteil	Sturz- und Gewitterregen
— — — — —	über 1400	klein	relativ häufig und stark
- - - - -	1000-1400	mittel	mittel
—————	unter 1000	gross	selten und schwach

6.7.4 Typen

Querrinnen aus Holz: Sohlenbrett, Seitenhölzer und Verbindungsteile



Typ 1)
 Sohlenbrett: zugeschnittenes Kantholz
 Seitenhölzer: Hälblinge
 Verbindungsteile: Flachbügeleisen

Typ 2)
 Sohlenbrett: zugeschnittenes Kantholz
 Seitenhölzer: abgekantete Hälblinge
 Verbindungsteile: Flacheisenbügel

Typ 3)
 Sohlenbrett und Seitenhölzer: zugeschnittene Kanthölzer
 Verbindungsteile: Flacheisenbügel
 Zusätzlich: auswechselbarer Mittelbalken

Bei den Typen 1 und 2 können als Verbindungsteile auch Holzprismen, Mauerhaken, Abstandsbolzen oder Torschrauben verwendet werden.
 Obenstehende wie auch andere Typen werden auch als Doppelrinnen ausgebildet.

Baugrundsätze

- Befestigung nötigenfalls mit Pfählen oder Verankerungseisen
- Holz für Sohlenbretter und Seitenhölzer: wenn möglich Lärche oder Eiche; Fichte und Tanne nur imprägniert
- Sohlenbrett und Seitenhölzer müssen auf die ganze Länge aus einem Stück bestehen (keine Fugen)
- die Kanten der Seitenhölzer sind zu brechen
- sämtliche Eisenteile sind ins Holz einzulassen
- bei Typ 1 und 2 ist Schrägverlegung vorteilhaft (Verminderung der Schlagwirkung auf Fahrzeuge)
- das an die Rinne anschliessende Fahrbahnmaterial ist gut zu verkeilen und zu verdichten

- die Rinnenoberkante soll ca. 2 cm tiefer als die verdichtete Fahrbahnoberkante liegen (erleichtert Wassereintritt).

Vorteile

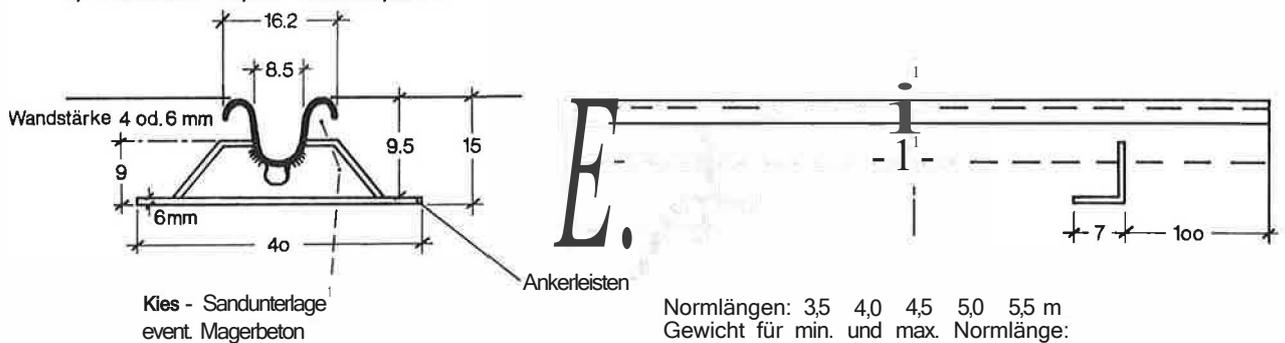
- einfache Bauart
- leicht zu transportieren
- kann zugeschnitten geliefert und an Ort und Stelle montiert werden
- elastisch bei Beanspruchung durch Fahrzeuge
- betriebseigenes Baumaterial.

Nachteil

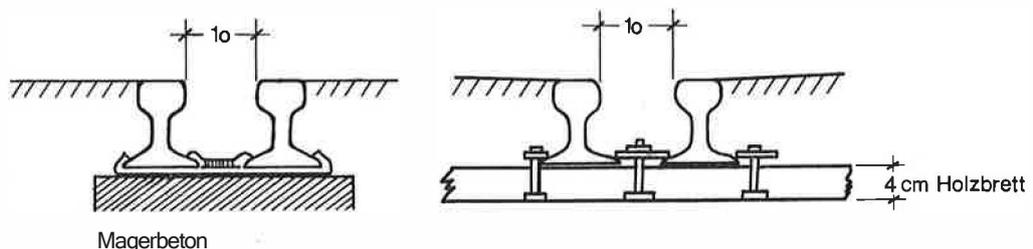
- Haltbarkeit je nach Örtlichkeit und verwendeter Holzart beschränkt.

Querrinnen aus Metall

1) Bandstahl «Alpine Wasserspule»:



2) Eisenbahnschienen:



Baugrundsätze

- Verlegung von Bandstahl «Alpine Wasserspule» auf gut einvibrierte Kies-Sandschicht, von Eisenbahnschienen auf Magerbeton, evtl. Lärchen- oder Eichenbretter
- jede Querrinne soll auf die ganze Länge fugenlos aus einem Stück bestehen
- sämtliche Eisenteile im Bereich der Verschleiss-Schicht dürfen keine scharfen Kanten oder Ecken aufweisen
- Schrägverlegung gemäss Grafikon 6.7.2
- das an die Rinne anschliessende Fahrbahnmaterial ist gut zu verkeilen und zu verdichten
- in abgelegenen Gebieten mit erschwertem Unterhalt empfiehlt sich der Bau von parallel verlegten Doppelrinnen.

Vorteile

- Bandstahl «Alpine Wasserspule» lieferbar als Fertigelemente von verschiedenen Längen und Profilgrössen
- Eisenbahnschienen können vor dem Transport auf die gewünschten Baulängen zugeschnitten werden
- freies Durchflussprofil und gute Selbstreinigung
- lange Lebensdauer und einfacher Unterhalt.

Nachteile

- beschädigte Rinnen müssen als Ganzes ersetzt werden
- scharfe Kanten oder Ecken führen zur Beschädigung an Fahrzeugreifen
- Eisenbahnschienen haben grosses Gewicht und sind teuer im Einbau
- Gleitgefahr bei nassem Wetter oder bei Vereisung.

Querrinnen aus Beton (Fertigelemente)

Baugrundsätze

- Verlegung in der Regel auf Magerbeton PC 150 kg/m³
- Beton der Fertigelemente min. PC 300 kg/m³.

Vorteile

- geringe Unterhaltskosten
- einfacher Einbau
- in der Regel einfache und leichte Reinigung
- geringe Gefahr der Beschädigung von Fahrzeugreifen
- geringe Gleitgefahr bei Nässe oder Eis.

Nachteile

- verlangen sorgfältiges Verlegen
- Beschädigungsgefahr bei kantigen Typen.

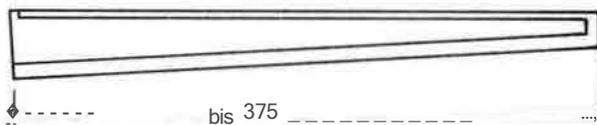
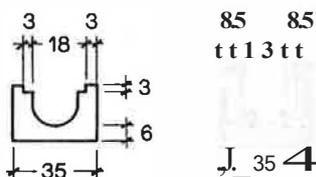
Typ Trimmis:

Eisenarmierung, rundes Durchflussprofil, konisch, mit ca. 10% Eigengefälle

Normlänge: 1,25 m

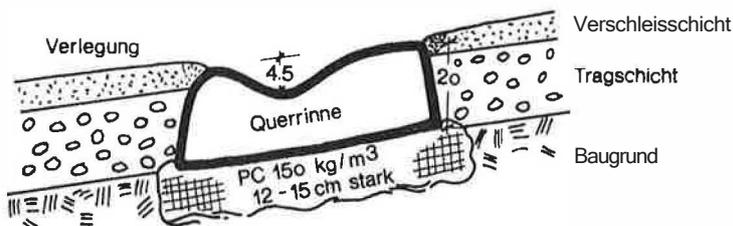
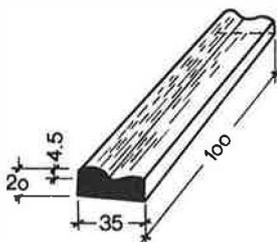
Gewicht: 100-125 kg

Abnehmbare Roste aus Beton. Verschiedene Bauarten.



Typ Schwyz:
Waldwegquerrinne, armiert, mit guter Selbstreinigung

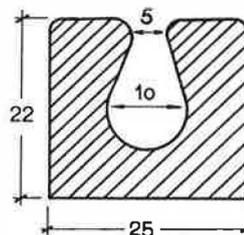
Normlänge: 1,0 m
Gewicht: 90 kg



Typ Schlitzröhre:

hat sich bei Ton-Wasser-gebundenen Waldstrassen nicht bewährt: Verstopfung durch Äste, Laub, Fahrbahnmaterial. Schlechte Selbst- und erschwerte künstliche Reinigung. Bruchgefährdet. Verwendung auch bei bombierten Strassen möglich.

Ausser diesen Typen von Fertigelementen sind je nach Ortlichkeiten verschiedene ähnliche Konstruktionen erhältlich.



Normlänge: 1,0 m, Ergänzungslängen 48 cm
Gewicht: 100 kg

Entwässerung, Wasserableitung

Merkblätter über den Bau und Unterhalt von Wald- und Güterstrassen

Wasserableitung längs der Fahrbahn

Das Merkblatt enthält Richtlinien über die Längsableitung des von der Fahrbahnoberfläche und vom bergseitigen Gelände anfallenden Wassers

1 Möglichkeiten

Wasserableitung

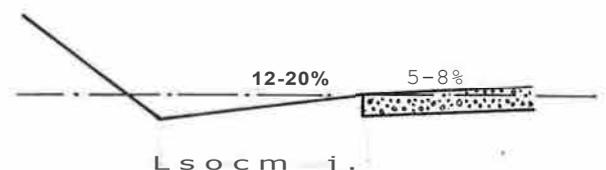
- ausserhalb der Fahrbahn: Seitengraben (Spitzgraben, Trapezgraben)
- innerhalb, am Rande der befestigten Fahrbahn: Seitenschale (Spitzschale = Juraschale, gepflasterte Schale, an Ort betonierte Schale, Schale aus vorfabrizierten Elementen).

2 Anwendungskriterien**2.1 Seitengraben**

- fängt neben dem Fahrbahnwasser auch das vom Gelände zufliessende Wasser auf (wesentlich in nassem Gelände)
- erträgt Erdverschiebungen (wesentlich in rutschigem Gelände)
- einfache Erstellung resp. Wiederherstellung
- erfordert relativ grosse Strassen-Profilbreite
- erfordert intensiven Unterhalt
- empfindlich auf Beschädigungen durch seitliches Zurücken von Holz etc.
- empfindlich auf extreme Längsgefälle (bei zu geringem Gefälle: Auflandung, Verunkrautung, dadurch Verlust der Entwässerungswirkung und entsprechende Durchnässung des Strassenkörpers; bei zu grossem Gefälle: Erosion)
- ohne zusätzliche Kunstbauten nur auf geeigneten Böden anwendbar (Beschädigung des ungeschützten Profils bei kohäsionsarmen Böden).

2.2 Seitenschale

- erlaubt Einsparung an Strassen-Profilbreite (wesentlich bei wertvollem Baugrund)
- erlaubt Einsparung an Aushubvolumen (wesentlich in steilem Gelände)
- erlaubt Einsparung an Böschungshöhe (wesentlich in rutschigem Gelände)
- geringer und einfacher Unterhalt
- erlaubt extreme Längsgefälle
- hohe Erstellungskosten
- empfindlich gegen Geländeverschiebungen.

3 Bautypen**3.1 Seitengraben****3.1.1 Spitzgraben**

Wird gebildet durch die gegenüber der Fahrbahn stärker geneigte Sohle und begrenzt durch den Böschungsfuss.

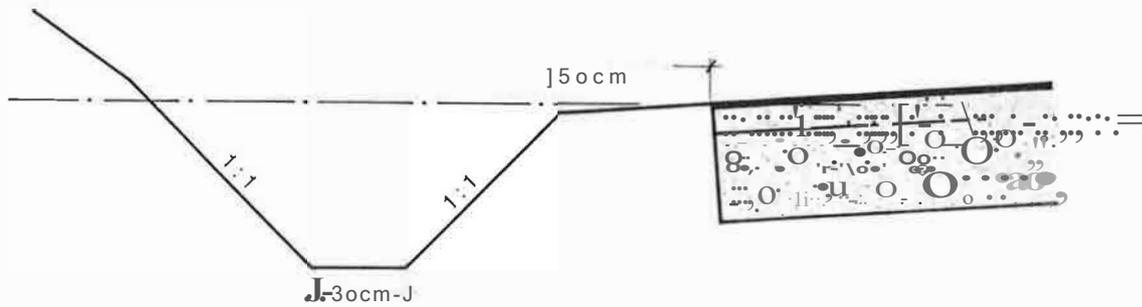
Vorteile gegenüber Trapezgraben:

- erlaubt maschinelle Herstellung gleichzeitig mit jener der Rohplanie
- einfache, rasche und billige Ausführung
- kann nötigenfalls, nach zusätzlicher Befestigung, ausnahmsweise befahren werden.

Nachteile gegenüber Trapezgraben:

- kleineres Durchflussvermögen
- Gefahr des Wasser-Ausbrechens auf die Fahrbahn infolge zusätzlicher Verkleinerung des Durchflussprofils durch zufällige Hindernisse (Steine, Äste, Laub etc.)
- infolge des bündigen Anschlusses mit der Fahrbahn besteht die Versuchung zum Befahren (Wenden, Ausweichen!) und damit zur Verletzung des Profils
- Grabengefälle muss notgedrungen dem Strassengefälle entsprechen, das häufig über oder unter den zulässigen Grabengefällen (= 4 bis 8%) liegt. Bei zu kleinen Strassengefällen ist Spitzgraben wegen Verlandung und Verlust der Entwässerungswirkung, bei zu grossen Gefällen wegen Erosion nicht anwendbar, siehe 2.1. Bei zu grossen Gefällen ist Anwendung möglich bei Einbau zusätzlicher Befestigungen.

3.1.2 Trapezgraben



Das Profil ist charakterisiert durch eine Sohle von mindestens 30 cm Breite mit beidseitiger Böschung. Die bergseitige Böschung ist zweckmässig als Fortsetzung der Strassenböschung auszubilden. Das Grabenprofil wird von der Fahrbahn durch das volle Bankett getrennt. Für optimale Entwässerung muss die Sohle des Grabens tiefer liegen als jene des Koffers.

Vorteile gegenüber Spitzgraben:

- im Allgemeinen sicherere Gewährleistung des Wasserabflusses (grössere Profilreserve)
- nimmt zusätzlich Sickerwasser aus dem Gelände und dem Strassenkörper auf
- Grabengefälle kann unabhängig vom bestehenden Strassengefälle und somit innerhalb seines zulässigen Bereiches (= 4-8% für unbefestigte Gräben) gewählt werden.

Nachteile gegenüber Spitzgraben:

- schwierigere und daher teurere Bauausführung
- empfindlicher auf Beschädigung durch seitliches Zurücken von Holz etc.
- geringere Verkehrssicherheit
- aufwendigerer Unterhalt.

3.2 Seitenschale

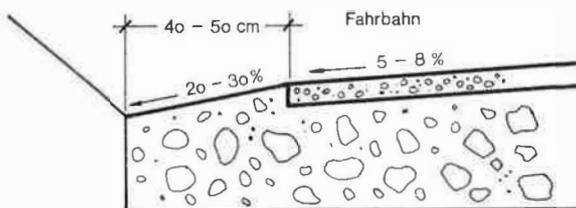
Befestigte Rinne längs des bergseitigen Böschungsfusses, womöglich befahrbar auszubilden.

In allen Fällen ist auf sorgfältigen, einwandfreien Anschluss an die Fahrbahn zu achten:

- fester, unverrückbarer Einbau der Schale
- die Oberfläche der Schale muss gegenüber der anschliessenden Fahrbahnoberfläche mindestens 3-4 cm tiefer liegen.

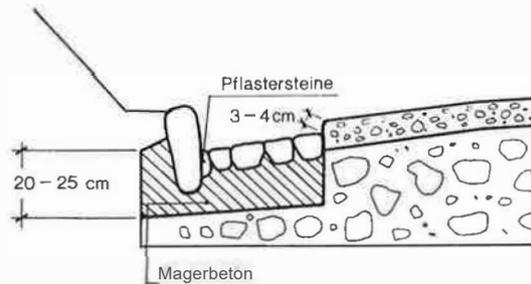
3.2.1 Spitzschale (Juraschale)

Der verdichtete Koffer dient als Schale:



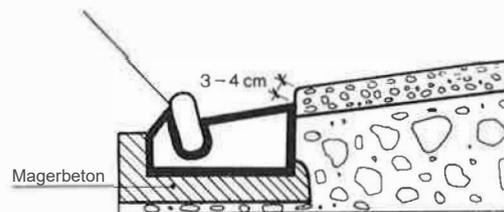
3.2.2 Gepflästerte Schale

In Magerbeton (P 150-200) eingebettete Stein- schale:



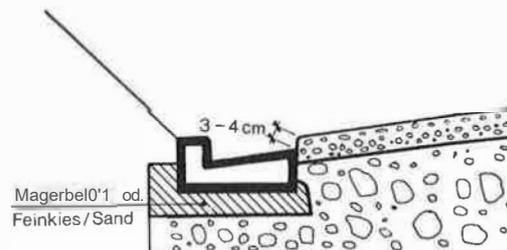
3.2.3 An Ort betonierte Schale

Betonierung einer Schale aus Vollbeton (P 300) auf einer Ausgleichschicht aus Magerbeton (P 150-200). Ist nötigenfalls zu armieren:



3.2.4 Vorfabrizierte Schalenelemente

Einbringung von Fertigelementen auf eine Ausgleichschicht aus Magerbeton (P 120-200) oder Feinkies resp. Sand:



Entwässerung, Wasserableitung

Merkblätter über den Bau und Unterhalt von Wald- und Güterstrassen

Wasserdurchleitung quer zur Fahrbahn

Das Merkblatt enthält Richtlinien zur Durchleitung des Tagwassers unter der Fahrbahn

1 Schächte

1.1 Begriff

Bauwerke, die einen der folgenden Zwecke erfüllen:

- Aufnahme des Wassers aus einem Sammelsystem zwecks Weiterleitung in einer anderen Richtung (Einlaufschächte)
- Kontrolle geschlossener Rohrsysteme (Kontrollschächte)

1.2 Einlaufschächte

1.2.1 Arten

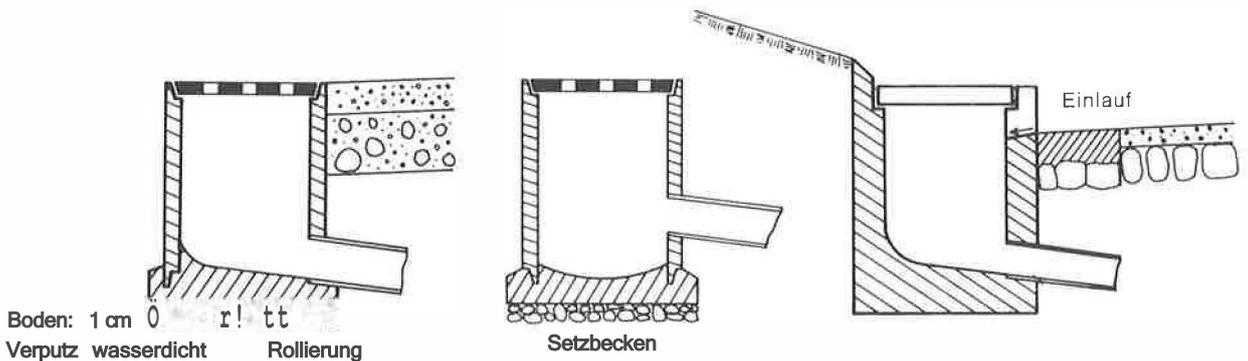
- runder oder rechteckiger Querschnitt
- mit oder ohne Setzbecken

Setzbecken dienen der Vermeidung von Verschlammung des Durchlassrohres, benötigen aber dauernd rechtzeitige Reinigung. Ein Verzicht auf Setzbecken ist zulässig, wenn das Durchlassgefälle genügend gross ist (über 6%) und wenig Schwemmmaterial anfällt

1.2.2 Möglichkeiten der Ausführung

Einlaufschächte sind von der Fahrbahn zurückzusetzen (keine Behinderung des Verkehrs, Verminderung der Unfallgefahr) und zu decken. Sie können erstellt werden:

- an Ort und Stelle: aus Beton, Mörtel- oder Bruchstein-Mauerwerk
- aus vorfabrizierten Elementen (spezielle Betonplatten oder gestellte Betonrohre mit mindestens 60 cm Durchmesser)
- im Fels: ausgehobene Kavernen



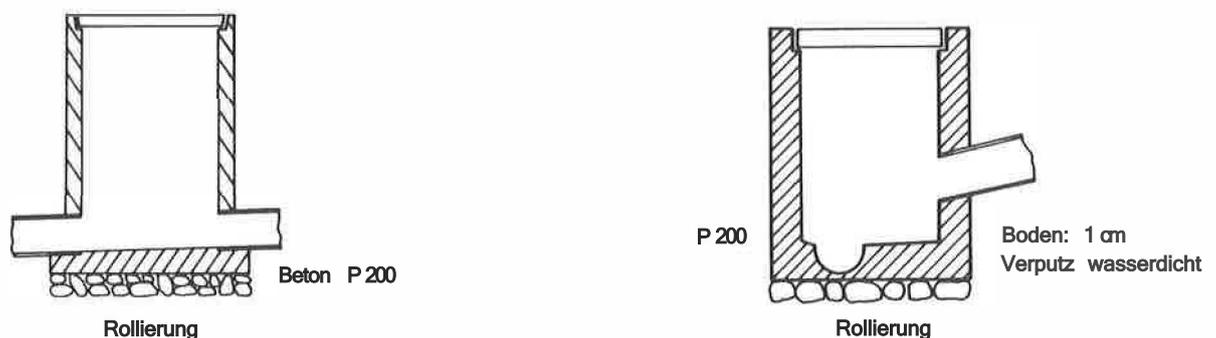
1.3 Kontrollschächte

1.3.1 Zweck

Kontrolle von geschlossenen Rohrleitungssystemen (Drainagen, Sickerleitungen, Sammelpunkt von verschiedenen Rohrleitungen).

1.3.2 Ausführung

- gedeckte Konstruktion aus gestellten Zementrohren
- gedeckte Konstruktion aus vorfabrizierten Betonelementen



2 Durchlässe

2.4 Bemerkungen zu den Beton-Rohrdurchlässen

2.1 Begriff

Anlage zur Durchleitung des in einem Schacht gesammelten oder in einem offenen Gerinne fließenden Wassers unter der Fahrbahn.

2.2 Arten

Nach der Querschnittsform und dem verwendeten Material unterscheidet man:

- Rohrdurchlässe (Beton, Schleuderbeton, Stahlblech, Kunststoffe u. a.)
- Plattendurchlässe aus armiertem Beton

2.3 Ausführung

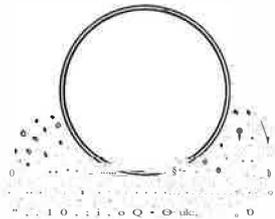
- Durchlässe sind einzubauen an Stellen, wo ständig oder periodisch Wasser aus dem Gelände zufließt, sowie bei grösseren Verbreiterungen der Fahrbahn, bei Wegeinmündungen usw. Der Abstand zwischen zusätzlichen Durchlässen beträgt im allgemeinen 50-70 m. Kleinere Abstände sind notwendig in Gebieten mit hohem Niederschlag bei Strassengefällen über 7%.
- Natürliche Wasserläufe sind möglichst ohne Aenderung ihrer Richtung und ihres Gefälles durchzuleiten.
- Durchlässe sind möglichst rechtwinklig zur Strassenachse und in den gewachsenen Boden zu verlegen. Nicht in gewachsenen Boden liegende Durchlassteile sind gegen Verschiebung künstlich zu sichern.
- Das Längsgefälle soll mindestens 5% betragen.
- Wegen Verstopfungsgefahr soll das Durchflussprofil mindestens der doppelten maximalen Durchflussmenge entsprechen.
- Zur Verbesserung des Einlaufes und zur Verhinderung der Auskolkung sind Einlauf- und Auslauf Sicherungen vorzusehen.

2.4.1 Anwendung

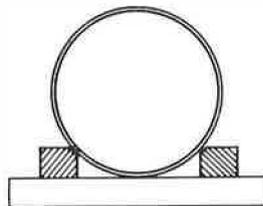
- Minimaldurchmesser für Rohrdurchlässe: 30 cm.
- Im allgemeinen genügt die Verwendung von Rohren aus Stampfbeton. Schleuderbetonrohre sind zu empfehlen bei hoher Druckbeanspruchung, bei instabilem Untergrund, bei starker Geschiebeführung, bei aggressivem Wasser.

2.4.2 Verlegung

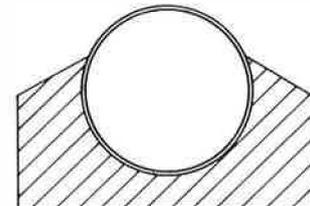
- Rohre mittels Schnurgerüst von unten nach oben verlegen (Hohlmuffe bergwärts, Spitzmuffe talwärts).
- Verlegung der Rohre auf eine lastverteilende Schicht aus Sand oder Rundkies: bei gleichmässig gut tragfähigem Untergrund minimal 10 cm.
- Bei ungleichmässig schlecht tragfähigem Untergrund ist eine bessere Lastverteilung zu erreichen durch Einbringen einer dickeren Sand/Kies-Schicht (15-25 cm), eines Rundholzrostes oder einer Betonhülle.
- Der Scheitel der Stampfbetonrohre muss mindestens 60 cm unter der Fahrbahnoberfläche liegen. Kann diese Höhe nicht eingehalten werden, so sind Stampfbetonrohre einzubetonieren oder Schleuderbetonrohre zu verwenden.
- Die Hohlräume in den Fugen sollen bis zur Kämpferhöhe (2/3 Rohrdurchmesser) mit bituminösem Material oder Zementbrei gefüllt werden.
- Das Einfüllmaterial ist zu verdichten.



Kies' Sand-Schicht



Brettunterlage



Betonhülle

Unterhalt

Merkblätter über den Bau und Unterhalt von Wald- und Güterstrassen

Unterhalt von Strassen**Allgemeines**

Dieses Merkblatt enthält Begriffe und allgemeine Richtlinien über den Unterhalt von Strassen

1 Begriff und Zweck

Der Strassenunterhalt umfasst die Behebung von Schäden, die durch voraussehbare Einwirkungen des Verkehrs, der Holzhauerei, des Klimas und der Vegetation entstehen. Er bezweckt die dauernde und wirtschaftliche Erhaltung der Strassen und die Gewährleistung der Verkehrssicherheit.

- Verkehrsbehinderung durch Bäume und Sträucher
- Laub- und Nadelabfall

2 Ursachen und Auswirkungen von Schäden

Die Schäden, die zu Unterhaltsarbeiten führen, zeigen folgende Auswirkungen:

2.1 Verkehr, Holzhauerei und Schneeräumung

- Verkehr: Abnutzung der Deckschicht, Fahrspur- und Schlaglochbildung
- Fällen, Reisten und Rücken von Holz: Schäden an Deckschicht, Entwässerungssystemen, Böschungen und Banketten
- Aufarbeiten von Holz: Verschmutzung der Deckschicht, Entwässerungssysteme, Böschungen und Bankette
- Land- und alpwirtschaftliche Nutzung: Verschmutzung der Deckschicht, Beschädigung der Böschungen und Bankette
- Schneeräumung: Aufreissen der Deckschicht und Bankette

2.2 Klima

- Niederschlagswasser: Erosion an Deckschicht, Böschungen, Banketten und in Entwässerungssystemen
- Frost: Hebungen, Risse, Aufbrüche und Tragfähigkeitsverluste, Abwittern von Böschungen
- Alterung: Versprödung von bituminösen Bindemitteln durch Licht- und Sauerstoffeinwirkung
- Besonnung: Austrocknung der ton-wassergebundenen Verschleisschicht (Feinanteilverlust); Flüssigwerden von bituminösen Bindemitteln

2.3 Pflanzenwuchs

- Einwachsen von Gras und Sämlingen in Fahrbahn und offene Entwässerungssysteme
- Einwachsen von Wurzeln in Sickerleitungen

3 Durchführung der Unterhaltsarbeiten

Der Unterhalt von Strassen umfasst zeitlich, organisatorisch und arbeitstechnisch verschiedene Teilarbeiten. Sie werden in **laufenden** und **periodischen Unterhalt** aufgeteilt.

3.1 laufender Unterhalt

Der laufende Unterhalt wird in der Regel mit einfachen Geräten von Hand durchgeführt. Er bezweckt die fortwährende Instandhaltung der Strassen. Für die Durchführung der folgenden Arbeiten ist ein Pflichtenheft in Bezug auf das zu unterhaltende Strassenstück aufzustellen.

3.1.1 Kontrolle und Signalisation

Die Strassenanlagen sind durch das für den Unterhalt verantwortliche Personal unter Kontrolle zu halten:

- Zustandskontrolle im Frühjahr und Herbst
- Kontrollen nach Bedarf bei grossen Niederschlägen und überdurchschnittlichen Verkehrsbelastungen (Baustellenverkehr, Militär usw.)
- Unterhalt bestehender Strassensignalisationen (Eidg. Verordnung über die Strassensignalisation vom 31. Mai 1963 und die provisorischen Erläuterungen vom 9. Juli 1963 sowie allfällige ergänzende Verordnungen der Kantone und Gemeinden)
- Aufstellen von vorübergehend notwendigen Strassensignalen bei Bauarbeiten, Holzhauerei, Frostschäden, Rutschungen usw.

3.1.2 Unterhalt der Entwässerungsanlagen

Die Entwässerungsanlagen sind dauernd in einem funktionstüchtigen Zustand zu halten, der jederzeit einen schadlosen Wasserabfluss ermöglicht. Nach Bedarf sind folgende Arbeiten auszuführen:

- Reinigen und Reparatur der Schächte, Durchlässe und Sickerleitungen
- Reinigen der offenen Entwässerungsgräben
- Reinigen und Ersatz der Auffangrechen

3.13 Unterhalt von Böschungen und Banketten

Der Unterhalt von Böschungen und Banketten bezweckt die dauernde Benützbarkeit der Strasse und umfasst:

- Sanierung von oberflächlichen Böschungsrutschungen
- Profulgerechte Wiederherstellung bei Nachsetzungen
- Beheben von Holzereischäden
- Entfernen von Bäumen und Sträuchern, die den Verkehr gefährden oder behindern
- Mähen der Bankette

3.14 Unterhalt der Fahrbahn

Der Unterhalt der Fahrbahn bezweckt die dauernde Erhaltung der Verkehrssicherheit und die Verlängerung der Lebensdauer der Verschleisschicht. Er umfasst:

- Reinigen der Fahrbahn von Holzereiabfällen, Laub und Nadeln, Steinen und Erde
- Flicken von vereinzeltten Schadenstellen (Holzereischäden, Schlaglöcher, vereinzeltte Frostaufbrüche, Schwemmschäden usw.) gemäss Merkblättern Nr. 610, 620, 630

3.15 Unterhalt von Kunstbauten

- Beheben von vereinzeltten Schadenstellen an Mauer- und Holzwerken
- Instandhalten von Brückengeländern, Leitplanken usw.

3.2 Periodischer Unterhalt

Der periodische Unterhalt umfasst sämtliche Arbeiten, die nach grösseren Zeitabständen notwendig sind und in der Regel durch geplanten Einsatz von geeigneten Maschinen und Geräten durchgeführt werden.

3.21 Gesamtüberholung der Deckschicht

Massgebend für diese Arbeiten sind die folgenden Merkblätter:

- 610 Unterhalt von Strassen mit einer ton-wassergebundenen Verschleisschicht
- 620 Unterhalt von Strassen mit einer bituminösen Deckschicht
- 630 Unterhalt von Betonstrassen

3.22 Gesamtüberholung der Entwässerungsanlagen

- Ersetzen von beschädigten Durchlässen
- Ersetzen von nicht mehr wirksamen Sickerleitungen
- Profulgerechte Wiederherstellung offener Entwässerungsgräben

3.23 Gesamtüberholung von Kunstbauten

- Erneuern von Mauerwerken
- Ersetzen von Holzbauwerken
- Erneuern des Korrosionsschutzes an Eisen- und Stahlkonstruktionen

Unterhalt

Merkblätter über den Bau und Unterhalt von Wald- und Güterstrassen

Unterhalt von Strassen mit einer ton-wassergebundenen Verschleisschicht (Naturstrassen)

Dieses Merkblatt enthält Richtlinien über den Unterhalt der ton-wassergebundenen Verschleisschicht.
Die allgemein gültigen Grundsätze sind im Merkblatt Nr. 605 umschrieben.

1 Voraussetzungen

Um eine wirtschaftliche und fachgemässe Ausführung des laufenden und des periodischen Unterhaltes der ton-wassergebundenen Verschleisschicht zu gewährleisten, sind folgende Voraussetzungen notwendig:

- Genügende Tragfähigkeit der Strasse
- Wölbung mit beidseitiger Neigung von mindestens 5%
- Einwandfrei funktionierende Wasserableitung

2 laufender Unterhalt

Der laufende Unterhalt der ton-wassergebundenen Verschleisschicht umfasst das Reinigen der Fahrbahn und das Ausbessern vereinzelter Schadenstellen.

2.1 Planung

- Der Verantwortliche hat die Zustandskontrollen durchzuführen
- Schadhafte Stellen sind möglichst bald nach ihrer Entstehung auszubessern
- Bei der Arbeitsplanung ist für die Unterhaltsarbeiten genügend Zeit vorzusehen

2.2 Material und Geräte

Folgende Materialien sind in Deponien vorrätig zu halten:

- Bindiger Kies-Sand, der nach Kornverteilung und Plastizitätseigenschaften den Qualitätsvorschriften entspricht
- Eventuell Sand oder Feinsplitt

Für den laufenden Unterhalt werden folgende Geräte benötigt:

- leichtes Motortransportfahrzeug oder Handwagen, Karrette usw.
- Laubrechen
- Strassenbesen
- Pickel oder Kreuzhaue
- Schaufel
- Eisenrechen
- Giesskanne
- Handstampfer, evtl. Vibrostampfer

- Strassenbürste an Spezialfahrzeug, sofern grössere Strassenabschnitte gewischt werden müssen.

2.3 Arbeitsablauf

Das Ausbessern von vereinzelt Schadenstellen wird in folgender Reihenfolge durchgeführt:

- Reinigen der Schadenstelle
- Herstellen kantiger Ränder und Entfernen von entmischem Kiesmaterial
- Einbringen von geeignetem Kies-Sand-Material und Verdichten beim optimalen Wassergehalt
- Evtl. Schliessen der Nahtstellen durch Absanden

3 Periodischer Unterhalt

Der Zeitpunkt für den periodischen Unterhalt ist dann gegeben, wenn die Verschleisschicht durch die erlittenen Beschädigungen ihre Aufgabe nicht mehr erfüllen kann und die Instandhaltung durch den laufenden Unterhalt nicht mehr wirtschaftlich ist. Er umfasst alle Arbeiten, die in gewissen Zeitabständen zur Wiederherstellung der idealen Schichtstärke, Kornzusammensetzung und Planie der ton-wassergebundenen Verschleisschicht notwendig sind. Sie sind mit geeigneten Maschinen und Geräten auszuführen.

3.1 Planung

Die rationelle und wirtschaftliche Ausnutzung der Maschinen und Geräte erfordert sowohl eine langfristige als auch eine kurzfristige Planung. Diese haben sich in der Regel auf ein ganzes Wegnetz oder auf die Wegnetze einer ganzen Region zu erstrecken.

3.1.1 langfristige Planung

Die langfristige Planung erfordert ein Unterhaltsprogramm für mehrere Jahre. Darin sind die einzelnen Strassenzüge nach dem mutmasslichen Zeitpunkt der Ausführung des periodischen Unterhaltes einzuordnen. Die Planung umfasst:

- Ermitteln der Strassenlänge, die jährlich unterhalten werden muss
- Abklären der Maschinenbeschaffung
- Beschaffen von geeigneten Kiesmaterialien
- Bereitstellen der benötigten finanziellen Mittel

3.12 Kurzfristige Planung

Die kurzfristige Planung ordnet den jährlichen Ablauf des periodischen Unterhaltes. Sie umfasst:

- Festlegen der Art und des Umfanges der Unterhaltsarbeiten
- Bestimmen der zeitlichen Arbeitsausführung
- Bereitstellen des Personals, der Maschinen und Geräte
- Organisation der Materialtransporte

3.2 Material, Maschinen und Geräte

3.21 Material

Für das zu verwendende Material gelten die Ausführungen über Kornverteilung und Plastizität in den entsprechenden Merkblättern des Oberbaues.

3.22 Maschinen und Geräte

Für die einzelnen Arbeiten des periodischen Unterhaltes kommen folgende Maschinen und Geräte in Frage:

- Reinigungsarbeiten: Strassenbürsten an Spezialfahrzeugen

- Schürf- und Planierarbeiten: Selbstfahrende Grader mit 6—9 t Gewicht und 50-80 PS Leistung oder Anhängergrader
- Herstellen des optimalen Wassergehaltes: Wasserwagen
- Verdichtungsarbeiten: Selbstfahrende oder gezogene Gummiradwalzen, Mehrplattenvibratoren, Glattwalzen, Vibrationswalzen

3.3 Arbeitsablauf

Die Arbeiten des periodischen Unterhaltes sind in folgender Reihenfolge auszuführen:

- Reinigen der Fahrbahnoberfläche
- Abschälen der Seiten- und Mittelstreifen bei Grasewuchs
- Aufreißen der bestehenden Verschleisssschicht
- Ergänzen der Verschleisssschicht mit geeignetem Kiessandmaterial bis zu einer minimalen Schichtstärke von 6—8 cm (verdichtet)
- Mischen des lockerliegenden Materials
- Herstellen der Planie
- Verdichten unter Einhaltung des optimalen Wassergehaltes

Unterhalt

Merkblätter über den Bau und Unterhalt von Wald- und Güterstrassen

Ausbau von Strassen**Allgemeines**

Dieses Merkblatt enthält Begriffe und allgemeine Richtlinien über den Ausbau und die Wiederherstellung von Strassen

1 Begriff und Zweck

Der Ausbau von Strassen umfasst die Massnahmen zur Verhütung oder Behebung von Schäden, die durch ausserordentliche, nicht voraussehbare Einwirkungen des Verkehrs, des Klimas, der Gelände- und Bodenbeschaffenheit entstehen können oder bereits entstanden sind. Er bezweckt die Anpassung von Strassen an veränderte Verkehrsbelastungen und Transportmittel oder die Wiederherstellung der Befahrbarkeit. Die Behebung von Schäden, die durch mangelhaften Unterhalt entstanden sind, fällt nicht unter den Begriff «Ausbau».

2 Ursachen von Schäden

Die Ursachen, die zu ausserordentlichen Schäden an Strassen führen können, sind folgende:

2.1 Verkehrsbedingte Ursachen

- Zunahme der Verkehrslasten
 - Ueberbeanspruchung der Tragfähigkeit im Vertikalaufbau (Spurbildung, Ausquetschen des Untergrundes, Hochdrücken von Feinanteilen)
 - Ueberbeanspruchung von Kunstbauten
- Zunahme der Verkehrsdichte
 - Uebermässige Abnutzung von ton- und wassergebundenen Verschleisschichten
 - Ungenügende Anzahl von Ausweichstellen
- Zunahme der Breite und Länge der Transportfahrzeuge
 - Beschädigung der Bankette und Böschungen
 - Beschädigung der Entwässerungsanlagen

2.2 Naturbedingte Ursachen

Totale oder teilweise Zerstörung von Kunstbauten oder ganzen Strassenabschnitten durch:

- Frost: Tragfähigkeitsverlust, Frostaufbrüche, Verwitterungsschäden
- Elementarschäden: aussergewöhnliche Hochwasser, Rufen, Lawinen, Steinschlag
- Geländerutschungen: Zerstörung ~~an~~ Kunstbauten, Entwässerungsanlagen oder ganzen Strassenabschnitten

3 Durchführung

Für den Ausbau ist ein zweckmässiges Projekt zu erstellen.

Die Ursachen möglicher oder bereits eingetretener Schäden sind genau abzuklären (Tragfähigkeit, Entwässerung, Deckschicht). Bei verkehrsbedingten Ursachen ist der Ausbau vor der grösseren Beanspruchung auszuführen, weil ein nachträglicher Ausbau wesentlich höhere Kosten verursacht. Bei der Projektierung und Ausführung sind insbesondere zu berücksichtigen:

3.1 Anpassung an höhere Verkehrslasten

Die Tragfähigkeit wird durch folgende Massnahmen erhöht:

- Zusätzliche Entwässerung
- Verbesserung des Oberbaues durch ein geeignetes Stabilisierungsverfahren
- Verstärkung des Oberbaues durch Einbringen einer zusätzlichen Tragschicht
- Vollständiger Ersatz des bestehenden Oberbaues, evtl. verstärkt durch Untergrundstabilisierung
- Verstärkung von Brücken und Durchlässen
- Erstellen eines Oberbaues bei Erdwegen

3.2 Anpassung an grössere Verkehrsdichte

Die Zunahme der Verkehrsdichte verlangt:

- Grössere Anzahl von Ausweichstellen
- Eine Ueberprüfung der Wirtschaftlichkeit der tonwassergebundenen Verschleisschicht. Sie kann zum Ersatz durch eine Deckschicht mit bituminösen oder hydraulischen Bindemitteln führen

3.3 Anpassung an grössere Transportfahrzeuge

Die Anpassung bestehender Anlagen an grössere Transportfahrzeuge erfolgt durch:

- Verbreiterung der Fahrbahn
- Vergrösserung der Kurvenradien
- Anpassung von Kunstbauten und Entwässerungen
- Vergrösserung der Ausweichstellen und Kehrpätze

3.4 Behebung von Frostschäden

Frostschäden sind durch folgende Massnahmen zu beheben

- Anpassung des Oberbaues an die reduzierte Tragfähigkeit des Unterbaues während der Tauperiode (Verstärkung durch Stabilisierung oder Erhöhung der Schichtstärke des Oberbaues)
- Verbesserung frostempfindlicher Schichten des Oberbaues durch geeignete Stabilisierungsverfahren
- Vollständiger Ersatz frostempfindlicher Schichten des Oberbaues durch frostsichere Materialien
- Entwässerung der Strasse bis zur Frosteindringtiefe
- Neuerstellung zerfallender Kunstbauten

3.5 Behebung von Schwemmschäden

Bei der Behebung von Schwemmschäden geht es neben der Wiederherstellung des Strassenkörpers

vorwiegend um die Ausschaltung von Schadenursachen durch:

- Verbesserung der Längs- und Querentwässerung
- Vergrösserung der Durchflusskapazität von Durchlässen (Durchmesser, Gefälle)
- Sohlensicherung in erodierenden Bachläufen
- Stabilisierung von rutschigen Bacheinhängen

3.6 Wiederherstellung bei Geländerutschungen

Die Arbeiten sind in folgender Reihenfolge durchzuführen:

- Sanierung der Rutschflächen durch umfassende Entwässerung und Verbauung
- Wiederherstellung (Neubau) des zerstörten Strassenabschnittes.