

# Grundlagen für eine individuelle (freie) Bemessung von Straßenkonstruktionen - Pilotstudie

FA 4.183

Forschungsstelle: RWTH Aachen, Institut für Straßenwesen  
(Prof. Dr.-Ing. B. Steinauer)  
 Bearbeiter: Klein, M. / van der Sluis, S.  
 Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bau- und  
 Wohnungswesen, Bonn  
 Abschluss: Oktober 2000

## 1. Aufgabenstellung

Die Bemessung von Straßenbefestigungen erfolgt in Deutschland bislang auf der Basis der RStO 86/89 bzw. der RStO-E. Hierbei wird die für die Bemessung maßgebliche Verkehrsbelastung, nämlich die des Schwerverkehrs, für die Einteilung in belastungsabhängige Bauklassen zu Grunde gelegt. Anschließend kann zwischen verschiedenen Standardbefestigungen mit vorgegebenen Schichtdicken ausgewählt werden. Diese wurden aufgrund von empirischen Untersuchungen festgelegt.

Diese Vorgehensweise erlaubt jedoch keine flexible Handhabung z. B. beim Einsatz unterschiedlicher Materialien im Oberbau. Die in den Tafeln der RStO angegebenen Dicken sind unabhängig von der Qualität des eingesetzten Materials einzuhalten. Weiterhin entspricht z.B. die Erfassung der Verkehrsbelastung nicht mehr dem heutigen Stand.

Aus diesem Grund sollen mittels einer Pilotstudie die im Ausland zur Anwendung kommenden Bemessungsverfahren erörtert und kritisch beurteilt werden. Der Stand der Technik bzgl. der Dimensionierung von Straßenkonstruktionen soll dargestellt werden und die Möglichkeiten einer Übertragung einzelner Bausteine bzw. eines Verfahrens auf Deutschland sind zu überprüfen. Ziel dieser Untersuchung ist es, den Forschungsbedarf für die Aufstellung einer individuellen (freien) Bemessung einer Straßenkonstruktion auf der Grundlage eines mechanistischen Verfahrens zu ermitteln.

## 2. Untersuchungsmethodik

Weltweit werden zum Teil recht unterschiedliche Verfahren für die Dimensionierung von Straßenoberbauten angewendet. Dies ist durch unterschiedliche technische, ökonomische und klimatische Verhältnisse bedingt. Eine Betrachtung der Verfahren verschiedener Länder kann somit dazu beitragen, unterschiedliche Ansätze bei der Bewertung der Einflussfaktoren und deren Handhabung zu verstehen und für eigene Zwecke umzusetzen. Die Auswahl der Länder, die für die Pilotstudie betrachtet werden sollten, geschah anhand mehrerer Kriterien. Das erste Kriterium war der technische Standard, der in anderen Ländern zu erwarten ist. Als nächstes waren klimatische Gegebenheiten von entscheidender Bedeutung. Die Länder sollten vergleichbare Klimaverhältnisse aufweisen wie sie in Deutschland herrschen. Dabei waren aber Länder mit gewissen Temperaturabweichungen nach oben oder unten nicht von vornherein ausgeschlossen, da die Methoden solcher Länder evtl. für saisonale Abschnitte in Deutschland geeignet sein konnten.

Eine weitere Einschränkung der Auswahl von Ländern war durch die Sprache gegeben. Sowohl bei der Literaturrecherche als auch bei der Nutzung des Internets kamen nur englisch-, niederländisch- oder deutschsprachige Informationen in Frage. So konnte durch die intensive Nutzung des Internets ein Überblick über die landesüblichen Methoden und das Angebot an Informationen geschaffen werden. Kontakte zu Ansprechpartnern und offiziellen Stellen, die sich mit der Oberbaubemessung befassen, konnten geknüpft werden.

## 3. Untersuchungsergebnisse

Insgesamt wurden 12 Länder ausgewählt, es wird eine Bewertung der verschiedenen Verfahren vorgenommen. Dabei wird sowohl die Dimensionierungsvorschrift eines jeden Landes als Ganzes betrachtet als auch die Besonderheiten einzelner Bereiche hervorgehoben.

Die australische Dimensionierungsvorschrift ist sehr gut zu handhaben und bei aller Ausführlichkeit durch eine gute Gliederung sehr übersichtlich. Ablaufdiagramme und Erläuterungen helfen bei der Orientierung und dem Verständnis, auch von theoretischen Hintergründen. Die mechanistische Methode enthält alles, was ein modernes Verfahren bieten sollte, sowohl an theoretischen Grundlagen als auch an Benutzerfreundlichkeit. Nachteilig ist die Vernachlässigung des Frostes. Die klimatischen Verhältnisse im Allgemeinen erschweren jedoch die Übertragbarkeit auf Deutschland. Ein interessanter Ansatz wird im Bereich Unterbau / Untergrund vorgenommen: die angewendeten Böden werden als anisotrop angesehen. Die Berechnung wird jedoch nicht dementsprechend konsequent ausgeführt, sondern bei der Bestimmung der Moduln wird auf empirische Daten zurückgegriffen.

Die Vorgehensweise in Belgien beruht auf Empfehlungen des Belgian Road and Research Center. Diese Anleitung beschreibt die Vorgehensweise und auch die Hintergründe ausführlich und stützt sich auf ein Computerprogramm. Als vorteilhaft ist die Berücksichtigung des Wassergehaltes des Untergrundes in Kombination mit der Abfrage nach dem Vorhandensein einer Entwässerung, wonach man dementsprechend in einer Tabelle einen Tragfähigkeitswert ablesen kann. Bei den ungebundenen Materialien wird in der Verformungsgleichung auch der Verdichtungsgrad berücksichtigt. Für bituminös gebundene Schichten wird ein visko-elastischer Modul definiert, der die Temperatur und die Belastungsfrequenz berücksichtigt. Die Berücksichtigung der Frostempfindlichkeit geschieht sehr ausführlich mit Hilfe von Frostindizes und Jahresteilperioden.

Die dänische Dimensionierungsvorschrift ist (im Vergleich zu manchen anderen Ländern) relativ spärlich und in zwei Teile gegliedert: Diagramme und Katalog. Die Fahrbahnbefestigungen auf Straßen höherer Ordnung werden in zwei Schichtgruppen aufgebaut: dem Unterbau (Frostschuttschicht und stabilisierte Tragschicht) und in Abhängigkeit davon in der Regel drei Asphalttschichten. Die in situ gewonnenen Bodenproben werden nach Fertigstellung der ungebundenen Schichten untersucht, um die bautechnisch relevanten Eigenschaften zu ermitteln. Diese werden in der Regel Abweichungen von den Standardwerten aufzeigen, so dass mit den neuen Erkenntnissen der Aufbau besser bemessen werden kann. Dadurch kann eine wirtschaftlichere Bauweise zum Einsatz kommen. Jedoch ist diese Vorgehensweise aus baupraktischer Perspektive als aufwändig und zeitintensiv anzusehen, da es durch die notwendigen Messungen und Berechnungen zwischen den beiden Bauabschnitten zum Baustillstand kommt. Die Ermittlung der Tragfähigkeit der ungebundenen Schichten mittels des 3-Platten-Lastplatten-druckversuches bietet eine gute Möglichkeit, mehrere Schichten und damit auch Tiefen zu erfassen, so dass Untersuchungen der einzelnen Schichten im Unterbau nicht direkt nach ihrer Fertigstellung notwendig sind.

Die eigentliche Dimensionierungsvorschrift ist in Frankreich sehr ausführlich und teilweise recht kompliziert. Als Hilfestellung bei dem Umgang mit der Richtlinie dient das „French Design Manual for Pavement Structures“. Dies wird zur mechanistischen Analyse des strukturellen Verhaltens benutzt. Ebenso werden Ergebnisse aus Laboruntersuchungen bzgl. Ermüdungsversagen der einzelnen Bestandteile und die Kenntnisse

bzgl. des Verhaltens realer Strecken, Teststrecken und Rundlaufanlagen berücksichtigt. Die eigentliche Berechnung der Spannungen und Dehnungen erfolgt mit einem mechanistischen Modell auf der Basis eines linear-elastischen Mehrschichtenmodells nach Burmister. Die Berechnungen der Spannungen und Dehnungen werden mit dem Computerprogramm ALIZE ausgeführt. Die Menge an klimatischen Einflussfaktoren, die in Frankreich berücksichtigt wird, ist eher ungewöhnlich, aber begründenswert, da alle die Tragfähigkeit des Aufbaues beeinträchtigenden können.

Die meisten Dimensionierungsvorschriften in Kanada beruhen auf dem AASHTO Guide aus den USA und können diesem somit gleich gestellt werden. Von Interesse ist lediglich das OPAC-Verfahren aus Ontario. Auch wenn dieses zur Zeit aktuelle Bemessungsverfahren von 1997 gute Ansätze bietet, so ist es doch heutigen Anforderungen oft nicht gewachsen, da es zu einem großen Teil auf dem AASHTO Road Test beruht. Das neue kanadische Verfahren OPAC 2000 ist ein anspruchsvolles Verfahren, das mechanistisch-empirisch basiert ist. Es werden zwei Gebrauchsverhaltensmodelle beim Verfahren nach OPAC 2000 verwendet. Das eine ist auf Belastung, das andere auf Umwelteinflüsse ausgelegt. Beide Modelle wurden anhand von Langzeitverhaltensuntersuchungen kalibriert und auf die regionalen Verhältnisse zugeschnitten, so dass durch die Anpassung gute Ergebnisse erzielt werden konnten.

Die Bemessungsvorschrift in den Niederlanden beschreibt sehr ausführlich die Vorgehensweise der Dimensionierung, einschließlich der Hintergründe. Eine übersichtliche und gut gegliederte Darstellung der Vorgehensweise erleichtert die Bearbeitung, was durch das vorhandene benutzerfreundliche Computerprogramm noch verstärkt wird. Positiv ist die Vorgehensweise bei den bituminös gebundenen Schichten, wozu die SHELL-Methode modifiziert wurde. Weiterhin ist die Anwendung von Zuverlässigkeitsfaktoren sinnvoll und es findet eine gute Überprüfung der Werte im Labor statt. Die Verkehrsbelastung wird jedoch weiterhin mit Hilfe der 4. Potenzregel ermittelt. Insgesamt ist die Bemessungsmethode sehr übersichtlich, aber nicht herausragend gegenüber den anderen Vorgehensweisen.

In Österreich wird mit einem mechanistisch-empirischen Verfahren gearbeitet, so dass hier die Betrachtung des zu Grunde gelegten Modells von großem Interesse ist. Die Übertragbarkeit auf Deutschland ist dabei auch gegeben, da erstens die äusseren Einflüsse wie Klima denen in Deutschland entsprechen und zweitens die Integration einer freien Bemessung in einen Oberbautypenkatalog auch für Deutschland eine gute Lösung darstellt. Ein sehr positiver Aspekt der österreichischen Methode liegt in der Berechnung der Verkehrsbelastung. Diese wird nun nicht mehr mit der 4. Potenzregel ermittelt, wodurch die Berechnung wesentlich genauer ist als in den meisten anderen Ländern. Ebenso bemerkenswert ist die Verwendung des effektiven E-Moduls  $E_{dyn}$ , der das viskoelastische Verhalten der Materialien berücksichtigen soll. Die Einteilung in Jahresteilperioden zur Einbeziehung von saisonalen Veränderungen unterstützt den positiven Gesamteindruck des Verfahrens.

Das schwedische Dimensionierungsverfahren ist bei der Entwicklung einer deutschen Methode interessant, da es sich um ein mechanistisch-empirisches Verfahren handelt, welches auf dem Hintergrund entwickelt wurde, die bisherige Vorgehensweise durch ein auf dem neuesten Stand der Technik befindliches Verfahren zu ersetzen. Schweden ist in verschiedene Klimazonen unterteilt und zudem werden bei der Berechnung Jahresteilperioden verwendet, so dass eine gute Erfassung der klimatischen Verhältnisse gegeben ist. Eine positive Besonderheit des Verfahrens ist die Temperaturabhängigkeit des Ermüdungsgesetzes, die in dieser Form woanders nicht zu finden ist.

Die schweizerische Dimensionierung ist im Hinblick auf die Entwicklung eines Verfahrens zur freien Bemessung von geringer Bedeutung, da sie eine empirische Grundlage hat. Da sie außerdem stark an den US-Amerikanischen AASHTO-Guide

angelehnt ist, sei hier auf die Bewertung der USA verwiesen.

Die Dimensionierungsvorschrift im Bereich des Vereinigten Königreichs Großbritannien ist durch Verwendung vieler Ablaufdiagramme sehr anschaulich. Die Verwendung der vielen Diagramme und Beispiele für die Dimensionierung selbst ermöglicht eine relativ einfache Bemessung. Dabei handelt es sich um die Standardbemessung, die für Regelfälle gefordert wird. Es wird eine Art Katalog oder Tafelwerk vorgegeben, anhand dessen die Dimensionierung in sehr eng gesteckten Bahnen durchgeführt werden muss. Wenngleich die Tafeln teilweise auf analytischen Berechnungen basieren, so ist bei der Dimensionierung selbst absolut nicht von einer freien Bemessung zu sprechen. Dies ist lediglich nach einer Genehmigung durch die übergeordneten Behörden in Ausnahmefällen möglich.

Der US-Amerikanische AASHTO-Guide basiert zwar momentan auf einem empirischen Verfahren, für die Zukunft (2002) ist der Übergang zu einem mechanistischen Verfahren vorgesehen, wozu einige Forschungsarbeiten durchgeführt werden. Es soll ein elastisches Mehrschichtensystem, das mit dem Programm YULEA berechnet werden kann, eingeführt werden. Für besondere Belastungsfälle und nicht-lineare ungebundene Materialien soll zudem mit FE-Berechnungen gearbeitet werden. Im Zusammenhang mit der Entwicklung des Guide 2002 ist auch eine neue Berechnung der Verkehrsbelastung vorgesehen, die nicht mehr auf der 4. Potenzregel beruht. Beim momentanen Verfahren ist die Verwendung von bis zu 24 Jahresteilperioden bei der Ermittlung des wirksamen E-Moduls als recht gut zu beurteilen.

Neben der Untersuchung der Vorgehensweisen im Ausland wurden auch (inter)nationale Literaturstellen, die in Zusammenhang mit einer freien Bemessung standen, gesucht und ausgewertet. Diese befassten sich zum größten Teil mit der Beschreibung der Materialeigenschaften von gebundenen und ungebundenen Materialien sowie die Anwendung von Finite-Elemente-Modellen zur Berechnung der Spannungen und Dehnungen.

#### 4. Folgerungen

Zur Ermittlung des Forschungsbedarfs wurde einerseits ein Ansatz gewählt, der von einem „idealen“ Modell ausgeht, andererseits wurde von einer Übertragung der australischen sowie der österreichischen Methode auf Deutschland ausgegangen. Diese Betrachtung wurde (wie bei der Untersuchung der Länder) für unterschiedliche Bereiche vorgenommen, die nachfolgend im Einzelnen vorgestellt werden. An dieser Stelle soll jedoch nochmals festgehalten werden, dass die einzelnen Bereiche der Bemessung nicht getrennt, sondern immer als Gesamtheit zu betrachten sind. Beispielsweise ist bei der Bestimmung der Materialparameter immer das Klima zu berücksichtigen.

Seitens der Erfassung der Verkehrsbelastung ist eine möglichst exakte Messmethode anzuwenden, wie es zum Teil schon in Deutschland gehandhabt wird. Mittels Weigh-in-Motion-Anlagen sind die Achslasten und Achslastverteilungen für einen repräsentativen Bereich zu erfassen, um genaue Aussagen über das in Deutschland vorhandene Lastkollektiv treffen zu können. Diese Vorgehensweise wird in der österreichischen und australischen Dimensionierungsvorschrift angewendet. Hieraus können dann Prognosen erstellt werden, mit denen eine Bemessung über den angestrebten Nutzungszeitraum erfolgen kann. Bezüglich der Wirkungen der Verkehrsbelastung sind Untersuchungen zum Gebrauchsverhalten von Straßenbefestigungen (sog. Long Term Pavement Performance-Untersuchungen) vorzunehmen. Diese sind sinnvollerweise in Kombination mit den oben aufgeführten Achslasterfassungen durchzuführen, da so parallel die genaue Verkehrsbelastung ermittelt werden kann. Ähnliche Untersuchungen werden zur Zeit in den USA vorgenommen.

In einigen Ländern wird nicht zwischen Untergrund und ungebundenen Schichten im Oberbau unterschieden. Aus diesem Grund sind diese beiden Bereiche hier zusammengefasst worden. Es gibt keine allgemeingültige Beschreibung des Materialverhaltens für den Untergrund und die ungebundenen Schichten im Oberbau. Im Rahmen des „Science-Projektes“ wurde versucht, eine Darstellung der mechanischen Eigenschaften von Böden und ungebundenen Gesteinsmaterialien und eine Integration in eine Bemessungsmethode zu erreichen. Einerseits wurden Möglichkeiten zur prüftechnischen Beschreibung des Materials, andererseits zur modellhaften Beschreibung des Verhaltens untersucht. Dieser Ansatz sollte weiter verfolgt werden, wobei auch die Forschungsberichte der TU Dresden sowie die Ansätze aus Dänemark zu berücksichtigen sind. Weiterhin ist zu überlegen, ob die Anwendung von Jahresteilperioden unter Berücksichtigung der Wasser-/Entwässerungsverhältnisse zur Beschreibung des mechanischen Verhaltens sinnvoll ist.

Bei der Beschreibung des Materialverhaltens der gebundenen Schichten ist im bituminösen Bereich besonders die Erfassung der Viskoelastizität von herausragender Bedeutung. Ohne exakte Kenntnisse der auftretenden Verformungen kann eine Bemessung nur näherungsweise erfolgen. Hierzu ist auf Forschungsarbeiten aufzubauen, bei denen mit Hilfe von Finiten Elementen ein Ansatz zur Beschreibung des viskoelastischen Verhaltens gemacht wird. Gleichzeitig ist zu untersuchen, inwieweit mit Hilfe von Laborversuchen eine hinreichend genaue Beschreibung des Materialverhaltens vorgenommen werden kann.

Um die theoretische und die prüftechnische Beschreibung aufeinander abzustimmen, ist zu überlegen, ob die Verwendung von „Zuverlässigkeitsfaktoren“ sinnvoll ist. Weiterhin sind die Prüfbedingungen wie Temperatur, Belastungsart und -frequenz auf die tatsächlichen Gegebenheiten, die z.B. mit WIM-Anlagen oder LTPP-Untersuchungen ermittelt werden, abzustimmen.

Zur Berücksichtigung von Klima- und Umwelteinflüssen ist das zu untersuchende Gebiet in Teilgebiete mit ähnlichen klimatischen Verhältnissen einzuteilen. Ebenso sollten Jahresteilperioden eingeführt werden, um die saisonalen Schwankungen zu berücksichtigen. Mit diesen Einteilungen werden die Auswirkungen der Temperatur und des Niederschlages und daraus resultierend des Wassergehaltes genauer erfasst. Weiterhin sollte die Frosteindringtiefe für die einzelnen Teilgebiete und Perioden separat ermittelt werden, wobei vor allem die sehr umfassende französische Vorgehensweise zu berücksichtigen ist.

Die meisten Methoden basieren bzgl. ihres theoretischen (Berechnungs-) Modells auf der linear-elastischen Mehrschichtentheorie, welche jedoch bei weitem nicht der Realität entspricht. Aus diesem Grund sind diese Verfahren nicht weiter zu verfolgen, sondern es sollte vielmehr auf Verfahren aus den Forschungseinrichtungen aufgebaut werden. Es ist von großer Bedeutung, die einzusetzenden Prüfverfahren, die Materialparameter sowie die Versagenskriterien auf das zur Anwendung kommende Verfahren abzustimmen.

Anhand der oben erwähnten LTPP-Untersuchungen ist zu überprüfen, ob das hauptsächlich zur Anwendung kommende Versagenskriterium der Ermüdung immer der maßgebliche Fall ist, oder ob auch andere Kriterien berücksichtigt werden sollten, bzw. für welche Schichten man solche Kriterien verwenden sollte.

Ebenso sollten in die Aufstellung der Versagenskriterien Aspekte wie die Zeit- und Temperaturabhängigkeit Eingang finden.

Ähnliche Ansätze wären erforderlich, um die beiden zuvor erwähnten Verfahren (Australien und Österreich) auf Deutschland übertragen zu können. Die Detailliertheit dieser Untersuchungen ist jedoch davon abhängig, welche Anforderungen bei einer solchen Übertragung an das Bemessungssystem gestellt werden. □