

Zeitschrift: Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal = Journal forestier suisse

Herausgeber: Schweizerischer Forstverein

Band: 132 (1981)

Heft: 8

Artikel: Dimensionierung und Verstärkung von Strassen mit geringem Verkehr und flexiblem Oberbau

Autor: Burlet, E.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-764436>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 14.04.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Dimensionierung und Verstärkung von Strassen mit geringem Verkehr und flexiblem Oberbau¹

Von *E. Burlet*

Oxf.: 383.1 : 383.4

(Aus dem Institut für Wald- und Holzforschung der ETH Zürich,
Fachbereich Forstliches Ingenieurwesen)

1. Einleitung

Das Verkehrsaufkommen auf den Wald- und Güterstrassen und auf den Verbindungsstrassen im ländlichen Raum ist im Gegensatz zu dem der Hauptverkehrsstrassen gering. Das bisher gebaute Netz der Strassen mit geringem Verkehr weist eine Länge von über 50 000 km auf. Dabei muss bei einem grossen Teil dieser Strassen der Oberbau bereits wieder verstärkt werden. Zurzeit werden pro Jahr über 1000 km Wald- und Güterstrassen gebaut. Dies entspricht einer Bausumme von über 200 Mio. Franken. Davon entfallen über 30 %, entsprechend etwa 70 Mio. Franken, auf den Oberbau. Angesichts der grossen Ausdehnung dieses Strassennetzes ist die Verfügbarkeit einer fundierten Methode für die Dimensionierung und Verstärkung von Strassen mit geringem Verkehr von grosser technischer und wirtschaftlicher Bedeutung.

Nachfolgend werden nur Methoden für die Dimensionierung und Verstärkung von Strassen mit flexiblem Oberbau besprochen. Beim starren Aufbau, also bei der Zementbetonplatte, muss keine eigentliche Dimensionierung vorgenommen werden, da die konstruktive Minimaldicke von rund 16 cm für geringen Verkehr immer genügend dimensioniert ist.

2. Ziel einer Dimensionierung

Das Ziel der Dimensionierung des Oberbaus einer Strasse (Neubau, Verstärkung) besteht darin, den Vertikalaufbau so zu bemessen, dass eine ausreichende Befahrbarkeit der Strasse während der gewählten Lebensdauer gewährleistet ist (Abbildung 1). Als Lebensdauer wird jene Zahl von Achs-

¹ Vortrag, gehalten am 15. Dezember 1980 im Rahmen der forst- und holzwirtschaftlichen Kolloquien an der ETH Zürich. Kurzfassung der Dissertation Nr. 6711, ETH Zürich, 1980.

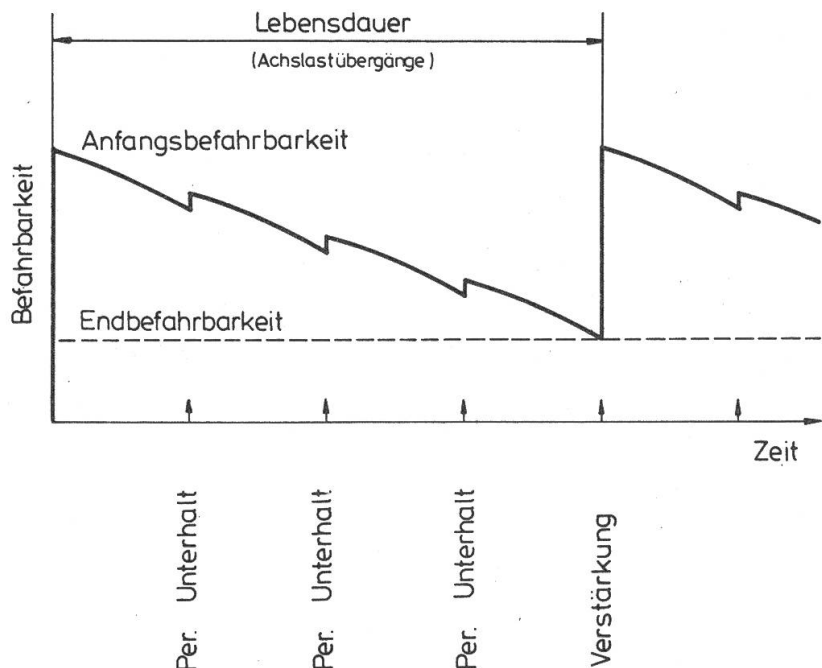


Abbildung 1.
Verlauf der
Befahrbarkeit
einer Strasse
(schematisch).

lastübergängen definiert, nach der die Strasse nicht mehr mit dem notwendigen Fahrkomfort befahrbar ist. In dieser Zeit wird die Endbefahrbarkeit erreicht, ohne dass dabei mehr als der laufende und periodische Unterhalt notwendig ist. Bei Erreichung der Endbefahrbarkeit ist die Strasse nicht zerstört, sie muss jedoch erneuert werden. Diese Erneuerung besteht in der Verstärkung des Oberbaus und der Wiederinstandstellung der Ebenheit der Fahrbahn.

Eine Dimensionierungsmethode soll die Möglichkeit bieten, unter möglichst umfassender Berücksichtigung aller Dimensionierungsfaktoren, wie Untergrund, Verkehr, Umgebungsbedingungen und Baustoffe, mehrere in bezug auf die Tragfähigkeit gleichwertige und somit vergleichbare Varianten zu bestimmen, aus welchen sodann die Auswahl nach wirtschaftlichen und technischen Kriterien erfolgt (Abbildung 2).

3. Dimensionierung neuer Strassen mit flexiblem Oberbau

Die dargestellte Dimensionierungsmethode für Strassen mit geringem Verkehr und flexiblem Oberbau berücksichtigt weitgehend die erwähnten Dimensionierungsfaktoren und basiert auf den Ergebnissen eines amerikanischen Grossversuchs, des AASHO-Strassentests (2).

Das wichtigste Ziel dieses Versuchs bestand in der Bestimmung der Beziehungen zwischen der Anzahl Achsdurchgänge verschiedener Grösse und Anordnung und dem Verhalten flexibler und starrer Oberbauten von verschiedener Dicke auf einem Untergrund von bekannten Eigenschaften. Dabei wurde zur Beurteilung des Verhaltens des Strassenoberbaus der neue Begriff

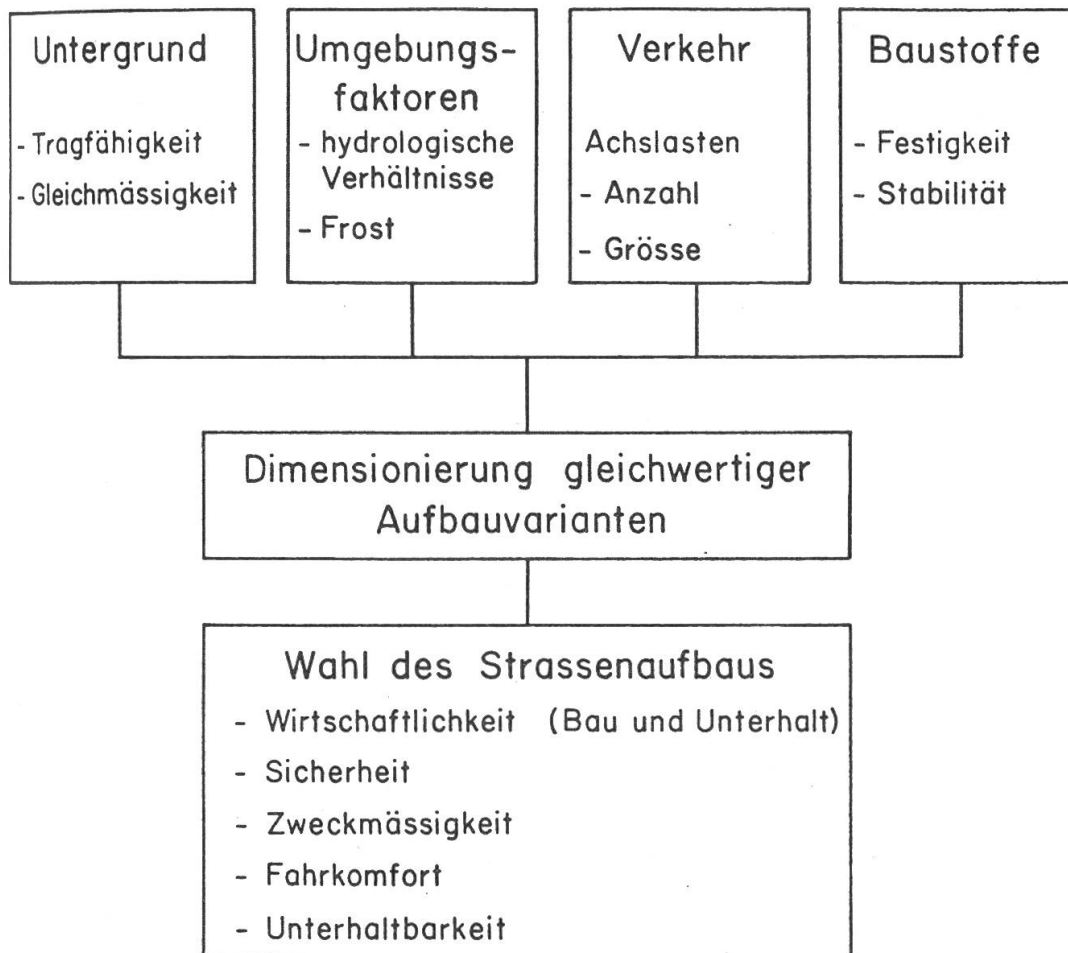


Abbildung 2. Schema der Oberbaudimensionierung (1).

der «Befahrbarkeit einer Strasse» eingeführt. Die Auswertung der Resultate des AASHO-Tests erlaubte auf statistischem Wege die Aufstellung empirischer Beziehungen zwischen der Befahrbarkeit, ausgedrückt als Befahrbarkeitsindex p , und den Faktoren Achslast, Lastanordnung, Anzahl der Achslastwechsel und der Stärke des Strassenoberbaus, ausgedrückt als Stärkenindex SN . Für den Befahrbarkeitsindex p von flexiblen Oberbauten hat nun die AASHO-Grundgleichung folgende Form:

$$p = 4,2 - 2,7 \cdot \left(\frac{W}{\varrho}\right)^\beta$$

p : Befahrbarkeitsindex

W : Anzahl Achslastwechsel

β und ϱ : Funktionen von:

— der Achslast

— der Lastanordnung

— des Stärkenindex SN

Ausgehend von der obigen Grundgleichung konnte durch:

- Festlegung der Endbefahrbarkeit ($p = 1,5$)
- Reduktion der Achslasten auf eine Normachslast (8,2 t)
- Einführung eines Regionalfaktors, der die Umgebungsbedingungen berücksichtigt
- Einführung einer Bodentragfähigkeitsskala

nachstehende Formel für die Dimensionierung von Strassen mit geringem Verkehr und flexiblem Oberbau hergeleitet werden:

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

Dimensionierungsformel für Strassen mit geringem Verkehr und flexiblem Oberbau.

Diese Dimensionierungsformel zur Ermittlung des Oberbaus einer Strasse enthält die folgenden Parameter:

- Untergrundtragfähigkeit als CBR-Wert
- Verkehr W in Normachslasten von 8,2 t
- Umgebungsbedingungen als Regionalfaktor R

Mit dieser Dimensionierungsformel wird die erforderliche Oberbaudicke als Stärkenindex bestimmt. Der Stärkenindex ist definiert als die Summe der Schichtdicken D in Zentimetern multipliziert mit den entsprechenden Tragfähigkeitskoeffizienten a der Baustoffe.

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

Die Tragfähigkeit einer Schicht ist also festgelegt als das Produkt von Schichtdicke D und dem Tragfähigkeitskoeffizienten a des Baustoffs. Diese lineare Form für den Stärkenindex hat den Vorteil, dass durch Variieren der Schichtdicken verschiedene gleichwertige Varianten mit gleichem Stärkenindex bestimmt werden können, wobei bestimmte minimale Schichtdicken eingehalten werden müssen.

Die Dimensionierungsformel kann auch in Form eines Nomogramms dargestellt werden (Abbildung 3).

4. Dimensionierungsparameter

Im folgenden wird auf die verschiedenen Dimensionierungsparameter sowie auf die Methoden für deren Bestimmung eingegangen.

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

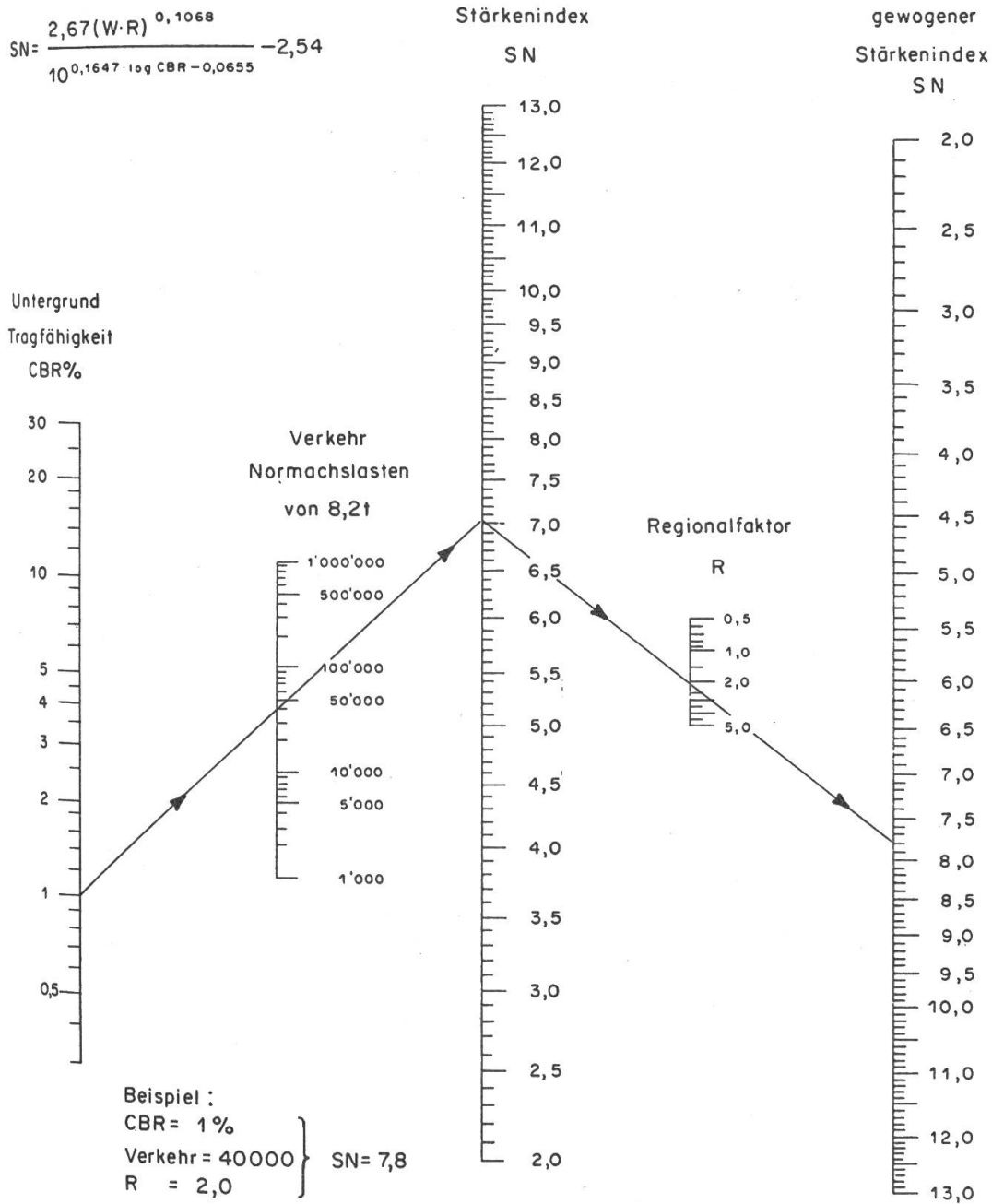


Abbildung 3. Dimensionierungsnomogramm für Strassen mit geringem Verkehr und flexiblem Oberbau, $p = 1,5$.

4.1 Untergrundtragfähigkeit

Die Untergrundtragfähigkeit wird in der Dimensionierungsformel bzw. im Dimensionierungsnomogramm für flexible Oberbauten als CBR-Wert eingegeben. Dabei wird der Mittelwert aus den örtlich streuenden CBR-Werten berücksichtigt, wobei die Ungleichmässigkeit in der Untergrundtragfähigkeit ein bestimmtes Mass (Variationskoeffizient $CV = 0,5$) nicht überschreiten darf.

Bei Strassen mit flexiblem Oberbau hat die Untergrundtragfähigkeit einen wesentlichen Einfluss auf den Stärkenindex und somit auf die Dicke des Oberbaus (Abbildung 4). Dies ist besonders ausgeprägt bei Böden mit schlechter Tragfähigkeit, d. h. mit einem CBR-Wert von weniger als 5 %. Für CBR-Werte über 10 % wirkt sich dagegen die Untergrundtragfähigkeit nur noch geringfügig auf den Stärkenindex aus. Daher ist vor allem bei schlechter Untergrundtragfähigkeit eine präzise Bestimmung des CBR-Wertes erforderlich.

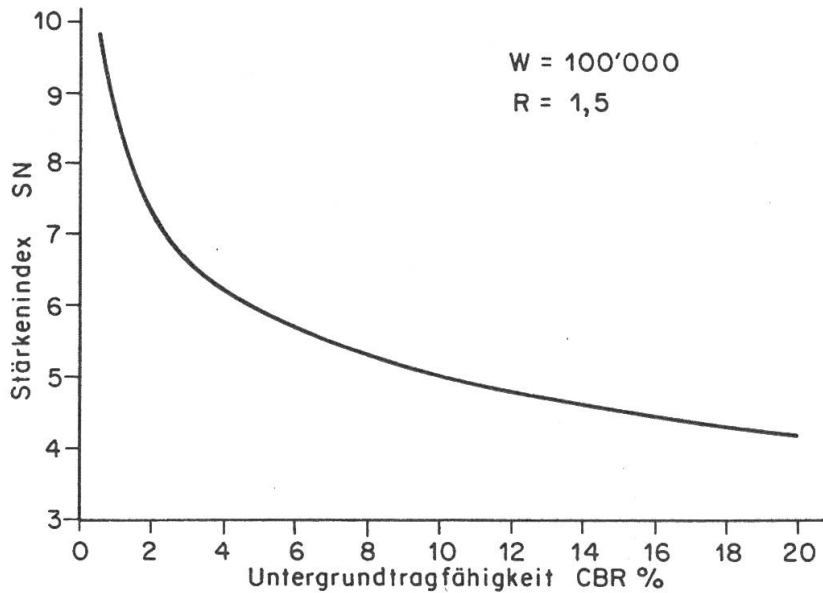


Abbildung 4.
Einfluss der Untergrundtragfähigkeit auf den Stärkenindex.

Die Messung des CBR-Wertes im Feld- oder Laborversuch (SNV 670 315 und 670 320a) ist zeit- und materialaufwendig und für die Baupraxis ungeeignet. Zur Messung oder Schätzung des CBR-Wertes stehen daher nur die folgenden praktikablen Möglichkeiten zur Verfügung:

- Die Messung des CBR-Wertes mit dem tragbaren Handpenetrometer: damit kann der CBR-Wert sehr schnell bestimmt werden. Die Methode ist jedoch nur für feinkörnige Böden mit einem CBR-Wert unter 15 % geeignet.
- Die Schätzung des CBR-Wertes aufgrund der Bodenklassifikation nach USCS: dieses Verfahren setzt aber eine grosse Erfahrung im Beurteilen der Böden voraus. Ferner ist die Schätzung des CBR-Wertes bei den feinkörnigen, schlecht tragfähigen Böden nicht genau, aber gerade hier ist der Einfluss der Untergrundtragfähigkeit auf den Stärkenindex am grössten.

Als praxistaugliches Verfahren zur Bestimmung der Untergrundtragfähigkeit wird das in Tabelle 1 dargestellte Verfahren vorgeschlagen. Es ist in Abhängigkeit der Untergrundverhältnisse angegeben. Der Untergrund wird je nach Bodentyp und Tragfähigkeit in drei Klassen unterteilt, wobei für jede Klasse ein gesondertes Vorgehen bei der Dimensionierung angegeben ist.

Tabelle 1. Bestimmung der Untergrundtragfähigkeit und des Vorgehens bei der Oberbaudimensionierung in Abhängigkeit der Untergrundverhältnisse.

Untergrund	Verfahren zur Ermittlung der Untergrundtragfähigkeit	Dimensionierung
feinkörnige Böden, Sande und Kiese mit viel Feinanteilen (USCS: CL, CH, ML, MH, OL, OH, SC—CL, SM—ML, GC—CL, GM—ML) CBR-Wert < 10 % (nicht oder kaum mit Lastwagen befahrbar)	Ermittlung des CBR-Wertes mit dem Farnell-Handpenetrometer	Bestimmung des Stärkenindex SN mit der Dimensionierungsformel bzw. dem Dimensionierungsnomogramm (Abb. 3)
Sande, Kiese mit viel Feinanteilen (USCS: SW, SP, SM, SC, GC—CL, GM—ML) 10 % < CBR-Wert < 20 % (mit Lastwagen befahrbar)	Ermittlung der elastischen Deflektion mit dem Benkelman-Balken	Vorgehen wie bei einer Oberbauverstärkung: Bestimmung von Δ SN mit dem Verstärkungsdiagramm für CBR = 10 %
Kiese mit wenig Feinanteilen (USCS: GW, GP, GC, GM) CBR-Wert > 20 %	Ermittlung der Untergrundtragfähigkeit nicht erforderlich	Wahl einer geeigneten Deckschicht

4.2 Verkehr

Der Oberbau einer Strasse wird für eine bestimmte Anzahl von Achslastübergängen, d. h. für einen bestimmten Dimensionierungszeitraum, dimensioniert. Dieser wird für Hauptverkehrsstrassen auf 20 Jahre festgelegt. Bei den Strassen mit geringem Verkehr, insbesondere den Wald- und Güterstrassen, kann der Dimensionierungszeitraum länger gewählt werden. Der Verkehr auf diesen Strassen setzt sich zur Hauptsache zusammen aus dem Baustellenverkehr sowie den Transporten für die Forst- und Landwirtschaft, welche sich langfristig nur wenig ändern und somit leicht vorausbestimmbare Grössen sind (gegebenes Strassennetz, gegebene Nutzung).

Für die Strassen mit geringem Verkehr wird darum ein Dimensionierungszeitraum von 40 Jahren vorgeschlagen. Diese Periode ist in erster Linie als Berechnungsgrösse anzusehen. Die Berechnungszeit spielt keine derart massgebende Rolle, weil der praktisch zeitunabhängige Baustellenverkehr zwischen 40 und 60 % des Gesamtverkehrs ausmacht; die Grösse des Stärkenindex und damit die Oberbaudicke wird vor allem durch den Baustellenverkehr bestimmt.

Für die Dimensionierung wird der voraussichtlich auftretende Verkehr in eine der schädigenden Wirkung entsprechende, gleichwertige Anzahl von

Durchgängen einer Normachslast von 8,2 t umgerechnet. Dieser Normachslast wird ein Lastäquivalenzfaktor bzw. Schadenfaktor von eins zugeordnet. Es zeigt sich, dass für eine Endbefahrbarkeit von $p = 1,5$ die Schadenwirkung der Achslasten ungefähr in der 4,5ten Potenz mit dem Gewicht der Achsen zunimmt. So hat eine Achslast von 10 t eine um mehr als zwanzigmal grössere Schadenwirkung auf den Strassenaufbau als jene von 5 t.

In Tabelle 2 sind die Lastäquivalenzfaktoren ausgewählter Fahrzeugtypen für Leer- und Lastfahrt, die Lastäquivalenzfaktoren pro Fahrt (Leer- und Lastfahrt) und pro Kubikmeter bzw. pro Tonne Nutzlast angegeben.

Tabelle 2. Lastäquivalenzfaktoren e ausgewählter Fahrzeugtypen.

Fahrzeugtyp		Lastäquivalenzfaktoren e			Nutzlast		
		Leer (L)	Beladen pro. (B)	pro m^3 Fahrt (L + B)	pro m^3 Nutz- last	t	m^3
Bautransport	3achsiger Lastwagen	0,09	2,54	2,63	0,38	14,0	7,0
	2achsiger Lastwagen						
	— schwer	0,09	3,17	3,26	0,82	8,0	4,0
	— mittel	0,01	0,38	0,39	0,16	5,0	2,5
	— leicht	0,002	0,06	0,06	0,04	3,5	1,7
Holztransport	Lastwagenzug mit Kran	0,24	3,67	3,91	0,20	15,0	19,5
	Langholzfahrzeug mit Kran	1,11	3,32	4,43	0,23	14,5	19,0
	3achsiger Lastwagen mit Kran	0,13	2,54	2,67	0,16	13,0	17,0
	2achsiger Lastwagen mit Kran	0,24	3,17	3,41	0,43	6,0	8,0
	Forsttraktor:						
	— sehr schwer	0,06					
	— schwer	0,01					
	— mittel	0,002					
— leicht	0,0005						
Landwirtschaftlicher Transport					pro t Nutz- last		
	Jauchewagen + Traktor	0,01	0,17	0,18	0,04	4,5	
	Miststreuer + Traktor	0,01	0,17	0,18	0,04	4,5	
	Ladewagen + Traktor	0,01	0,12	0,13	0,04	3,5	
	Selbstfahrladewagen	0,0009	0,01	0,01	0,01	2,0	
	Landwirtschaftstraktor:						
	— sehr schwer	0,008					
	— schwer	0,002					
— mittel	0,0005						
— leicht	0,00006						
	Reisecar	0,24	3,17				
	Landrover	0,002					
	Schwerer Personenwagen	0,0004					
	Leichter Personenwagen	0,00005					

Daraus gehen insbesondere die folgenden Tatsachen hervor:

- Die beladenen Fahrzeuge für Baustellen- und Holztransporte weisen hohe Lastäquivalenzfaktoren auf. Im Gegensatz dazu haben die beladenen landwirtschaftlichen Fahrzeuge bedeutend kleinere Lastäquivalenzfaktoren.
- Leere Fahrzeuge haben deutlich kleinere Lastäquivalenzfaktoren als die entsprechenden beladenen Fahrzeuge.
- Personenwagen, Landwirtschafts- und Forstraktoren haben vernachlässigbar kleine Lastäquivalenzfaktoren.
- Die Lastäquivalenzfaktoren pro Kubikmeter bzw. pro Tonne Nutzlast betragen:

Baustellentransport:	0,38—0,82
Holztransport:	0,16—0,43
landwirtschaftlicher Transport:	0,01—0,04

Diese Lastäquivalenzfaktoren zeigen, dass vor allem der Schwerverkehr für die Dimensionierung des Strassenoberbaus massgebend ist.

Auf Waldstrassen setzt sich der Schwerverkehr vorwiegend aus Baustellen- und Holztransporten zusammen. Zusätzliche Schwertransporte ergeben sich für Waldstrassen mit gleichzeitiger Verbindungsfunktion oder wenn sie als Zufahrt zu landwirtschaftlich genutzten Flächen, zu Alpen, Kiesgruben, Verbauungen usw. dienen. Die Verkehrsbelastung der Waldstrassen nimmt meistens mit zunehmender Entfernung vom übergeordneten Strassennetz ab, so dass bei gleichbleibender Untergrundtragfähigkeit die Oberbaudicke abnehmen kann (Abbildung 5). Die Güterstrassen werden wie die Waldstrassen am stärksten durch die Baustellen- und Bewirtschaftungstransporte belastet. Die Baustellentransporte liegen etwa in derselben Grössenordnung wie auf Waldstrassen. Das Volumen der Bewirtschaftungstransporte ist dagegen auf Güterstrassen mehr als zehnmals grösser als auf Waldstrassen.

Der Baustellenverkehr auf Waldstrassen umfasst im wesentlichen den Antransport von Oberbaumaterialien. Unter Berücksichtigung des Lastäquivalenzfaktors e pro m^3 zugeführter Baustoff ($e = 0,8$), des mittleren Baustoffbedarfs pro Laufmeter Strasse ($2,5 m^3/m'$) und der Strassenlänge L kann eine Näherungsformel für die Erfassung des Baustellenverkehrs W_B bestimmt werden. Diese Gleichung hat die folgende Form:

Baustellenverkehr

$$W_B = 2 \cdot L$$

L = Länge der Strasse bzw. des Strassennetzes in Metern.

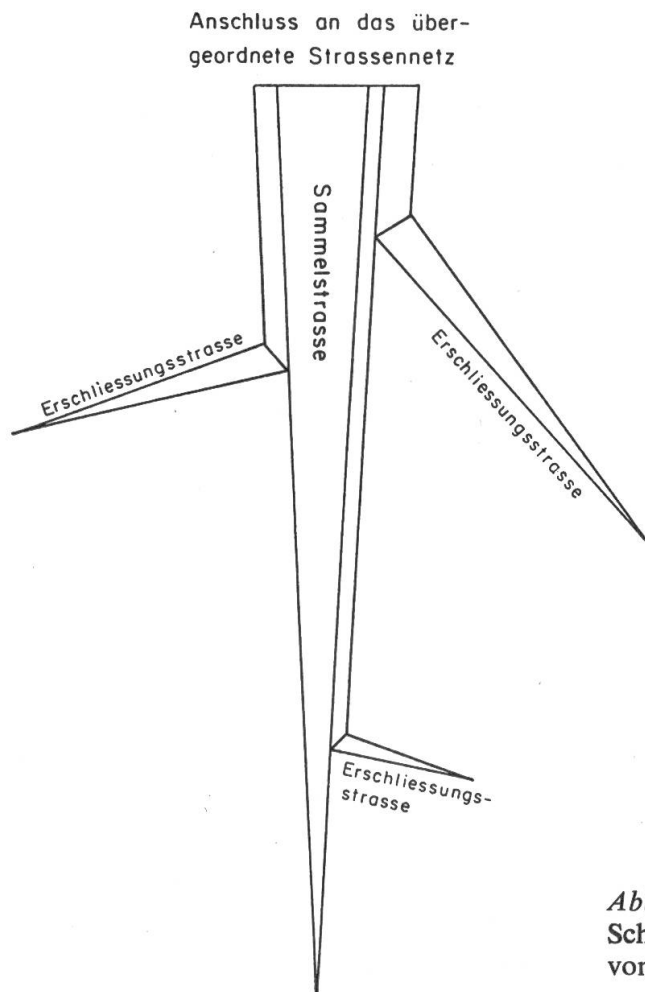


Abbildung 5.
Schema der Verkehrsbelastung
von Waldstrassen (3).

In gleicher Weise kann der Verkehr für den Abtransport des Holzes für die verschiedenen Regionen Jura, Mittelland, Voralpen und Alpen mit den beiden folgenden Näherungen angegeben werden:

Verkehr für den Holztransport

Jura
Mittelland: $W_H = 1 \cdot L$
Alpen
Voralpen: $W_H = 2 \cdot L$

Die Herleitung dieser beiden Näherungsformeln erfolgte unter Berücksichtigung des Lastäquivalenzfaktors e pro Kubikmeter abgeführtes Holz ($e = 0,2$), der jährlichen Holznutzung pro Hektar, der Strassendichte, des Dimensionierungszeitraums von 40 Jahren und der Strassenlänge L .

Bei Waldstrassen mit ausgesprochener Bewirtschaftungsfunktion (Erschliessungs- und Sammelstrassen) ergibt sich nun der Dimensionierungsverkehr W aus der Summe der Baustellen- und Holztransporte ($W_B + W_H$). Dabei kann er mit ausreichender Genauigkeit anhand der nachstehenden Näherungsformeln für die verschiedenen Produktionsregionen berechnet werden:

**Dimensionierungsverkehr
für Waldstrassen
mit vorwiegender
Bewirtschaftungsfunktion**

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

Unter Berücksichtigung der Strassenlänge können nun Richtwerte für den Dimensionierungsverkehr auf Waldstrassen angegeben werden (Tabelle 3).

Tabelle 3. Richtwerte für den Dimensionierungsverkehr W für Waldstrassen (Dimensionierungszeitraum: 40 Jahre).

<i>Strassentyp</i>	<i>Normachslasten von 8,2 t</i>
Erschliessungsstrassen	
– Strassenlänge bis 1,5 km	5 000
– Strassenlänge 1,5–3,0 km	5 000— 10 000
Sammelstrassen	
– kleines Einzugsgebiet: 3–6 km Strassen	10 000— 20 000
– mittleres Einzugsgebiet: 6–12 km Strassen	20 000— 40 000
– grosses Einzugsgebiet: 12–18 km Strassen	40 000— 60 000
Verbindungsstrassen	100 000—200 000

Ähnliche Formeln können für den Verkehr auf Güterstrassen angegeben werden. Er verhält sich wie folgt:

Baustellenverkehr: $W_B = 2 \cdot L$

Bewirtschaftungsverkehr: $W_L = 3 \cdot L$

Dimensionierungsverkehr für
Güterstrassen mit vorwiegender
Bewirtschaftungsfunktion

$W = 5 \cdot L$

Für den Dimensionierungsverkehr der verschiedenen Güterstrassen können somit Richtwerte angegeben werden (Tabelle 4):

Tabelle 4. Richtwerte für den Dimensionierungsverkehr für Güterstrassen (Dimensionierungszeitraum: 40 Jahre).

Strassentyp	Normachslast von 8,2 t
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

Betrachtet man den Einfluss des Verkehrs auf den Stärkenindex (Abbildung 6), so zeigt es sich, dass eine Erhöhung des Verkehrs um weniger als 50 % nur eine geringfügige Veränderung des Stärkenindex bewirkt. Erst bei einer Verdoppelung des Verkehrs wird der Stärkenindex wesentlich erhöht. Es ist also bei der Oberbaudimensionierung nicht zweckmässig, eine Strasse in kurze Abschnitte zu unterteilen.

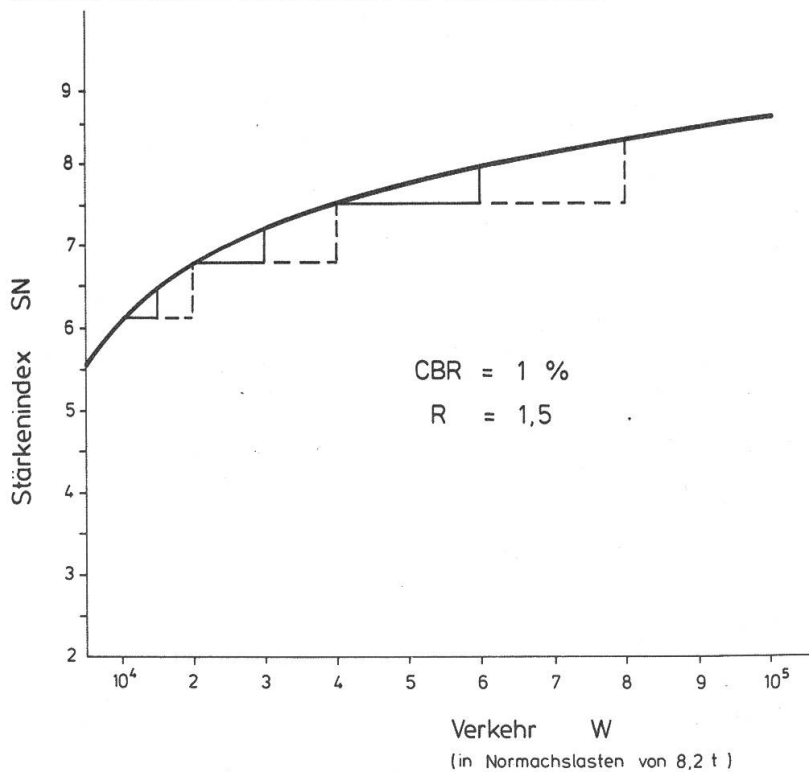


Abbildung 6.
Einfluss des Verkehrs auf den Stärkenindex.

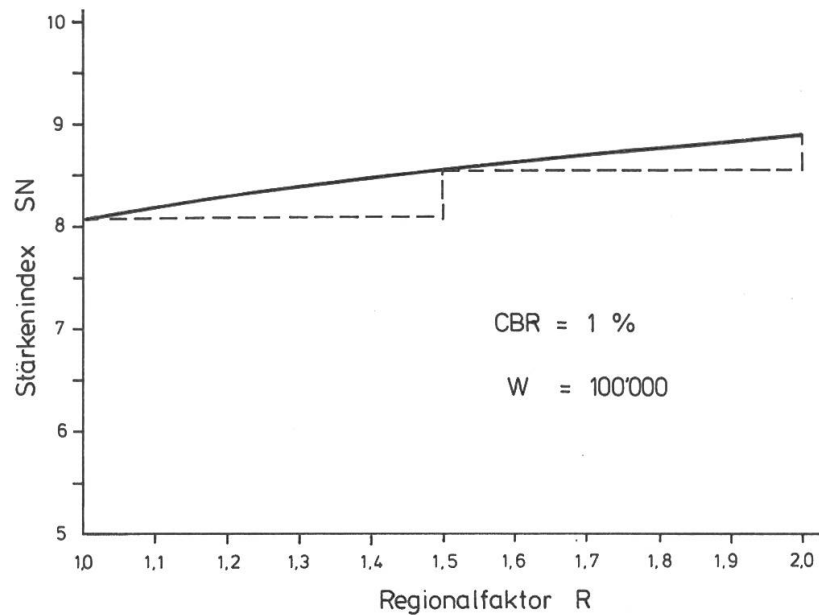


Abbildung 7.
Einfluss des
Regionalfaktors auf
den Stärkenindex.

4.3 Umgebungsbedingungen (Regionalfaktor R)

Die Umgebungsbedingungen werden in der Dimensionierungsformel und im Dimensionierungsnomogramm durch den Regionalfaktor R berücksichtigt. Dieser Faktor stellt eine umfassende Gewichtsfunktion dar, welche die jahreszeitlichen Tragfähigkeitsänderungen des Strassenaufbaus erfasst. Aufgrund der vorliegenden Untersuchungen dürfte der Regionalfaktor für den grössten Teil der Schweiz zwischen 1,0 und 2,0 liegen. Bei Strassen mit geringem Verkehr ist jedoch der Einfluss dieses Faktors auf den Stärkenindex gering (Abbildung 7), so dass eine Schätzung des Regionalfaktors für praktische Zwecke ausreicht. Eine einfache Abstufung kann etwa über die Höhe über Meer nach Tabelle 5 vorgenommen werden.

Tabelle 5. Vorschlag für den Regionalfaktor in der Schweiz.

günstige Umgebungsbedingungen Höhenlage unter 400 m ü. M.	R = 1,0
normale Umgebungsbedingungen Höhenlage 400 bis 800 m ü. M.	R = 1,5
ungünstige Umgebungsbedingungen Höhenlagen über 800 m ü. M.	R = 2,0

4.4 Tragfähigkeitskoeffizienten (a-Werte) der Baustoffe

Damit der Stärkenindex SN in die effektive Oberbaudicke umgerechnet werden kann, muss jedem Oberbaumaterial ein Tragfähigkeitskoeffizient (a-Wert) zugeordnet werden. Diese Tragfähigkeitskoeffizienten sind ein Mass für die relative Tragfähigkeit der Baustoffe. Ihre Grösse hängt von den Festigkeits- und Stabilitätseigenschaften der Materialien ab. Die Werte der Tabelle 6 wurden im Rahmen des AASHO-Strassentests ermittelt.

Tabelle 6. Tragfähigkeitskoeffizienten der gebräuchlichen Baustoffe.

Baustoffe		Tragfähigkeitskoeffizient (a-Wert)
Belag hoher Stabilität	MS 900 kg	0,44 *
Belag kleiner Stabilität	MS 230—450 kg	0,20
Sandasphalt	MS 450—500 kg	0,40
HMT B	MS > 450 kg	0,40
HMT A	MS > 250 kg	0,34
Bituminöse Stabilisierung	MS etwa 200 kg	0,23
Stabilisierung mit Zement:	— $dc_7 > 50 \text{ kg/cm}^2$	0,23
	— $dc_7 30\text{—}50 \text{ kg/cm}^2$	0,20
	— $dc_7 < 30 \text{ kg/cm}^2$	0,15
Stabilisierung mit Kalk		0,1—0,2
Gebrochenes Material	CBR 105—110 %	0,14 *
Kies—Sand I (rund)	CBR > 80 %	0,11 *
Kies—Sand II (rund)	CBR 20—30 %	0,07

* Direkte Bestimmung aus dem AASHO-Test

Bezeichnungen: MS: Marschallstabilität
 dc_7 : 7-Tage-Druckfestigkeit
 CBR: Labor CBR %

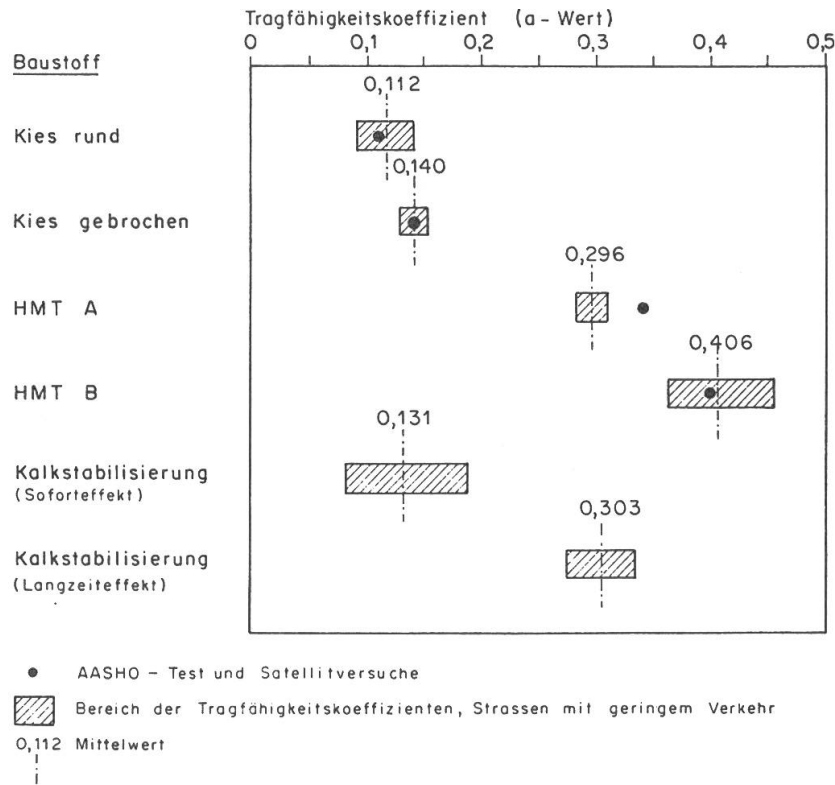
Die Überprüfung der Tragfähigkeitskoeffizienten der gebräuchlichsten Materialien führte zu den folgenden Ergebnissen (Abbildung 8):

- Die mittleren Tragfähigkeitskoeffizienten für Rundkies und Kies gebrochen stimmen gut mit denjenigen des AASHO-Strassentestes überein. Beim Rundkies konnte jedoch kein signifikanter Unterschied im Tragfähigkeitskoeffizient zwischen den verschiedenen Kiestypen festgestellt werden.
- Der mittlere Tragfähigkeitskoeffizient der HMT A liegt mit 0,30 etwa 10 % tiefer als nach AASHO.
- Der mittlere Tragfähigkeitskoeffizient der HMT B stimmt gut mit demjenigen nach AASHO überein.
- Nach Erreichung des Langzeiteffekts weist die Stabilisierung mit Kalk bedeutend höhere Tragfähigkeitskoeffizienten auf als kurz nach dem Einbau. Bei der Oberbaudimensionierung sollte allerdings für die Stabilisierung mit Kalk der Koeffizient ($a = 0,13$) nach Erreichung des Soforteffekts berücksichtigt werden (Baustellenverkehr).

5. Beispiel einer Oberbaudimensionierung

Mit den besprochenen Grundlagen ist die Dimensionierung von Strassen mit geringem Verkehr unter richtiger Berücksichtigung der massgebenden Parameter sehr einfach möglich. Im folgenden wird die Dimensionierung des

Abbildung 8.
Bereich der
Tragfähigkeits-
koeffizienten,
Strassen mit
geringem Verkehr.



Oberbaus am Beispiel einer 10 km langen Waldstrasse in den Voralpen dargestellt. Die Dimensionierungsgrundlagen für dieses Beispiel sind in Abbildung 9 angegeben. Daraus geht hervor, dass für die Oberbaudimensionierung diese Strasse infolge der unterschiedlichen Verkehrsbelastung in vier Abschnitte zu unterteilen ist.

Für den Oberbau des Abschnittes I ergibt sich mit den Dimensionierungsparametern:

- Untergrundtragfähigkeit 1 % CBR
- Verkehr W 40 000 Normachslasten
- Regionalfaktor R 2,0

und mit der Dimensionierungsgleichung oder dem Dimensionierungsnomogramm ein erforderlicher Stärkeindex von:

$$SN = 7,8$$

In Abbildung 10 sind für den Oberbau dieses Strassenabschnittes vier gleichwertige Varianten angegeben, welche den erforderlichen Stärkenindex von $SN = 7,8$ erfüllen.

Zu diesen Varianten ist zu bemerken:

- Für die Aufnahme des Baustellenverkehrs ist auf jeden Fall ein minimaler Kiesoberbau (Kies und eventuell Stabilisierung mit Kalk) notwendig. Dieser wurde unter der Annahme bestimmt, dass diese Strasse in Abschnitten von etwa 1,5 km gebaut wird, wofür jeweils ein Baustellenverkehr von zirka 3000 Normachslasten notwendig ist.

Neigung der Strasse	: 10%	}	=>	bituminöse
Niederschläge	: hoch			Deckschicht
Höhenlage	: über 800 m ü.M.		=>	R = 2.0
Untergrund	: Flysch, feinkörnig		=>	CBR = 1%
Verkehr	: Voralpen		=>	W = 4 · L
	Strassenlänge 10 km			(L in Metern)

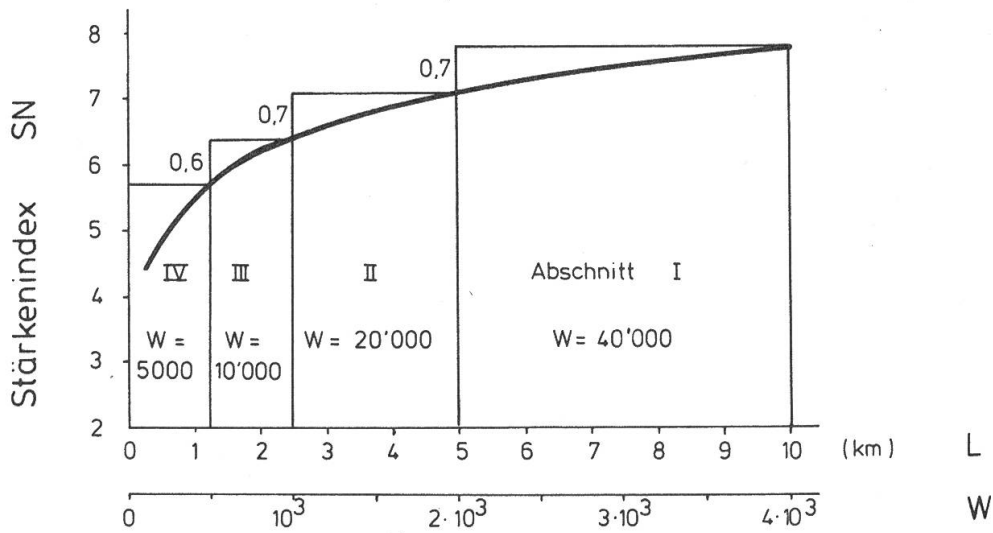
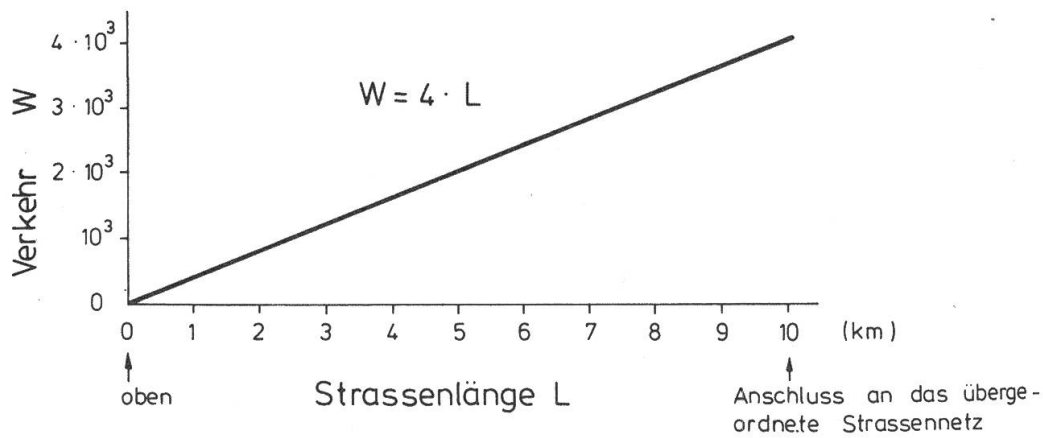


Abbildung 9. Dimensionierungsbeispiel: Grundlagen.

		<u>Dicke</u>	<u>a-Wert</u>	<u>SN</u>
Variante I				
	Cutbackbelag	5 cm	-	-
	Kies rund	70 cm	0,11	7,7
	Vliesmatte oder Kalkbehandlung	75 cm		7,7
Variante II				
	Cutbackbelag	5 cm	-	-
	Kies rund	55 cm	0,11	6,0
	Kalkstabilisierung	<u>15 cm</u> 75 cm	<u>0,13</u>	<u>1,9</u> 7,9
Variante III				
	HMT A 25 + OB	7 cm	0,30	2,1
	Kies rund	50 cm	0,11	5,5
	Vliesmatte oder Kalkbehandlung	57 cm		7,6
Variante IV				
	HMT A 25 + OB	7 cm	0,30	2,1
	Kies rund	35 cm	0,11	3,9
	Kalkstabilisierung	<u>15 cm</u> 57 cm	0,13	<u>1,9</u> 7,9

Abbildung 10. Dimensionierungsbeispiel: Oberbauvarianten (CBR = 1 %, W = 40000, R = 2,0).

- Bei einer Untergrundtragfähigkeit von 1 % CBR kann in den Varianten I und III die Kiesschicht nicht sauber eingebracht und gut verdichtet werden. Um einen Mehrverbrauch an Kies zu vermeiden, sind zusätzliche Massnahmen erforderlich, wie z. B. Behandlung des Untergrundes mit Kalk als Bauhilfsmassnahme, Einbringen einer Vliesmatte usw.
- Von diesen gleichwertigen Varianten sollte schliesslich diejenige zur Ausführung gelangen, welche dem Kriterium der minimalen Summe aus Bau- und kapitalisierten Unterhaltskosten und weiteren Gesichtspunkten, wie Schadenwirkung auf den Zufahrtsstrassen, Verfügbarkeit der Baustoffe, Verhalten gleicher Oberbautypen in der Gegend, Bauvorgang usw., Rechnung trägt.

6. Verstärkung bestehender Strassen mit flexiblem Oberbau

6.1 Einleitung

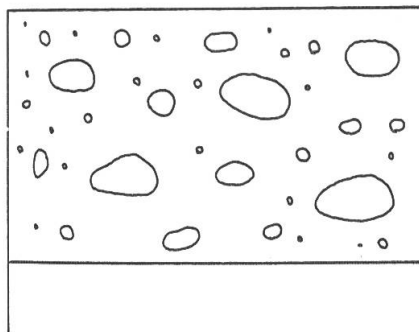
Bei der besprochenen Dimensionierungsmethode wird eine Strasse für eine bestimmte Anzahl von Achslastübergängen dimensioniert. Nach Ablauf dieses Verkehrs ist die Strasse aber nicht zerstört. Lediglich der Befahrbarkeitsindex p ist unter den zulässigen Wert gesunken. Die Strasse kann nicht mehr mit genügender Sicherheit und dem notwendigen Fahrkomfort befahren werden. Die Befahrbarkeit der Strasse muss daher durch eine Verstärkung des Oberbaus verbessert werden.

Zur Ermittlung der erforderlichen Verstärkung sind zwei Methoden verfügbar, deren Tauglichkeit in zehnjähriger praktischer Tätigkeit bestätigt wurde. Für die Bestimmung der Verstärkung werden in der Regel beide Methoden angewandt, wobei beide zu vergleichbaren Resultaten führen.

6.2 Bestimmung der notwendigen Verstärkung nach der Stärkenindexmethode

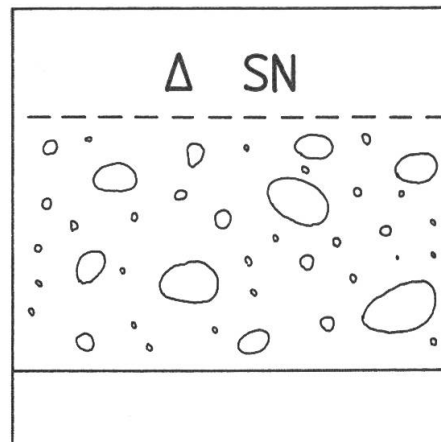
Die zu verstärkende Strasse wird bei dieser Methode wie ein Neubau behandelt. Mit den Dimensionierungsfaktoren Untergrundtragfähigkeit, Verkehr und Regionalfaktor wird der Stärkenindex des Sollaufbaus (SN_1) bestimmt, wofür die Dimensionierungsformel oder das Nomogramm verwendet werden kann. Dann wird der Stärkenindex des vorhandenen Oberbaus (SN_0) bestimmt, wobei die vorhandenen Oberbauschichten und Baustoffe entsprechend ihrer Tragfähigkeit berücksichtigt werden. Die Differenz (ΔSN) zwischen dem Stärkenindex des Sollaufbaus und demjenigen des bestehenden Oberbaus ergibt den Stärkenindex für die erforderliche Verstärkung ($\Delta SN = SN_1 - SN_0$) (Abbildung 11).

$$\Delta SN = SN_1 - SN_0$$



vorhandener Aufbau

$$SN_0 = \sum a_i D_i$$



Sollaufbau

$$SN_1 = f(CBR, W, R)$$

Abbildung 11. Verstärkung einer Strasse nach der Stärkenindexmethode (schematisch).

Die Ermittlung der Untergrundtragfähigkeit und der vorhandenen Schichtdicken erfolgt in systematisch angeordneten Sondierschlitzten quer zur Strassenachse. Bei Anordnung einer genügenden Zahl derartiger Schlitzte können die Messwerte statistisch ausgewertet werden (Mittelwert, Streuung, Variationskoeffizient).

6.3 Bestimmung der notwendigen Verstärkung nach der Deflektionsmethode

Bei dieser Methode wird die Deflektion der zu verstärkenden Strasse unter einer normierten Radlast von 5 t in regelmässigen Abständen mit dem Benkelman-Balken gemessen (Abbildung 12).

Das Ziel der Deflektionsmethode besteht nun darin, jene Schichtdicke zu bestimmen, welche die vorhandene unzulässig grosse Deflektion auf den zulässigen Wert reduziert (Abbildung 13).

Aus wirtschaftlichen Gründen kann die Verstärkung nicht auf die grösste Deflektion dimensioniert werden. Als massgebend wird die 90-Prozent-Grenze betrachtet, d. h. jene Grenze, unterhalb welcher 90 % aller Werte liegen. Dieser Grenzwert wird als massgebende Deflektion d_m bezeichnet ($d_m = \bar{d} + 1,3 \sigma$, \bar{d} : mittlere Deflektion, σ : Standardabweichung).

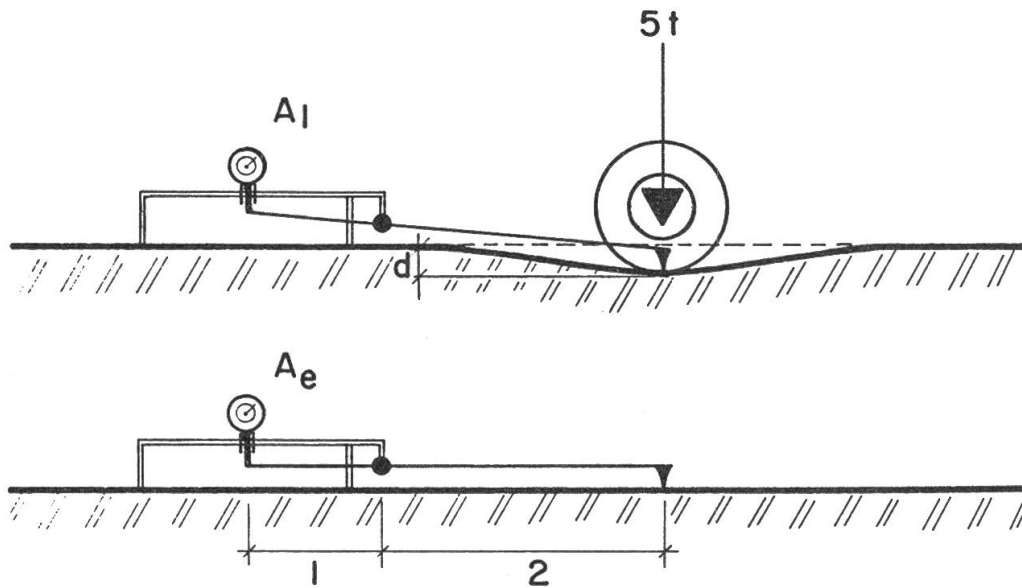


Abbildung 12. Prinzip der Deflektionsmessung.

Um die Deflektionsmethode anwenden zu können, wird nun im weiteren auf die folgenden Problemkreise näher eingegangen:

- die Deflektion in Abhängigkeit des Stärkenindex und der Bodentragfähigkeit,

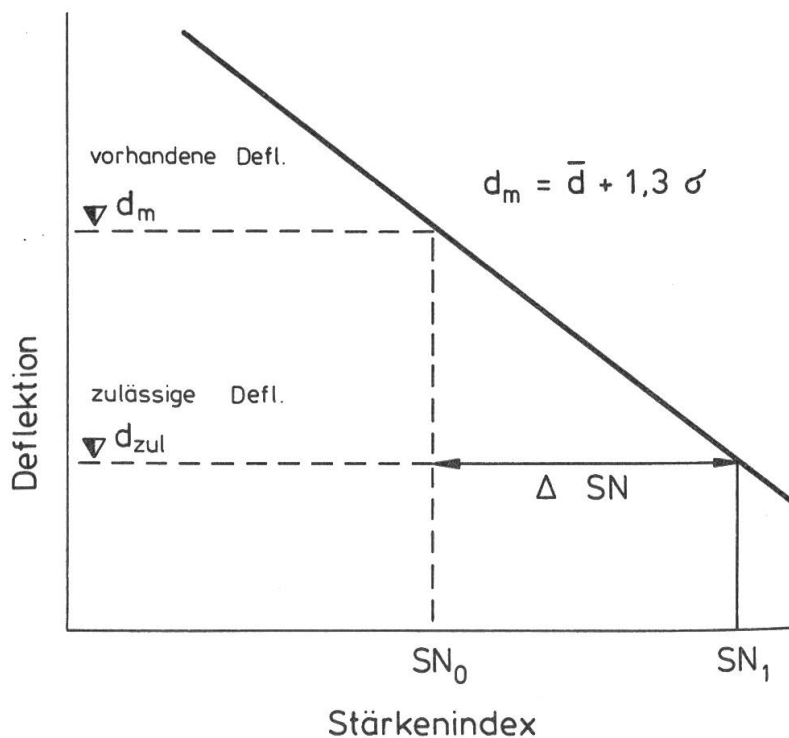


Abbildung 13. Verstärkung einer Strasse nach der Deflektionsmethode (schematisch)

- die zulässige Deflektion für verschiedene Verkehrsbelastungen,
- die Bestimmung des Stärkenindexes ΔSN der Verstärkung nach der Deflektionsmethode.

6.3.1 Die Deflektion in Funktion des Stärkenindexes und der Untergrundtragfähigkeit

Aufgrund von Messungen auf über 100 km Strassen konnte eine statistisch gut gesicherte empirische Beziehung gefunden werden, welche die massgebende Deflektion ($d_m = \bar{d} + 1,3\sigma$) in Funktion des Stärkenindexes und der Bodentragfähigkeit angibt. Diese Beziehung hat die folgende Form:

$$d_m = 1580 [(SN + 2.54) \cdot 10^{0.1647 \log CBR - 0.0655 - 2.54}]^{-1.195}$$

Diese Gleichung bildet die Grundlage für die Berechnung der zulässigen Deflektion und für die Ermittlung der Verstärkung von bestehenden Strassen. In Abbildung 14 ist diese Gleichung für verschiedene Werte der Untergrundtragfähigkeit dargestellt. Aus dieser Darstellung kann folgendes entnommen werden:

- Bei gegebenem Stärkenindex nimmt die Deflektion mit abnehmender Untergrundtragfähigkeit sehr stark zu, d. h. die Grösse der Deflektion ist stark von der Untergrundtragfähigkeit abhängig.
- Im Bereich kleiner Untergrundtragfähigkeiten und kleiner Stärkenindizes bewirkt eine geringe Erhöhung des Stärkenindexes eine sehr starke Verkleinerung der Deflektion. Bei hoher Tragfähigkeit und grossem Stärkenindex sind diese Veränderungen wesentlich kleiner. So wird z. B. bei einer Untergrundtragfähigkeit von 0,5 % CBR durch eine Erhöhung der Kiesdicke von 30 cm auf 40 cm die Deflektion um etwa 2,5 mm reduziert; bei einer Tragfähigkeit von 10 % CBR dagegen wird durch eine Erhöhung der Kiesdicke von 40 cm auf 50 cm die Deflektion nur noch um 0,4 mm verkleinert.

6.3.2 Zulässige Deflektionswerte für Strassen mit geringem Verkehr

Die Grösse der elastischen Deflektion ist ein Mass für die Lebensdauer einer Strasse. Für einen bestimmten Dimensionierungsverkehr ergibt sich damit eine maximal zulässige Deflektion. Durch Kombination der Dimensionierungsformel und der Formel für die massgebende Deflektion kann die zulässige Deflektion in Funktion des Verkehrs und des Regionalfaktors angegeben werden:

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

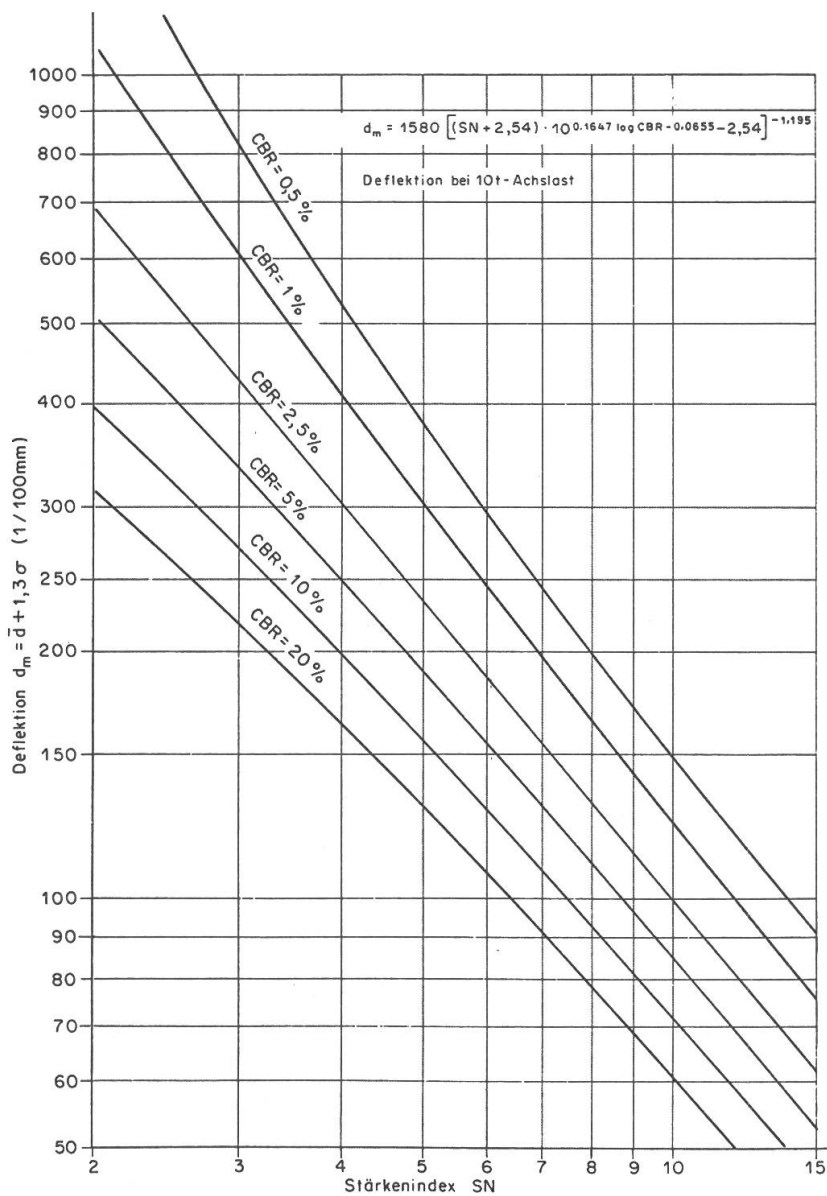


Abbildung 14.
 Massgebende
 Deflektion
 $d_m = d + 1,3\sigma$
 in Funktion des
 Stärkenindex und
 der Untergrund-
 tragfähigkeit,
 Strassen mit
 geringem Verkehr.

In Tabelle 7 sind für verschiedene Strassentypen die mit dieser Gleichung berechneten zulässigen Deflektionen angegeben.

Tabelle 7. Zulässige Deflektionen für verschiedene Strassentypen.

Strassentyp	Zulässige Deflektion d_{zul} (1/100 mm)
Erschliessungsstrassen	230—300
Sammelstrassen	160—230
Verbindungsstrassen	130—160
Hauptverkehrsstrassen	60—80

6.3.3 Bestimmung des Stärkenindexes ΔSN der Verstärkung nach der Deflektionsmethode

Wie bei der Stärkenindexmethode wird auch bei der Deflektionsmethode die erforderliche Verstärkung ΔSN aus der Differenz zwischen dem Stärkenindex des Solloberbaus (SN_1) und demjenigen des vorhandenen Oberbaus (SN_0) gebildet, also:

$$\Delta SN = SN_1 - SN_0$$

Der Stärkenindex SN_1 des Solloberbaus wird mit der Dimensionierungsformel berechnet:

$$SN_1 = \frac{2.67 (W \cdot R)^{0.1068}}{10^{0.1647 \cdot \log CBR - 0.0655}} - 2.54$$

Der Stärkenindex SN_0 des vorhandenen Oberbaus wird aufgrund seiner Deflektion nach der folgenden Formel bestimmt, welche aus der Gleichung für die massgebende Deflektion erhalten wird:

$$SN_0 = \frac{474.94 \cdot d_m^{-0.8368} + 2.54}{10^{0.1647 \cdot \log CBR - 0.0655}} - 2.54$$

Durch Subtraktion dieser beiden Gleichungen ergibt sich für die Ermittlung des Stärkenindexes ΔSN der erforderlichen Verstärkung folgende Formel:

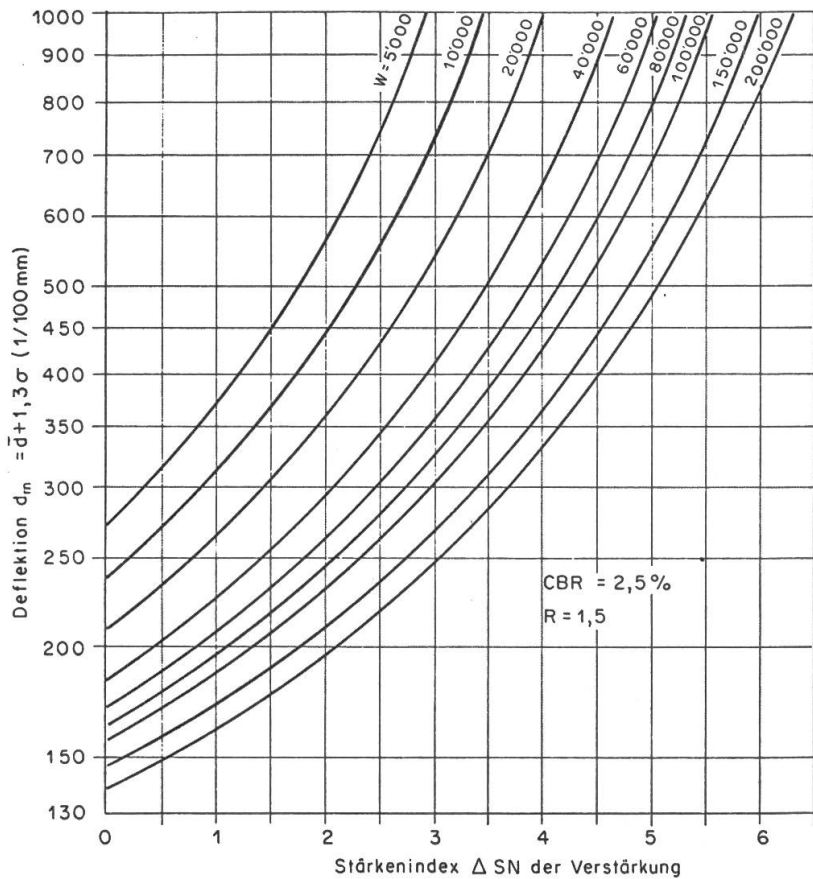
$$\Delta SN = \frac{2.67 (W \cdot R)^{0.1068} - 474.94 \cdot d_m^{-0.8368} - 2.54}{10^{0.1647 \cdot \log CBR - 0.0655}}$$

Verstärkungsformel

Mit dieser Gleichung kann der Stärkenindex ΔSN der erforderlichen Verstärkung in Funktion der massgebenden Deflektion d_m ($1/100$ mm), des Gesamtverkehrs W , des Regionalfaktors R und der Untergrundtragfähigkeit CBR % direkt berechnet werden. Diese Gleichung kann auch in Form von Diagrammen dargestellt werden (z. B. Abbildung 15).

6.4 Beispiel einer Verstärkung

Im folgenden wird die Bestimmung einer Verstärkung am Beispiel der Kautrasse im Kanton Appenzell-Innerrhoden dargestellt. Es handelt sich um eine Verbindungsstrasse, die zusätzlich der Forst- und Landwirtschaft dient.



Korrekturwerte für $R \neq 1.5$

$R = 1.0$	$R = 2.0$
$\Delta SN - 0.40$	$\Delta SN + 0.30$

Abbildung 15.
Stärkenindex ΔSN
der Verstärkung
in Funktion der
massgebenden
Deflektion d_m
und des
Gesamtverkehrs W ,
Regionalfaktor
 $R = 1,5$, Unter-
grundtragfähigkeit
 $CBR = 2,5\%$.

6.4.1 Stärkenindexmethode

Bestimmung des Sollaufbaus SN_1

- Untergrundtragfähigkeit $CBR = 2,5\%$
- Verkehr $W = 100\ 000$ Normachslasten
- Regionalfaktor (Höhenlage über 800 m ü. M.) $R = 2,0$

Nach der Dimensionierungsformel bzw. dem Dimensionierungsnomogramm ergibt sich mit diesen Eingangsgrößen für den Sollaufbau folgender Stärkenindex:

$$SN_1 = 7,3$$

Vorhandener Aufbau SN_0

$$\left. \begin{array}{l} 5 \text{ cm Schottertrankung (Zustand schlecht)} \\ 25 \text{ cm Kies} \\ 10 \text{ cm Steinbett} \end{array} \right\} a \cdot D = 0,11 \cdot 40 = 4,4$$

$$SN_0 = 4,4$$

Bestimmung des Stärkenindex ΔSN der erforderlichen Verstärkung

Sollaufbau	SN_1	=	7,3
Vorhandener Aufbau	SN_0	=	4,4
Verstärkung	<u>ΔSN</u>	=	<u>2,9</u>

6.4.2 Deflektionsmethode

Mit der Beziehung zur Ermittlung der zulässigen Deflektion ergibt sich für einen Dimensionierungsverkehr von $W = 100\,000$ und für einen Regionalfaktor von $R = 2,0$ eine zulässige Deflektion von:

$$d_{zul} = 150^{1/100} \text{ mm}$$

Die Deflektionsmessungen mit dem Benkelman-Balken auf der bestehenden Strasse (Abb. 16) ergaben die folgenden Resultate:

Mittelwert	\bar{d}	=	188 ¹ / ₁₀₀ mm
Streuung	σ	=	56 ¹ / ₁₀₀ mm
Variationskoeffizient	CV	=	0,30
massgebende Deflektion (90 %-Grenze)	$\bar{d} + 1,3 \sigma$	=	261 ¹ / ₁₀₀ mm
zulässige Deflektion	d_{zul}	=	150 ¹ / ₁₀₀ mm

Es ist nun jene Verstärkung zu bestimmen, welche die vorhandene massgebende Deflektion von 261¹/₁₀₀ mm auf den zulässigen Wert von 150¹/₁₀₀ mm reduziert. Die erforderliche Verstärkung, ausgedrückt als Stärkenindex, kann mit der Verstarkungsformel oder mit dem Verstarkungsdiagramm für einen CBR-Wert von 2,5 % (Abb. 15) bestimmt werden. Daraus ergibt sich der folgende zusätzliche Stärkenindex:

$$\Delta SN = 2,8 \quad (\text{Stärkenindexmethode: } \Delta SN = 2,9).$$

6.4.3 Vorschläge für die Verstärkung

Für den Ausbau der Kaustrasse wurden die zwei folgenden Varianten vorgeschlagen:

Variante	I	II	a-Wert
HMT A + OB	9 cm	—	0,3
HMT B + OB	—	7 cm	0,4
Δ SN (Verstärkung)	2,7	2,8	—

Zur Ausführung gelangte eine 9 cm dicke HMT B. Die verstärkte Strasse weist nun folgenden Oberbau auf:

Schicht	Dicke	SN	
HMT B	9 cm	3,6	Verstärkung
Schottertränkung	5 cm		
Kies	25 cm	4,4	alter Oberbau
Steinbett	10 cm		
Total	49 cm	8,0	

Zur Überprüfung der durchgeführten Verstärkung wurden auf der ausgebauten Strasse wiederum Deflektionsmessungen durchgeführt. Die Resultate dieser Messungen und diejenigen auf der nicht verstärkten Strasse sind in Abbildung 16 dargestellt. Diese Messungen zeigen, dass die Deflektionswerte auf der verstärkten Strasse im erwarteten Rahmen liegen. Die angewandten Methoden erwiesen sich somit als brauchbar und richtig.

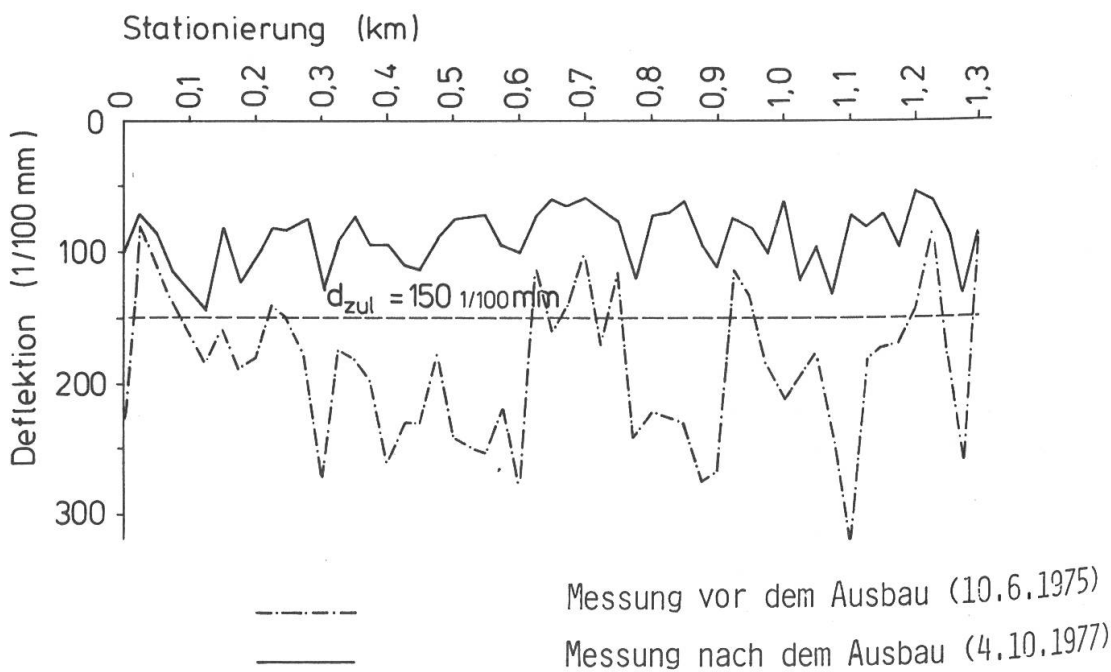


Abbildung 16. Deflektionsmessungen: Kaustrasse.

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

7. Ausblick

Mit diesen Ausführungen wird gezeigt, dass für die Dimensionierung und Verstärkung von Strassen mit geringem Verkehr und flexiblem Oberbau gut gesicherte und leicht anwendbare Methoden vorhanden sind. Diese Methoden erlauben unter weitgehender Berücksichtigung der massgebenden Dimensionierungsparameter, wie Untergrundtragfähigkeit, Verkehr, Umgebungsbedingungen und Baustoffe, die Bestimmung in bezug auf die Tragfähigkeit und Lebensdauer gleichwertiger Oberbauvarianten. Die massgebenden Dimensionierungsparameter können mit einfachen Messungen und Faustformeln bestimmt werden. Die Formeln für die Bestimmung des Stärkenindex (Neubau und Verstärkung) mit ihren mehrstelligen Exponenten sind nur scheinbar kompliziert. Ihre Form ist aber nur die Folge statistischer Zusammenhänge. Durch die Verwendung der Diagramme oder von elektronischen Kleinrechnern werden sie auch für den Praktiker mit Leichtigkeit benutzbar. Damit liefern diese Methoden auch dem Praktiker ein brauchbares und einfaches Arbeitsinstrument für die Dimensionierung und Verstärkung von Strassen mit geringem Verkehr und flexiblem Oberbau.

Résumé

Dimensionnement et renforcement de routes à faible trafic et à superstructure flexible

Le coût de la superstructure des routes à faible trafic revient à plus du 30 % du coût total de la construction de ces routes. En considération de la grande extension de ce réseau de routes, une méthode appropriée pour le dimensionnement et le renforcement de la superstructure est d'une grande importance technique et économique.

La superstructure d'une route est dimensionnée pour une certaine durée d'utilisation, c'est-à-dire pour un certain nombre de passages de charges d'essieux. Après avoir subi ce trafic, la chaussée doit être améliorée par un renforcement de la superstructure.

En tenant compte de l'équation de base de l'essai AASHO, une formule ainsi qu'un nomogramme ont pu être établis pour le dimensionnement de nouvelles routes à faible trafic et à superstructure flexible. Ils contiennent les paramètres suivants:

- la portance du terrain, exprimée par le coefficient CBR;
- le trafic, indiqué en nombre d'essieux de 8,2 t;
- le milieu ambiant, compris dans le facteur régional R.

L'épaisseur de la superstructure est donnée sous la forme d'un facteur de structure $SN = \sum a_i \cdot D_i$, qui permet la détermination de différentes variantes de superstructures équivalentes mais composées de différents matériaux de construction. Les principaux paramètres de dimensionnement comme le terrain, le trafic, le milieu ambiant et la portance des matériaux de construction peuvent être déterminés par des mesures simples et des formules facilement applicables.

Pour déterminer le renforcement de la superstructure de routes existantes, deux méthodes sont à disposition, qui donnent des résultats semblables. La première méthode consiste à dimensionner la route à renforcer comme une construction nouvelle et à déterminer, en tenant compte de la superstructure actuelle, le facteur de structure qui fait défaut. La deuxième méthode se base sur la mesure de déflexions; on détermine l'épaisseur de la couche nécessaire pour réduire la déflexion existante à une valeur admissible.

Les méthodes indiquées sont fondées scientifiquement et d'une application aisée. Elles fournissent ainsi au praticien un instrument simple et efficace pour le dimensionnement et renforcement de routes à faible trafic et à superstructure flexible.

Literatur

- (1) *Hirt, R.*: Dimensionierung und Verstärkung von schwach beanspruchten Strassen, Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen, Nr. 3, März 1972.
- (2) Highway Research Board: The AASHO Road Test. Special Reports Nr. 61 A bis 61 F, 1961 und 1962, Washington.
- (3) *Kuonen, V.*: Probleme des forstlichen Strassenbaus. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen, Nr. 1, Januar 1965.