

# **Bodenplatten über elastischer Bettung/Wärmedämmschicht: Bemessung unter Berücksichtigung der Durchbiegung von freitragenden Unterkonstruktionen**

Autor(en): **Bangerter, Heinz**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **108 (1990)**

Heft 11

PDF erstellt am: **21.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-77385>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# Bodenplatten über elastischer Bettung/Wärmedämmschicht

Bemessung unter Berücksichtigung der Durchbiegung von freitragenden Unterkonstruktionen

## Problemstellung

Anlässlich der instruktiven EMPA/SIA-Studien-Tagung zum Thema «Böden und Bodenbeläge» vom 14. Septem-

VON HEINZ BANGERTER,  
KLOTEN

ber 1988 in Zürich wurden der Fachwelt auch verschiedene neue SIA-Normen, so insbesondere Norm SIA 251 «Schwimmende Unterlagsböden» sowie Norm SIA 252 «Fugenlose Industriebodenbeläge» vorgestellt. Dabei wurde in Referaten eingehend auf das innere Kräftefeld bei hydraulisch gebundenen Nutzplatten, resultierend aus Schwinden, Kriechen, Temperaturdifferenzen usw. eingegangen. Wenig Erwähnung fanden hingegen die Zusammenhänge zwischen äusserer Belastung, Bettungsart und Fugenausbildung der Nutzplatte; ebenso fehlten Hinweise zum Verhalten der Nutzplatte in Fällen, wo diese über freitragenden, nachgiebigen Unterkonstruktionen aufliegt.

Sowohl bei Neubauten als auch bei Renovationen stellt sich häufig die Aufgabe, Bodenbeläge auf mehr oder weniger elastische Unterkonstruktionen aufbringen zu müssen. Von grosser praktischer Bedeutung sind dabei namentlich alle Bettungen auf Trittschall- oder Wärmedämmung sowie auf verdichtetem Planum. Je nach relativer Steifigkeit der Unterlage zum Nutzbelag wird dieser unter örtlicher Lasteinwirkung auf Biegung und auf Durchstanzen beansprucht. Stellt der Untergrund seinerseits eine freitragende und damit auf Durchbiegung beanspruchte Tragkonstruktion dar, so werden unter Lasteinwirkung je nach Steifigkeitsverhältnis zwischen Nutzbelag und Tragkonstruktion im Nutzbelag zusätzliche Biegemomente erzeugt. Diese werden umso grösser, je stärker der Nutzbelag infolge weicher Bettung ausgebildet werden muss. Umgekehrt hat eine relativ harte Bettung der Nutzplatte zur Folge, dass diese schlank(er) ausgebildet werden kann und somit – beispielsweise über einer nachgiebigen Holzbalckendecke aufliegend – in wesentlich ge-

ringerem Umfange Biegemomente aus «mittragender Wirkung» erleidet. Ferner weist eine schlanke Nutzplatte bzw. ein schlanker Unterlagsboden eine messbar kürzere Austrocknungsfrist zur Erlangung der normengemäss zulässigen Bodenfeuchte für nachfolgend einzubringende Gehbeläge auf; damit wiederum ist eine deutliche Reduktion an Bauzeit, Bauzinsen und Schadensrisiko verbunden.

Es ist somit von technischem wie wirtschaftlichem Interesse, die baumechanischen Zusammenhänge zwischen Nutzplatte, Bettungsschicht und Unterkonstruktion/Untergrund je nach Lasteinwirkung näher zu kennen. Die hier vorgestellten Berechnungsmittel und Rechenergebnisse sind dabei als praktische Anwendung der verschiedenen Orts publizierten Grundlagenarbeiten von Boussinesqu, Ödmark und Westergaard zum Thema «Homogene Platte auf elastischer Unterlage» zu verstehen. Die Unterlagen sind ferner eine Ergänzung zur neuen Norm SIA 251 «Schwimmende Unterlagsböden», welche statisch-konstruktive Festlegungen für Nutzlasten bis zu  $4,0 \text{ kN/m}^2$  trifft, darüber hinaus aber auf die «ingenieurmässige Bemessung nach den Regeln des Betonbaues» verweist.

## Grundlagen, Geltungsbereich und Verfahren im Überblick

Die Bemessungsunterlagen haben grundsätzlich Gültigkeit für alle homogen wirkenden Nutzbelagsplatten und -scheiben, speziell aber für auf Wärmedämmschicht gebettete, zement- oder anhydritgebundene Beton und Mörtel mit wählbarem Steifigkeitsmodul (E-Modul). Ferner sind die Unterlagen anwendbar für gerissene, d.h. nach Zustand II zu bemessende und zu armierende Betonplatten und -scheiben.

Die auf der Grundlage von festgelegten zulässigen Biegezug- und Schubspannungen basierenden Grenzwerte für homogene Plattendicken bzw. die bei definierter homogener Plattendicke zulässigen Einzellasten sind – für beliebige Steifigkeit der Plattenunterlage/Bettung – generell auf den Lastfall «Plat-

tenfeld innen» ausgerichtet; vorhandene Streifen- und Flächenlasten werden dabei auf systemäquivalente Einzellasten zurückgeführt. Bestimmungsgrößen im Einflussbereich verdübelter oder unverdübelter Ecken und Plattenränder können mittels tabellierter Umrechnungsfaktoren berücksichtigt werden; ebenso sind die im Einzelfall massgebenden, von den Standardwerten eventuell abweichenden zulässigen Materialfestigkeiten der vorgesehenen Nutzplatte modifizierbar.

Das Nachweisverfahren besteht grundsätzlich darin, dass zunächst die von der Bettung der Nutzplatte abhängige Last-Einflussfläche zu ermitteln ist. Alle darin erfassten Streifen-, Flächen- und Einzellasten sind alsdann nach bestimmten Regeln in eine äquivalente, zentrierte Einzellast umzuformen. In der Folge gilt es nachzuweisen, dass diese «Ersatzlast» am betrachteten Standort kleiner ist als die infolge Durchstanzen, infolge Biegezugbeanspruchung oder infolge Dauerdruckbeanspruchung der Bettung/Wärmedämmschicht begrenzte, zulässige Aufstandslast am Betrachtungsstandort. Ist diese Bedingung erfüllt und die minimal erforderliche homogene Nutzplattendicke damit festgelegt, kann in der Folge auch, falls dies nötig oder erwünscht sein sollte, die Bemessung einer gleichwertigen, schlaff armierten Betonplatte nach Zustand II vorgenommen werden.

Das Nachweisnomogramm gemäss Bild 1 basiert auf folgenden Festwerten:

- Zulässige schiefe Hauptzugspannung der Nutzplatte  $\sigma_{h1} = 0,75 \text{ N/mm}^2$
- Zulässige Biegezugspannung der Nutzplatte  $\sigma_{r1} = 3,0 \text{ N/mm}^2$
- Vorhandener E-Modul der Nutzplatte  $E_1 = 30 \times 10^3 \text{ N/mm}^2$
- Wirksamer Radius der Aufstandslast  $r = 100 \text{ mm}$

Abzulesen ist die je nach E-Modul der Bettungsschicht ( $E_u$ ) resultierende, zulässige Aufstandslast bezüglich Durchstanzen, jene bezüglich Biegezugbeanspruchung, ferner die «elastische Länge» der Nutzplatte ( $l_c$ ) zur Festlegung des äusseren Last-Einflussbereichs sowie die Nutzplatteneinsenkung ( $y_1$ ) für die Aufstandslast  $1\text{N}$  und die daraus resultierende Druckspannung  $\sigma_{u1}$  in der Bettungsschicht.

Die Grundformeln, denen die Nomogrammdarstellung zugrunde liegt, sind im linken Teil des abgebildeten Kästchens aufgeführt; im rechten Teil sind zudem Korrekturfaktoren zur Basisformel angegeben, um auch von den Standardwerten ( $E_1$ ,  $\sigma_{h1}$  und  $\sigma_{r1}$ ) abweichen-

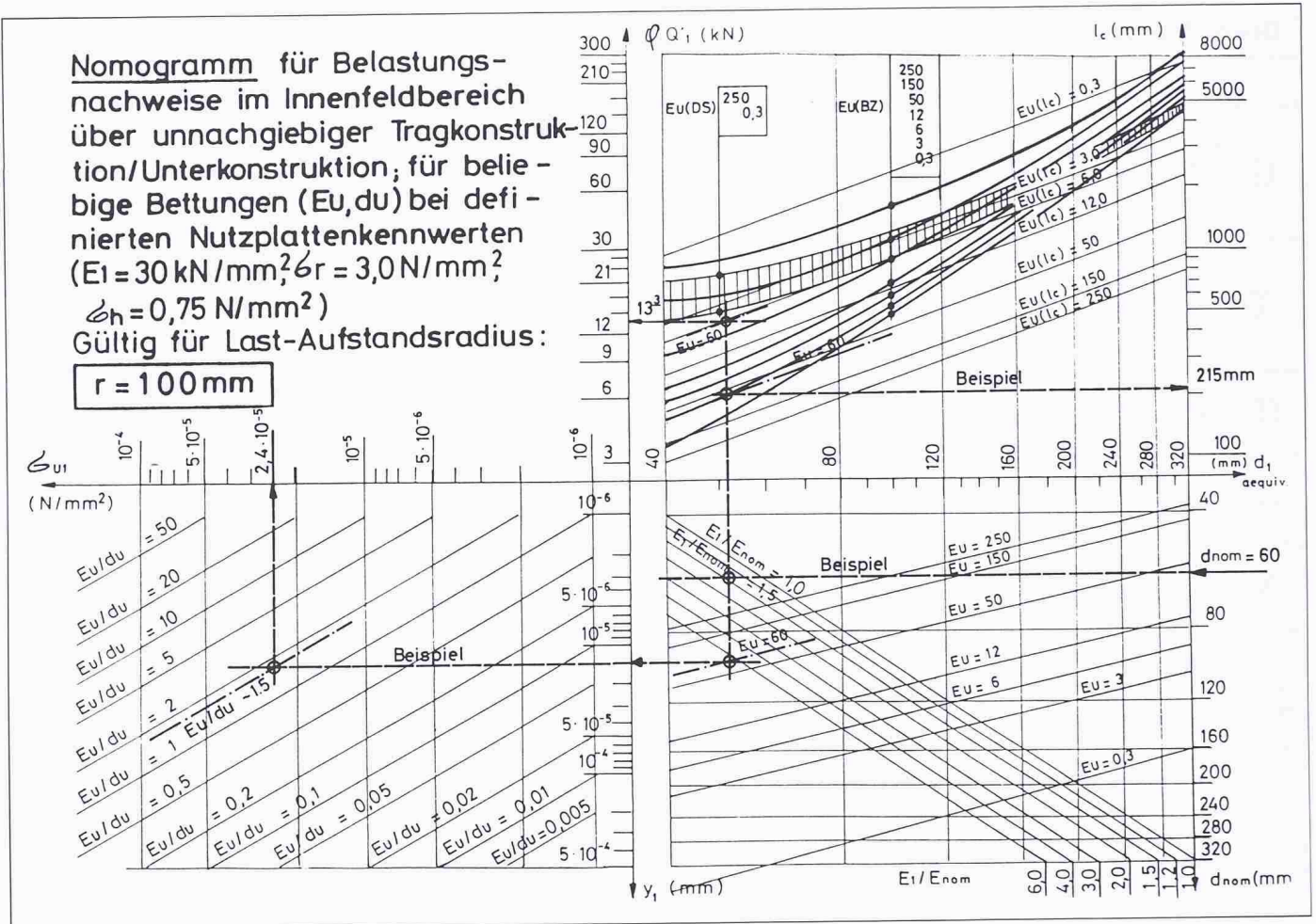


Bild 1. Nomogramm. Ablesebeispiel für:

$d_{nom} = 60 \text{ mm}$ ,  $E_{nom} = 20 \cdot 10^3 \text{ N/mm}^2$ ,  $d_U = 40 \text{ mm}$ ,  $E_U = 60 \text{ N/mm}^2$ ;  $\sigma_{rzul} = 3,0 \text{ N/mm}^2$   
 Zul. Last (Biegezug):  $(13 \cdot 300 \text{ N-Ablesung}) \cdot (E_1/E_{nom})^{2/3} = 17 \cdot 400 \text{ N}$   
 Result. Einsenkung:  $(y_1 = 1,6 \cdot 10^{-5} \text{ mm-Ablesung}) \cdot 17 \cdot 400 \text{ N} = 0,28 \text{ mm}$   
 Result. Druckspannung Dämmstoff:  $(\sigma_{U1} = 2,4 \cdot 10^{-5} \text{ -Ablesung}) \cdot 17 \cdot 400 \text{ N} = 0,42 \text{ N/mm}^2$   
 Vorhandene elast. Länge:  $(l_c = 215 \text{ mm-Ablesung})$   
 Durchstanzen, mit  $\sigma_{hzul} = 0,75 \text{ N/mm}^2$  nicht massgebend

de Materialeigenschaften der Nutzplatte berücksichtigen zu können. Last-Angriffsbereiche (Innenfeld, Randbereich, Ecken), Plattenrand-Ausbildung (verdübelt, unverdübelt) sowie allfällige Nachgiebigkeit der Unterkonstruktion werden mittels sogenannter Multiplikatoren «m» erfasst.

Liegt neben einer wirksamen Einzellast für den Nachweis-Standort der Nutzplatte auch noch Gleichlast vor, so wird die zulässige Aufstandslast entsprechend der Wirkung der schon vorhandenen Gleichlast reduziert; liegt ausschliesslich Gleichlast vor, so ist diese analytisch nach Formel 3 begrenzt (vgl. Kästchen).

**Zu beachtende Bemessungskriterien je nach verwendetem Dämmstoff**

Nach den theoretischen Grundlagen ist die wünschbare harte Bettung grund-

sätzlich aus dem Steifigkeitsverhältnis zwischen der Bettungsschicht  $E_u$  (möglichst gross) und der Nutzplatte  $E_{nom}$  (möglichst klein) bestimmt. Während für die Steifeziffer  $E_{nom}$  von mineralisch gebundenen Nutzplatten gesicherte, allgemein anerkannte Werte vorliegen, ist der Planer bei der Festlegung der Steifeziffer von Dämmplatten/Bettungsschichten weitgehend auf Planungshinweise und Werksangaben aus Verkaufsprospekten der in Frage kommenden Dämmstoffe angewiesen. Es versteht sich damit von selbst, dass der Planer nicht darum herumkommt, dort gemachte Aussagen und Werksangaben kritisch zu hinterfragen. Ein paar diesbezügliche Hinweise zum spezifischen Verhalten der unterschiedlichen Dämmstoffe sollen an dieser Stelle die Wichtigkeit der richtigen Interpretation von Prospektangaben unterstreichen.

Bei der Verwendung von Dämmplatten unter schwer belasteten Nutzplatten,

welche laut Weisungen des SIA nach den Regeln des Betonbaues zu dimensionieren sind, wird es sich nach heutigem Stand der Technik entweder um Schaumglasplatten in Bitumenverguss, um Schaumglaspaneelen in lose geschüttetem oder gebundenem Sand-/Splitt-Bett oder um analog verlegte, extrudierte Polystyrol-Hartschaumplatten handeln. In allen Fällen und für alle Produkte ist dabei der sauberen Bettung der Dämmplatten grosse Beachtung zu schenken; grober, genereller Verletzung der plastischspröden Polystyrolplatten und der hart-spröden Schaumglasplatten ist entgegenzuwirken.

Daneben ist aber auch dem grundlegend unterschiedlichen Verhalten der beiden geeigneten Dämmstoffarten an sich Rechnung zu tragen. Der Planer muss sich namentlich vor Augen halten, dass der Werkstoff Schaumglas zwar kein Kriechverhalten unter Dauerlast aufweist und bei praktisch

## Grundformeln und Korrekturfaktoren zum Nachweisnomogramm

Werte/Größen		Dim.	Grundformel	Korrekturfaktor
①	Zul. Aufstandslast inf. Durchstanzen	N	$\left[ 1 - \left( \frac{b}{r} \right)^2 \cdot \left( 1 - \frac{d_{1\text{aequiv}}^{*3}}{(r^2 + d_{1\text{aequiv}}^{*2})^{1,5}} \right) \right]$	$\times \frac{d_{\text{nom}}}{d_{\text{aequiv}}} \cdot 1,33 \cdot \sigma_{\text{hzul}} \cdot m_{\text{DS}}$
②	Zul. Aufstandslast inf. Biegezug	N	$\frac{9,5 \cdot d_{1\text{aequiv}}^2}{\log \left( \frac{E_1 \cdot d_{1\text{aequiv}}^3}{k \cdot b^4} \right) - 0,436}$	$\times \left( \frac{E_1}{E_{\text{nom}}} \right)^{2/3} \cdot 0,33 \cdot \sigma_{\text{rzul}} \cdot m_{\text{BZ}}$
③	Zul. reine Flächenlast inf. Biegezug	N/mm <sup>2</sup>	$17,95 \cdot \left( \frac{E_U}{E_{\text{nom}}} \right)^{2/3}$	$\times 0,33 \cdot \sigma_{\text{rzul}} \cdot m_{\text{BZ}}$
④	Result. Einsenkung inf. Aufstandslast 1N	mm	$2,5 \cdot 10^{-3} \cdot \left( \frac{d_{1\text{aequiv}}^*}{E_U \cdot d_{1\text{aequiv}}^3} \right)^{1/2}$	$\times m_E$
⑤	Result. Druckspannung in Bettung inf. Last 1N	N/mm <sup>2</sup>	$2,5 \cdot 10^{-3} \cdot \left( \frac{d_{1\text{aequiv}}^*}{E_U \cdot d_{1\text{aequiv}}^3} \right)^{1/2}$	$\times \frac{E_U}{d_U} \cdot m_E$
$l_c$	Elastische Länge	mm	$\sim 0,515 \cdot d_{\text{nom}} \cdot (E_{\text{nom}}/E_U)^{1/3}$	
$d_{1\text{aequiv}}^*$	Ideelle Nutzplattenstärke	mm	$\sim 1,61 \cdot l_c$	
$d_{1\text{aequiv}}$	Aequivalente Nutzplattenstärke	mm	$\sim d_{\text{nom}} \cdot (E_{\text{nom}}/E_1)^{1/3}$	
$k$	Bettungsmodul	N/mm <sup>3</sup>	$E_U/d_{1\text{aequiv}}^* \sim 0,6 \cdot E_U/l_c$	
$b$	Ersatzkreisradius	mm	$\sim r = \text{Aufstandsradius}$	
$m_{\text{GBZ}}$	Reduktionsfaktor inf. Nachgiebigkeit der Unterkonstruktion; bei Gleichlast	-	$\left[ 1 + \frac{6 \cdot \varrho \cdot \alpha \cdot P'_{\text{nom}} \cdot L_x^2}{12,9 \cdot d_{\text{nom}}^2 \cdot \sigma_{\text{rzul}}} \right]^{-1}$	
$m_{\text{EBZ}}$	Reduktionsfaktor inf. Nachgiebigkeit der Unterkonstruktion; bei Einzellast	-	$\left[ 1 + \frac{6 \cdot \varrho \cdot \alpha \cdot Q'_{\text{nom}}}{3,06 \cdot d_{\text{nom}}^2 \cdot \sigma_{\text{rzul}}} \right]^{-1}$	
$P'_{\text{nom}}$	Zul. Gleichlast bei starrer Unterkonstruktion (Formel ③)	N		
$Q'_{\text{nom}}$	Zul. Einzellast bei starrer Unterkonstruktion (Nomogrammablesung $\times$ Korrekturfaktor)	N		
$\varrho \cdot \alpha$	$L_x$ -Biege-Lastanteil auf Nutzplatte	-	$\{ \alpha \cdot \beta \cdot (EJ)_{\text{nom}} / [ \alpha \cdot (EJ)_{\text{TX}} + \beta \cdot (EJ)_{\text{nom}} ] \}$	
$\alpha$ $\beta$	} Steifigkeitsverhältnisse Unterkonstruktion	-	$L_y^3 / (L_x^3 + L_y^3)$	
		-	$\{ L_y^3 \cdot (EJ)_{\text{TX}} / [ L_x^3 \cdot (EJ)_{\text{TY}} + L_y^3 \cdot (EJ)_{\text{TX}} ] \}$	

vernachlässigbarer Stauchung bis zum Bruch eine lineare Spannungs-Stauchungsgerade beschreibt, dass er aber zur Verhütung des Sprödbbruch-Risikos mit ausreichenden Sicherheitswerten auf die mittlere Bruch-Druckfestigkeit nach Norm SIA 279 ( $s = 2,7$  bis  $4,0$  je nach Lastfall und Plattenqualität) zu versehen ist. Unter Beachtung solcher Sicherheitsfaktoren kann der Werkstoff Schaumglas im folgenden für alle Belastungsarten wie ein elastischer Werkstoff behandelt werden. So kann namentlich auch vorausgesetzt werden, dass für die auf Schaumglas gebettete Nutzplatte über einen beliebigen Zeitraum hinweg «konstante», der Bemes-

sung adäquate Beanspruchungsverhältnisse vorliegen.

Bei Verwendung von Polystyrol-Hartschaumplatten sind, soweit diese grundsätzlich in Frage kommen, die diesbezüglichen Verhältnisse wesentlich komplizierter. Dies rührt daher, dass organische Schäume ein ausgeprägtes Kriechverhalten aufweisen, welches nicht nur von der Art und Dauer der Lasteinwirkung, sondern auch von der Eigentemperatur des Dämmstoffes abhängt.

Auch wenn für Polystyrolplatten in gleicher Weise wie für alle anderen Dämmstoffe eine resultierende Druck-

spannung bei 10% Stauchung nach Prüfnorm SIA 279 oder DIN 18 164 zu benennen ist, kann daraus weder eine um einen Sicherheitsfaktor reduzierte zulässige Druckfestigkeit noch ein allgemein gültiger E-Modul ( $E_u$ ) abgeleitet werden. Als massgebende, zulässige Druckspannung ist hier vielmehr jener Wert zu bezeichnen, unter welchem innerhalb einer definierten Zeitspanne ein nur noch sehr begrenzter Kriechvorgang erfolgt (nach Norm SIA 279-Versuchsordnung  $\leq 0,15\%$  Stauchungszunahme zwischen dem 7. und 90. Tag der Lasteinwirkung). Für den so gefundenen zulässigen Wert kann allerdings - beispielsweise unter Bezugnah-

me auf die (unbekannte) Bruchspannung einer Polystyrolplatte – kein Sicherheitsfaktor gegen Werkstoffversagen wie bei der Verwendung von Schaumglasplatten abgeleitet werden. Zur Festlegung des für die Nutzplattenbemessung massgebenden E-Moduls ( $E_u = \sigma_{zul} / (\epsilon_0 + \epsilon_{Kriech})$ ) müssen hier die Stauchungsmasse  $\epsilon_0$  und  $\epsilon_{Kriech}$  bekannt sein. Solange diese wichtigen Grössen nicht eindeutig und offiziell ausgewiesen sind, ist der Planer gehalten, diese nachdrücklich zu erfragen und sich nicht allein auf Prospektangaben zu verlassen. Steht der aus normierten Versuchsdurchführungen ermittelte E-Modul des Dämmstoffes fest, kann dieser für die Nutzplattenbemessung eingebracht werden, wenn die reale «Gebrauchstemperatur» der Polystyrolämmung im eingebauten Zustand nicht wesentlich von der Normtemperatur der durchgeführten Prüfung (+23 °C) abweicht; bei besonnten Parkdecks oder bei eingebauten Bodenheizungen beispielsweise, muss der gefundene E-Modul hingegen um etwa einen Faktor 0,5 reduziert werden.

Schliesslich ist bei der Bemessung der Nutzplatte noch folgendes zu berücksichtigen: Bedingt durch den Umstand, dass das Kriechmass von mineralisch gebundenen Nutzplatten unter definierter Lasteinwirkung ( $\phi_{Kriech} \approx 2,5$ ) mit Sicherheit kleiner ist als jenes von organischen Schaumstoffplatten, wird sich eine auf Polystyrolämmplatten aufliegende Nutzplatte unter Dauerlast praktisch behinderungsfrei entsprechend dem Beton-Kriechmass verformen. Wenn nun aus bestimmten Gründen eine Verformungsbegrenzung der Nutzplatte auf beispielsweise 2,5 mm eingehalten werden soll, darf demnach beim Dimensionierungsnachweis nur eine Einsenkung entsprechend  $\phi_{kr}^{-1}$  mm, also von etwa 1,0 mm, ausgewiesen werden. Somit kann sich bei Begrenzung der Endstauchung einer Nutzplatte, selbst unter Berücksichtigung des massgebenden E-Moduls der Polystyrolämmplatte infolge Kriechverformung, die Notwendigkeit einer Nutzplattenverstärkung ergeben.

Die hier gemachten Hinweise zur Nutzplattenbemessung je nach Wirkungsweise des Bettungsmaterials werden nachfolgend mittels verschiedener Berechnungsbeispiele näher dargestellt.

**Belastungskapazitäten von (40 mm) Fließ-Anhydritböden**

Grundsätzlich sind die notwendigen bzw. zulässigen Konstruktionsstärken von Unterlagsböden und Bettungsschichten für eine auftretende Nutzlast

<b>Resultate zu Beispiel «Belastungskapazitäten von 40-mm-Fließ-Anhydritböden»</b>						
Belastungsart	Bettungsschicht $E_U$ (N/mm <sup>2</sup> )					
	0,3	1,5	7,5	60	100	200
Zul. Einzellast auf starrer Unterkonstruktion (N)	531	1667	4993	8326	9300	10 960
Zul. Flächenlast auf nachgiebiger Unterkonstruktion (kN/m <sup>2</sup> )	3,82	5,46	6,40	6,87	6,91	6,96

bis 4 kN/m<sup>2</sup> in der Norm SIA 251 festgelegt.

Um den Einfluss der Bettungsart (harte/weiche Bettung) auf den Unterlagsboden besser veranschaulichen zu können, sei hier die folgende Problemstellung definiert: Ein Unterlagsboden d = 40 mm aus Fließ-Anhydrit – mit den spezifischen Eigenschaften  $E_{nom} = 30 \times 10^3$  N/mm<sup>2</sup> und  $\sigma_{rzul} = 3,0$  N/mm<sup>2</sup> – sei vergleichsweise auf 50 mm Wärmedämmschicht mit den E-Moduli 0,3 N/mm<sup>2</sup>, 1,5 N/mm<sup>2</sup>, 7,5 N/mm<sup>2</sup>, 60 N/mm<sup>2</sup>, 100 N/mm<sup>2</sup> bzw. 200 N/mm<sup>2</sup> aufgebracht. Es erhebt sich nach Fall I die Frage, welche Einzellast mit Aufstandsradius r = 100 mm im Innenfeldbereich der Nutzplatte je nach Bettungsart – bei Ausschöpfung der zulässigen Biegezugfestigkeit von 3,0 N/mm<sup>2</sup> – aufgebracht werden darf, wenn die (tragende) Unterkonstruktion als unnachgiebig angesehen werden kann (z.B. Massivdecke).

Nach Fall II erhebt sich ferner die Frage, welche gleichmässig verteilte Flächenlast statt der Einzellast aufgebracht werden darf, wenn von einer relativ nachgiebigen Holzbalkendecke als Tragkonstruktion – mit den Charakteristiken  $l_x/l_y = 3000/6000$  mm,  $EJ_x = 7,8 \cdot 10^{11}$  N · mm<sup>2</sup> und  $EJ_y = 0,2 EJ_x$  – ausgegangen werden muss. Im Fall I wurden Dämmstoff-Kennwerte nach Werksangaben zugrunde gelegt. Ferner geht die Berechnung von der Annahme aus, dass der Kriechfaktor von thermoplastischen Dämmstoffen unter Dauerlast grösser sei als jener von hydraulisch gebundenen Nutzbelägen; damit beinhaltet der Nachweis für Fall I (unnachgiebige Tragkonstruktion) die folgende Festlegung: Bei einer hier (willkürlich) zugelassenen End-Einsenkung der Nutzplatte unter Dauerlast entsprechend  $y = 1,0$  mm oder 2% der Dämmplatte resultiert – aus einem zu erwartenden Kriechfaktor für die Nutzplatte von rund 2,5 – eine maximal zulässige Anfangsstauchung des Dämmstoffes  $y$  von 0,4 mm oder  $\epsilon_0$  von 0,8%.

Bei den Nachweisen für Fall II ist der Einfluss der «Nachgiebigkeit» der Unterkonstruktion derart dominant und

restriktiv auf die zulässige Nutzlast, dass hier eine dämmstoffbedingte Lastbegrenzung generell entfällt.

Die Resultate zeigen, dass die härteste Bettung über starrer Unterlage/Tragkonstruktion eine etwa 20fach höhere Aufstandslast gegenüber jener auf denkbarer weichster Bettung zulässt.

Bei nachgiebiger Tragkonstruktion gemäss Fall II erlaubt die härteste Bettung – trotz des davon unbeeinflussten, relativ grossen Belastungsanteils aus Biegung, infolge Nachgiebigkeit der Tragkonstruktion – gegenüber der weichsten Bettung immer noch etwa doppelte Flächenlast.

**Lastreserven und Äquivalenzdicken von 60 mm Unterlagsböden**

In Anlehnung an vorstehendes Beispiel sind im folgenden die zulässigen Aufstandslasten über einem Unterlagsboden von 60 mm ermittelt, wenn dieser schon mit der nach Norm SIA 251 gerade noch zulässigen Flächenlast von 4 kN/m<sup>2</sup> «vorbelastet» ist.

Den Resultaten gemäss Tabellen 1 und 2 liegen dabei die folgenden Kennwerte der Nutzplatte zugrunde:

- Für Zementmörtel  $\sigma_{rzul} = 2,5$  N/mm<sup>2</sup>
- Für Anhydritmörtel  $E_{nom} = 20 \times 10^3$  N/mm<sup>2</sup>
- Für Fließ-Anhydrit  $\sigma_{rzul} = 3,5$  N/mm<sup>2</sup>

Es wird wiederum zwischen Fall I (starre Unterkonstruktion) und Fall II (Holzbalkendecke, nach vorstehendem Beispiel) unterschieden. Die Ergebnisse zeigen, dass mit härter werdender Bettung der Nutzplatte (zunehmender E-Modul der Bettungsschicht bei konstant gehaltener Nutzplattenstärke) – unter Einhaltung der zulässigen Biegezugspannung  $\sigma_{rzul}$  am homogenen Querschnitt – eine deutlich anwachsende, zusätzlich zur vorhandenen Nutzlast von 4 kN/m<sup>2</sup> zulässige Lastreserve/Einzellast im Innenfeldbereich realisiert werden könnte.

<b>Fall I</b> unnachgiebige, starre Tragkonstruktion	Zement-Mörtel	Anhydrit-Mörtel	Fliess-Anhydrit-Mörtel
Trittschall/Schiftung* $E_U \sim 0,3 \text{ N/mm}^2$	3150 (0,0225)	4320 (0,0275)	5450 (0,0320)
expand. Polystyrol* $E_U \sim 1,5 \text{ N/mm}^2$	5900 (0,0480)	7300 (0,0577)	8680 (0,0673)
extrud. Polystyrol $E_U \sim 7,5 \text{ N/mm}^2$	8540 (0,1064)	10440 (0,1277)	12140 (0,1490)
Schaumglasplatten in Bitumen $E_U \sim 60 \text{ N/mm}^2$	14350 (0,3436)	17250 (0,4123)	20160 (0,4810)
Schaumglas-Paneelen in lose geschüttetem Sand-Splittbett $E_U \sim 100 \text{ N/mm}^2$	16150 (0,5726)	19420 (0,6871)	22700 (0,8010)
* Bei schwerbelasteten Böden ( $> 4 \text{ kN/m}^2$ ) ungeeignet; im Beispiel zur Veranschaulichung der Zusammenhänge			

Tabelle 1. Zusätzlich zulässige Einzellast in Feldmitte in N. Klammerwerte: Resultierende Druckspannung in Wärmedämmschicht (in  $\text{N/mm}^2$ )

<b>Fall II</b> nachgiebige, elastische Holzbalkendecke ( $E_{J_x} = 7,8 \cdot 10^{11} \text{ N} \cdot \text{mm}^2$ ) ( $E_{J_y} = 0,2 \cdot E_{J_x}$ )	Zement-Mörtel	Anhydrit-Mörtel	Fliess-Anhydrit-Mörtel
Trittschall/Schiftung* $E_U \sim 0,3 \text{ N/mm}^2$	$\pm 0$ (0,00101) aus Gleichlast	850 (0,0134)	1680 (0,0168)
expand. Polystyrol* $E_U \sim 1,5 \text{ N/mm}^2$	1400 (0,0170)	2360 (0,0236)	3320 (0,0302)
extrud. Polystyrol $E_U \sim 7,5 \text{ N/mm}^2$	2230 (0,0318)	3360 (0,0450)	4500 (0,0586)
Schaumglasplatten in Bitumen $E_U \sim 60 \text{ N/mm}^2$	3210 (0,0803)	4710 (0,1159)	6200 (0,1512)
Schaumglas-Paneelen in lose geschüttetem Sand-Splittbett $E_U \sim 100 \text{ N/mm}^2$	3410 (0,1266)	4990 (0,1821)	6570 (0,2375)
* Bei schwerbelasteten Böden ( $> 4 \text{ kN/m}^2$ ) ungeeignet; im Beispiel zur Veranschaulichung der Zusammenhänge			

Tabelle 2. Zusätzlich zulässige Einzellast in Feldmitte in N. Klammerwerte: Resultierende Druckspannung in Wärmedämmschicht (in  $\text{N/mm}^2$ )

<b>Fall I</b> unnachgiebige, starre Tragkonstruktion	Zement-Mörtel	Anhydrit-Mörtel	Fliess-Anhydrit-Mörtel
Trittschall/Schiftung* $E_U \sim 0,3 \text{ N/mm}^2$	183 (0,0305)	149 (0,0381)	131 (0,0411)
expand. Polystyrol* $E_U \sim 1,5 \text{ N/mm}^2$	137 (0,0762)	120 (0,0877)	108 (0,0915)
extrud. Polystyrol $E_U \sim 7,5 \text{ N/mm}^2$	119 (0,1144)	107 (0,1334)	93 (0,1525)
Schaumglasplatten in Bitumen $E_U \sim 60 \text{ N/mm}^2$	92 (0,285)	80 (0,331)	60 (0,481)
* Bei schwerbelasteten Böden ( $> 4 \text{ kN/m}^2$ ) ungeeignet; im Beispiel zur Veranschaulichung der Zusammenhänge			

Tabelle 3. Erforderliche Stärke des Unterlagsbodens zur Aufnahme einer zusätzlichen Einzellast von 20160N (in mm) Klammerwerte: Resultierende Druckspannung in Wärmedämmschicht (in  $\text{N/mm}^2$ )

Andererseits resultieren aus zunehmender, zusätzlicher Einzellast zwangsläufig auch höhere Druckspannungen in der Bettungsschicht. Die im Beispiel ermittelten Druckspannungswerte sagen – als Nachweisgrößen – selbstverständlich noch nichts aus über deren Zulässigkeit im Einzelfall. Vielmehr ist jeweils zu berücksichtigen, ob der ermittelte Wert das Ergebnis einer kurzzeitig einwirkenden Last, einer rollenden (Verkehrs-) Last oder einer statischen Dauerlast darstellt. Jedenfalls ist schon zum Zeitpunkt der «Dateneingabe» für den E-Modul der Bettungsschicht der Art der Nutzlast sowie allfälligen, auf die Bettungsschicht einwirkenden erhöhten Umgebungstemperaturen (größer als  $20^\circ\text{C}/23^\circ\text{C}$  Prüftemperatur) Rechnung zu tragen.

Zum Abschluss interessiert auch die folgende «umgekehrte Fragestellung»: Die Unterlagsböden werden mit jener zusätzlichen Aufstandslast für Fall I (d.h. mit 20 160 N) und für Fall II (d.h. mit 6200 N) belastet, welche für das Plattensystem «Fliess-Anhydrit von 60 mm auf Bettungsschicht  $E_u = 60 \text{ N/mm}^2$ » nach vorstehenden Nachweisen gerade zulässig ist. Gefragt ist also dann nach der je nach Bettungsart notwendigen Nutzplattenstärke, um die vorgeschriebene Aufstandslast unter Einhaltung der spezifischen zulässigen Biegezugspannung aufnehmen zu können. Die Resultate zu dieser Fragestellung sind in den Tabellen 3 und 4 dargestellt.

Die Ergebnisse zeigen, dass – ausgehend von einem definierten E-Modul der Bettungsschicht, einer Nutzplatte von definierter Stärke und einer daraus resultierenden zulässigen Aufstandslast – für die Beibehaltung dieser Aufstandslast bei abnehmendem E-Modul der Bettungsschicht eine erhebliche Verstärkung der homogenen Nutzplatte erforderlich wird; die weichere Bettung würde sonst ein Anwachsen des Biegemomentes unter der konstanten Aufstandslast bzw. ein Überschreiten der zulässigen Biegezugspannung bewirken.

Durch die notwendige Verstärkung des Widerstandsmomentes der Nutzplatte wird gleichzeitig auch deren relative Steifigkeit gegenüber dem Halbraum der Bettungsschicht erhöht, was einen kumulativen Effekt hinsichtlich Plattenbeanspruchung auslöst. Nur dank dem Umstand, dass das Widerstandsmoment der Nutzplatte mit zunehmender Dicke schneller anwächst als das Biegemoment über konstanter Aufstandslast infolge relativ weicherer Bettung, kann die Aufstandslast mittels Plattenverstärkung überhaupt beibehalten werden.

Wenn es also gemäss Tabelle 3 darum geht, eine Aufstandslast von rund 2 t auf eine Nutzplatte aus Zementmörtel abzustellen, verdoppelt sich deren Stärke etwa von 90 mm auf 180 mm, falls nicht eine Bettung mit  $E_u = 60 \text{ N/mm}^2$ , sondern eine solche aus Trittschalldämmung mit  $E_u = 0,3 \text{ N/mm}^2$  massgebend ist.

Nach eingehenden Studien von Prof. L.-O. Nielsson Chalmers, Tekniska Hoegskola, Göteborg (Schweden), bewirkt die Reduktion der Dicke einer hydraulisch gebundenen Nutzplatte um einen Drittel in etwa eine Halbierung der Austrocknungszeit (Messung: 90% RF in Plattenmitte). Es versteht sich somit von selbst, dass die schlanke, auf harter Bettung gelagerte Nutzplatte sowohl hinsichtlich normierter Feuchtigkeitswerte, entsprechender Austrocknungsdauer als auch in Bezug auf das Restrisiko aus «gespeicherter Feuchte» grosse Vorteile gegenüber jener auf weicher Bettung aufweist.

Die Normen SIA 253 und 254 legen für zahlreiche Bodenbeläge die maximalen Feuchtigkeitswerte fest, welche vom

Fall II nachgiebige, elastische Holzbalkendecke ( $E_{J_x} = 7,8 \cdot 10^{11} \text{ N} \cdot \text{mm}^2$ ) ( $E_{J_y} = 0,2 \cdot E_{J_x}$ )	Zement- Mörtel	Anhydrit- Mörtel	Fliess-Anhy- drit-Mörtel
Trittschall/Schiftung* $E_u \sim 0,3 \text{ N/mm}^2$	142 (0,0210)	123 (0,0230)	108 (0,0250)
expand. Polystyrol* $E_u \sim 1,5 \text{ N/mm}^2$	115 (0,050)	100 (0,058)	88 (0,070)
extrud. Polystyrol $E_u \sim 7,5 \text{ N/mm}^2$	104 (0,054)	90 (0,058)	77 (0,070)
Schaumglasplatten in Bitumen $E_u \sim 60 \text{ N/mm}^2$	86 (0,0976)	75 (0,1155)	60 (0,1512)
* Bei schwerbelasteten Böden ( $> 4 \text{ kN/m}^2$ ) ungeeignet; im Beispiel zur Veranschaulichung der Zusammenhänge			

Tabelle 4. Erforderliche Stärke des Unterlagsbodens zur Aufnahme einer zusätzlichen Einzellast von 6200 N (in mm)  
Klammerwerte: Resultierende Druckspannung in Wärmedämmschicht (in  $\text{N/mm}^2$ )

hydraulisch gebundenen Unterlagsboden vor dem Belageinbau erreicht bzw. unterschritten sein müssen. Es ist davon auszugehen, dass auch die nach SIA-Normen mittels CM-Messgerät zu bestimmenden Feuchtigkeiten der Ge-

setzmässigkeit nach L.- O. Nielsson unterliegen.

Adresse des Verfassers: H. Bangerter, Ing. SIA, c/o Weder + Bangerter AG, Ingenieurbüro Zürich, Kloten, Wädenswil, Schaffhauserstrasse 126, 8302 Kloten.

## Bücher

### IP-Holz-Dokumentationen

#### Sanieren und Renovieren

100 Seiten, Format 21 x 30 cm, Preis: Fr. 20.—, Bestell-Nr. 724.808d. Bestelladresse: Bundesamt für Konjunkturfragen, Impulsprogramm Holz, 3003 Bern

Dieses Handbuch vermittelt Grundlagen über das Vorgehen beim Sanieren und Renovieren sowie konstruktive Vorschläge für Massnahmen an den verschiedenen Bauteilen unter Verwendung von Holz und Holzwerkstoffen. Es richtet sich vor allem an Architekten, Bauleiter, Handwerkskader sowie Lehrer von Fachschulen.

Zuerst wird in das spezielle Vorgehen von der Erfassung des Ist-Zustandes über die Massnahmenplanung bis zum Sanierungskonzept eingeführt. Dann werden konstruktive Lösungen für verschiedene Bauteile wie Böden, Wände, Decken, Dächer und Fenster detailliert dargestellt. Es folgt eine kurze Betrachtung über Gestaltungsaspekte und Architektur. Anhand von Fallbeispielen wird schliesslich die praxisgerechte Durchführung von Sanierungen behandelt.

#### Aktuelle Entwicklungen des technischen Holzschutzes

91 Seiten, Format 21 x 30 cm, Preis: Fr. 10.—, Bestell-Nr. 724.982d. Bestelladresse: Bundes-

amt für Konjunkturfragen, Impulsprogramm Holz, 3003 Bern

Diese Tagungsdokumentation zu einem gleichlautenden Seminar im Dezember 1988 entstand im Rahmen des IP-Holz-Bereiches «Neue Technologien». In den abgedruckten Referaten wird dargelegt, mit welchen technischen Verfahren und welchem wirtschaftlichen Erfolg die Imprägnierung dem Holz im Aussen- und Hausbau neue Anwendungsgebiete erschlossen hat.

Hingewiesen wird auch auf künftige Entwicklungen sowie – heute von zentralem Interesse – auf ökologische Aspekte und Auflagen bei der Holzschutzmittelherstellung und -anwendung. Damit gibt diese Publikation einen umfassenden Überblick über den chemischen Holzschutz. Sie wird vervollständigt durch den Abdruck der EMPA/Lignum-Richtlinie «Holzschutz im Bauwesen».

#### Wasserlacke und andere umweltschonende Lacke im Möbel- und Innenausbau

75 Seiten, Format 21 x 30 cm, Preis: Fr. 10.—, Bestell-Nr. 724.948d. Bestelladresse: Bundesamt für Konjunkturfragen, Impulsprogramm Holz, 3003 Bern

Nach den Seminaren mit den gleichlautenden Dokumentationen über «Wasserver-

dünnbare Anstrichstoffe für Holzfenster» und über «Aktuelle Entwicklungen des technischen Holzschutzes» fand im Mai 1989 eine Tagung mit dem Thema «Wasserlacke und andere umweltschonende Lacke im Möbel- und Innenausbau» statt.

Allen drei Veranstaltungen des IP-Holz-Bereiches «Neue Technologien» gemeinsam ist das Aufzeigen von material- und verfahrenstechnisch neuen, umweltfreundlichen Lösungen. Im Möbel- und Innenausbau kommt der Reduktion der Lösemittelabgabe jedoch ein noch vitaleres Interesse jedes einzelnen Konsumenten zu (Wohn- und Arbeitshygiene). Die in der Tagungsdokumentation «Wasserlacke und andere umweltschonende Lacke im Möbel- und Innenausbau» abgedruckten Referate führen von den gesetzlichen Rahmenbedingungen über die Eigenschaften des Lackträgers Holz zu Anwendungshinweisen.

Die von den renommierten Referenten vermittelten Grundlagen und Erfahrungen erstrecken sich sowohl auf den handwerklichen als auch auf den industriellen Betrieb. Die Anwendungsbeispiele von Wasserlacken aus der Praxis unterstreichen die technische Reife und den erzielbaren Markterfolg dieser Produkte.