

Stand sicherheitsnachweise für Straßendämme

– Lastansatz zur Berücksichtigung von Verkehrslasten – von

Prof. Dr.-Ing. Otfried Beilke und cand. Ing. Janina Altmann

1. Einleitung

Für die Berechnung der Stand sicherheit von Straßendämmen sind grundsätzlich die Lasten aus dem Straßenverkehr zu berücksichtigen. Besonders bei einer Dammschüttung auf weichem Untergrund kann es zusätzlich notwendig werden, die Lasten aus den Bauzuständen zu berücksichtigen. In den einschlägigen Normen wird auf die Größe der anzusetzenden Verkehrslasten bei Stand sicherheitsberechnungen für Straßendämme nicht explizit eingegangen. Somit sind hierzu besondere Betrachtungen notwendig. Früher erfolgte häufig ein einfacher Lastansatz unter Berücksichtigung der Brückenersatzlasten beispielsweise SLW 60 mit $p_v = 33,3 \text{ kN/m}^2$. Mit der Einführung des Eurocodes EC 1 (DIN EN 1991-2:2010-12 + NA: 2012-08) sind hierzu nähere Betrachtungen notwendig. Dieser technische Bericht soll zum grundsätzlichen Verständnis der erforderlichen Lastansätze für Böschungsbruchberechnungen an Straßendämmen beitragen.

2. Der Lastansatz nach Eurocode 1

2.1 Allgemeines

Die Größe der für die Bemessung anzusetzenden Lasten sind in der DIN EN 1991 Teil 2 geregelt (Eurocode 1, 2010-12). Zusätzlich ist der Nationale Anhang NA: 2012-08 zu berücksichtigen. Weitere Hinweise sind im DIN Fachbericht 101 enthalten, dieser wurde jedoch im Mai 2013 zurückgezogen. Im Folgenden wird zunächst auf die Vorgaben der DIN EN 1991-2 eingegangen, dann werden die zusätzlichen Regelungen des NA: 2012-08 behandelt.

Üblicherweise erfolgt die Ermittlung der Belastung von Brücken mit dem Lastmodell 1. Mit dem Lastmodell 1, welches in der Regel Anwendung findet, soll der fließende, der zähfließende Verkehr und auch Stausituationen mit einem hohen Anteil an LKWs abgedeckt werden. Im EC 1 sowie dem Nationalen Anhang finden sich Vorgaben zur Modifizierung des

Lastmodells für die Bemessung von Brückenwiderlagern. Hierbei wird das Lastmodell auf der Hinterfüllung angesetzt und eine Verteilung der Belastung vorgenommen.

Im Allgemeinen werden mit dem Lastmodell 1 über die Verwendung von Grundwerten für die Achslasten auch die Belastungen aus Sonderfahrzeugen mit einem Gesamtgewicht von bis zu 60 to (600 kN) erfasst (siehe Anhang A der DIN EN 1991-2). Das Lastmodell 1 ist im Abschnitt 4.3.2 der DIN EN 1991-2 (Seite 35) detailliert dargestellt.

Es besteht aus einem Anteil, der sich aus der Betrachtung einer Doppelachse ergibt und einem zweiten Anteil, der flächenhaft im Bereich eines Fahrstreifens angesetzt wird (Bild 1). Grundsätzlich erfolgt die Modellierung in Form von so genannten rechnerischen Fahrstreifen deren Anzahl und Breite in Abhängigkeit der Fahrbahnbreite ermittelt wird. Diese rechnerischen Fahrstreifen werden dann mit entsprechenden Lasten beaufschlagt.

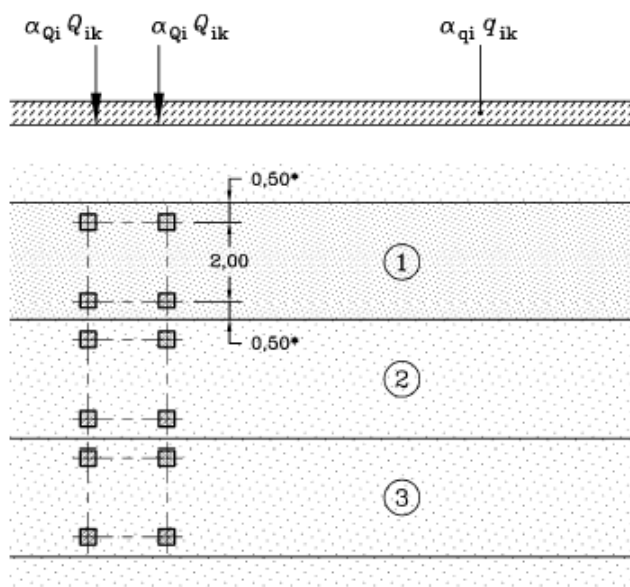


Bild 1 Definition der Fahrstreifen und der Lastansätze (DIN EN 1991-2, 2010-12)

2.2 Definition der Belastung

Im Einzelnen ergibt sich der Lastansatz aus folgenden 2 Anteilen:

a) Belastung aus der Doppelachse (Tandem-System TS)

- Für jede Achse wird eine Achslast $\alpha_Q \times Q_k$ angesetzt. Q_k ist dabei die tatsächliche Achslast und α_Q ein Anpassungsfaktor.

- In jedem rechnerischem Fahrstreifen wird die Belastung aus einer Doppelachse berücksichtigt.
 - Es werden nur vollständige Doppelachsen berücksichtigt.
 - Die Lasten aus den Doppelachsen werden in der Mitte der rechnerischen Fahrstreifen angesetzt.
 - Für jede Achse der Doppelachse werden zwei identische Räder berücksichtigt. Daraus ergibt sich die Radlast zu $0,5 \alpha_Q \times Q_k$.
 - Die Aufstandsfläche für jedes Rad wird als Quadrat mit einer Seitenlänge von 0,40 m idealisiert.
- b) Die Belastung der restlichen Flächen erfolgt gleichmäßig mit $\alpha_q \times q_k$ je m^2
 q_k ist hierbei die Ersatzflächenlast und α_q wiederum ein Anpassungsfaktor.

Mit der Einführung von Anpassungsfaktoren soll, von einer Standardbelastung ausgehend, eine Berücksichtigung des tatsächlich zu erwartenden Verkehrs bzw. die Berücksichtigung der Straßenklasse, erfolgen. Auf die Werte der Anpassungsfaktoren wird im Abschnitt 6 eingegangen.

Das Lastmodell 1 unterscheidet bei dem Lastansatz zwischen einzelnen Fahrstreifen, d.h. beispielsweise bei einer 2-streifigen Straße werden die beiden Fahrstreifen unterschiedlich belastet. Im Einzelnen ergeben sich auf den Fahrstreifen i die Belastungen $\alpha_{Qi} \times Q_{ik}$ und $\alpha_{qi} \times q_{ik}$. Die dann noch vorhandene Restfläche wird mit $\alpha_{qr} \times q_{rk}$ belastet.

2.3 Anzahl und Breite der rechnerischen Fahrstreifen nach DIN EN 1991-2

In Abhängigkeit von der Fahrbahnbreite ergibt sich die rechnerische Anzahl der Fahrstreifen. Die Systematik ist in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1 Anzahl und Breite der rechnerischen Fahrstreifen (DIN EN 1991-2, 2010-12)

Fahrbahnbreite w	Anzahl der rechnerischen Fahrstreifen	Breite eines rechnerischen Fahrstreifens w_I	Breite der verbleibenden Restfläche
$w < 5,4 \text{ m}$	$n_I = 1$	3 m	$w - 3 \text{ m}$
$5,4 \text{ m} \leq w < 6 \text{ m}$	$n_I = 2$	$\frac{w}{2}$	0
$6 \text{ m} \leq w$	$n_I = \text{Int}\left(\frac{w}{3}\right)$	3 m	$w - 3 \times n_I$
ANMERKUNG Zum Beispiel ergibt sich für eine Fahrbahn von 11 m die Anzahl der rechnerischen Fahrstreifen zu $n_I = \text{Int}\left(\frac{w}{3}\right) = 3$. Die Breite der vorhandenen Restfläche beträgt: $11 - 3 \times 3 = 2 \text{ m}$.			

Grundlage für die Ermittlung der Anzahl der rechnerischen Fahrstreifen bildet die Fahrbahnbreite. Die Fahrbahnbreite ist die lichte Weite zwischen den Schrammborden, wenn die Schrammbordhöhe $\geq 0,75 \text{ m}$ ist. In allen anderen Fällen entspricht die Fahrbahnbreite der lichten Weite zwischen den Leiteinrichtungen. Dieses bedeutet, dass die Breite der Fahrbahn Standstreifen, Bankett und Markierungen beinhaltet. Im nächsten Schritt wird die Breite eines rechnerischen Fahrstreifens ermittelt. Unter Berücksichtigung der Fahrbahnbreite und der Breite eines rechnerischen Fahrstreifens kann dann die Breite der Restfläche ermittelt werden.

Für Fahrbahnbreiten $w \geq 6 \text{ m}$ wird zunächst die mögliche Anzahl von 3 m breiten Fahrstreifen ermittelt. Die erfolgt über der Integerfunktion, die von einer Zahl den Ganzzahlenwert, d.h. die nächst kleinere ganze Zahl, angibt.

Dies bedeutet, dass sich folgende Anzahlen der Fahrstreifen ergeben.

- für Fahrbahnbreiten $w < 5,4 \text{ m}$ \Rightarrow Anzahl der Fahrstreifen 1
- für Fahrbahnbreiten $5,4 \text{ m} \leq w < 9 \text{ m}$ \Rightarrow Anzahl der Fahrstreifen 2
- für Fahrbahnbreiten $9 \text{ m} \leq w < 12 \text{ m}$ \Rightarrow Anzahl der Fahrstreifen 3
- usw.

2.4 Anordnung der Fahrstreifen nach DIN EN 1991-2

Der Nummerierung der Fahrstreifen erfolgt nach der Größe der Belastung. Der Fahrstreifen 1 in Bild 2 die höchste Belastung und der Fahrstreifen 3 die niedrigste Belastung. Der Streifen 4 ist die sogenannte Restfläche. Für jeden Einzelnachweis können sich Lage und Nummerierung der Fahrstreifen ändern, da sich aus den Lastmodellen immer die ungünstigste Beanspruchung ergeben muss.

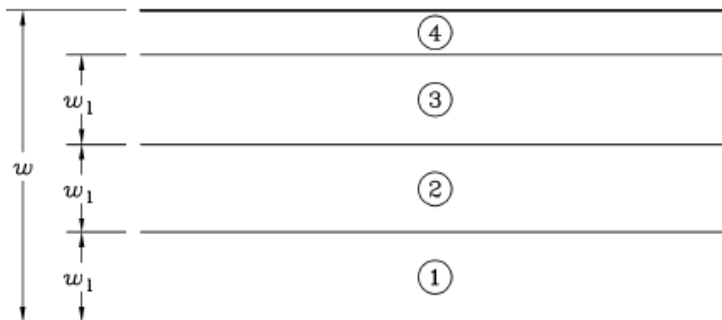


Bild 2 Definition der Fahrstreifen nach DIN EN 1991-2, 2010-12

mit:	w	Breite der Fahrbahn
	w_1	Breite eines rechnerischen Fahrstreifens
	1	Fahrstreifen Nr. 1
	2	Fahrstreifen Nr. 2
	3	Fahrstreifen Nr. 3
	4	verbleibende Restfläche

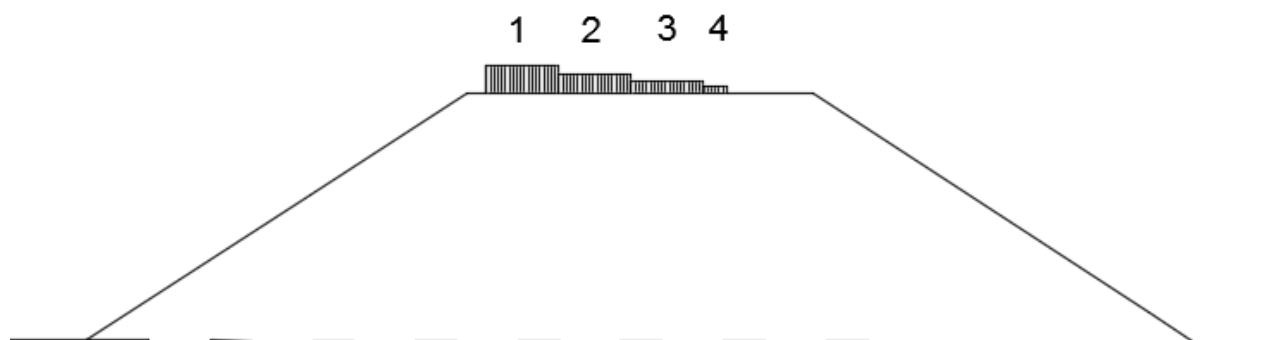


Bild 3 Querschnitt mit allgemeiner Lastverteilung auf den Fahrstreifen

2.5 Vergleich mit DIN Fachbericht 101

Im DIN Fachbericht 101 (seit Mai 2013 zurückgezogen) sind die Fahrstreifen und die Restflächen anders definiert (Bild 4).

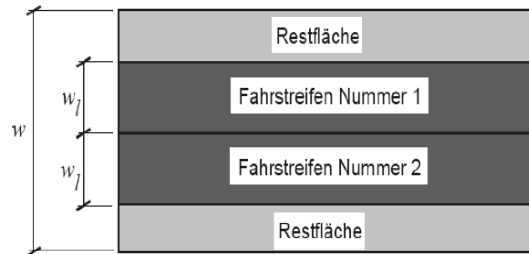


Bild 4 Definition der Fahrstreifen nach DIN Fachbericht 101

Es ist auffällig, dass im DIN Fachbericht 101 nur 2 Fahrstreifen definiert werden und auch neben dem 1. Fahrstreifen eine Restfläche angesetzt wird. Bei einem Damm würde dies der Bereich des Banketts sein. Bei einem Lastansatz nach dem DIN Fachbericht würde auf dem Bankett ungünstig eine Flächenlast von 3 kN/m^2 angesetzt werden.

3. Größe der anzusetzenden Achslasten nach DIN EN 1991-2

Die Achslasten der Doppelachsen Q_{ik} sowie die gleichmäßig verteilte Flächenlast q_{ik} ergeben sich aus Abschnitt 4.3.2 der DIN EN 1991-2 (DIN EN 1991-2: 2010-12)

Tabelle 2 charakteristische Lasten nach Lastmodell 1 (DIN EN 1991-2: 2010-12)

Stellung	Doppelachsen TS	Gleichmäßig verteilte Last
	Achslast Q_{ik} (kN)	q_{ik} (oder q_{ik}) (kN/m ²)
Fahrstreifen 1	300	9
Fahrstreifen 2	200	2,5
Fahrstreifen 3	100	2,5
Andere Fahrstreifen	0	2,5
Verbleibende Restfläche q_{ik}	0	2,5

Die Einzelheiten des Lastmodells sind in Bild 5 dargestellt (DIN EN 1991-2:2010-12)

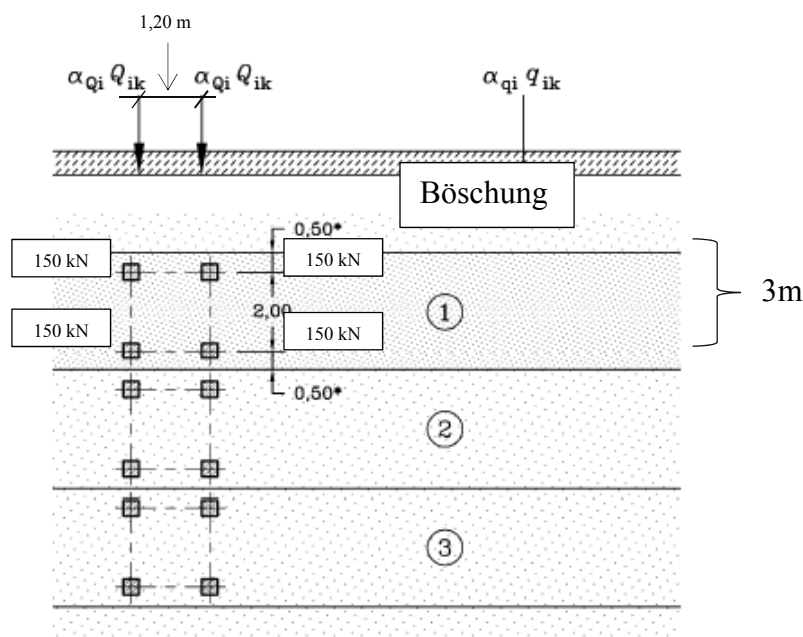


Bild 5 Lastansatz auf den einzelnen Fahrstreifen (DIN EN 1991-2, 2010-12)

Für die in Bild 5 dargestellten Fahrstreifen ergeben sich folgende Grundwerte der Belastungen

- Fahrstreifen 1: $Q_{1k} = 300 \text{ kN}$; $q_{1k} = 9 \text{ kN/m}^2$
- Fahrstreifen 2: $Q_{2k} = 200 \text{ kN}$; $q_{2k} = 2,5 \text{ kN/m}^2$
- Fahrstreifen 3: $Q_{3k} = 100 \text{ kN}$; $q_{3k} = 2,5 \text{ kN/m}^2$

Für Geh- und Radwege wird eine gleichmäßig verteilte Flächenlast von 5 kN/m^2 angesetzt. In Kombination mit anderen Straßenverkehrslasten darf dieser Wert auf 3 kN/m^2 abgemindert werden.

4. Zur Größe der Anpassungsfaktoren

Die Grundwerte der Belastung werden in einem weiteren Schritt angepasst. Die Größe der Anpassungsfaktoren sind im nationalen Anhang zur DIN EN 1991-2/NA: 2012-08 enthalten (Tabelle 3). In der DIN EN 1991-2 wird lediglich darauf hingewiesen, dass sofern für den Fahrstreifen 1 der Anpassungsfaktor zu 1,0 angenommen wird, der Verkehr einem schweren internationalen Güterverkehr entspricht. Für eine alltägliche Verkehrszusammensetzung wird eine Reduzierung der α - Faktoren für die Doppelachsen und die gleichmäßig verteilte Belastung des Fahrstreifens 1 um 10 bis 20 % empfohlen.

In allen Fällen werden für Brücken, die keine durch Beschilderung angezeigte Beschränkung des Fahrzeuggewichts aufweisen, die folgenden Mindestwerte angegeben:

$$\alpha_{Qi} \geq 0,8 \quad \text{und} \quad \text{für } i = 1$$
$$\text{für } i \geq 2,0 \quad \alpha_{Qi} \geq 1,0.$$

Diese Empfehlungen sind nicht anwendbar auf α_{qr}

In den Tabellen 3 und 4 sind zum Vergleich zusätzlich die Anpassungsfaktoren des Din Fachberichts 101 enthalten.

Tabelle 3 Größe der Anpassungsfaktoren

	Anpassungsfaktoren	DIN EN 1991-2	DIN EN 1991-2 / NA:2012-08	DIN Fachbericht 101 *)
Achslast	α_{Q1}	0,8 – 0,9	1,0	0,8
	α_{Q2}	Verweis auf NA	1,0	0,8
	α_{Q3}	Verweis auf NA	1,0	kein 3. Fahrstreifen
Flächenlast	α_{q1}	1,06 – 1,2	1,33	1,0
	α_{q2}	Verweis auf NA	2,4	1,0
	α_{q3}	Verweis auf NA	1,2	kein 3. Fahrstreifen
	α_{qgr}	Verweis auf NA	1,2	1,0

*) seit Mai 2013 zurückgezogen

Tabelle 4 Vergleich der Belastungen unter Berücksichtigung der Anpassungsfaktoren

Fahrstreifen	DIN EN 1991-2		NA:2012-08		DIN Fachbericht 101 *)	
	Achslast	Flächenlast	Achslast	Flächenlast	Achslast	Flächenlast
1	2 x 240 - 2 x 270	9,58 - 10,8	2 x 300	12	2 x 240	9
2	2 x 200	6	2 x 200	6	2 x 160	2,5
3	2 x 100	3	2 x 100	3	-	2,5

*) seit Mai 2013 zurückgezogen

In der Tabelle 4 sind die Belastungen der Fahrstreifen unter Berücksichtigung der Anpassungsfaktoren aufgeführt. Durch die mögliche Reduzierung des Anpassungsfaktors für den Fahrstreifen 1, ergibt sich nach dem EC 1 eine anzusetzende Achslast von min 240 kN und max 270 kN. Die Lasten der weiteren Fahrstreifen sowie der Restfläche entsprechen denen des Nationalen Anhangs. Auffällig ist, dass der Lastansatz nach dem DIN Fachbericht 101 insgesamt geringer ist. Für einen weiteren Vergleich der Lastmodelle wird auf den Anhang verwiesen.

Bild 6 zeigt zusammenfassend für das Lastmodell 1 die Verteilung der Achslasten auf die einzelnen Fahrstreifen, sowie die zugehörigen gleichmäßig verteilten Lasten auf drei Fahrstreifen und der Restfläche gemäß DIN EN 1991-2/NA:2012-08 für eine 13 m breite Fahrbahn.

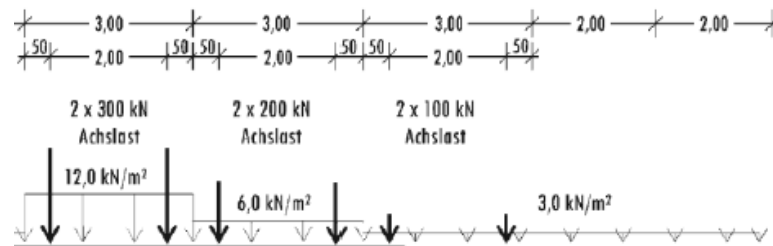


Bild 6 Lastmodell 1 nach DIN EN 1991-2/NA:2012-08

5. Verteilung der Achslasten auf eine „angemessene“ Aufstandsfläche

Nach dem Abschnitt 4.9 der DIN EN 1991-2:2010-12 „Lastmodell für Hinterfüllungen und Widerlager“ darf zur Berechnung von Brückenwiderlagern die Belastung aus einer Doppelachse durch eine gleichmäßig verteilte Last mit der Bezeichnung q_{eq} ersetzt werden. Die rechteckige Ersatzfläche A_{eq} ist dabei so zu wählen, dass sie als angemessen bezeichnet werden kann. Nach dem EC 1 beträgt diese „angemessene“ Aufstandsfläche von $3 \text{ m} \times 2,20 \text{ m} = 6,6 \text{ m}^2$ (DIN EN 1991-2:2010-12, Seite 55)

Im Nationalen Anhang wird als „angemessene“ Aufstandsfläche A_{eq} eine Breite von 3 m und eine Länge von $5 \text{ m} = 15 \text{ m}^2$ angenommen. (DIN EN 1991-2/NA:2012-08 Seite 11)

Im Rahmen der eigenen Betrachtungen erfolgt die Lastverteilung auf eine Fläche von $A_{eq} = 15 \text{ m}^2$, da hierdurch eine räumliche Lastverteilung im Bereich des Dammes eher berücksichtigt wird.

6. Lastansatz nach DIN 1072

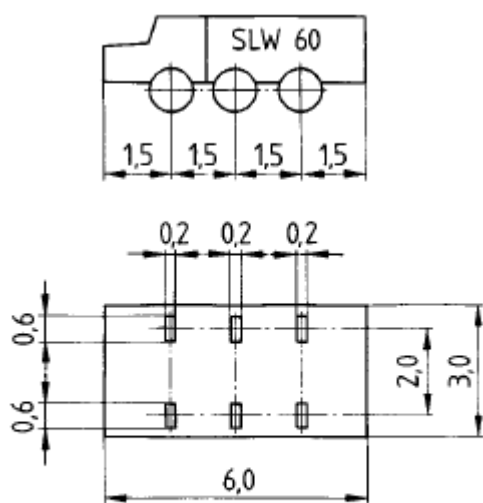
Zum Vergleich wird in diesem Abschnitt der (alte) Lastansatz nach der DIN 1072 dargestellt. Im Gegensatz zu dem DIN Fachbericht 101 und der DIN EN 1991-2 werden in der DIN 1072 die Brücken in Brückenklassen eingeteilt. Die Ermittlung der Fahrstreifen entfällt auf Grund einer festgelegten Einteilung. Die Fahrbahn ist eingeteilt in eine 3 m breite Hauptspur, sowie eine ebenfalls 3 m breite Nebenspur und 3 m breite Restfläche.

Es wird ein Schwerlastwagen von 60 to (SLW 60) sowie 30 to (SLW 30) betrachtet, wie in Bild 8 und Bild 9 dargestellt, ergibt sich eine Aufstandsfläche von 18 m^2 . Des Weiteren werden keine Anpassungsfaktoren verwendet. Die Flächenlasten werden nur neben dem Fahrzeug angenommen und werden nicht wie in der DIN EN 1991-2 und dem DIN Fachbericht

101 auf den gesamten Fahrstreifen bezogen. Die Verteilung der Lasten wird in Bild 7 verdeutlicht.

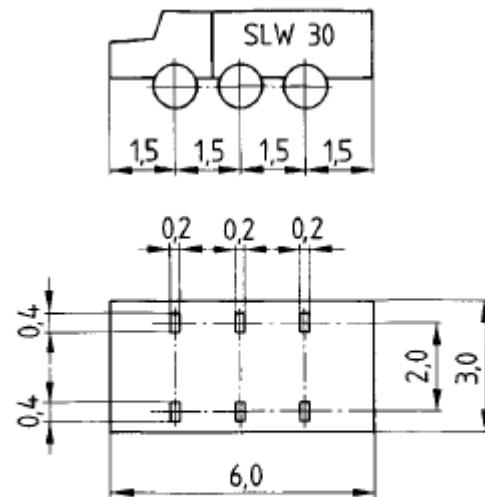
Tabelle 5 Lastverteilung Brückenklasse 60/30 nach DIN 1072

	Breite	Vor dem LKW	LKW	Hinter dem LKW
Hauptspur	3 m	$p_1 = 5 \text{ kN/m}^2$	SLW 60	$p_1 = 5 \text{ kN/m}^2$
Nebenspur	3 m	$p_2 = 3 \text{ kN/m}^2$	SLW 30	$p_2 = 3 \text{ kN/m}^2$
Restfläche	3 m	3 kN/m^2		



Gesamtlast: 600 kN
 Radlast: 100 kN
 Ersatzflächenlast: $p' = 33,3 \text{ kN/m}^2$

Bild 8 Schwerlastwagen SLW 60



Gesamtlast: 300 kN
 Radlast: 50 kN
 Ersatzflächenlast: $p' = 16,7 \text{ kN/m}^2$

Bild 9 Schwerlastwagen SLW 30

7. Vorschlag eines modifizierten Lastansatzes für Böschungsbruchberechnungen

Auf der Grundlage der DIN EN 1991-2 sowie des Nationalen Anhangs erfolgt die Erarbeitung eines modifizierten Vorschlags für einen Lastansatz zur Berechnung der Standsicherheit von Böschungen und Dämmen. Zusätzlich werden diese Lastansätze mit den Angaben des DIN Fachberichtes 101 verglichen. Für Bauzustände wird zusätzlich ein Vorschlag in Anlehnung an die Belastungsansätze der Empfehlungen des Arbeitsausschusses Baugruben angegeben.

Tabelle 6 Vorschlag für einen modifizierten Lastansatz

Fahrstreifen	eigener Vorschlag			
	Achslast Q_{ik}	Anpassungsfaktor	Flächenlast q_{ik}	Anpassungsfaktor
1	2 x 300	0,8	9	1,0
2	2 x 200	0,8	2,5	1,0
3	2 x 100	0,8	2,5	1,0
Restfläche	-	-	2,5	1,0

Aus einem Vergleich der Lastansätze und der Anpassungsfaktoren wird ersichtlich, dass die Achslast gemäß EC 1 angesetzt wird. Die Anpassungsfaktoren werden auf der Basis des EC 1 reduziert. Abweichend vom EC 1 erfolgt eine Reduzierung für alle Fahrstreifen. Damit ergeben sich die gleichen Belastungen wie im DIN Fachbericht 101.

Für die Flächenlasten werden die Anpassungsfaktoren in Anlehnung an den DIN Fachbericht 101 gewählt. Insgesamt ergibt sich daraus eine Reduktion der Lastannahmen gegenüber dem Nationalen Anhang. Diese Reduktion wird mit einem Vergleich der tatsächlichen Lasten aus einem LKW begründet. Für einen „normalen“ 40 to LKW ergibt sich eine „tatsächliche“ Flächenlast, die deutlich geringer ist als der reduzierte Lastansatz. Dieser ist somit immer noch auf der sicheren Seite. Grundsätzlich ist auch eine andere Begründung denkbar. Bei Böschungsbruchberechnungen erfolgen in der Regel die Modellbildung und die Berechnung nach KREY/BISHOP. Dieser Berechnungsansatz reduziert das tatsächlich räumliche System auf ein ebenes Rechenmodell. Sofern die Lasten aus dem EC 1 für die Berechnung von Brücken einfach übernommen werden, ergibt sich eine Vernachlässigung der räumlichen Lastverteilung im Bereich des Straßendamms.

Mit dem vorgeschlagenen Lastansatz werden die Lasten nach dem EC 1 zunächst auf eine angemessene Aufstandsflächen A_{eq} verteilt und zusätzlich die Anpassungsfaktoren im Rahmen des EC 1 abgemindert.

Mit dem vorgeschlagenen Ansatz nach Tabelle 6 ergeben sich folgende Ersatzlasten:

$$1. \text{ Fahrstreifen} \quad p_v = \frac{2 \cdot Q_{ik}}{A_{eq}} \cdot \alpha_{Qi} + q_{ik} \cdot \alpha_{qi} = \frac{2 \cdot 300}{15} \cdot 0,8 + 9 \cdot 1 = 41,0 \text{ kN/m}^2$$

2. Fahrstreifen = 23,85 kN/m²

3. Fahrstreifen = 13,16 kN/m²

Restfläche = 2,5 kN/m²

Im Folgenden werden in Tabelle 7 die Lastansätze nach DIN EN 1991-2, dem zugehörigen Nationalen Anhang, der DIN Fachbericht 101 sowie die DIN 1072 und der eigene Vorschlag auf drei Fahrstreifen verglichen.

Tabelle 7 Vergleich der Lastansätze

Fahrstreifen	DIN EN 1991-2	NA:2012-08	DIN Fachbericht 101	DIN 1072	Vorschlag
1	82,30	52,00	41,00	33,33	41,00
2	66,60	32,60	23,83	16,70	23,85
3	33,30	16,30	-	-	13,16

Es zeigt sich, dass der Lastansatz der DIN EN 1991-2 deutlich höher ist, als alle anderen Lastansätze. Dieser Unterschied ergibt sich aus der geringeren Aufstandsfläche von 6,6 m². Im Nationalen Anhang wird die Aufstandsfläche auf 15 m² erhöht und somit die Lasten verringert. Die DIN 1072 beschreibt den niedrigsten Lastansatz. Auf Grund der festgelegten Einteilung in Haupt- und Nebenspur ist kein dritter Fahrstreifen vorhanden. Ebenfalls kein dritter Fahrstreifen ist in dem DIN Fachbericht 101 definiert. Der vorgeschlagenen Lastansatz zur Berücksichtigung der Besonderheiten bei Böschungsbruchberechnungen nach KREY/BISHOP reduziert die Vorgaben des NA:2012-08 deutlich.

Um den Einfluss des Lastansatzes auf das Sicherheitsniveau darzustellen, wurde für einen 10 m hohen Straßendamm auf weichem Untergrund bei ansonsten gleichen Randbedingungen Standsicherheitsberechnungen durchgeführt. In Bild 10 ist das Ergebnis für den eigenen Lastansatz dargestellt. Es ergibt sich eine Ausnutzung von $\mu = 1,0$.

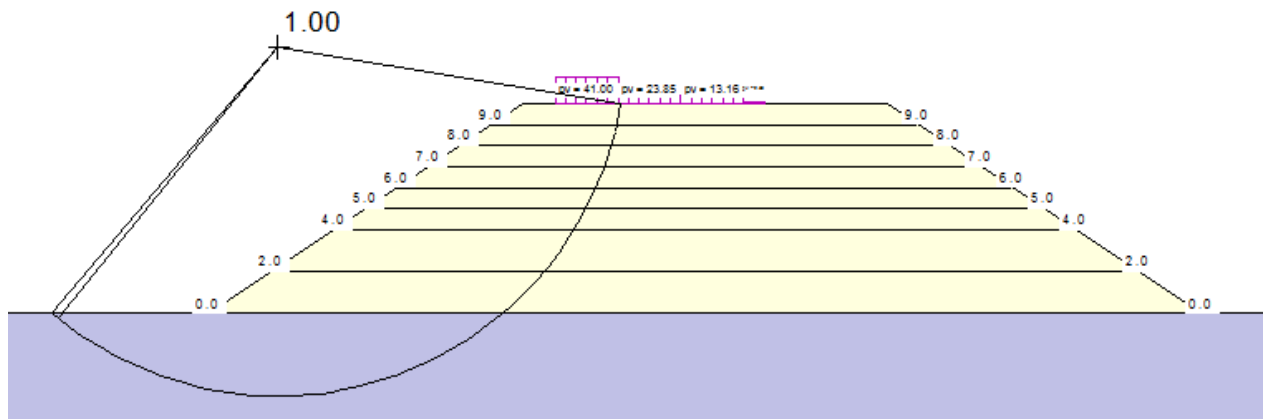


Bild 10 Beispiel für eine Böschungsbruchberechnung

In Tabelle 8 sind die Ausnutzungsgrade für alle Lastansätze enthalten.

Tabelle 8 Vergleich der rechnerischen Ausnutzungen

	DIN EN 1991-2	NA:2012-08	DIN Fachbericht 101	DIN 1072	Vorschlag
Ausnutzungen	1,07	1,02	1,0	0,99	1,0

Aus den Standsicherheitsberechnungen für einen 10 m hohen Straßendamm zeigt sich, dass Unterschiede zwischen dem Ansatz nach DIN Fachbericht 101, DIN 1072 und dem eigenen Vorschlag gering sind. Auch eine Berechnung nach dem Nationalen Anhang ergibt nur eine etwas höhere Ausnutzung. Lediglich eine Berechnung ganz ohne Verkehrslasten führt zu deutlich abweichenden Ergebnissen. Die Ausnutzung beträgt dann $\mu = 0,95$.

Ein Ansatz nach DIN EN 1991-2 erscheint hingegen zu sehr auf der sicheren Seite.

8. Vorschlag Lastansatz „Baustellenverkehr“

Im Rahmen der geotechnischen Prüfung verschiedener Projekte wurde festgestellt, dass auch für die Belastung in Bauzuständen sehr unterschiedliche Belastungsansätze gewählt werden. Diese schwanken zwischen flächenhaft 20 kN/m² und flächenhaft 10 kN/m². Der Ansatz von 20 kN/m² erscheint dabei relativ hoch. Eine Belastung von 10 kN/m² ist wiederum relativ gering. Wird ein LKW mit 40 to Gesamtgewicht betrachtet, auf einer geschätzten Länge von 12 bis 16 m und einer geschätzten Breite von 2,5 m, ergibt sich eine Flächenbelastung von 10 bis 13,5 kN/m². Bei Betrachtung eines Schwerlastwagens mit Gesamtgewicht von 60 to und einer geschätzten Breite von 2,5 m und einer geschätzten Länge von

12 m ergibt sich eine Flächenlast von 20 kN/m². Es wird vorgeschlagen, einen Lastansatz zwischen 10 kN/m² und 20 kN/m² zu wählen. An der Böschungsschulter sollte zur Berücksichtigung schwerer Verdichtungsgeräte 20 kN/m² auf einer Breite von 3 m und dahinter für allgemeinen Baustellenverkehr 10 kN/m² angesetzt werden.

9. Fazit

Bei allen betrachteten Lastmodellen wird die Fahrbahn in Fahrstreifen aufgeteilt und auf den Fahrstreifen unterschiedliche Belastungen ansetzen. Dabei sind die DIN EN 1991-2 und der DIN Fachbericht 101 ähnlich aufgebaut und unterscheiden sich im Wesentlichen nur durch unterschiedliche Anpassungsfaktoren und der fehlenden Belastung des dritten Fahrstreifens im DIN Fachbericht 101. Ein großer Unterschied besteht zur alten DIN 1072. Die Lasten der DIN 1072 sind insgesamt deutlich niedriger.

Auf der Basis aller Erkenntnisse wurde für die Berechnung von Straßendämmen ein Vorschlag erarbeitet, der insbesondere die räumliche Verteilung der Belastung aus LKW-Verkehr näherungsweise berücksichtigen soll. Insgesamt erfolgt jedoch eine Modellierung auf der Basis der DIN EN 1991-2 sowie des Nationalen Anhangs, sodass eine Genehmigungsfähigkeit durch die zuständigen Behörden gegen sein müsste.

Im Rahmen der Weiterentwicklung ist die Durchführung räumlicher Standsicherheitsuntersuchungen vorgesehen, um eine bessere Einschätzung der Übertragung des Lastansatzes nach dem EC 1 auf Dämme vornehmen zu können. Diese Berechnungen werden mit PLAXIS 3D unter Verwendung der sogenannten phi-c-Reduktion durchgeführt.

Verschiedene Vergleichsberechnungen haben gezeigt, dass Standsicherheitsberechnungen mit PLAXIS 2D und 3D sehr gut möglich sind. Für 2-dimensionale Berechnungen ergeben sich ferner sehr gute Übereinstimmungen zwischen einer Berechnung nach KREY/BISHOP und einer Berechnung mit PLAXIS 2D.

10 Literaturverzeichnis

- EAB 2012 Empfehlungen des Arbeitskreises „Baugruben“, 5. Auflage, Verlag Ernst und Sohn, Berlin
- DIN EN 1991-2 2010 Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke, Teil 2, Beuth Verlag GmbH, Berlin
- DIN EN 1991-2/NA 2012 Eurocode 1-2: Nationaler Anhang, Beuth Verlag GmbH, Berlin
- DIN Fachbericht 2009 Einwirkungen auf Brücken, Beuth Verlag GmbH, Berlin
- DIN 1072 1985 Straßen- und Wegbrücken, Beuth Verlag GmbH, Berlin

Anhang

Vergleich der unterschiedlichen Ansätze

	DIN EN 1991-2:2010-12	DIN EN 1991-2/NA:2012-08	DIN Fachbericht 101
Ermittlung der Anzahl der rechnerischen Fahrstreifen	identisch		
Grundwerte der Achslasten	$Q_{1k} = 300 \text{ kN}$ $Q_{2k} = 200 \text{ kN}$ $Q_{3k} = 100 \text{ kN}$ anderer Fahrstreifen = 0 kN verbleibende Restfläche = 0 kN	Identisch DIN EN 1991-2:2010-45	$Q_{1k} = 300 \text{ kN}$ $Q_{2k} = 200 \text{ kN}$ $Q_{3k} = 0 \text{ kN}$ anderer Fahrstreifen = 0 kN verbleibende Restfläche = 0 kN
Grundwerte der gleichmäßig verteilten Last	$q_{1k} = 9,0 \text{ kN}$ $q_{2k} = 2,5 \text{ kN}$ $q_{3k} = 2,5 \text{ kN}$ andere Fahrstreifen = 2,5 kN verbleibende Restfläche = 2,5 kN		

Auffällig ist, dass im DIN Fachbericht 101 kein dritter belasteter Fahrstreifen vorhanden ist.

Anpassungs-faktoren	Empfehlung: Reduzierung der α -Faktoren um 10-20% für die Doppelachse und die gleichmäßig verteilte Belastung des Fahrstreifens 1. $\alpha_{Q1} = 0,8$ bzw. 0,9	$\alpha_{Q1} = 1,0$ $\alpha_{Q2} = 1,0$ $\alpha_{Q3} = 1,0$ $\alpha_{q1} = 1,33$ $\alpha_{q2} = 2,4$ $\alpha_{q3} = 1,2$ $\alpha_{qgr} = 1,2$	$\alpha_{Q1} = 0,8$ $\alpha_{Q2} = 0,8$ $\alpha_{q1} = 1,0$ $\alpha_{q2} = 1,0$ $\alpha_{q3} = 1,0$ $\alpha_{qgr} = 1,0$								
angepasste Grundwerte der Achslast = $Q_{ik} \times \alpha_{qi}$	$Q_{1k} = 240 \text{ kN}$ (mit $\alpha_{Q1} = 0,8$) $Q_{2k} = 200 \text{ kN}$ $Q_{3k} = 100 \text{ kN}$	$Q_{1k} = 300 \text{ kN}$ $Q_{2k} = 200 \text{ kN}$ $Q_{3k} = 100 \text{ kN}$	$Q_{1k} = 240 \text{ kN}$ $Q_{2k} = 160 \text{ kN}$								
Anordnung der Fahrstreifen	<table border="1"> <tr><td>Fahrstreifen 1</td></tr> <tr><td>Fahrstreifen 2</td></tr> <tr><td>Fahrstreifen 3</td></tr> <tr><td>Restfläche</td></tr> </table>	Fahrstreifen 1	Fahrstreifen 2	Fahrstreifen 3	Restfläche		<table border="1"> <tr><td>Restfläche</td></tr> <tr><td>Fahrstreifen 1</td></tr> <tr><td>Fahrstreifen 2</td></tr> <tr><td>Restfläche</td></tr> </table>	Restfläche	Fahrstreifen 1	Fahrstreifen 2	Restfläche
Fahrstreifen 1											
Fahrstreifen 2											
Fahrstreifen 3											
Restfläche											
Restfläche											
Fahrstreifen 1											
Fahrstreifen 2											
Restfläche											
angenommene Aufstandsfläche	Fläche: 6,6 m ²	Fläche: 15 m ²	Fläche: 15 m ²								