

Parkdächer, -wärmegeämmte Verkehrsflächen auf Gebäuden

Dipl.-Ing. Jens-Peter Schlee
IFF Ingenieur-Büro für Fachplanung GmbH
Hammer Steindamm 44
22089 Hamburg
www.iff-hamburg.com



Zusammenfassung

Zunehmend sinkende Planungsbudgets, wachsender Termindruck mit der Konsequenz baubegleitender Planung führt zu vermeidbaren Fehlern bei der Herstellung wärmegeämmter Park- bzw. Verkehrsflächen [13, 14]. Hinzu kommt der Erfahrungsverlust durch Abbau älteren Personals, durch den Einsatz neuer Materialien und durch die Umstellung bzw. Anpassung vorhandener Regelwerke an die europäische Normung. Dieser Beitrag stellt einen wiederholt überarbeiteten Ausschnitt aus [1] dar und liefert Planungshinweise zur Konstruktion wärmegeämmter Parkdächer und Verkehrsflächen. Es werden Angaben zu den Lastansätzen gemacht. Die Anforderungen an die Dämmstoffe werden erläutert. Unterschiedliche Aufbausysteme werden beschrieben. Am Beispiel eines Warmdachaufbaus wird die Bemessung einer typischen Stahlbetonfahrbahnplatte für Pkw-Belastung beschrieben. Abschließend werden einige Punkte der neuen DIN 18 195, Teil 10 [17] kritisch beleuchtet.

1. Einleitung

Die Schaffung von Verkehrsflächen über Räumen hochwertiger Nutzung gehört nicht zu den alltäglichen Aufgaben eines Planers. Aus diesem Grund kommen Informationen zu dem Bauteil **Parkdach** oder **wärmegeämmte Verkehrsfläche** in der Ausbildung sowie den Standardwerken zur Planung und Konstruktion relativ kurz. Eine übergreifende DIN-Norm gibt es nicht. Im Rahmen der Entwurfsplanung ist dann meist auch nicht ausreichend Zeit vorhanden, die fehlenden Kenntnisse durch spezielle Fachbücher [1-4], Produktunterlagen oder Herstellerhinweise zu ergänzen. Im Entwurfsstadium erscheint es ausreichend, einen Aufbau von ca. 20 cm (10 cm Wärmedämmung und 10 cm Nuttschicht) vorzusehen. Weitere Überlegungen werden auf den Zeitraum der Ausführungsplanung oder noch schlimmer in die Bauphase verlegt.

Durch dieses Vorgehen werden Randbedingungen, wie z.B. Rohbauhöhen, geschaffen, die sich, wenn überhaupt, nur noch durch schlechte Kompromisse beheben lassen. Es zeigt sich dann später, dass die Planung der Entwässerung und des zugehörigen Gefälles höhere Anschluss- und Abschlusshöhen erfordert und zu folgenden Zwangspunkten führt:

- Geländerhöhen und Türschwellen stimmen nicht mit den bauaufsichtlichen Forderungen überein und müssen geändert werden.
- Das Planungsraster der Fassade muss der neuen Brüstungshöhe angepasst werden.
- Die Rampenneigung muss Übergänge erhalten, damit die Fahrzeuge nicht aufsetzen. Die Differenzhöhen müssen im Nuttschicht ausgebildet werden.
- Durchfahrtshöhen sind nicht mehr ausreichend und bringen eine Einschränkung der vorgesehenen Nutzung mit sich.

- Der Gefälleestrich wurde in der Genehmigungsstatik bei der Deckenlast nicht berücksichtigt. Die Nutzlasten sind entsprechend zu reduzieren.
- Die zulässigen Gesamtgewichte der Fahrzeuge werden niedriger beschränkt als ursprünglich vorgesehen, um die lastverteilende Nuttschicht möglichst dünn auszuführen.
- Die Dicke der Wärmedämmung wird gegenüber dem genehmigten Energieeinsparnachweis verringert und Ersatzmaßnahmen werden erforderlich.

Um trotzdem noch eine nutzbare Parkebene bzw. Verkehrsfläche zu erhalten, wird möglichst auf Gefälle verzichtet, oder dieses mit einem kurzen Gegengefälle zu den Rändern bzw. zum Bauwerksinneren hin ausgeführt. Die Dämmstoffdicke wird teilweise in unvertretbarem Maße zurückgenommen. Die Stärke des Nuttschichtes wird reduziert. Dieser Maßnahmenkatalog widerspricht den „anerkannten technischen Regeln der Baukunst“ und führt üblicherweise zu einem Mangel oder Bauschaden mit den eingangs erläuterten Konsequenzen [14].

2. Beanspruchungen und Anforderungen

Die Parkdachkonstruktion, bzw. die wärmegeämmte Verkehrsfläche, wird durch bauphysikalische, statische, bzw. dynamische, biologische und chemische Einwirkungen beansprucht. Wesentlich für die richtige Dimensionierung des Aufbaus und Wahl der Baustoffe ist die Kenntnis der möglicherweise schädlichen Einwirkungen sowie der wärmetechnischen Anforderungen [18, 19] und der Ansatz einer wirklichkeitsnahen Belastung.

Die Oberfläche eines Parkdaches wird durch die vorgesehene Nutzung mechanisch, statisch und dynamisch beansprucht. Die üblichen Abdichtungs- und Dämmstoffe sind nicht in der Lage diesen Einwirkungen ohne

Schutz- bzw. Druckverteilungsschichten zu widerstehen. Aus diesem Grund werden die Beanspruchungen mittels einer Nutzschrift übertragen.

Zur Dimensionierung der druckverteilenden Nutzschrift, zum Nachweis der Druckspannung und Stauchung in der Dämmung und Abdichtung ist die Angabe einer Einzellast und der zugehörigen Aufstandsfläche erforderlich (Rad- oder Achslast). Erst auf der Grundlage dieser Bemessungsgröße und der bauphysikalischen Randbedingungen ist eine sichere Aussage zur Konstruktionsart und zur Baustoffwahl zu machen. Diese Angabe muss für den Hersteller des Parkdaches aus der Ausschreibung hervorgehen.

Inzwischen wurden die maßgebenden Normen auf das semiprobabilistische Bemessungskonzept umgestellt, so dass die im Folgenden angegebenen charakteristischen Lastgrößen mit einem Teilsicherheitsbeiwert ($\gamma_Q = 1,5$) zu vervielfachen sind. Da es sich bei den Schutzschichten nicht um tragende Bauteile im Sinne der Bauordnung handelt und beim Versagen keine Gefahr für Leib und Leben besteht, liegt der Ansatz eines modifizierten Teilsicherheitsbeiwertes im Verantwortungsbereich des Planers und / oder Bauherren.

2.1 Belastung durch Personenkraftwagen

Für Parkdächer, die ausschließlich durch Pkws mit einer Gesamtlast von bis zu 25 kN genutzt werden, ist die neue DIN 1055-3, Abs. 6.3 [15] maßgebend. Hier wird für die Kategorie F eine Radlast von $Q_k = 10$ kN auf eine Fläche von $20 * 20$ cm² angegeben. In Abhängigkeit von der Lasteinzugsfläche liegt die Gleichlast zwischen 2,0 bis 3,5 kN/m², für Zufahrtsrampen zwischen 3,5 und 5,0 kN/m². Die Lasten gelten als vorwiegend ruhend. Die Zufahrten zu Flächen, die für die Kategorie F bemessen wurden, müssen durch Vorrichtungen begrenzt werden, die die Durchfahrt schwererer Fahrzeuge verhindern. Bei Decken, die durch Personenwagen befahren werden, ist an den Einfahrten das zulässige Gesamtgewicht anzugeben.

Besteht die Möglichkeit einer gemischten Nutzung, wie z. B. bei ebenerdigen Hofkellerdecken, sind mindestens die Radlasten für die Brückenklasse 6/6 nach DIN 1072 anzusetzen.

Da die frühere Ausgabe der DIN 1055 keine Angabe zur Radlast eines Pkws machte, wurde für den Nachweis der Beanspruchung durch Einzellasten infolge Raddruck bis 2006 die Regelung der DIN 1055 von 1963 beibehalten (siehe auch alte DIN 1045, 19.7) und für Pkws mit einem zulässigem Gesamtgewicht von $G = 2,5$ t eine Radlast von $F_{Rmax} = 0,75$ t = 7,5 kN berücksichtigt.

Durch eine inzwischen überholte Regelung der Kfz-Steuer, die gewerblich genutzte Pkws mit einem zulässigen Gesamtgewicht über 2,8 t als LKW günstiger besteuert, und die Obergrenze des zulässigen Gesamtgewichts von 3,5 t für die Führerscheinklasse B (früher 3), hat sich der Anteil schwerer SUVs an den Gesamtzulassungen deutlich erhöht [25]. Da die in DIN 1055-3, Abs. 6.3 (5) theoretisch geforderte Zufahrtsbegrenzung für schwerere Pkws praktisch nur schwierig realisierbar ist,

und tatsächlich ein nicht unerheblicher Anteil von Fahrzeugen die 2,5 t-Grenze überschreitet, sollte im einzelnen überlegt werden, die Konstruktion für Brückenklasse 3/3 auszulegen.

2.2 Belastung durch LKW's- und Schwerlastverkehr

Für wärmegeämmte Hofkellerdecken oder ähnliche Verkehrsflächen, die von Lastkraftwagen bzw. Bussen befahren werden, können die Lastansätze der DIN 1072 [16], Straßen und Wegbrücken, Lastannahmen, entnommen werden. Die Belastung ist mit dem Tragwerksplaner für die tragende Konstruktion abzustimmen. Die hier gewählten Lastansätze sollten auch für die Dimensionierung der Nutzfläche herangezogen werden.

Nach Absatz 3.3.4 der DIN 1072 sind die Lasten der Hauptspur mit einem Schwingbeiwert von $\phi = 1,4$ zu erhöhen. Da auf eng begrenzten Hofflächen häufig nur mit niedrigen Geschwindigkeiten gefahren werden kann, und vielfach nur eine geringe Nutzungsfrequenz zu erwarten ist, liegt es im Ermessen des Bauherrn, unter der Voraussetzung einer relativ ebenen Verkehrsfläche, für den Nutzbelag eine reduzierte Lastwechselzahl anzugeben und damit eine geringere Aufbaustärke zu erhalten.

Brücken werden inzwischen nach den Lastangaben des DIN-Fachberichtes 101 [22] dimensioniert. Wenn für Gebäudeteile ebenfalls die Anforderungen nach den DIN-Fachberichten gefordert werden, ist dies wahrscheinlich in Zukunft auch für die Dämmung und Nutzschrift verbindlich. In diesem Fall ist eine Radlast von $Q_{Rad} = 0,8 * 120 = 96$ kN auf eine Fläche von $40 * 40$ cm² in ungünstigster Stellung anzusetzen. Die Last enthält bereits den Schwingbeiwert. Zusätzlich ist eine durchgehende Verkehrslast von $q_{ik} = 9,0$ kN/m² zu berücksichtigen. Weitere Brückenklassen sind nicht vorgesehen.

Aus Brems-, Anfahr- und Rangiervorgängen ergeben sich für die Nutzschrift Horizontallasten, die ggf. durch spezielle Einbauteile (Telleranker o.ä.) an das Tragwerk zu übergeben sind, ohne auf die Abdichtung und Dämmung einzuwirken. Die Größenordnung ist im Einzelfall zu bestimmen, da meistens vom Brückenbau abweichende Nutzungen vorliegen.

2.3 Feuerwehrüberfahrten und Hofkellerdecken

Im Rahmen der Baugenehmigung sind auch die von Feuerwehrfahrzeugen zu nutzenden Flächen festzulegen. Häufig fallen diese Bereiche mit unterkellerten Grundstücksteilen zusammen, sodass diese Decken entsprechend der DIN 1055, Lastannahmen für Bauten, Teil 3, Abschnitt 6.4.4, als Hofkellerdecken mindestens für Brückenklasse 6/6 nach DIN 1072 zu bemessen sind.

DIN 1055-3, Abs. 6.4.4 (2)

Hofkellerdecken, die nur im Brandfall von Feuerwehrfahrzeugen befahren werden, sind für die Brückenklasse

16/16 nach DIN 1072: 1985-12 Tabelle 2 zu berechnen....Der geforderte Nachweis für eine einzelne Achslast von 110 kN darf entfallen. Die Verkehrslast darf als vorwiegend ruhend eingestuft werden und braucht auch nicht mit einem Schwingbeiwert vervielfacht zu werden.

2.4 Belastung durch Gabelstaplerbetrieb

Häufig werden wärmegeämmte Hofkellerdecken oder ähnliche Verkehrsflächen zusätzlich zum LKW-Verkehr durch Gabelstapler belastet. Grundsätzlich besteht die Möglichkeit, die Radlasten aus dem Typenblatt des eingesetzten Gerätes zu entnehmen. Andererseits ist in der Planungsphase ein spezieller Staplertyp noch nicht bekannt oder soll nicht auf Dauer festgeschrieben werden. Aus diesem Grund ist es zweckmäßig, zunächst die Lastangaben der DIN 1055-3 [15] heranzuziehen.

Hier werden in Abschnitt 6.4.3, Tabelle 4 und 5 die Lastansätze der Kategorie G wie folgt angegeben:

Gabelstapler mit einer zulässigen Gesamtlast von $G = 31$ bis 190 kN (alte DIN 1055: 2,5 t bis 13,0 t).

Achslast $2 \cdot Q_k = 26$ kN bis 170 kN (20 kN – 120 kN)

Schwingbeiwert $\phi = 1,4$

Radaufstandsfläche $A = 20$ cm * 20 cm

Zusätzliche Nutzlast $q_k = 12,5$ kN/m² bis 20,0 kN/m² (10,0 kN/m² bis 25,0 kN/m²).

Werden Kunststoffräder oder Stahlrollen eingesetzt, so sind zusätzliche Überlegungen hinsichtlich des Rad-drucks und der Oberflächenhärte erforderlich.

2.5 Hubschrauberlandeplätze

Bei Krankenhäusern, Polizei- und Bundeswehrebauten und anderen Gebäuden der öffentlichen Hand kann es vorkommen, dass die Dachfläche auch als Hubschrauberlandeplatz ausgelegt wird. In diesem Fall ist die Nutzfläche für Einzellasten aus dem Hubschrauber zu dimensionieren.

In der DIN 1055, Lastannahmen für Bauten, Teil 3, Abs. 6.4.5, Tabelle 6 werden unter Kategorie K Regellasten für Hubschrauber mit einem zulässigen Abfluggewicht von $G = 3$ t bis 12 t angegeben (alte DIN 1055: 2 u. 6 t). Die Regellast Q_k liegt dementsprechend bei 30 kN bis 120 kN (20 kN + 60 kN). Die Seitenlänge der quadratischen Aufstandsfläche beträgt wie bisher 20 cm bzw. 30 cm.

Die Lasten sind mit einem Schwingbeiwert von $\phi = 1,4$ zu vervielfachen.

Weiter ist eine zusätzliche Nutzlast von 5,0 kN/m² zu berücksichtigen.

Unter Umständen sind zusätzliche Vorschriften, wie z. B. das ICAO Heliport Manual mit höheren Lastansätzen zu berücksichtigen.

2.6 Beanspruchungsart

Zusätzlich zur Lastgröße sind noch die Unterschiede in der Art der Belastung für die Auswahl der Baustoffe zu berücksichtigen.

Anders als Biegeträger werden elastisch gebettete Platten nicht in Schwingungen versetzt, sodass nach Lohmeyer / Ebeling [23] die Lasten nicht mit einem Schwingbeiwert sondern in Abhängigkeit von der Nutzungsfrequenz n mit einer Lastwechselzahl ϕ_n zu vervielfältigen ist. Für den Teilsicherheitsbeiwert wird entgegen der DIN 1055-100 ein Wert von $\gamma_Q = 1,35$ anstatt $\gamma_Q = 1,5$ vorgeschlagen. Somit ergeben sich folgende Werte aus [23].

Lastwechselanzahl	ϕ_n	$\phi_n \cdot \gamma_Q$ $\gamma_Q=1,35$
$n \leq 1 \cdot 10^3$	1,07	1,45
$n \leq 5 \cdot 10^3$	1,11	1,50
$n \leq 1 \cdot 10^4$	1,15	1,55
$n \leq 5 \cdot 10^4$	1,19	1,60
$n \leq 1 \cdot 10^5$	1,22	1,65
$n \leq 1 \cdot 10^6$	1,26	1,70
$n > 1 \cdot 10^6$	1,30	1,75

Üblicherweise wird eine Parkfläche täglich durch eine Vielzahl von Fahrzeugen benutzt (z.B. Einkaufszentrum, $n > 1 \cdot 10^6$). Die Fahrzeuge wechseln etwa in stündlicher Frequenz. Aus Sicht der Dämmstoffe handelt es sich um eine Kurzzeitbelastung (dynamische Belastung). Für die Stellplätze ist von einer deutlich geringeren Nutzungsfrequenz als für die Fahrgassen auszugehen. Werden die Stellplätze vermietet, oder handelt es sich um eine Ausstellungsfläche, so ist eine Dauerbeanspruchung eher möglich. Bei der Dimensionierung der Nutzplatte kann in diesem (Dauer)Lastfall die Lastwechselzahl vernachlässigt werden. Die Druckspannungen sind den Dauerlastwerten des Dämmstoffes gegenüberzustellen.

Auf Hofkellerdecken mit Be- und Entladebetrieb, möglicherweise noch unter Zuhilfenahme eines Gabelstaplers, wird die Oberfläche durch Rangiervorgänge besonders auf Abrieb oder Verschiebung beansprucht (Rollen und Schleifen). Wiederholt auf der Stelle drehende Räder führen insbesondere bei gepflasterten Flächen zu Fugenverschiebungen. Derartige Fugenverschiebungen sind auch im Bereich von Schranken, die zu Brems- und Anfahrvorgängen führen, zu beobachten.

Selbstverständlich sind die Einflüsse aus Dauerlast und Rangierbetrieb auch von der Lastgröße und der Art der Bereifung abhängig. Eine unebene Oberfläche verstärkt dynamische Einflüsse.

Zusätzlich zu den Fahrzeugbelastungen sind die Auswirkungen von Beanspruchungen aus Temperaturänderung, Temperaturunterschied und betontechnologischen Vorgängen (Schwinden und Quellen) zu bewerten. Während auf harter Bettung meist die Untersuchung der Lastfälle „Rad auf der Plattenecke, am Plattenrand und in der Plattenmitte“ genügt, kann auf weicher Bettung der Einfluss von Nachbarlasten (Achslast) ausschlaggebend sein.

Tabelle 1: Zusammenstellung der charakteristischen Radlasten nach DIN 1072, DIN 1055 und DIN Fachbericht 101

Fahrzeug	Radlast [kN]	F . 1,4 [kN]	Brücken- klasse	Radlast bzw. ½ Achslast [kN]	F . 1,4 [kN]
Pkw DIN 1055 (1963)	7,5 (0,19)	(10,5)			
Pkw DIN 1055 (neu)	10,0 (0,25)				
DIN-Fachbe- richt 101	$Q_k = 96,0$ (0,60)	Zusätzliche Flächenlast	$q_k = 9,0 \text{ kN/m}^2$		
LKW 3	10,0 (0,25)	14,0 (0,35)	3 / 3	15,0 (0,38)	21,0 (0,53)
LKW 6	20,0 (0,50)	28,0 (0,70)	6 / 6	30,0 (0,58)	42,0 (0,81)
LKW 9	30,0 (0,58)	42,0 (0,81)	9 / 9	45,0 (0,75)	63,0 (1,05)
LKW 12	40,0 (0,67)	56,0 (0,93)	12 / 12	55,0 (0,68)	77,0 (0,96)
LKW 16	50,0 (0,63)	70,0 (0,88)	16 / 16	55,0 (0,68)	77,0 (0,96)
SLW 30	50,0 (0,63)	70,0 (0,88)	30 / 30	65,0 (0,71)	91,0 (0,99)
SLW 60	100,0 (0,83)	140,0 (1,17)	60 / 30	100,0 (0,83)	140,0 (1,17)

Klammerwerte geben den Kontaktdruck in N/mm^2 für die vorgeschriebene Aufstandsfläche an. Es ist deutlich zu erkennen, dass die zulässigen Druckfestigkeiten üblicher Dämmstoffe überschritten werden und somit unbedingt eine Lastverteilungsschicht erforderlich ist.

3. Wärmedämmung

Die Wärmedämmung soll den unkontrollierten Zutritt und Abfluss von Wärmeenergie in oder aus dem Gebäude verhindern. Thermische Beanspruchungen in der Tragkonstruktion können durch eine konstruktive Wärmedämmung reduziert werden. Die Bemessungswerte der Wärmeleitfähigkeit der im Parkdach einsetzbaren Dämmstoffe liegen zwischen $\lambda = 0,035$ bis $\lambda = 0,070$ W/mK [18].

Nach DIN 4108 – 2 wird für massive Dächer, die Aufenthaltsräume gegen die Außenluft abgrenzen, ein Mindestwärmedurchlasswiderstand von $R = 1,2$ m²K/W gefordert. Dies führt zu einer Mindestdämmstoffdicke von ca. 5,0 cm, die auch im Bereich der Tiefpunkte von Gefälledämmung nicht unterschritten werden sollte.

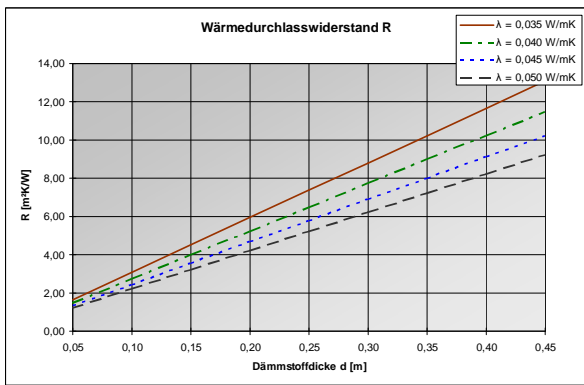


Bild 1: Wärmedurchlasswiderstand R für Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0,035$ bis $\lambda = 0,050$ in Abhängigkeit von der Dämmstoffdicke

Mit der neuen Energieeinsparverordnung (EnEV 2009) haben sich die Anforderungen an den Wärmeschutz weiter verschärft. Für Neubauten wird der Heizwärmebedarf an Hand eines Referenzgebäudes, für das der Wärmedurchgangskoeffizient der Dachdecke mit $U = 0,20$ W/m²K festgelegt wird, nachgewiesen. Dieser Wert gilt mit Ausnahme von Gebäuden mit niedrigen Innentemperaturen auch im Fall von Änderungen (oder Instandsetzungen) von Dachflächen und führt zu mittleren Dämmstoffstärken von 15,0 bis 25,0 cm

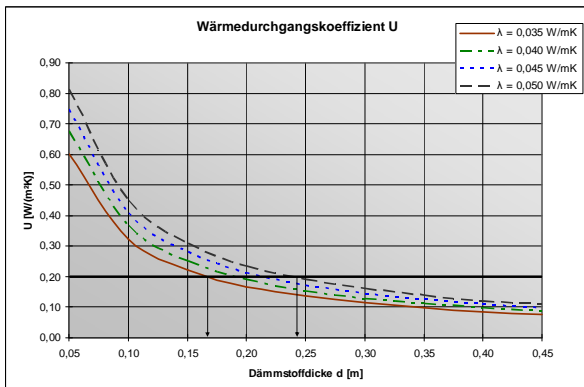


Bild 2: Wärmedurchgangskoeffizient U für Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0,035$ bis $\lambda = 0,050$ in Abhängigkeit von der Dämmstoffdicke

Sofern es sich um Baudenkmäler handelt oder die nach EnEV erforderlichen Maßnahmen für den Bauherrn eine unbillige Härte darstellen, kann bei der nach Landesrecht zuständigen Behörde eine Ausnahme oder Befreiung beantragt werden. Für die Einhaltung der Vorschriften sind im Rahmen ihres jeweiligen Wirkungskreises auch Personen verantwortlich, die im Auftrag des Bauherrn bei der Errichtung oder Änderung von Gebäuden tätig werden [19, 24].

Mit Ausnahme des Umkehrdaches sind nur die auf der Innenseite der Abdichtung liegenden Schichten auf den Wärmedurchlasswiderstand anzurechnen.

Um Tauwasserausfall in der Konstruktion, insbesondere in der Wärmedämmung, zu vermeiden, ist unterhalb dieser eine Dampfsperre anzuordnen, die häufig gleichzeitig als Notabdichtung dient.

Wird Schaumglas als Dämmstoff eingebaut, so kann wegen der Dampfdichtigkeit dieses Systems auf eine Dampfsperre verzichtet werden.

Bei einer Ausführung als Umkehrdach fällt die Dampfsperre mit der Abdichtung zusammen. Es sind die Anforderungen für eine Abdichtung zu beachten. Die Dämmstoffdicke ist entsprechend der Zulassung zu erhöhen. Die Oberfläche der Abdichtungsebene muss den Ebenheitsanforderungen der Zulassung genügen. Es ist ein Wasseranbau auf der Abdichtungsfläche zu vermeiden.

Da die Wärmedämmung einen großen Teil der Aufbauhöhe ausmacht, wird bei niedrigem Steifemodul der Dämmschicht die Dimensionierung des Oberbelages maßgebend beeinflusst.

Kennzeichnende Parameter für die Auswahl des im Parkdach oder unter Verkehrsflächen einzusetzenden Dämmstoffes ist zum einen die Steifigkeit, also das Verhältnis von Stauchung zur Druckspannung (entspricht etwa dem E-Modul). Andererseits ist der absolute Betrag der Druckfestigkeit bzw. der aufnehmbaren Druckspannung von Bedeutung. Da bei Schaumkunststoffen in dem maßgebenden Bereich kein eindeutiges Versagen auftritt, wird in der Norm die Stauchung ersatzweise als Versagenskriterium auf 10% begrenzt.

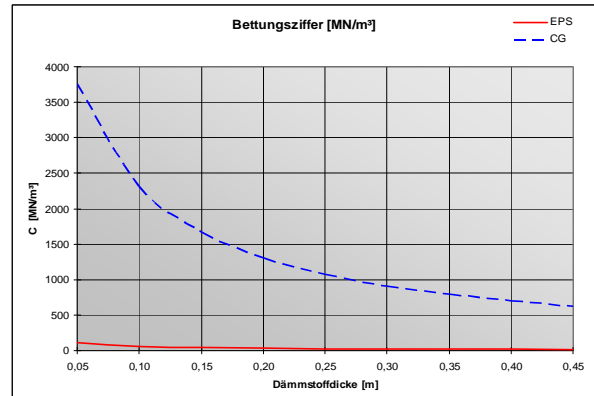


Bild 3: Bettungsziffer für EPS 200 + CG, Typ F abhängig von d. Dämmstoffdicke

Tabelle 2: Kenndaten marktüblicher Dämmstoffe

	λ W/mK	E MN/m ²	σ_{zul} N/mm ²	Sicherh.- wert / Verf.- grenze	Bemes- sungswert f_{cd} [N/mm ²]	μ	Brand- schutz- klasse	Rohdichte kg/m ³
Schaumglas CG DIN EN 13167 DAA/dh, ds, dx	0,042 ↓ 0,052	65,0 ¹⁾ ↓ 500,0 ²⁾	0,22 ↓ 0,68 $\sigma_B = 0,7 - 1,2$	3,2 ³⁾	0,31 ↓ 0,53	60.000 ↓ ∞ ⁴⁾	A1	110 ↓ 165
Expandiertes Polystyrol EPS DIN EN 13163 DAA/dm, dh, ds	0,035 - 0,060	7,4 ↓ 9,0	0,04 – 0,06 - (0,27)	<2% <10% ⁵⁾		20 - 100	B1	20 ↓ 40
Extrudiertes Polystyrol XPS DIN EN 13164 DAA/DUK dh, ds, dx	0,035 - ⁶⁾ 0,045	6,0-12,5 ^{D)} - 20,0-25,0 ^{K)}	0,18-0,25 - (0,5-0,7)	<2% <10% ⁵⁾	0,25-0,36	80 - 250	B1	40 ↓ 50
Polyurethan PUR DIN EN 13165 DAA/dh, ds	0,035 - 0,040	5,0 - 1,6	(0,15)	<10% ⁵⁾		30 ↓ 100	B2	≥30
Perliteplatten EPB DIN EN 13169 DAA/ds	0,055 - 0,060	33,0 6,5	(0,25) 0,13	<10% ⁵⁾		5	A2 - B2	150 ↓ 210
CaSi-Hydrat (MULTIPOR) (DAA/dh,ds) ⁸⁾	0,045	200,0	0,15	2,5		3/5	A1	100 ↓ 115

1) Inkl. Bitumschichten

2) In Produktunterlagen wird ein separierter E-Modul für Schaumglas von 800 bis 1.200 N/mm² angegeben

3) Relativ hoher Sicherheitsbeiwert z. B. für Gründungsbauteile; für Parkdächer wird hier 2,5 gewählt

4) Praktisch dampfdicht

5) Dämmstoffstauchungen von 10% sind bei den heutigen Dämmstoffdicken technisch nicht vertretbar

6) Bis $d \leq 60$ (40) mm: $\lambda = 0,035$ W/mK; $d \leq 60$ (40) mm: $\lambda = 0,040$ W/mK; UK-Dach bis $d = 120$ mm

7) Bei Einsatz im Umkehrdach ist der Mindestwärmeschutz und der U-Wert zu erhöhen, (Zulassung, DIN 4108-2)

8) Calciumsilikat-Hydrat (MULTIPOR) ist nicht in DIN 4108, Teil 10 geregelt (Zulassung Z-23.11-1501)

D) Dauerlast K) Kurzzeitbeanspruchung

Wichtig für den Einsatz von Dämmstoffen unter ständiger Last ist die Dauerstandsfestigkeit.

In der DIN 4108-10 [18, 21] werden die Dämmstoffe unterschiedlichen Anwendungstypen zugeordnet.

DAA: Außendämmung von Dach oder Decke, vor Bewitterung geschützt, Dämmung unter Abdichtung.

DUK: Außendämmung des Daches, der Bewitterung ausgesetzt, Umkehrdach.

dh: hohe Druckbelastbarkeit. Terrasse...

ds: Sehr hohe Druckbelastbarkeit. Parkdeck...

dx: Extrem hohe Druckbelastbarkeit. Parkdeck..

Üblicherweise sind zwei Beanspruchungszustände zu untersuchen, und zwar:

- **Kurzzeitbelastung:** Dynamische Einflüsse werden über eine Lastwechselzahl berücksichtigt. Für Dämmstoff und Abdichtung werden die hohen E-Moduli für Kurzzeitbeanspruchung angesetzt. Bei der Berechnung einer lastverteilenden Betonplatte wird mit einem E-Modul (Sekantenmodul) nach DIN 1045-1 gearbeitet. Es treten hohe Druckspannungen im Dämmstoff auf.
- **Langzeitbelastung:** Entsprechend Abschnitt 2.1 ist in diesem Fall auf den Ansatz einer Lastwechselzahl zu verzichten. Für Abdichtung und Dämmung ergeben sich niedrigere E-Moduli. Möglicherweise kann beim Tragfähigkeitsnachweis der Nutzschicht

auch der steifigkeitsmindernde Einfluss aus dem Betonkriechen herangezogen werden. In diesem Fall werden die maßgebenden Beanspruchungen der Betondruckplatte ermittelt.

Im Allgemeinen ist man hinsichtlich der Kennwerte der unterschiedlichen Dämmstoffe auf die aktuellen Herstellerangaben angewiesen. Diese sind aus Zulassungen, Prospekten, Normen und verschiedenen Gutachten zu entnehmen.

Mit der vorstehenden Tabelle wird der Versuch unternommen, die zum jetzigen Zeitpunkt aktuellen Eckdaten für Dämmstoffe, die nach Auffassung der Hersteller unter wärmedämmten Verkehrsflächen einsetzbar sind, im Überblick darzustellen.

4 Nutz- bzw. Fahrbelag

Die Beanspruchungen, die sich aus der Nutzung als Verkehrsfläche ergeben, sind von dem Nutzbelag schadenfrei aufzunehmen und so zu verteilen, dass sie für die darunter liegenden Schichten keine Gefährdung darstellen. Im Vordergrund der Überlegungen sollte immer die Schutzwirkung des Oberbelags stehen.

4.1 Ortbetonbeläge

Für die Herstellung von Nutzbelägen aus Beton oder Betonfahrbahnplatten kann auf die DIN 1045-1, Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton [20], Teil 1: Bemessung und Konstruktion zurückgegriffen werden. Da es sich bei dem Oberbelag nicht um ein bauaufsichtlich zu prüfendes Bauteil handelt, sind die Bemessungsnormen nicht zwingend zu beachten.

In Rand- und Anschlussbereichen sind Fugen oder Randstreifen vorzusehen, die eine Beschädigung des Abdichtungsanschlusses verhindern.

Unterschiedliches Betonschwinden und Temperaturdifferenzen zwischen Plattenober- und -unterseite führen zu lastunabhängigen Plattenverformungen, Schüsseln und Wölben. Um die damit verbundenen Zwangsspannungen in einer unschädlichen Größenordnung zu halten, wird empfohlen, die Fahrbahnplatten in Abständen von 25 bis 30h (37h) durch Fugen in möglichst quadratische Felder zu unterteilen.

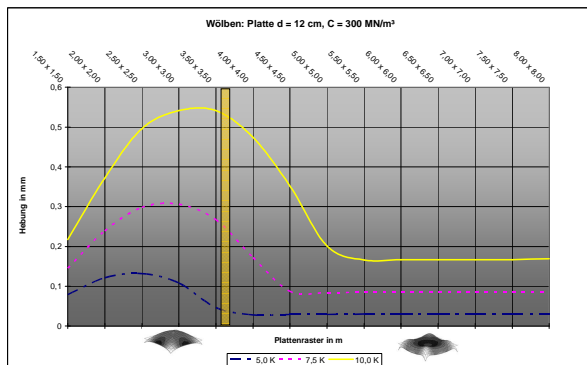


Bild 4: Wölben: Plattenhebung in Abhängigkeit von Plattenraster und Temperaturgradient

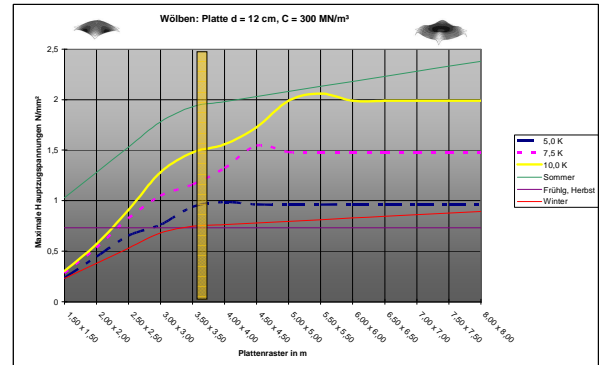


Bild 5: Wölbspansungen in Abhängigkeit vom Plattenraster und dem Temperaturgradienten

In der Praxis werden Ortbetonplatten auf Trenn- und Gleitschichten in verschiedenen Rastermaßen angeboten und ausgeführt. Bei ausschließlicher Pkw-Nutzung und druckfester, stauchungsarmer Dämmung reicht eine 12 cm dicke Betonplatte (C30/37 LP) mit einer etwa mittigen Bewehrungsmatte aus. Höhere Belastungen, z.B. aus schweren Lieferfahrzeugen (SLW 30, Busse), erfordern eine Plattendicke bis ca. 20 cm mit zweilagiger Bewehrung. Der Beton soll nach Möglichkeit im Zustand I, also ungerissen, verbleiben. Die mittige, bzw. zweilagige Bewehrung soll für den Fall, dass es zu einem Riss kommt, als zusätzliche Sicherheit im Bemessungszustand II die Abdichtung und Dämmung vor Beschädigung schützen.

Im Bereich von Rampen und voraussichtlich häufig auftretenden, gerichteten Horizontallasten aus Anfahren, Bremsen etc. (Bushaltestellen, Kurven) sind die Platten durch spezielle Anker gegen seitliches Verschieben zu sichern.

Bei hohen Einzellasten und eventuell weichen Bettungen wird manchmal vorgeschlagen, die Plattenbeanspruchung durch eine Dübelverbindung in den Fugen zu reduzieren (siehe auch 7. Anmerkungen zur DIN 18195-10). Gleichzeitig sollen hierdurch Fugenversätze verhindert werden. Die Herstellung verdübelter Fugen ist mit erheblichem Aufwand und Kosten verbunden, und sollte, wenn möglich, durch andere konstruktive Maßnahmen wie z.B. härtere Bettung und / oder dickere Platten vermieden werden.

Unabhängig von der Art der Ausführung sollten örtlich hergestellte Betonoberbeläge entsprechend DIN 1045-3 sorgfältig nachbehandelt werden.

Verschiedentlich werden anstatt der bewehrten Stahlbetonplatten auch faserverstärkte Fahrbahnplatten angeboten. Insbesondere bei Kunststofffasern ist zu bedenken, dass diese nach DIN 1045-2 nur wie Zusatzmittel behandelt werden. Die Dauerhaftigkeit, sowie die Tragfähigkeit ist durch den Beton- oder Faserlieferanten nachzuweisen [26, 27, 28].

Insbesondere bei intensiven Beanspruchungen wird oberhalb der Betonfahrbahn eine Verschleißschicht aus Gussasphalt oder als „halbstarrer Belag“ angeordnet. In diesem Fall kann ein größeres Fugenraster gewählt werden.

4.2 Fertigteilplatten

Da die Ortbetonflächen erst nach einer mehrwöchigen Erhärtungszeit genutzt werden dürfen, stehen in letzter Zeit Fertigteilplatten vermehrt zur Diskussion. Bei den Fertigteilplatten handelt es sich um bewehrte oder unbewehrte Platten aus mehr oder weniger hochfestem Beton. Für Pkw-Nutzung werden üblicherweise 8,0 cm dicke Platten auf Abstandshaltern über der Abdichtung bzw. der Dämmung verlegt [1, 5, 14]. Aufgrund der Plattenabmessungen und Gewichte der Fertigteile, die für Pkw-Befahrung herstellerseits empfohlen werden, wird bei großflächigem Einbau sinnvollerweise leichtes Gerät eingesetzt. Beim Transport der Betonplatten auf der Dachdecke ist die rechnerisch zulässige Belastung dieser zu beachten. Das Absetzen großer Vorratsstapel mit einem Kran für die weitere Verlegung kann unzulässige Lastkonzentrationen mit sich bringen. Da das Gewicht einer Platte im Verhältnis zu Ortbetonbelägen deutlich geringer ist, und die Platten nur punkt- oder streifenweise gelagert sind, besteht die Gefahr einer Plattenverschiebung durch Horizontalkräfte aus Brems- und Anfahrvorgängen. Die Fertigteilplatten sind untereinander und mit dem Rand auszusteifen. Wegen des hohen Fugenteils ist eine Verfugung mit dauerelastischem Material unwirtschaftlich. Somit ergibt sich der Vorteil, dass das Niederschlagswasser durch die offenen Fugen direkt auf die Abdichtungsebene gelangt und dort abgeführt wird. Die Fugen sind regelmäßig zu reinigen, damit es nicht zu Bewuchs und damit zur Gefahr der Durchwurzelung kommt.

Als Vorteil der lose verlegten Fertigteilplatten wird angesehen, dass diese im Reparaturfall einfach und schadensfrei aufgenommen werden können und somit die Abdichtung und Dämmung leicht zugänglich ist. Vereinzelt wird auch auf eine mögliche Brandausbreitung unterhalb des Fahrbelags, insbesondere im Zusammenhang mit einer Umkehrdachkonstruktion hingewiesen. Für Beanspruchungen, die über die Pkw-Lasten hinausgehen, die sich z.B. aus Mischbetrieb ergeben, werden derzeit keine Fertigteilplatten für das Parkdach angeboten.

4.3 Pflasterbeläge

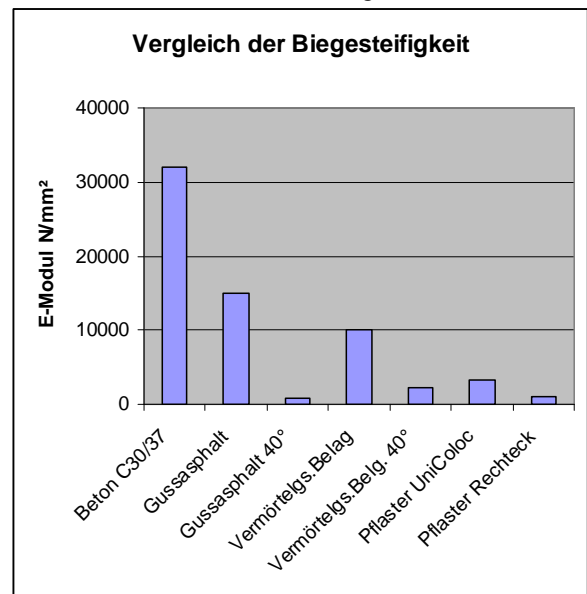
Häufig besteht aus gestalterischen Gründen der Wunsch, auf Parkdächern Naturstein- oder Betonsteinpflaster als Nutzschrift einzusetzen. Diese Belagsart kommt aus dem Straßenbau und hat sich dort im Zusammenhang mit dem entsprechenden Unterbau bewährt.

Auf wärmegeämmte und abgedichtete Flächen, wie im Falle von Parkdächern sind straßenbauähnliche Bedingungen jedoch nicht einfach zu übertragen. Zieht man z.B. die „Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaues von Verkehrsflächen“, RStO 01 heran, so erkennt man, dass dort Aufbaudicken von $d > 30$ cm und mehr gefordert werden [29, 30, 31].

Die Übertragung derartiger Straßenbaubeläge auf Parkdächer unter Verwendung erheblich geringerer

Aufbaudicken, hat in der Vergangenheit häufig zu Problemen geführt [1, 14]. So sind vielfach lose und verschobene Pflasterflächen, u.a. auch auf federnden Dämmschichten zu bemängeln. Bei Umkehrdächern mit Verbundsteinpflaster wurden aufgrund der wasser-gesättigten und verschlammten und somit annähernd diffusionsdichten Pflasterbettung außerdem die höchsten (unzulässigen) Feuchtigkeitsgehalte im Dämmstoff festgestellt.

Die wesentliche Funktion der Lastverteilung wird durch eine gepflasterte Nutzfläche gegenüber einem Ortbetonoberbelag nur ungenügend erfüllt. Während in den Anfängen des Pflasterwegebbaus die hauptsächliche Tragfähigkeit der Pflasterdecke aus der Gewölbewirkung resultierte, baut man bei den heutigen ebenen Flächen auf eine Verkrallung (Verbund) der Steine untereinander. In [31] wird ein äquivalentes E-Modul für unterschiedliche Betonsteinpflaster angegeben. Dieser Wert ist von der Pflasterform abhängig und liegt zwischen 1000 bis 3200 N/mm². Dies verdeutlicht die Wirksamkeit einer Lastverteilung durch gepflasterte Oberflächen und somit auch die damit verbundene Schutzfunktion für die Abdichtung.



Beim Überrollvorgang werden die betroffenen Pflastersteine mit Fortschreiten des Rades ausmittig belastet. Anstatt durch den Gewölbeschub, werden die einzelnen Steine durch Flankendruck in den Fugen zu den Nachbarsteinen zentriert. Auch die unter den Pflastersteinen entstehende Bodenpressung verhält sich nicht gleichmäßig, sondern passt sich über eine trapez- oder dreiecksförmige Verteilung der Exzentrizität an.

Die hierbei entstehenden zum Teil erheblich hohen Spitzendrücke werden über das Pflasterbett kaum verteilt und auf die Abdichtung und Dämmung übertragen. Für den Pflastergrund werden hohe Festigkeitsanforderungen gestellt. Höhere Steine reduzieren die Spannungsspitzen. Überrollversuche eines umkehrdachtypischen Pflasteraufbaus mit unterschiedlich festen Dämmstoffqualitäten zeigten, dass selbst bei besonders großen, verzahnten Betonverbundsteinen hohe Radlas-

ten, wie sie im gewerblichen Bereich auftreten können, zu nicht hinnehmbaren Pflasterverschiebungen und Spurrillen führen, wobei der weichere XPS-Dämmstoff schon nach wenigen Belastungsvorgängen zu Schäden in der Pflasterfläche führte.

Aus der Praxis sind verschiedene Schadensfälle bekannt, die aufgrund zu weicher bzw. federnder Unterkonstruktionen zur Zerstörung der Pflasterebene geführt haben.

Zusätzliche Pflasterverschiebungen ergeben sich auch aus auf der Stelle lenkenden Rädern infolge Rangierbetrieb.

Um die negativen Einflüsse aus den Spannungsspitzen und der unzureichenden Verspannung mit den Nachbarsteinen zu reduzieren, wird verschiedentlich unter dem Pflasterbett eine lastverteilende Schutzschicht aus Gussasphalt oder Beton angeordnet. Hierdurch steigt die Höhe des Gesamtaufbaus an, der Unterbau wird verbessert, die mit der Pflasterbettung und der Fugenfüllung verbundenen Probleme werden beibehalten. Wird das Pflaster zusätzlich noch im Mörtelbett mit vermörtelten Fugen versetzt, so ist darauf zu achten, dass die Abschnittsfugen aus dem Schutzbeton auch in die Pflasterebene übernommen werden. Anderenfalls kann dies zu Spannungsrissen in der Nutzfläche kommen.

In [6, 21] wird für Betonverbundsteine ein Mindestgefälle von 2,5% und für Natursteine von 3% gefordert. Weiter wird berichtet, dass bei neuen Pflasterflächen bis zu 25% des auf eine Pflasterfläche fallenden Wassers durch die Fugen in das Pflasterbett eindringen können. Um ein Aufweichen der Pflasterbettung zu verhindern, sollte die Abdichtungsebene ein entsprechendes Gefälle erhalten.

Die RStO 01 setzt eine Pflastersteindicke von 8,0 cm voraus. Das Pflasterbett sollte mindestens 3,0 cm dick sein. Der Untergrund unter dem Pflasterbett soll ein Verformungsmodul von $E_{v2} = 120 \text{ MN/m}^2$ aufweisen. Dies entspricht einem Bettungsmodul von ca. 530 MN/m^3 . Geht man ausschließlich von einer Dämmstoffdicke von 10 cm aus, so zeigt sich, dass ein E-Modul von mindestens 53 MN/m^2 vorhanden sein muss, um die Anforderung der Richtlinie für Straßenoberbauten zu erfüllen. Dieser Wert wird nur von Schaumglas erreicht (siehe Tabelle 2).

Aufgrund der dokumentierten Schadenshäufigkeit [1, 14] sollte für Parkdachoberbeläge zumindest bei Mischbetrieb auf eine Pflasterausführung verzichtet werden. Ist aus Architekturgründen eine Pflasterung unabdingbar, so sollte ein der RStO entsprechender dicker und schwerer Aufbau gewählt werden. Außerdem sollten sich alle über die Größe der zu erwartenden Pflasterverformungen klar sein. Hinzu kommt, dass Pflasteroberflächen einen gegenüber anderen Belägen höheren Pflegeaufwand erfordern (z.B. Nachfegen von Fugensand).

5. Aufbauvarianten

Die Zahl der Anbieter auf dem Gebiet des Parkdaches hat sich in den letzten 35 Jahren wesentlich erhöht. Es handelt sich hierbei jedoch häufig um Unternehmen, die nur einen Teil des gesamten Parkdachaufbaus, wie z. B. nur den Nutzbelag oder nur die Abdichtung selbst herstellen. Die Zuordnung der Verantwortlichkeit im Schadensfall und die Koordination bei der Bauausführung wird hierdurch häufig erschwert.

Ein umfassendes Know-how für den Gesamtbereich des Parkdaches ist nur zum Teil vorhanden.

Das komplette Parkdach, wobei Planung, Dämmung, Dichtung und Nutzschicht aus einer Hand mit entsprechendem Know-how ausgeführt wird, bieten in Deutschland nur wenige Firmen an.

Ihren Ursprung haben diese Anbieter im Wesentlichen in zwei Baubereichen. Zum einen handelt es sich um Betriebe, die aus dem Brücken- und Straßenbau kommen und somit Asphaltoberbeläge bevorzugt einbauen, andererseits liegt der Ursprung im Dachdeckerhandwerk, die entsprechend der früheren Flachdachrichtlinien auf befahrenen Dächern eine Betonnutzschicht aufbringen.

Die Entwicklung der verschiedenen Aufbauvarianten wird auch durch Produzenten von Dämm- und Abdichtungsstoffen sowie anderen Zulieferern stark beeinflusst.

Aus einer Auflistung der Funktionsebenen ist erkennbar, dass vonseiten der technischen Möglichkeiten eine erhebliche Anzahl von Parkdachvarianten denkbar ist. Geht man von allen Variationsmöglichkeiten der Funktionsebenen, bei Vernachlässigung qualitativer Mindestanforderungen, aus, so ergeben sich annähernd 1.000 Varianten.

5.1 Warmdach

Kennzeichnend für das Warmdach ist, dass die Wärmedämmung direkt, unbelüftet unter der Hautabdichtung liegt. Um einen Tauwasserausfall und damit eine Durchfeuchtung der Dämmung zu vermeiden, ist unter dieser eine Dampfsperre anzuordnen. Wird Schaumglas zur Wärmedämmung eingesetzt, so kann, wegen der Dampfdichtigkeit dieses Materials, auf die Dampfsperre verzichtet werden. Warmdächer stellen im Allgemeinen relativ kompakte Aufbauten dar.

Warmdach mit örtlich hergestelltem Betonfahrbelag

Diese Variante stellt den klassischen, seit Jahrzehnten praktizierten Parkdachaufbau dar [7-10]. Hierzu sind langjährige Konstruktionserfahrungen und Detailoptimierungen vorhanden. Während in den Anfängen noch Korkplatten als Wärmedämmung in Dicken von ca. 4,0 cm als ausreichend angesehen wurden, wird heute in der Regel Schaumglas mit einer Dicke von ca. 10,0 – 30,0 cm eingebaut.

Bei ausschließlicher Pkw - Belastung hat die Betonfahrbahnplatte eine Dicke von 10,0 cm bis 12,0 cm. An den Beton werden besondere Anforderungen gestellt. Er soll einen erhöhten Widerstand gegen Frost- Tausalzeinwirkung haben und an der Oberfläche ausreichend verschleißfest sein. Die Betonplatte muss so dick sein, dass die rechnerischen Biegezugspannungen unter der aufnehmbaren Betonzugspannung liegen (Zustand I). Die Bewehrung muss eine ausreichende Betonüberdeckung haben. Um Zwangsbeanspruchungen in einer beherrschbaren Größenordnung zu halten, sind im Abstand von 2,50 m bis 3,50 m Fugen anzuordnen, die die Platte in möglichst quadratische Felder aufteilen. Ebenso ist eine Trennung der Betonnutzplatte von der Abdichtung erforderlich. Schon seit längerer Zeit ist man zu der Erkenntnis gekommen, dass eine wirkungsvolle Trenn- und Gleitschicht nur durch zwei Lagen PE-Folie, $d \geq 0,2$ mm, erzielt werden kann.

Bei Verwendung hochfester und stauchungsarmer Schaumglasdämmung kann dieses Aufbauprinzip auch bei Misch- oder schwerer LKW-Nutzung problemlos herangezogen werden. In diesem Fall ist je nach Belastung mit Plattendicken bis ca. 20 cm und einem Fugenraster von ca. 5,0 m zu rechnen. Die Bewehrung ist in zwei Lagen einzulegen. Eine Fugenverdübelung ist in der Regel nicht erforderlich, wird aber nach DIN 18195-10 verlangt.

Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass ein geringer Anteil des Niederschlagswassers durch die Betonfahrbahnplatte bzw. die Fugen auf die Abdichtungsebene gelangt. Die Abdichtung ist mindestens zweilagig und ebenso wie die Belagsoberfläche mit einem Mindestgefälle von 2% auszuführen [17].

Die Belagsfugen sollten im unteren Querschnittsteil offen bleiben und untereinander verbunden werden, sodass sich eine Art Kanalsystem zur Entwässerung der Abdichtungsebene einstellt. Damit diese Funktion erhalten bleibt, und nicht durch Schmutz und / oder Bewuchs beeinträchtigt wird, werden die Belagsfugen üblicherweise dauerelastisch verschlossen. Für das Fugenraster sollte ein stabiles Schalsystem aus Metallschienen eingesetzt werden, um möglichst gradlinige Fugen mit glatten Flanken zu erhalten. Seit einigen Jahren werden die Fugen auch durch einen stabilen, aus nichtrostendem Stahl ($t = 0,8$ bis $1,2$ mm) gekanteten Rahmen geschützt.

Durch den Einsatz von Gefälledämmung kann man auf zusätzlichen Gefälleestrich verzichten. Dies bringt verschiedene Vorteile mit sich:

- Reduzierung der Aufbaulast um ca. 2,0 bis 3,0 kN/m² und damit Materialersparnis in den tragenden Bauteilen.
- Zeitvorteil durch Wegfall eines Arbeitsganges.
- Reduzierung der Gesamtaufbauhöhe und / oder Verbesserung des Wärmedurchgangskoeffizienten und damit geringere Anschlusshöhen und / oder geringere Wärmeschutzanforderungen an die übrigen Außenbauteile.

Konstruktionsmerkmale

(Pkw-Belastung und Gefälledämmung)

- Aufbaugewicht: $g \approx 3,2$ kN/m²
- Aufbaudicke: $d \approx 18$ cm bis 40 cm
- Gefälle: (Dämmung) $\alpha \approx 2,0$ % bis 2,5 %
- Wärmedurchgang: $U_D \approx 0,20$ bis $0,35$ W/m²K
- Konstruktionsprinzip bei Ansatz erhöhter Aufbaudicken und –gewichte auch für Schwerverkehr einsetzbar.

Zu dieser Aufbauvariante wird unter Punkt 6 ein Beispiel nachgewiesen.

5.2 Umkehrdach

Das Umkehrdach stellt eine spezielle Form des nicht belüfteten Flachdaches dar. In der DIN 4108-2 [18] wird geregelt, dass beim Umkehrdach die Dämmung ausnahmsweise außerhalb der Abdichtung, also im nassen Bereich, angeordnet werden darf. Dies ist derzeit in Deutschland nur über eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung für Pkw-befahrene Decken mit Verbundsteinpflaster ($d \geq 10$ cm) im Kiesbett, Ort betonplatten (WU-Beton) und vorgefertigte Betonplatten auf Stelzlagern erlaubt. Wird als Oberbelag Verbundsteinpflaster oder Ort beton gewählt, so ist für die Abdichtung und die darüber liegenden Schichten ein Gefälle von mindestens 2,5 % zwingend erforderlich. Als Dämmstoff dürfen nur einlagig verlegte Hartschaumplatten ($40 \text{ mm} \leq d \leq 160 \text{ mm}$) mit Stufenfalz aus extrudiertem Polystyrol (XPS, Treibmittel CO₂) mit Schäumhaut eingesetzt werden. Beim Energieeinsparnachweis ist entsprechend der Zulassung und der DIN 4108-2 der Wärmedurchgangskoeffizient U_D um einen Betrag $\Delta U = 0,05$ W/(m²K) zu erhöhen. Das Umkehrdachprinzip wird seit über 30 Jahren eingesetzt und durch Forschungen und wissenschaftliche Gutachten begleitet [11, 12]. Wichtig für eine ordnungsgemäße Ausführung ist die Forderung nach einer ebenen Auflagefläche. Mitte der achtziger Jahre wurde das FCKW als Treibmittel wegen der ozonschichtschädigenden Wirkung kritisiert. Inzwischen ist man über teilhalogenisierte H-FCKW's auf CO₂ umgestiegen.

Umkehrdach mit Fertigteilbelag

Um sicherzustellen, dass in die XPS-Dämmung eindringender Wasserdampf ungehindert ausdiffundieren kann, wurden bereits Anfang der 80-er Jahre über den Hartschaumplatten aus extrudiertem Polystyrol Betonfertigteileplatten mit einer Luftschicht verlegt. Der Luftzwischenraum wird durch verstärkte Auflagerstreifen der Fertigteile, Hartschaumunterlagen oder durch Gummigranulatscheiben mit Spannelementen geschaffen. Die hierbei, bei einer Radlast von 10 kN nach DIN 1055 [15] auf der Plattenecke, auftretenden Kontaktpressungen von $p_s \approx 0,30$ N/mm² liegen über dem Grenzwert des für Dauerbelastung angegebenen Rechenwertes der Druckspannung für CO₂-getriebenen Extruderschaum der höchsten Festigkeit. Eine kon-

strukture Horizontalkraftabtragung über Schub ist bei den lose verlegten Hartschaumplatten nicht denkbar.

Bei den Fertigteilplatten handelt es sich um unbewehrte Betonplatten, deren Festigkeit und Beständigkeit gegen Streusalz durch Vakuumieren erhöht wurde. In einem niederländischen Untersuchungsbericht wird empfohlen, die Tragsicherheit durch epoxidharzbeschichtete Bewehrung zu verbessern. Vorstellbar wären auch faserbewehrte Platten.

Wie schon erläutert, wird die Oberfläche infolge der offenen Fertigteilfugen relativ schnell entwässert. Die Platten trocknen nach einem Niederschlag rasch ab. Das Niederschlagswasser fließt über und unter der Dämmung zu den Abläufen. Da annähernd das gesamte Niederschlagswasser in der Dämmebene abfließt, ist bei diesem Prinzip die Beachtung des ΔU -Zuschlages zum Ausgleich des Unterströmvorganges besonders wichtig (Ausnahme siehe Zulassung).

Konstruktionsmerkmale

(Pkw-Belastung und Gefälleestrich)

- Aufbaugewicht: $g \approx 4,2 \text{ kN/m}^2$
- Aufbaudicke: $d \approx 25 \text{ cm bis } 40 \text{ cm}$
- Gefälle: (Estrich) $\alpha \approx 2,0 \text{ \% bis } 2,5 \text{ \%}$
(laut Dämmstoffzulassung wird kein Gefälle gefordert)
- Wärmedurchgang: $U_D + \Delta U \approx 0,3 - 0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Ausschließlich für Pkw-Nutzung (2,5 t) möglich, DIN 1055-3, vorwiegend ruhend.

5.3 Belüftetes Kaltdach

Die Konstruktion des belüfteten Kaltdaches weicht grundsätzlich von den vorangegangenen Aufbauprinzipien ab. Der Dämmstoff wird keiner Druckbelastung durch die Fahrzeuge ausgesetzt. Es können weiche Mineralfaserdämmstoffe eingesetzt werden, unter denen eine Dampfbremse anzuordnen ist. Zwischen der befahrbaren Nutzebene und der Dämmung ist ein Luftraum von mindestens 10 cm zwischenzuschalten, der im Querschnitt so dimensioniert ist, dass ein ausreichender Luftwechsel mit der Außenluft möglich ist. Die Abdichtungsebene liegt direkt unter der Nutzschiene.

Durchlüftete Dachkonstruktion mit Gussasphalt

Bei dem angesprochenen, durchlüfteten Dachaufbau handelt es sich um ein deutsches Patent, das bevorzugt von niederländischen Unternehmen ausgeführt wird. Die Abdichtung wird mit einer durch Baustahlgewebe bewehrten Asphalt-Mastix-Schicht hergestellt. Unter der mineralischen Dämmung wird eine bituminöse Dampfsperre verlegt, die gleichzeitig als Notabdichtung wirken soll.

Bei dieser Konstruktion ist eine Gefälleausbildung in der Rohbaudecke oder ein Gefälleestrich nicht erforderlich, da das für die Wasserabführung nötige Gefälle

durch verschieden hohe Distanzsteine ausgebildet wird. Wichtig für die Funktionsfähigkeit der Konstruktion ist, dass eine ausreichende Durchlüftung des Luftraumes gewährleistet ist.

Im Falle einer Undichtigkeit wird diese in aller Regel erst relativ spät bemerkt, da vorher große Mengen Feuchtigkeit von der Mineralfaserdämmung aufgenommen werden.

Da die Fertigteilplatten gleichzeitig eine neue Nutzebene oberhalb der eigentlich tragenden Decke bilden, stellt sich die Frage, inwieweit für diese neue Deckenebene ein Tragfähigkeitsnachweis bei der Baubehörde vorzulegen ist. Die Plattendicke (DBP) von 5,0 cm unterschreitet die Forderung der DIN 1045-1 nach einer Mindestdicke von 7 cm erheblich. Diese Unterschreitung ist nur akzeptabel, wenn die Fahrbahnplatte als Doppelboden angesehen wird, und somit als Ausbauleistung nicht unter den Anwendungsbereich der Stahlbetonnorm fällt. Auch die Ausbildung der Plattenfugen entspricht nicht den Anforderungen der DIN 1045-1 für die Querverbindung von Fertigteilen. Treten wiederholt Durchbiegungsunterschiede an einer Plattenfuge auf, so besteht die Gefahr, dass die Mastix-Abdichtung überbeansprucht wird und es zu Undichtigkeiten kommen kann. Eventuell wäre hier die Anordnung eines zusätzlichen Abdichtungstreifens, der ähnlich wie ein Schleppstreifen wirkt, sinnvoll.

Um unterhalb der Ausgleichssteine Wärmebrücken zu vermeiden, werden diese auf Dämmstoffplatten aus extrudiertem Polystyrol gestellt.

Konstruktionsmerkmale

(Pkw-Belastung und Konstruktionsgefälle)

- Aufbaugewicht: $g \approx 2,5 \text{ kN/m}^2$
- Aufbaudicke: $d \approx 35 \text{ cm bis } 50 \text{ cm}$
- Gefälle: (Konstruktion) $\alpha \approx 2,0 \text{ \% bis } 2,5 \text{ \%}$
- Wärmedurchgang: $U_D \approx 0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Wegen der Vielzahl der nicht dem Beiblatt 2 der DIN 4108 entsprechenden Wärmebrücken ist bei dem Energieeinsparnachweis ein entsprechend hoher Zuschlag zu berücksichtigen.
- Ausschließlich für Pkw-Nutzung (2,5 t) möglich, DIN 1055-3, vorwiegend ruhend.

6. Dimensionierung der Ortbetonnutzplatten nach der Finite- Element-Methode (FEM)

Wesentlich für eine dauerhafte Gebrauchstauglichkeit ist die Tragfähigkeit der Nutzschiene.

Die alten Flachdachrichtlinien empfehlen Betonplatten in einer Größe von 2,50 m * 2,50 m, die nach statischen Erfordernissen bemessen werden. In DIN 18195-10 [17] wird für Schutzschichten aus Beton bei Anordnung einer Bewehrung vorgeschrieben, mindestens die Festigkeitsklasse C 12/15 anzuwenden und die Betondeckung nach der DIN 1045-1 [20] zu dimensionieren (siehe auch Abschnitt 7.). Örtlich betonierete Fahrbeläge aus Beton C 30/37 LP können diesen Anforderungen

entsprechen, wenn sie ausreichend dick und bewehrt sind.

In diesem Abschnitt wird die Ermittlung der erforderlichen Bewehrung und Einhaltung einer „zulässigen“ Druckspannung erarbeitet.

6.1 Dachaufbau

Der Berechnung wird der unter 5.1 beschriebene Warmdachaufbau zugrunde gelegt [9, 10]. Für die Wärmedämmung werden die Werte für Schaumglas (FOAMGLAS® S3) angesetzt.

Bei Pkw - Belastung sollte eine bewehrte Betonfahrbahnplatte nicht dünner als 10,0 cm sein [7]. Die Bewehrung muss eine ausreichende Betonüberdeckung haben (nach DIN 1045-1 $_{\text{nom}c} = 5,0$ cm). Um Zwangsbeanspruchungen möglichst klein zu halten, sind Fugen anzuordnen.

Die Betonfahrbahnplatten werden durch Schwind- und Temperaturverformungen beansprucht. Diese Zwangsspannungen aus Schüsseln und Aufwölbung sind einerseits durch betontechnologische Maßnahmen und andererseits durch konstruktive Maßnahmen wie Einbau einer Gleitschicht und Begrenzung der Plattengröße niedrig zu halten.

Ist das Dach für eine Nutzung durch Pkws (Gesamtlast von bis zu 25 kN) vorgesehen, so ist die Nutzplatte für eine vorwiegend ruhende Radlast von 10 kN (neue DIN 1055-3, bisher 7,5 kN) zu dimensionieren. Handelt es sich um ein höher belastetes Dach oder eine wärmegeämmte Hofkellerdecke, so sind die Verkehrsregellasten nach DIN 1072 zu berücksichtigen. Aufgrund möglicher Nutzungsänderungen im Laufe der Betriebszeit ist es häufig zweckmäßig, bei der Planung des Dachaufbaus sich zugunsten einer höheren Regelklasse zu entscheiden. Nach [25] hat in den vergangenen Jahren das Gesamtgewicht der Pkws zugenommen. Laut Kraftfahrtbundesamt lag beispielsweise der Anteil der Neuzulassungen von Pkws mit einem zulässigen Gesamtgewicht größer als 2,5 t über 7 %. Da die nach DIN 1055-3, Abs. 6.3 (5) geforderte Vorrichtung zur Verhinderung der Einfahrt schwererer Fahrzeuge mit einem Gesamtgewicht größer als 2,5 t in der Praxis kaum umsetzbar ist, wird für dieses Beispiel die Radlast der Brückenklasse 3/3 nach DIN 1072 angesetzt. Da elastisch gebettete Platten üblicherweise nicht in Schwingungen versetzt werden, wird in Anlehnung an [23] eine Lastwechselzahl in Abhängigkeit von der Nutzung berücksichtigt.

Außer der tatsächlichen Belastungsgröße ist die Dauer der Einwirkung von Bedeutung. Bei den folgenden Berechnungen werden zwei Zustände unterschieden: Kurzzeitbeanspruchung: Entsprechend der Belastungsnormen werden die Radlasten zur Berücksichtigung dynamischer Einflüsse mit einem Schwingbeiwert $\varphi = 1,4$ multipliziert. Bei Langsamfahrt und ebener Fläche kann dieser Wert auf ca. $\varphi = 1,2$ reduziert werden. Für die elastisch gebettete Platte wird in diesem Fall die Lastwechselzahl herangezogen (siehe Abs. 2.6).

Dauerlast: Die genormten Radlasten werden ohne jegliche Erhöhung der Berechnung zugrunde gelegt. Durch diesen Lastfall werden auch Wiederholungen abgedeckt.

6.2 Systemannahmen / Beispiel

Das statische System wird als Platte auf elastischer Bettung definiert. Wesentlich für Beanspruchungen der Platte und des Untergrundes sind die Werte für die Plattensteifigkeit und die Bettungsziffer. Um die Zwangsbeanspruchungen aus Schüsseln und Wölben zu begrenzen, wird ein Plattenraster von 3 x 3 m gewählt ($<30 \times h$, siehe Abs. 4.1). Der Steifigkeitsanteil einer Blecheinfassung (Kantenschutz) ist vernachlässigbar gering.

Als Grenzen können zur Verdeutlichung folgende Modelle herangezogen werden:

Biegeweiche Platte auf harter Unterlage: Dies entspricht etwa der Vorstellung, dass ein Buch auf einer Betondecke die Last verteilt. Es ergibt sich lediglich eine Lastausbreitung innerhalb der Materialstärke der Platte (Buchstärke), die am Plattenrand und der Plattenecke eingeschränkt wird. Älteren Bemessungsvorschlägen der Dämmstoffhersteller liegt dieses, mit einer Lastausstrahlung von 45° , als Druckkegelmethode bezeichnete Verfahren zugrunde.

Biegesteife Platte auf weicher Unterlage: Hier wird die Last, ähnlich wie bei einem schwimmenden Floß, durch die Biegesteifigkeit der Platte verteilt. Unterhalb der Platte entstehen relativ geringe Pressungen. Die Platte wird größeren Biegebeanspruchungen ausgesetzt.

Sind die Biegesteifigkeit der Platte und die Bettungsziffer bekannt, so kann man für eine gegebene Belastung die Schnittgrößen nach dem Rechenverfahren von Westergaard bestimmen. Aufgrund des inzwischen üblichen Einsatzes leistungsfähiger Personal Computer besteht heute die Möglichkeit, elastisch gebettete Platten unter Einzellasteinwirkung mit einem Programm nach der Methode der Finiten Elemente FEM zu berechnen.

Entsprechend den Überlegungen von Westergaard werden die Lastfälle Plattenmitte, Plattenrand und Plattenecke untersucht.

Materialkennwerte

Die Werte für Elastizitätsmodul und Querdehnzahl für die Betonnutzplatte unter Kurzzeitbeanspruchung werden der DIN 1045-1 entnommen. Da die Betongüte der üblicherweise ausgeführten Fahrbahnplatten einem C 30/37 mit Luftporen entspricht, wird diese Festigkeit der Berechnung zugrunde gelegt.

$$\begin{aligned}\mu &= 0,2 \text{ Querdehnzahl} \\ E_{\text{cm}} &= 28300 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

Unter Dauerbeanspruchung erfährt die Betonplatte verzögert elastische Verformungen, die u.a. auf Kriechvorgängen beruhen. Diesem Umstand kann für den Dauerlastfall durch einen reduzierten E-Modul Rechnung getragen werden. Der Verformungszuwachs

wird durch die Kriechzahl $\varphi_t \approx 1,4$ berücksichtigt. Näherungsweise erhält man die gleiche Verformung, bestehend aus elastischer und verzögert elastischer Verformung, wenn man den E-Modul entsprechend reduziert.

$$E_t = E_{cm} / (1 + \varphi_t)$$

$$E_t = 28300 / 2,4 \approx 11800 \text{ N/mm}^2$$

Dieser Wert kann etwa für eine Standzeit länger als 3 Monate angesetzt werden (z.B. für Regalstützen). Für die vorliegende Beispielberechnung wird der obige Wert unverändert beibehalten.

$$E_{tr} = 28300 \text{ N/mm}^2$$

Während sich die Werte für die Fahrbahnplatte verhältnismäßig einfach bestimmen lassen, ist die Angabe einer zutreffenden Bettungsziffer schon schwieriger. Dies hat folgende Gründe:

Die Biegesteifigkeit der tragenden Unterkonstruktion wird meistens, so auch hier, als unendlich steif in die Berechnung eingeführt und somit vernachlässigt. Bei dünnen Deckenplatten ist diese Annahme nicht in jedem Fall gerechtfertigt, so kann sich z.B. bei einer π -Plattendecke ein zweischichtiges System einstellen, bei dem die Betonfahrbahnplatte aufgrund der höheren Betonqualität einen größeren Lastanteil abträgt als die eigentliche Deckenplatte.

Die Systemsteifigkeit der Unterkonstruktion ist pauschal nicht abschätzbar und wird deshalb bei den folgenden Berechnungen nur durch eine Abrundung der ermittelten Bettungsziffern berücksichtigt.

Während bei Schaumglas über einen langen Zeitraum mit einer hohen Steifigkeit zu rechnen ist, können bei anderen Dämmstoffen die Beanspruchungsdauer (Kriechen) und die Temperatur von maßgebendem Einfluss auf die Bettungsziffer sein.

Für das Beispiel wird eine Gefälledämmung, die im Mittel die Forderung der EnEV 2009 [19] erfüllen soll, gewählt. Gemäß Abschnitt 3 ist eine mittlere Dämmstoffdicke von 25 cm erforderlich. Geht man von einem Gefälle von 2% auf 7,5 m aus, so ist am Hochpunkt mit einer Dämmstoffdicke von 32,5 cm zu rechnen. Der Tiefpunkt liegt bei 17,5 cm und erfüllt somit den Mindestwärmeschutz nach DIN 4108 mit deutlicher Sicherheit. Folgende Werte werden der Berechnung zugrunde gelegt.

FOAMGLAS®, Typ S3(DAA, ds - $\lambda = 0,046 \text{ W/mK}$):

$$d_{\min} = 15,0 \text{ cm}$$

$$d_{\max} = 35,0 \text{ cm}$$

$$\text{Kurzzeit } E_{CG} = 160 \text{ MN/m}^2$$

$$\text{Dauerlast } E_{CG} = 75 \text{ MN/m}^2,$$

Da Schaumglas keinen Kriechanteil hat, die Belastungsgeschwindigkeit aber möglicherweise einen Einfluss auf den E-Modul hat, wird hier für Dauerlast nur der halbe Wert angesetzt.

Eine bituminöse Abdichtung sowie das Klebebitumen bei Schaumglas unterliegt ebenfalls Steifigkeitsschwankungen in Abhängigkeit von der Belastungsdauer und der Temperatur. Trotz einer Schichtdicke von nur 0,8 bis 1,2 cm sollte der Einfluss auf die Bettungs-

ziffer nicht vernachlässigt werden. Während unter Kurzzeitbeanspruchung eine Bitumensteifigkeit von $E_{\text{Bitk}} = 100 \text{ MN/m}^2$

keinen nennenswerten Einfluss auf die Bettungsziffer hat, ergibt sich unter Dauerlast mit einem geschätzten Mittelwert der Bitumensteifigkeit von

$$E_{\text{BitD}} = 5,0 \text{ MN/m}^2 \text{ (mit Gewebeeinlage)}$$

$$E_{\text{BitD}} = 3,5 \text{ MN/m}^2 \text{ (Klebebitumen)}$$

eine deutlich weichere Bettung. Für die Abdichtung wird eine Dicke von $2 \times 4 = 8 \text{ mm}$ angenommen. Bei ca. 4 kg/m^2 Bitumen für die Fugen und die Klebefläche der Schaumglasplatten sind hier zusätzlich ca. 2,5 mm Bitumenschicht, also insgesamt 10,5 mm, anzusetzen.

Die Bettungsziffer ergibt sich somit aus den unterschiedlichen Steifigkeiten verschiedener Schichten. Die einfachste, aber auch oberflächlichste Methode besteht darin, den in den Herstellerprospekten mitgeteilten E-Modul durch die gewählte Dämmstoffdicke zu teilen. Aus den oben aufgeführten Punkten ist zu erkennen, dass es sich hierbei nur um eine grobe Näherung handeln kann. Aus diesem Grund erscheint es sinnvoll, mit einer Bettungsziffer für Kurzzeitbeanspruchung (oberer Wert) und Dauerlast (unterer Wert) zu arbeiten.

Die gemittelte Bettungsziffer wird nach folgender Formel bestimmt.

$$C_{\text{Syst}} = \frac{1}{\frac{d_{\text{Dämm}}}{E_{\text{Dämm}}} + \frac{d_{\text{Bit}}}{E_{\text{Bit}}}}$$

Werden in diese Gleichung die oben genannten Werte eingesetzt, so ergeben sich folgende Bettungsziffern:

Kurzzeit - Warmdach mit FOAMGLAS® S3 - DAA, ds:

$$C_K = \frac{1}{\frac{0,15}{160} + \frac{0,0105}{100}} \approx 960 \text{ MN/m}^3$$

Abrundung wegen biegeweicher Unterkonstruktion:

$$C_K = \mathbf{900 \text{ MN/m}^3}$$

Dauerlast - Warmdach mit FOAMGLAS® S3 - DAA, ds:

$$C_L = \frac{1}{\frac{0,35}{75} + \frac{0,008}{5} + \frac{0,0025}{3,5}} \approx 143 \text{ MN/m}^3$$

Abrundung wegen biegeweicher Unterkonstruktion:

$$C_L = \mathbf{100 \text{ MN/m}^3}$$

Bemessungskonzept

Wenn das Bauteil „Fahrbahnplatte“ auch nicht dem Geltungsbereich der DIN 1045-1 angehört, so kann diese doch als Erkenntnisquelle für die Bemessung dienen.

Um die Dauerhaftigkeit des Dachaufbaus sicherzustellen, sollten fünf Nachweise geführt werden:

- Einhaltung der zulässigen Biegezugspannungen im Zustand I (ungerissener Querschnitt)

- Ermittlung der erforderlichen Biegebewehrung nach DIN 1045-1 für Zustand II (gerissener Querschnitt)
- Einhaltung der für den Dämmstoff zulässigen Druckspannung (Sohlpressung)
- Nachweis der Durchstanzsicherheit der Betonplatte.
- Begrenzung der Platteneinsenkung am Rand bzw. der Ecke auf das nach DIN 18195-5, Abs. 5 zulässige Versatzmaß (1,0 mm).

Nach DIN 1045-1 sind Zugspannungen immer Materialien zuzuweisen, die in der Lage sind diese aufzunehmen. Der Betonkonstruktion wird im Bereich der Zugzone ein kontrolliertes Aufreißen zugebilligt (Außenbauteile $w_k = 0,3$ mm). Da auch derartige Haarrisse auf abtrocknenden Bodenplatten als optisch störend empfunden werden, sollte es das Bestreben der Hersteller von Parkdachbelägen sein, möglichst einen "rissfreien" Belag abzuliefern.

Die Betonzugfestigkeit ist starken Streuungen unterworfen. In der DIN 1045-1 wird die mittlere Betonzugfestigkeit wie folgt angegeben.

$$f_{ctm} = 0,3 f_{ck}^{2/3}$$

$$f_{ctm} = 0,3 \cdot 30^{2/3} \approx 2,9 \text{ N/mm}^2$$

Liegt die errechnete Betonzugspannung unterhalb 2,9 N/mm², und sind Maßnahmen zur Begrenzung der Zwangsspannungen ergriffen, so kann man eine weitestgehend "rissfreie" Platte erwarten. Wesentlich hierfür ist auch die Qualität der Nachbehandlung. Um der Gefahr eines durchgehenden Risses vorzubeugen, sollten die Fahrbahnplatten eine Bewehrung erhalten, die den Anforderungen der DIN 1045-1 genügt. Haarrisse lassen sich durch eine derartige Bewehrung nicht verhindern.

Die zulässige Pressung hängt im Wesentlichen von dem Dämmstoff ab. Die Druckspannungen werden dämmstoffabhängig wie folgt begrenzt:

FOAMGLAS®, Typ S3, DAA, ds:

Charakteristische Druckfestigkeit $f_{ck} = 800 \text{ kN/m}^2$ (Werksstandard 1000 kN/m²)

Da in dem vorliegenden Anwendungsfall mit geringeren Sicherheiten als unter einer Gründungsplatte gerechnet werden kann, wird der globale Sicherheitsbeiwert der Zulassung von 3,2 auf 2,5 reduziert.

Kurz- Langzeit: $\sigma_{zul} = 0,8 / 2,5 = 0,32 \text{ N/mm}^2$ (0,25)

Für Nachweise nach dem semiprobabilistischen Sicherheitskonzept erhöht sich die zulässige Druckspannung um den Faktor 1,42 auf den Bemessungswert der Druckspannung für

Kurz- Langzeit: $f_{cd} = 0,32 \times 1,42 = 0,46 \text{ N/mm}^2$ (0,35)
(Klammerwerte aus Zulassung für Gründungsbauteile).

Bei hohen Radlasten aus LKW- oder SLW-Betrieb entscheidet man sich häufig zugunsten dünnerer Fahrbahnplatten zu einem höherfesten Schaumglasmaterial.

Bei Parametervariationen zeigten sich Zusammenhänge, die in kurzen Sätzen mitgeteilt werden sollen.

- Mit steigender Bettungsziffer, bei konstanter Plattendicke, nimmt das Biegemoment und die Biegespannung in der Platte ab und die Pressung auf der Dämmschicht zu.
- Mit steigender Plattendicke und gleich bleibender Bettung werden die Biegespannungen und die Pressungen kleiner. Die Biegemomente wachsen an. Bei höheren Bettungsziffern ist dieser Einfluss geringer.
- Der Einfluss der Plattengröße auf die Biegebeanspruchung ist bei einer weichen Bettung bis ca. $3,0 \cdot 3,0 \text{ m}^2$ deutlich erkennbar. Dies gilt besonders für die Belastung der Ecken. Bei höheren Bettungsziffern ist ab $1,5 \cdot 1,5 \text{ m}^2$ keine erhebliche Änderung der Schnittgrößen zu erkennen. In dem untersuchten Bereich zeigte sich nur ein unbedeutender Einfluss der Abmessungen auf die Pressung.
- Für Eckbelastung ergeben sich die max. negativen Momente. Bei kleinen Platten auf weicher Bettung führt die Belastung nur einer Ecke zu einem Abheben der gegenüberliegenden Ecke. Werden in diesem Fall die Zugkräfte in der Bodenfuge ausgeschaltet (nicht lineares Verhalten), so können sich größere Bodenpressungen ergeben. Da aber für den Nachweis der Bodenpressung von einer steifen Bettung ausgegangen werden sollte, ist diese Abweichung unbedeutend. Bei dünnen Platten führt der Durchstanznachweis zur maßgeblichen (unteren) Bewehrung.
- Randbelastung: Dieser Lastfall führt zu den max. positiven Momenten. Es ergeben sich unabhängig von der Bettungsziffer beim FEM-Verfahren geringfügig größere Werte als nach Westergaard. Bei dünnen Platten kann der Durchstanznachweis für die untere Bewehrung maßgebend werden.
- Mittenbelastung: Alle Werte sind deutlich kleiner als für Eck- oder Randbelastung.

Belastung

Der Beispielberechnung eines Parkdachbelags wird unabhängig von der Bemessung der tragenden Unterkonstruktion die erhöhte Achslast der Brückenklasse 3/3 nach DIN 1072 zu Grunde gelegt, um dem Einfluss der zunehmenden Anzahl schwererer Pkws (SUV's, [25]) Rechnung zu tragen. Es wird von einer hohen Nutzungsfrequenz ausgegangen ($n \geq 1 \cdot 10^6$).

Belastung: LKW 3, Achslast von 30 kN

Charakteristische Radlast $F_k = 30 / 2 = 15,0 \text{ kN}$

Für Kurzzeitbeanspruchung wird eine Lastwechselzahl von $\varphi_n = 1,3$ berücksichtigt, bei gleicher Aufstandsfläche beträgt die Radlast nun $F_{\varphi} = 19,5 \text{ kN}$.

Die Radlast von 15 kN wird ohne Lastwechselzahl (Dauerlast), ausgehend von der in DIN 1072 angegebenen Aufstandsfläche von $20 \times 20 \text{ cm}^2$, unter Berücksichtigung der Plattendicke von $h = 12 \text{ cm}$ auf eine Ersatzfläche in der Plattenmittelebene verteilt. Es werden für die Lastfälle Mitte, Rand und Ecke unterschiedliche Ersatzflächenlasten angesetzt.

Lastfall	b	a	p_{sK} kN/m ²	p_{sD} kN/m ²
Mitte	0,32 m	0,32 m	190	147
Rand	0,32 m	0,26 m	234	180
Ecke	0,26 m	0,26 m	289	222

Die Plattendicke von 12 cm ergibt sich bei in etwa mittiger Bewehrung aus der nach DIN 1045-1 erforderlichen Betondeckung. Die maximale Biegebeanspruchung ergibt sich aus dem Dauerlastfall Radlast am Plattenrand. Die maximale Hauptzugspannung beträgt $\sigma_1 = 1,53 \text{ N/mm}^2 < 2,9 \text{ N/mm}^2$. In diesem Fall wurde von der Steifigkeitsabminderung der Betonplatte infolge von Kriechen kein Gebrauch gemacht. Die maximale Plattendurchbiegung an der Plattenecke wird mit $\max u_g = 0,58 \text{ mm}$ und die zugehörige Druckspannung auf dem Schaumglas mit $\sigma_{CGL} = 0,06 \text{ N/mm}^2 < 0,45 \text{ N/mm}^2$ angegeben. Nach DIN 18195-5 soll der Versatz von Risskanten auf 1,0 mm beschränkt bleiben. Diese Größenordnung sollte auch als Begrenzung der Plattenverformung herangezogen werden. Im Kurzzeitlastfall liegt die Eckpressung mit $\sigma_{CGK} = 0,162 \text{ N/mm}^2 < 0,45 \text{ N/mm}^2$ deutlich höher.

Es ist eine Grundbewehrung von $a_{sm} = 1,88 \text{ cm}^2/\text{m} > 1,75 \text{ cm}^2/\text{m}$ mittig einzulegen. Im Eckbereich ist die Bewehrung durch Zulagen auf $a_{smE} = 5,6 \text{ cm}^2/\text{m}$ ($b = 15 \text{ cm}$) zu erhöhen. Dieser Bewehrungsgrad ergibt sich aus dem Durchstanznachweis für den Eckbereich. Die Ränder werden durch ein umlaufendes, gekantetes Blechprofil geschützt. Steckbügel, entsprechend Bild 71, DIN 1045-1, können wegen der geringen Plattendicke nicht angeordnet werden.

Eine bessere Anpassung der Bewehrung kann man durch Listennatten, die auf den jeweiligen Bedarf abgestimmt sind, erreichen.

Die vollständige Musterberechnung kann unter www.iff-hamburg.com ⇒ Publikationen eingesehen werden.

Bei der Betrachtung der Ergebnisse ist zu berücksichtigen, dass die FEM-Berechnung lediglich ein Näherungsverfahren darstellt, dessen Ergebnisse u.a. von der Art und Anzahl der Elemente abhängen. Konvergenzbetrachtungen zeigten für das minimale Hauptmoment m_2 bei Eckbelastung Abweichungen von ca. $\pm 20\%$ für unterschiedliche Knotenanzahlen von $n = 11$ bis $n = 1089$. Mit feinerem Elementaraster passt sich das Ergebnis einem Mittelwert dichter an.

Grundsätzlich kann eine Berechnung nur so genaue Ergebnisse liefern, wie es gelungen ist, das natürliche Tragverhalten in ein mechanisches, und dann mathematisches Modell zu übersetzen. Es ist zu bedenken, dass hierzu auch die Bestimmung der Materialkennwerte und der Belastung zu rechnen ist. Unter diesem Gesichtspunkt ist die konstruktiv richtige Planung und Ausführung eines wärmedämmten Parkdaches genauso wichtig, wie eine augenscheinlich „exakte“ und „genaue“ Berechnung.

Besonders kritisch sollten Stahlbetonnachweise, die nur für den gerissenen Zustand II geführt wurden, um eine möglichst dünne Druckverteilungsplatte zu erhalten, gesehen werden. Dies gilt auch für Berechnungen, die nur den Lastfall „Radlast in Plattenmitte“ untersuchen, und somit davon ausgehen, dass eine Fugeneinteilung nicht erfolgt, bzw. eine unendliche Platte vorliegt.

Ebenso sollte die Verträglichkeit der Plattendurchbiegung mit der zu erwartenden Druckspannung auf der Dämmung ausgewiesen und geprüft werden.

Abschließend ist der Durchstanznachweis für die Plattenecke und den Plattenrand zu führen. Da Schaumglas zu einer relativ steifen Bettung führt und große Druckspannungen aufnimmt, wird die aufgebrachte Querkraft (Radlast) deutlich reduziert, sodass durch Bewehrungszulagen zur Biegebewehrung im Rand- bzw. Eckbereich die Durchstanzsicherheit erreicht wird.

Die vorstehende Berechnung mit FOAMGLAS® S3 und einer 12 cm dicken Stahlbetonfahrbahnplatte weist deutliche Reserven zur Aufnahme von Zwangsbeanspruchungen aus Schüsseln und Wölben auf. Diese Reserven werden vermehrt dazu ausgenutzt, den steifen Dämmstoff durch kostengünstigeres EPS zu ersetzen. Bei den nach der EnEV 2009 (und folgende) zu erwartenden Dämmstoffdicken, sollte berücksichtigt werden, dass die Nachweismöglichkeiten auf ein enges Maß begrenzt sind und damit auch das Sicherheitsniveau reduziert wird.

Am Beispiel einer 12 cm dicken Fahrbahnplatte auf EPS 200 (DAA, ds) für eine normale Pkw-Beanspruchung (Radlast $F_k = 10 \text{ kN}$) wird der Dämmstoffeinfluss gezeigt.

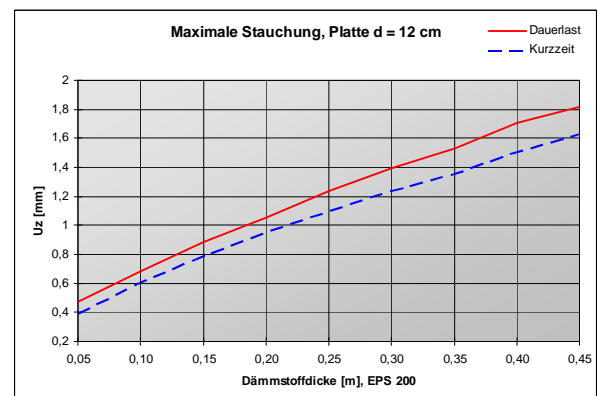


Bild 6: Eckverformung einer Fahrbahnplatte, $d = 12 \text{ cm}$, in Abhängigkeit von der EPS 200-Dicke

Bei einer Dämmstoffdicke von 18 cm wird die Begrenzung der Platteneinsenkung an der Plattenecke im Dauerlastfall rechnerisch überschritten. Auch durch eine Verstärkung der Fahrbahnplatte auf bis zu 16 cm lässt sich die Forderung nach einer Begrenzung des Versatzes in der Abdichtung bei Dämmstoffdicken (EPS) in der Größenordnung von 30 cm nicht erfüllen. Die zulässigen Dämmstoffpressungen und Biegezugspannungen der Betonplatte werden in diesem Fall nicht über-

schritten. Somit sind Anzeichen für Schäden an der Oberfläche nicht zu erkennen.

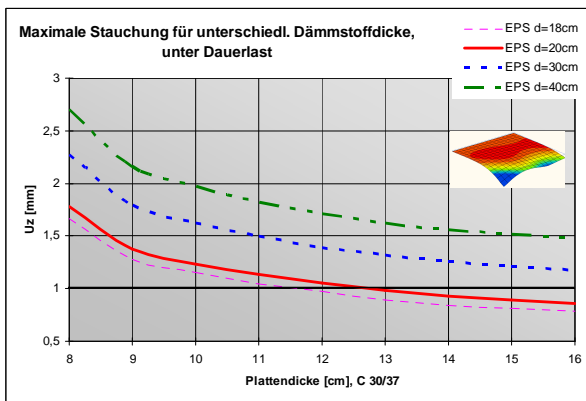


Bild 7: Platteneinsenkung auf EPS200 in Abhängigkeit von Platten- und Dämmstoffdicke

Für Zwangsbeanspruchungen aus Temperaturunterschied (Schüsseln oder Wölben) zusätzlich zur Verkehrsbelastung sind schon bei einer Dämmstoffdicke (EPS) von 15 cm rechnerisch keine Reserven vorhanden.

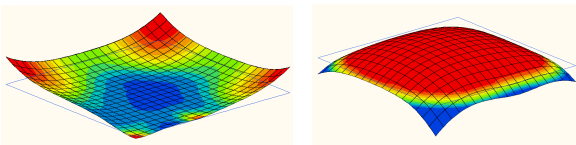


Bild 8 + 9: FEM-Ergebnisgrafiken (Verformungsbilder) Schüsseln und Wölben mit Achslast am Rand

Während die zulässigen Biegezugspannungen in der Fahrbahnplatte noch knapp eingehalten werden, ergeben sich bei der Lastfallkombination „Wölben“ und Achslast am Rand / auf der Ecke theoretisch geringfügige Überschreitungen der Spannungsbegrenzung für den Dämmstoff (EPS 200).

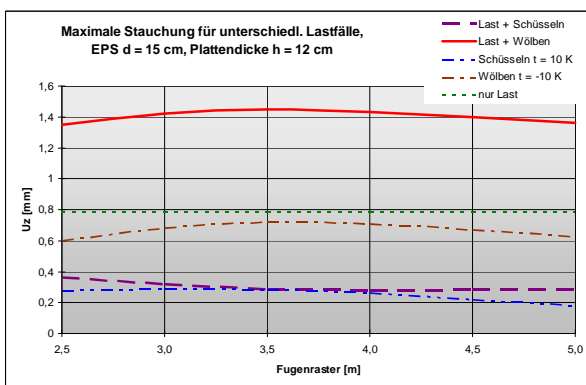


Bild 10: Dämmstoffstauchung für Zwang und Achslast in Abhängigkeit vom Plattenraster, EPS 200 d = 15 cm, C 30/37 d = 12 cm

Da die Nachweise üblicherweise so geführt werden, dass die Platte im Zustand I verbleibt und die zulässige Betonzugspannung nicht überschritten wird, werden vermehrt faserbewehrte Fahrbahnplatten angeboten. Inwieweit die Fasern über die Erhöhung der zulässigen

Betonzugspannung oder die Nachreißfestigkeit zum gleichen Sicherheitsniveau wie eine bewehrte Stahlbetonplatte führen, ist vom Hersteller nachzuweisen. Kunststoff- bzw. Polymerfasern werden nach DIN 1045-2 wie Zusatzmittel behandelt und bedürfen einer allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung. Im Allgemeinen führen sie nicht zu einer nennenswerten Festigkeitssteigerung sondern verbessern das Frühschwindverhalten. Bei Stahlfasern wird befürchtet, dass an der Oberfläche liegende Fasern zu Rostflecken führen oder gar eine Verletzungsgefahr darstellen können. Hier ist allerdings damit zu rechnen, dass in Kürze eine anerkannte Bemessung nach der DAfStb-Richtlinie möglich ist. Um obigen Bedenken entgegenzuwirken, sollten Stahlfaserbetonflächen mit einer zusätzlichen Schicht, z. B. Gussasphalt versehen werden.

7. Anmerkungen zur neuen DIN 18195-Teil 10

Während die DIN 18531 und die Flachdachrichtlinie die Abdichtung von flach geneigten Dächern, mit Ausnahme von Parkdecks u. ä., regeln, ist für das wärmedämmte Parkdach die DIN 18195 maßgebend.

Im März 2004 wurde die DIN 18195-10 vom NABau im DIN herausgegeben. Die somit gültige Fassung unterscheidet sich nur in einzelnen Passagen von dem Entwurf.

Die im Folgenden aufgeführten Punkte sind auslegungsbedürftig bzw. kritisch zu sehen:

Im Abschnitt 4.3.2 werden die Anforderungen an Schutzschichten aus Beton beschrieben. Hiernach wird gefordert, dass der Beton nach DIN EN 206-1 herzustellen ist und bei Anordnung einer Bewehrung diese die nach DIN 1045-1 erforderliche Betondeckung aufweisen muss.

Nach DIN EN 206-1 ist der Beton für Fahrbahnplatten (Schutzschicht) wärmedämmter Parkdächer in die Expositionsklasse (XC2), XD3 und XF4 einzuordnen. Nach Tabelle F.1 wird ein C35/45 (C30/37) mit einem w/z – Wert von 0,45, einem Mindestzementgehalt von 340 (320) kg/m³ (XF4) und einem Mindestluftporengehalt von 4,0 % empfohlen.

Ob sich aus der geforderten Betonherstellung nach DIN EN 206-1 weitergehende Anforderungen entsprechend DIN 1045-3 hinsichtlich der Bauausführung wie z.B. Nachbehandlung und Überwachungsklasse ableiten, geht meines Erachtens nicht eindeutig aus der DIN 18195-10 hervor.

Nach DIN 1045-1, Tabelle 3, sind direkt befahrene Parkdecks in die Expositionsklassen XC4, XD3, XF4 und mindestens XM1 einzustufen. Als Mindestbetonfestigkeitsklasse wird C35/45 (XD3) gefordert. Auf Grund des Luftporengehaltes kann entsprechend der Fußnote c) die Betonfestigkeitsklasse eine Stufe niedriger gewählt werden. Über die Fußnote b) zur Tabelle 3 wird für direkt befahrene Parkdecks als zusätzliche

Maßnahme eine rissüberbrückende Beschichtung gefordert. (Im DAfStb-Heft 525 wird diese Schicht als mindestens OS 11 oder OS F spezifiziert).

Da es sich bei den hier angesprochenen Betonfahrbahnplatten auf wärmegeprägten Parkdächern nach Definition der DIN 18195 selbst um eine Schutzschicht und nicht um ein Tragwerk, welches dem Anwendungsbereich der DIN 1045-1 unterliegt, handelt, stellt sich die Frage, ist auch auf dieser Schutzschicht die Anordnung eines Oberflächenschutzsystems zwingend erforderlich?

Es ist davon auszugehen, dass in der DIN 18195-10 der Bezug zur DIN 1045-1 im Wesentlichen wegen des Schutzes der Abdichtung hergestellt wurde und an eine Beschichtung nicht gedacht wurde.

Wenn als Oberflächenschutzsystem eine Beschichtung oder Abdichtung gefordert wird, ist die Auswirkung einer derart diffusionsdichten Schicht auf Umkehrdachkonstruktionen zu berücksichtigen.

Nach einstimmiger Meinung verschiedener mit dem Parkdach befasster Fachleute wird eine Beschichtung im Sinne der DIN 1045-1 nicht für erforderlich gehalten (siehe auch [32]). Lediglich das Auftragen einer Imprägnierung entsprechend der Instandsetzungs-Richtlinie wird vereinzelt als sinnvoll angesehen.

Weiter stellt sich die Frage, ob durch die Forderung nach der Betondeckung nach DIN 1045-1 auch die übrigen Teile dieser Norm, wie z.B. Bemessung automatisch für die Herstellung von Betonschutzschichten gelten. Nach Auslegung des NABau (Lfd.Nr. 60) ist das Bauteil Parkdachplatte nicht in den Anwendungsbereich der DIN 1045-1 einzuordnen.

Bei Anwendung der DIN 1045-1 ergeben sich aus der erhöhten Betondeckung für direkt befahrene Betonoberflächen Mindestplattendicken von 12,0 cm bei einlagiger Bewehrung.

Durch in Kraft treten der neuen DIN 1045-1 stellt diese Forderung gegenüber der früheren Normenausgabe eine erhebliche Verschärfung dar.

Der meiner Ansicht nach unnötige Dickenzuwachs kann voraussichtlich durch Herabsetzung der Dämmstoffsteifigkeit und -festigkeit kompensiert werden.

Da erfahrungsgemäß die Lebenserwartung eines Parkdaches geringer als die der tragenden Gebäudestruktur ausfällt, wird von verschiedenen mit dem Parkdach befassten Fachleuten einhellig eine der alten DIN 1045 entsprechende maximale Betondeckung von $c_{nom} = 4,5$ cm für ausreichend gehalten. Bisherige Erfahrungen bestätigen diesen Wert. Somit erscheint eine Mindestplattendicke von 10,0 cm bei mittiger Bewehrung ausreichend.

Für Schutzschichten aus Betonfertigteilplatten (Abschn. 4.3.5) werden solche Forderungen übrigens nicht gestellt.

Die Forderung nach einer Weichschaumschicht als Trennschicht (4.3.2.4) wurde mit Ausgabe der Norm gegenüber dem Entwurf etwas abgeschwächt. Allerdings würde eine qualifizierte Angabe der Materialeigenschaften für die Bestimmung der Qualität des gesamten Dachaufbaus von Vorteil sein. Hier gehen die Meinungen der Fachleute auch etwas auseinander.

Im Abschnitt 4.3.2.4 wird gefordert, ab Belastungen der Brückenklasse 6 (4 kN/m²) nach DIN 1072 die einzelnen Felder der Betonschutzschicht zu verdübeln. Bei einer Verdübelung ist mindestens eine Plattendicke von $h = 14,0$ cm zu wählen. Einige zugelassene Dübelssysteme erfordern sogar eine Plattendicke von mindestens 16,0 cm.

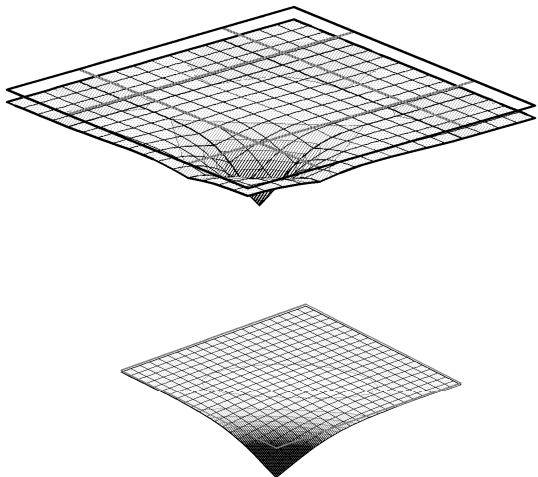
Entsprechend der Vermutung, dass die gültige DIN den anerkannten Regeln der Technik entspricht, sind somit die Fahrbahnplatten schon ab Brückenklasse 6 in einer Mindestdicke von 16,0 cm und mit einer Fugenverdübelung herzustellen. Die damit verbundenen Mehrkosten können nur durch die Wahl einer niedrigeren Dämmstoffgüte kompensiert werden.

Durch die Fugenverdübelung wird die Einsenkung, und damit die Dämmstoffpressung unter der Radaufstandsfläche deutlich reduziert.

Bei Ansatz eines scharnierähnlichen Fugengelenks und sonst gleichen Annahmen für die Plattendicke und die Bettungsziffer tritt bei der verdübelten Fuge nur ein Drittel der Dämmstoffpressung auf. Die Hauptzugspannungen in der Fahrbahnplatte sind ebenfalls erheblich niedriger. Den gleichen Effekt erreicht man jedoch auch, wenn man einen Dämmstoff höherer Steifigkeit und Festigkeit einsetzt. Frühere Berechnungen zeigten, dass eine 12,0 cm (anstatt 16,0 cm) dicke Platte auf Foamglas S3 der Radlast eines Lkw 6 ohne Verdübelung genügt.

Wahrscheinlich werden auch die Zwangsspannungen aus Plattenschüsseln (und -wölben) durch eine Fugenverdübelung nicht reduziert.

Rein qualitativ ergeben sich mit und ohne Fugenverdübelung ähnliche Verformungsbilder, wobei sich im Falle der Verdübelung rechnerisch ungünstigere Werte einstellen (Dies mag an Systemvereinfachungen liegen). Nicht nur, dass der Einbau von Dübeln in der Praxis schwierig ist, und deren Anteil am Querkraftabtrag nicht sicher ist, sondern, dass auch bei ungleichmäßigen Temperaturbeanspruchungen Zwangsschnittkräfte auftreten können, lassen die Anordnung von verdübelten Fugen als ungünstig erscheinen.

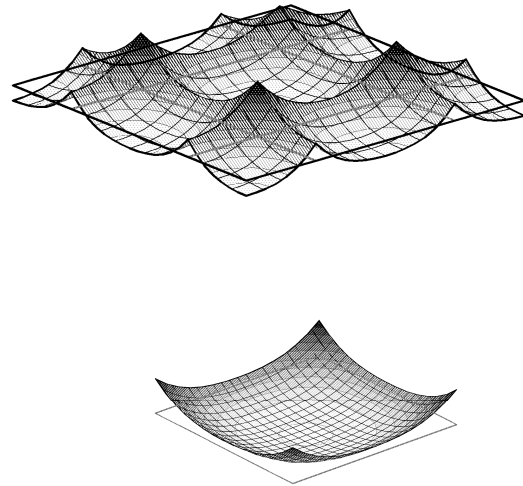


*Bild 11 + 12:
FEM-Ergebnisgrafiken
Oben: Platte unter Eckbelastung mit verdübelten Randfugen
Unten: Einzelplatte unter Eckbelastung*

Durch die Verdübelung soll ein Versatz von Plattenfeldern verhindert werden, damit die Abdichtung keinen Kantenpressungen unterworfen wird.

Alle befragten Fachleute halten eine Fugenverdübelung im Allgemeinen nicht für erforderlich, auch wenn sie hin und wieder ausgeführt wurde. Es wird als sinnvoller angesehen, die Fahrbahnplatten und die Dämmung so auszulegen, dass die zu erwartenden Fugenversätze und Kantenpressungen innerhalb zulässiger Werte verbleiben.

Dies zu erreichen ist insgesamt das Ziel der vorstehenden Ausführungen.



*Bild 13 + 14:
FEM-Ergebnisgrafiken
Oben: Schlüsselnde Platten mit Scharniergelenk
Unten: Einzelplatte, Schlüssel in Folge ungleichmäßiger Temperatur*

8. Literatur

- [1] J.-P. Schlee, Wärmegedämmtes Parkdach – Hofkellerdecke – Wärmegedämmte Verkehrsfläche, Fraunhofer IRB Verlag, 1999, ISBN 3-8167-4706-X
- [2] A. Haack, K.-F. Emig, K. Hilmer, C. Michalski; Abdichtungen im Gründungsbereich und auf genutzten Deckenflächen. Ernst & Sohn. Berlin, 1994, ISBN 3-433-01232-6
- [3] K.-F. Emig, A. Haack; Abdichtungen von Parkdecks, Brücken und Trögen mit Bitumenwerkstoffen. ARBIT-Schriftenreihe Heft 62, Urban Verlag, 2000
- [4] Aachener Bausachverständigentage 1986, Genutzte Dächer und Terrassen; E. Schild, R. Oswald. Bauverlag, ISBN 3-7625-2510-2
- [5] J.-P. Schlee, Wärmegedämmte Parkdächer, ein Überblick über verschiedene Parkdachsysteme für PKW-Nutzung, DDH Heft 10/91
- [6] J. Eisenmann und G. Leykauf, Bau von Verkehrsflächen, Beton-Kalender 1987, Teil 2, und Verkehrsflächen aus Beton, Betonkalender 2007, Band II, Ernst & Sohn
- [7] K.H. Schneider, A. Hoim, M. Kroth: Zur Ausbildung bituminös abgedichteter Parkdecks mit Wärmedämmung und Betonfahrbahn. Bautechnik 69 Heft 7 (1992) und Zuschrift von J.-P. Schlee (Heft 12)
- [8] J.-P. Schlee, W. Uhr; Fahrbahnplatten auf Wärmedämmung. Baugewerbe 3/92

- [9] J.-P. Schlee, Flachdachaufbau für den Brummi. DDH 13/94
- [10] Systemlösung für Parkdeckaufbau, Max de Bour, DDH Heft 23-24/84
- [11] G. Hoefler, Wärmegeämmte Parkdecks, Fallstudie zum Schichtenaufbau nach der Umkehrdach-Methode, DDH Heft 23-24/84
- [12] H. Diehl, Parken auf Umkehrdächern, Fahrbelag aus Betonverbundsteinpflaster, Deutsches Architektenblatt
- [13] El Diwany-Himstedt, Wärmegeämmte begeh- und befahrbare Dächer, Parkdächer und Hofkellerdecken über genutzten Räumen, Beton- und Stahlbeton 99 (2004), A 21 ff
- [14] El Diwany-Himstedt, Schäden an wärmegeämmten Parkdächern und deren Auswirkungen auf die Substanz des Gebäudes, Beton- und Stahlbetonbau Spezial (2005), A32 ff
- [15] Lastannahmen für Bauten - Verkehrslasten - DIN 1055, Teil 3, Juni 1971 (neue DIN 1055-3, Okt. 2002)
- [16] Straßen- und Wegebrücken; Lastannahmen - DIN 1072, Dezember 1985
- [17] 18 195 - Bauwerksabdichtungen
Teil 1: Grundsätze, Definitionen, Zuordnung der Abdichtungsarten, 08.2000
Teil 2: Stoffe, 08.2000
Teil 3: Anforderungen an den Untergrund und Verarbeitung der Stoffe, 08.2000
Teil 5: Abdichtungen gegen nichtdrückendes Wasser auf Deckenflächen..., 08.2000
Teil 8: Abdichtung über Bewegungsfugen 03.2004
Teil 9: Durchdringungen, Übergänge, Abschlüsse, 03.2004
Teil 10: Schutzschichten und Schutzmaßnahmen, 03.2004
- [18] DIN 4108, Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden
- [19] Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden, Energieeinsparverordnung EnEV, 10.2009
- [20] DIN 1045, Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton
Teil 1: Bemessung und Konstruktion, 08.2008
Teil 2: Beton – Festlegungen, Eigenschaften, Herstellung und Konformität, 08.2008
Teil 3: Bauausführung, 08.2008
- [21] FLL: Empfehlungen zu Planung und Bau von Verkehrsflächen auf Bauwerken, 05.2005, ISBN 3-934484-74-3
- [22] DIN Fachbericht 101, Einwirkungen auf Brücken, 03.2003
- [23] G. Lohmeyer, K. Ebeling, Betonböden für Produktions- und Lagerhallen. Planung, Bemessung Ausführung, Verlag Bau + Technik GmbH, 2. Auflage 2008
- [24] Die Billiglösung billigen? Baurecht im Gespräch: R.A. W. Reinders, DDH Heft 18/2009
- [25] J. Minnert, Aktuelle Auslegungen und Hinweise zu Normen: DIN 1055-3 (03/2006) „Eigen- und Nutzlasten für Hochbauten“, Aktuelle Informationen der mb AEC Software GmbH, mb-news 2/2008
- [26] B. Maidl, Stahlfaserbeton, Ernst & Sohn, 1991
- [27] B. Wietek, Stahlfaserbeton, Grundlagen und Praxisanwendung, Vieweg+Teubner, 01.2008
- [28] M. Teutsch, Technische Regeln für Stahlfaserbeton – Der Entwurf der Richtlinie des DafStb, Westdeutsches Architekten- und Ingenieurforum, Bochum, 09.2007
- [29] Dauerhafte Verkehrsflächen mit Betonpflastersteinen, SLG – Betonverband Straße, Landschaft Garten e.V., 09.2006
- [30] K. Roßberg, F. Wellner, T. Gleitz, Dynamische Belastungsversuche an Pflasterkonstruktionen, TU Dresden, 12.1995
- [31] B. Shackel, Handbuch Betonsteinpflaster, Bemessung, Konstruktion, Ausführung, Beton-Verlag, 1996
- [32] R. Auberg, Schutz vor chloridinduzierter Korrosion von Stahlbeton bei Parkhaus- und Tiefgaragen im Bestand und Neubau, Umweltreport