



## Fundamente nach neuen Normen

### Allgemeines

An der Nahtstelle zwischen Bauwerk und Baugrund kommt zusätzlich zu DIN 1045-1 und DIN 1055-100 die DIN 1054 (1/2003) ins Spiel.

Im Beitrag wird von DIN 1054 für die Fassung 1/2003 und von DIN 1054 alt für die Fassung 1976 gesprochen.

Nachweise in der Bodenfuge werden nach DIN 1054 und die Bemessung des Gründungskörpers nach DIN 1045-1 geführt.

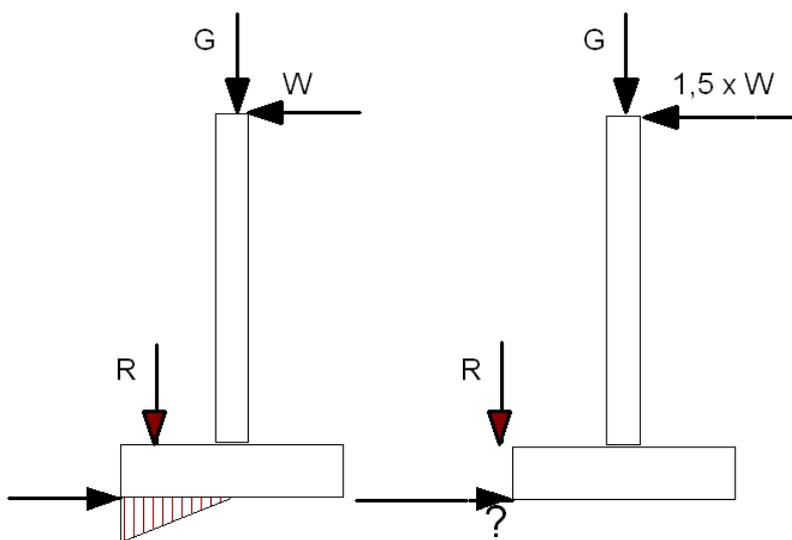
Mitte 2004 hat der Ausschuss DIN 1045-1 folgende Auslegung veröffentlicht: „Stahlbetontragwerke einschl. der Gründungskörper werden mit den Bemessungswerten nach DIN 1055-100/DIN 1045-1 berechnet. Dies gilt auch für die Bodenpressungen. Bei Tragwerksversagen sind nach DIN 1055-100, Tabelle A.3, Einwirkungskombinationen mit ungünstigen und günstigen Bemessungswerten unabhängiger ständiger Einwirkungen ( $G_{d,sup} = \gamma_{G,sup} \times G_k$ ,  $G_{d,inf} = \gamma_{G,inf} \times G_k$ ) zu berücksichtigen.

.....“

Diese Auslegung widerspricht jedem „gesunden Ingenieurverstand“ und ist im Grenzfall gar nicht durchzuhalten. Ein kleines Beispiel soll dies veranschaulichen.

Betrachtet wird ein Einzelfundament, das mit ständigen sowie mit Schnee und Wind als veränderliche Einwirkungen belastet ist.

Dieses Fundament wird in der Praxis so konstruiert, dass es unter charakteristischen Einwirkungen (ständig + Wind) höchstens bis zur Hälfte klafft.



charakteristische Einwirkungen

Kombination nach DIN 1055-100

## Notizen :



Weiterhin sei angenommen, dass die ständigen Einwirkungen konstruktiv eine geringe dem Wind entgegen wirkende Aussermitte aufweisen ( alleinige Windaussermitte  $> b/3$  ).

Die Kombination nach DIN 1055-100 mit der größten Aussermitte wäre dann  $G_k \times 1.0 + W_k \times 1.50$ . Die Resultierende steht dann neben dem Fundament und die Konstruktion wäre instabil. Eine Bodenpressung ist nicht mehr zu ermitteln. Eine Berechnung als gebettete Platte nach der FE-Methode unter iterativer Ausschaltung von Zugfedern würde sämtliche Federn eliminieren und zu einer „nicht positiv definierten“ Systemmatrix führen.

**Der in der Praxis tätige Ingenieur kann also diesen Grenzfall gar nicht rechnen, obwohl er es seit dem 1. Jan. 2005 muss.**

**Dies ist ein Beispiel dafür, dass die DIN 1045-1 in ihrer jetzigen Form und mit solchen Auslegungen keinen Anspruch erheben kann, jemals „anerkannte Regel der Technik“ zu werden.**

In Fällen geringerer Exzentrizitäten führt die Berechnung zu äußerst unwirtschaftlichen Bewehrungen, die das Sicherheitsniveau der alten Norm weit überschreiten. Da die Bodenpressung aus dem Zentrum wandert, ist beim Durchstanznachweis ( auch ein Tragfähigkeitszustand ) die in DIN 1045-1 10.5.3 (4) erwähnte günstige Wirkung der Bodenpressung gar nicht bzw. nur teilweise vorhanden und deckt nicht mehr die Fläche  $A_{crit}$  ab bzw. liegt sogar ausserhalb.

Nachdem der Verfasser schon früher ( DIB 10/2004 ) diese Überlegungen erwähnte, hat er im Oktober 2004 dem Ausschuss folgende Auslegung zu dieser Frage vorgeschlagen :

„Bei der Berechnung von Fundamenten sind die Bodenpressungen nach DIN 1054 charakteristisch zu ermitteln. Für die Ermittlung der Schnittkräfte im Zustand der Tragfähigkeit zur Bemessung des Fundamentkörpers nach DIN 1045-1 sind diese Bodenpressungen als indirekte Einwirkungen zu betrachten und mit dem resultierenden Teilsicherheitsbeiwert der direkten Einwirkungen zu multiplizieren. Diese Vorgehensweise gilt auch für die Ermittlung des entlastenden Anteils der Bodenpressung beim Durchstanznachweis.“

Diese Vorgehensweise erscheint die einzig sinnvolle zu sein und wird in diesem Beitrag bei den einzelnen Nachweisen erläutert. Einschränkend soll erwähnt werden, dass die folgenden Ausführungen in erster Linie für Einzelfundamente gelten und für andere Fälle sinngemäß übertragen werden müssen.

### **Einwirkungen und Kombinatorik**

Für die Nachweise in der Bodenfuge müssen die Einwirkungen charakteristisch ermittelt werden. Nach DIN 1054 6.1.2 bzw. 6.1.3 erfolgt diese Ermittlung aus den „kritischen Einwirkungskombinationen“ des aufstehenden Bauwerks mittels Division durch den Teilsicherheitsbeiwert. Nach Gesprächen mit Prof. Walz ( Ausschussmitglied DIN 1054 ) wurde diese Regel so formuliert, da der Ausschuss aufgrund von Hinweisen aus dem DIN 1045-1 Ausschuss davon ausging, dass



Kombinationen im Zustand der Tragfähigkeit aus dem Tragwerk in die Fundamente weitergeleitet werden.

Wie schon früher (DIB 9/2004) erwähnt, ist jedoch nur eine konsequente Ermittlung und Weiterleitung der charakteristischen Einwirkungen sinnvoll. Im anderen Falle müssten alle für ein Fundament maßgebenden Kombinationen schon im darüber stehenden Bauteil erfolgen.

Im Umkehrschluss können folglich die charakteristischen Einwirkungen mit den Beiwerten nach DIN 1055-100 Tabelle A.3 ohne Teilsicherheitsbeiwerte kombiniert werden ( seltene Kombination im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit ). Nur auf diese Weise lassen sich mit überschaubarem Aufwand ( er ist auch so noch groß genug ) die für das Fundament maßgebenden Kombinationen ermitteln. Hierbei gilt es zu bedenken, dass bei einem Fundament in der Regel für die einzelnen Nachweise jeweils eine andere Kombination greift ( z.B. Bewehrung in x- bzw. y-Richtung evtl. auch oben, Nachweis der klaffenden Fuge, Lagesicherheit, Gleitsicherheit, Kippsicherheit, aufnehmbarer Sohldruck ).

Darüber hinaus müssen zusätzlich immer verschiedene Lastsituationen betrachtet werden in denen die o.g. Kombinationen zu führen sind. Werden die seltene Kombination im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit und die Kombination im Grenzzustand der Tragfähigkeit parallel ermittelt, so ergibt sich aus dem Quotienten der Ergebnisse der resultierende Teilsicherheitsbeiwert. Da für jeden Nachweis eine andere Kombination maßgebend werden kann, muss folglich auch evtl. für jeden Nachweis ein anderer Teilsicherheitsbeiwert berechnet werden. Diese sollten für die Normalkraft- und Momentenanteile getrennt betrachtet werden, um je nach Nachweis den entsprechenden Beiwert berücksichtigen zu können ( Durchstanzen, Biegebemessung ).

### Theorie II. Ordnung

Die Einwirkungen aus nicht linearen Berechnungen ( II. Ordnung ) sind nach DIN 1054 6.1.2 (2) in charakteristische Einwirkungen umzuwandeln und dann bei allen weiteren Nachweisen zu berücksichtigen. Die Auslegung nach DIN 1045 (72), wonach die Anteile II. Ordnung nicht bei den Nachweisen in der Bodenfuge berücksichtigt werden mussten, sind damit aufgehoben. Das Sicherheitsniveau verschieblicher Bauwerke wurde also um diesen Anteil erhöht. Grundsätzlich ist diese Regel zu begrüßen, da es keine sinnvolle fachliche Erklärung für die „alte Regel“ gibt.

Wie können diese charakteristischen Anteile ermittelt werden?

An dem aufstehenden Bauteil ergibt sich für dessen Bemessung am Fußpunkt zum Fundament ( z.B. eine Kragstütze ) eine maßgebende Kombination II. Ordnung. Die Einwirkungsanteile I. Ordnung aus die-



ser Kombination und ihre Teilsicherheitsbeiwerte - evtl. mit Kombinationsbeiwerten – sind bekannt. Die Erhöhungen II. Ordnung ergeben sich überwiegend aus den Zusatzexzentrizitäten im Verhältnis der Normalkraftanteile der einzelnen Einwirkungskategorien. Auf diesem Wege lassen sich die charakteristischen Einwirkungen sinnvoll berechnen. Rein theoretisch sind diese Anteile nicht kombinierbar, da sie am von der Gesamtkombination verformten System ermittelt wurden. Eine Berechnung nach Theorie II. Ordnung für alle im Fundament zu untersuchenden Kombinationen scheidet allerdings vom Aufwand her aus.

Da die einzelnen charakteristischen Einwirkungsanteile jedoch alle über die Gesamtexzentrizität der Kombination II. Ordnung ermittelt wurden, liegen sie bei nur teilweiser Berücksichtigung in einer charakteristischen Kombination im Fundament auf der sicheren Seite.

#### **Lagesicherheit GZ 1A nach DIN 1054**

Der Nachweis der Lagesicherheit wurde in DIN 1054 weiter gefasst. Hier taucht erstmals der Begriff des Abhebens auf.

Entscheidend ist, dass für „stabilisierende“ und „destabilisierende“ ständige Einwirkungen in Tabelle 2 unterschiedliche Teilsicherheitsbeiwerte festgelegt wurden. Es müssen folglich positive und negative ständige Einwirkungen getrennt ermittelt werden, um diesen Nachweis führen zu können. Da „ungünstige“ veränderliche Einwirkungen mit dem Teilsicherheitsbeiwert 1.5 zu berücksichtigen sind, wurde für diesen Nachweis das Sicherheitsniveau gegenüber der alten Norm angehoben.

#### **Kippsicherheit**

Da bei Flachgründungen die Kippkante nicht bekannt ist, wird nach DIN 1054 der „Nachweis der klaffenden Fuge“ unter charakteristischen Einwirkungen gefordert. Dieser Nachweis entspricht DIN 1054 alt. Unter ständigen Einwirkungen muss die Fundamentfläche voll gedrückt sein, unter voller Belastung muss mindestens die Hälfte der Fundamentfläche gedrückt sein. Bei diesem Nachweis kann DIN 1054 etwas günstigere Werte ergeben, da bei den charakteristischen Kombinationen nicht alle veränderlichen Einwirkungen voll berücksichtigt werden müssen. Bei den ständigen Einwirkungen müssen jedoch im Gegensatz zur alten Norm auch die Anteile II. Ordnung berücksichtigt werden.

#### **Aufnehmbarer Sohldruck**

In einfachen Fällen, die im Normalfall vorliegen, darf als Ersatz für die Nachweise im GZ 1B bzw. GZ 2 bei Flach- und Flächengründungen der Nachweis über die Gegenüberstellung des einwirkenden charakte-



ristischen Sohldrucks mit dem aufnehmbaren Sohldruck erfolgen (Nachweis der zul. Bodenpressung).

Die Bedingungen hierfür sind in DIN 1054 7.7.1 formuliert.

Dieser Nachweis entspricht dem „Bodenspannungsnachweis“ nach DIN 1054 alt über die aus den Exzentrizitäten zu bestimmende Ersatzfläche. Im Anhang A der DIN 1054 ist der aufnehmbare Sohldruck in Abhängigkeit von der Bodenart, der Einbindetiefe und den Fundamentabmessungen definiert. Hier hat der Ausschuss offensichtlich eine wesentliche Formulierung vergessen.

In DIN 1054 alt gingen die Tabellen 1 und 2 für nicht bindigen Boden bis Fundamentbreiten von 2.00 m. In 4.2.1.1 wurde die Benutzung der Tabelle 1 bei setzungsempfindlichen Bauwerken auf eine Fundamentbreite von 5.00 m begrenzt. In 4.2.1.2 wurde zur Benutzung der Tabelle 2 für setzungsunempfindliche Fundamente bestimmt, dass die Werte für eine Fundamentbreite von 2.00 m ohne Beschränkung auch für Breiten >2.00 m benutzt werden können.

Diese Regeln fehlen in DIN 1045, so dass die Benutzung der Tabellen in DIN 1054 gemäß 7.7.2.1 (5) nur bis zu einer Breite von 3.00 m zulässig ist.

Dies verwundert umso mehr, als bei bindigen Böden die Tabellen gemäß 7.7.3.3 bis 5.00 m Fundamentbreite angewendet werden können. In der jetzigen Form bedeutet die neue Norm bei nicht bindigem Boden eine erhebliche Einschränkung gegenüber der alten Norm.

Der erste Hinweis des Verfassers bei einem Ausschussmitglied ergab die Antwort, dass die neue DIN voll der alten entspricht.

Nach weiteren Erläuterungen des Zusammenhanges wurde die Richtigkeit der o.g. Feststellung konstatiert. Eine Rückfrage bei dem „Bearbeiter des Abschnittes Flach- und Flächengründungen“ ergab dann folgende Begründung:

„DIN 1054 (1/2003) wurde auf der Grundlage der DIN 1054 V – 100 (1996) erarbeitet. Eine Extrapolation der Tabellenwerte über eine Fundamentbreite von 3,0 m hinaus wurde absichtlich nicht vorgesehen, da diese Fundamente als so groß angesehen werden, dass sie keinen "einfachen Fall" mehr darstellen.....

Da die DIN V 1054 - 100 bereits seit 1996 veröffentlicht ist und bisher in diesem Punkt kein Einspruch aus der Praxis kam, wird davon ausgegangen, dass dieses so akzeptiert wird.“

In Anbetracht der Tatsache, dass DIN 1054 bei bindigen Böden eine Extrapolation bis Fundamentbreiten von 5.00 m zulässt, ist dies eine fragwürdige Begründung.

Die Empfehlung kann nur lauten, grundsätzlich den aufnehmbaren Sohldruck von einem Bodengutachter ermitteln zu lassen, um diese Einschränkung zu umgehen.

**Gleitsicherheit**

Bei der Gleitsicherheit werden unterschiedlichen Teilsicherheitswerte definiert. Ständige Einwirkungen werden mit dem Teilsicherheitsbeiwert 1.35 und veränderliche Einwirkungen mit 1.50 behaftet. Auf der Widerstandsseite ist ein Teilsicherheitsbeiwert von 1.10 zu berücksichtigen.

Bei diesem Nachweis spielt also das Verhältnis von ständiger zu veränderlicher Einwirkung eine entscheidende Rolle.

Im Vergleich zum alten Gleitsicherheitsbeiwert von 1.5 ist DIN 1054 vorsichtiger.

Schon bei einem Anteil der veränderlichen Einwirkungen von 10% wird ein Sicherheitsbeiwert von ca. 1.50 erreicht :

$$(0.90 \times 1.35 + 0.10 \times 1.50) \times 1.10 \approx 1.50$$

Bei mehreren unabhängigen Einwirkungsgruppen wird das Verhältnis durch die Kombinationsbeiwerte etwas günstiger.

**Biegebemessung im Grenzzustand der Tragfähigkeit**

Wie oben erläutert, führt im Grenzfall die Kombinatorik der DIN1055-100 zu instabilen Systemen.

Es ist deshalb sinnvoll, die Bemessungsschnittkräfte zunächst charakteristisch zu ermitteln und dann mit resultierenden Teilsicherheitsbeiwerten zu multiplizieren ( siehe Einwirkungen und Kombinatorik ).

Diese Methode führt auch zu einem annähernd gleichen Sicherheitsniveau wie die alte Norm.

Wichtig ist hierbei auch, evtl. Kombinationen zu berücksichtigen, die die Notwendigkeit oberer Bewehrung erfordern.

An dieser Stelle muss ausdrücklich an Heft 399 DAfStB erinnert werden, das eine getrennte Betrachtung der Normalkraft und Momentenanteile vorschlägt. Hier kommt dann die oben empfohlene getrennte Ermittlung der resultierenden Teilsicherheitsbeiwerte zum Tragen.

Da Heft 399 nur von mittig platzierten aufstehenden Stützen ausgeht, wird vom Verfasser bei exzentrisch aufstehenden Stützen die Ermittlung der Normalkraftanteile über eine Ersatzfläche, die der doppelten Breite des jeweils kleineren Randabstandes entspricht, empfohlen.

Der Momentenanteil entspricht dann der Differenz aus dem Gesamtmoment und dem Normalkraftanteil.

Entscheidend für die Biegebemessung ist jedoch, dass mehrere Lastsituationen betrachtet werden, da nur sie bei z.B. zweiachsiger Exzentrizität zu den maßgebenden Kombinationen führen.



### Durchstanzen

Dieser Nachweis ist im Grenzzustand der Tragfähigkeit zu führen. Bei Anwendung von DIN 1055-100 Kombinationen wandert die Bodenpressung jedoch im Grenzfall aus dem Stanzkegel, so dass die entlastende Wirkung der Bodenpressung nach DIN 1045-1 10.5.3 (4) nicht zum Tragen kommt. Sie darf auch nur auf der halben Fläche  $A_{crit}$  angesetzt werden.

Darüber hinaus schweigt sich DIN 1045-1 über die Berücksichtigung der entlastenden Wirkung der Bodenpressung bei exzentrisch beanspruchten Fundamenten aus. Welche Entlastung darf angesetzt werden, wenn  $A_{crit}$  nur teilweise von Bodenpressungen gedrückt wird???

Heft 399 DAfStb beschreibt anschaulich, wie sich der Durchstanzwiderstand bei exzentrisch beanspruchten Fundamenten verringert.

In DIN 1045-1 ist der Durchstanznachweis für Decken und Fundamente „aus Vereinfachungsgründen“ zusammengefasst. In Heft 525 DAfStb wird jedoch ausgeführt, dass sich bei Fundamenten stets ein 45°-Fachwerk ausbildet. Erreicht der nach DIN 1045-1 10.5 ermittelte kritische Rundschnitt die Fundamentkante, so ist mit Hinweis auf das tatsächliche Tragverhalten ein engerer kritischer Rundschnitt nachzuweisen. Hierbei darf dann die entlastende Wirkung der Bodenpressung auf der Fläche  $A_{crit}$  voll angesetzt werden.

Es stellt sich die Frage, warum dann die Zusammenfassung des Nachweises von Decken und Fundamenten eine Vereinfachung darstellt. Hier sollte die Norm die Nachweise getrennt behandeln, zumal bei Fundamenten die Momentenbeiwerte für Rand- und Ecklagen nicht greifen.

Auch auf den Fall, dass der Stanzkegel in einer Richtung die Fundamentaussenkante erreicht oder überschreitet, in der anderen Richtung das Fundament jedoch weit über den Stanzkegel hinausragt, gibt die DIN keine Antwort.

Der Verfasser schlägt deshalb folgende Vorgehensweise vor:

- Auch beim Durchstanznachweis ist die Bodenpressung charakteristisch zu ermitteln und dann mit dem resultierenden Teilsicherheitsbeiwert des Normalkraftanteiles der maßgebenden Kombination zu multiplizieren.
- Der kritische Rundschnitt sollte grundsätzlich 1.0d vom Stützenrand angenommen werden.
- Übertagt dieser kritische Rundschnitt die Fundamentabmessungen, so ist der Umfang und die Fläche entsprechend zu reduzieren.
- Die entlastende Wirkung der Bodenpressung ist mit der mittleren Bodenpressung im Zentrum der aufstehenden Stütze unter Ansatz von  $A_{crit}$  zu berechnen. Diese Festlegung würde z.B. bei zentrischer Stützenstellung die volle Entlastung aus der



Bodenpressung bedeuten, solange die Fundamentfläche voll gedrückt ist ( keine klaffende Fuge ). Bei voll klaffender Fuge bliebe eine Entlastung unberücksichtigt. Damit wäre bei vollem Ansatz des kritischen Rundschnitts ein Ausgleich für die Verringerung des Durchstanzwiderstandes bei exzentrisch beanspruchten Fundamenten berücksichtigt.

**Fazit**

DIN 1054 bringt inhaltlich nicht wesentlich Neues. Es drängt sich der Eindruck auf, dass lediglich krampfhaft versucht wurde, möglichst unter Einhaltung des bisherigen Sicherheitsniveaus die Methode der Teilsicherheitsbeiwerte aufzupropfen.

Dies ist nur teilweise gelungen ( einige Nachweise weisen ein höheres Sicherheitsniveau auf ).

Ergebnis ist, dass der Ingenieur in der Praxis, wollte er ein Fundament „von Hand“ nachweisen, eine „Doktorarbeit“ schreiben müsste.

- [ 4 ] DAFStb Heft 525 (2003) Erläuterungen zu DIN 1045-1
- [ 6 ] DIN 1045 : Beton und Stahlbeton, Bemessung und Ausführung ( Juli 1988 )
- [ 7 ] DIN 1054 : Baugrund und Gründungen ( November 1976 )
- [ 8 ] DIN 1054 : Baugrund ( Januar 2003 )

Neureichenau, im Januar 2005

Dipl.-Ing. Dieter Vogelsang

V O G E L S A N G  
S Y S T E M H A U S