

DIN 4085

ICS 93.020

Ersatz für
DIN 4085:2007-10 und
DIN 4085
Berichtigung 1:2008-11

**Baugrund –
Berechnung des Erddrucks**

Subsoil –
Calculation of earth-pressure

Sol –
Calcul des poussées et butées des sols

Gesamtumfang 59 Seiten

Normenausschuss Bauwesen (NABau) im DIN

Inhalt

Seite

Vorwort	5
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen	6
3 Begriffe	6
4 Formelzeichen und Indizes	8
5 Unterlagen	9
6 Ermittlung des Erddrucks	9
6.1 Allgemeines	9
6.2 Neigungswinkel des Erddrucks	11
6.3 Aktiver Erddruck	12
6.3.1 Aktiver Erddruck — ebener Fall	12
6.3.2 Aktiver Erddruck — räumlicher Fall	28
6.4 Erdruhedruck	31
6.4.1 Erdruhedruck infolge der Eigenlast des Bodens	31
6.4.2 Anteil des Erdruhedrucks infolge einer gleichmäßig verteilten vertikalen Auflast	32
6.4.3  Erdruhedruck infolge von Punkt-, Linien- und Streifenlasten an der Geländeoberfläche 	32
6.5 Passiver Erddruck (Erdwiderstand)	33
6.5.1 Passiver Erddruck — ebener Fall	33
6.5.2 Passiver Erddruck — räumlicher Fall für begrenzte Wandabschnitte	34
6.6 Sonderfälle	36
6.6.1 Verdichtungserddruck	36
6.6.2 Silodruck	37
6.6.3 Erddruck bei dynamischen Anregungen des Bodens	37
6.6.4 Erddruck bei vertikaler Durchströmung des Bodens	38
7 Zwischenwerte des Erddrucks	39
7.1 Allgemeines	39
7.2 Erddruck zwischen aktivem Erddruck und Erdruhedruck	39
7.3 Erddruck zwischen Erdruhedruck und passivem Erddruck (Erdwiderstand)	39
8 Ansatz des Erddrucks in bautechnischen Berechnungen	39
8.1 Allgemeines	39
8.2 Belastender Erddruck	39
8.2.1 Allgemeines	39
8.2.2 Aktiver Erddruck	40
8.2.3 Erhöhter aktiver Erddruck	40
8.2.4 Erdruhedruck	40
8.2.5 Erddruck größer als der Erdruhedruck	40
8.3 Stützender Erddruck	40
Anhang A (informativ) Wandreibungswinkel und Erddruckansätze	41
Anhang B (informativ) Erläuterungen zum Erddruck	44
Anhang C (normativ) Gleitflächenausbildung im passiven Zustand	55
Literaturhinweise	57

Bilder

Bild 1 — Größe der Erddruckkraft in Abhängigkeit von der Wandverschiebung (gilt etwa für parallele Wandbewegung).....	10
Bild 2 — Vorzeichenregel für die bei der Ermittlung des Erddrucks benutzten Winkel	12
Bild 3 — Ansatz der Erddruckkraft im Fall $\alpha > \alpha_{\max}$	14
Bild 4 — Bezeichnungen bei der Berechnung des aktiven Erddrucks	15
Bild 5 — Näherung bei nicht ebener Wand.....	16
Bild 6 — Näherung bei nicht ebener Geländeoberfläche	17
Bild 7 — Erddruckansatz bei oberflächenparallel geschichtetem Boden	17
Bild 8 — Maßgebender Erddruck bei Drehung der Wand um ihren Fuß, aktiver Erddruck aus Eigenlast des Bodens und Mindesterddruck	19
Bild 9 — Horizontale Verteilung des Erddrucks infolge einer kurzen Streifenlast, die wie eine Punktlast behandelt werden kann	20
Bild 10 — Erddruck infolge einer horizontalen Oberflächenlast, wenn sich die Wand in ihrem Kopf nicht verschieben kann	21
Bild 11 — Grafisches Verfahren von Culmann zur Ermittlung der Erddruckkraft aus Eigenlast des Bodens und infolge einer Linienlast	23
Bild 12 — Erweiterung des Verfahrens von Culmann zur Berücksichtigung von Kohäsion [39]	24
Bild 13 — Erweiterung des Verfahrens von Culmann zur Berücksichtigung einer Sickerströmung	25
Bild 14 — Verfahren zu Ermittlung von Größe und Neigung der aktiven Erddruckkraft in einem Erdkörper [36]	26
Bild 15 — Auslenkung der Massenkraft des Coulombschen Erdkeils infolge einer Strömungskraft bzw. einer horizontalen Erdbebenkraft	27
Bild 16 — Wand in der Falllinie einer Böschung (Querflügelwand)	30
Bild 17 — Stützwände in geböschten Erdkörpern, Draufsicht	30
Bild 18 — Wand in einer Böschung (Schrägflügelwand), Draufsicht und Schnitte	31
Bild 19 — Ansatz des Verdichtungserddrucks.....	36
Bild 20 — Bezeichnungen bei der Berechnung des Silodrucks.....	37
Bild 21 — Beispiel für eine überwiegend vertikale Durchströmung des Bodens in der Umgebung einer Stützkonstruktion	38
Bild B.1 — Erddruckbeiwerte K_{agh} nach Gleichung (7) für ebene Gleitfläche bei $\alpha = \beta = 0$	49
Bild B.2 — Erddruckbeiwerte K_{ach} nach Gleichung (19) für ebene Gleitfläche bei $\alpha = \beta = 0$	49
Bild B.3 — Neigungswinkel ϑ_{ag} der Gleitfläche infolge Eigengewicht des Bodens nach Gleichung (8) bei $\alpha = \beta = 0$	50
Bild B.4 — Vergrößerungsfaktor ξ nach Gleichung (43) und Gleichung (44) für den aktiven Erddruck bei in Wandebene geneigtem Gelände für $\alpha = \delta_a = 0$	50
Bild B.5 — Verhältnis der rechnerischen Länge zur wirklichen Länge der Wand l_{ag}^{er}/l bzw. l_{ag}^{Er}/l nach Gleichung (39) bzw. Gleichung (40).....	51
Bild B.6 — Verhältnis der rechnerischen Länge zur wirklichen Länge der Wand l_{ap}^{er}/l bzw. l_{ap}^{Er}/l nach Gleichung (39) und Gleichung (41)	51

Bild B.7 — Erddruckbeiwert K_{pgh} für gekrümmte Gleitflächen nach Anhang C für $\alpha = \beta = 0$ nach [35]	52
Bild B.8 — Erddruckbeiwert K_{pph} für gekrümmte Gleitflächen nach Anhang C für $\alpha = \beta = 0$ nach [35]	52
Bild B.9 — Erddruckbeiwerte K_{pch} für gekrümmte Gleitflächen nach Anhang A für $\alpha = \beta = 0$ nach [35]	53
Bild B.10 — Gleitflächenneigungswinkel ϑ_p am Fuß der Wand nach Anhang C für $\alpha = \beta = 0$ nach [35]	53
Bild B.11 — Verhältnis Bruchkörperlänge l zur Wandhöhe h im passiven Bruchzustand nach Anhang A für $\alpha = \beta = 0$ nach [35]	54
Bild B.12 — Verhältnis der rechnerischen Länge zur wirklichen Länge der Wand nach Gleichung (74) und Gleichung (76) bzw. Gleichung (75) und Gleichung (77) bei der Berechnung des räumlichen passiven Erddrucks	54
Bild C.1 — Gleitflächenausbildung	55

Tabellen

Tabelle 1 — Formelzeichen	8
Tabelle 2 — Indizes	9
Tabelle 3 — Angaben zum Ansatz des Verdichtungserddrucks nach Bild 19	36
 Tabelle A.1  — Wandreibungswinkel	41
 Tabelle A.2  — Erddruckansatz in Abhängigkeit von der Nachgiebigkeit der Stützkonstruktion bei Dauerbauwerken	42
 Tabelle A.3  — Erddruckansatz in Abhängigkeit von der Nachgiebigkeit der Stützung bei Baugrubenwänden oder anderen kurzzeitig bestehenden Stützkonstruktionen [53]	43
 Tabelle B.1  — Anhaltswerte für die zur Erzeugung der aktiven Erddruckkraft erforderlichen Wandbewegungen (s_a) und einfache Lastfiguren für die Verteilung des Erddrucks aus Bodeneigenlast (e_{agh}) für verschiedene Arten der Wandbewegung für einen nichtbindigen Boden, senkrechte Wand und horizontale Geländeoberfläche	44
 Tabelle B.2  — Größe der Erddruckkraft aus Streifen- oder Linienlasten E_{avh} bzw. E_{aph} und einfache Lastfiguren für die Verteilung des Erddrucks	45
 Tabelle B.3  — Anhaltswerte für die zur Erzeugung der passiven Erddruckkraft (Erdwiderstand), erforderlichen Wandbewegungen (s_p) und einfache Lastfiguren für die Verteilung des Erddrucks aus Bodeneigenlast (e_{pgh}) für verschiedene Arten der Wandbewegung für einen nichtbindigen Boden, senkrechte Wand ($\alpha = 0$) und horizontale Geländeoberfläche ($\beta = 0$)	46
 Tabelle B.4  — Neigungswinkel des Erddrucks δ	47
 Tabelle B.5  — Exponenten für die angegebene Gleichung (88), [3]	48

Vorwort

Diese Norm wurde vom Arbeitsausschuss NA 005-05-04 AA „Baugrund, Berechnungsverfahren“ im Normenausschuss Bauwesen (NABau) des DIN Deutsches Institut für Normung e. V. erarbeitet.

Die in dieser Norm enthaltenen Berechnungsverfahren sind unabhängig vom Sicherheitskonzept. Sie können daher sinngemäß sowohl im Zusammenhang mit dem globalen Sicherheitskonzept, als auch mit dem Sicherheitskonzept nach DIN 1054 unter Zugrundelegung von Teilsicherheitsbeiwerten angewendet werden.

Dieses Dokument beinhaltet DIN 4085:2007-10, die durch DIN 4085 Berichtigung 1:2008-11 und die Änderung A1 modifiziert wurde.

Anfang und Ende der durch die Änderung eingefügten oder geänderten Texte sind jeweils durch die Textmarkierungen **A1** **A1**, der durch die Berichtigung eingefügten oder geänderten Texte sind jeweils durch die Textmarkierungen **AC** **AC**.

Neben den in der Norm angegebenen Berechnungsverfahren sind auch andere zulässig, wenn sichergestellt ist, dass sie den in der Norm angegebenen gleichwertig sind.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Texte dieses Dokuments Patentrechte berühren können. Das DIN [und/oder die DKE] sind nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Änderungen

Gegenüber DIN 4085:2007-10 und DIN 4085 Berichtigung 1:2008-11 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Vorgänger-Norm wurde mit der Änderung 1 und der Berichtigung 1 konsolidiert;
- b) Gleichung (35) wurde korrigiert;
- c) die Überschrift 6.4.3 wurde geändert;
- d) die Anwendung von Gleichung (88) wurde geändert;
- e) Änderungen in Anhang B, Tabelle B.5 und in Anhang C wurden vorgenommen;
- f) die Norm wurde redaktionell überarbeitet.

Frühere Ausgaben

DIN 4085: 1982-08, 1987-02, 2007-10
 DIN 4085 Berichtigung 1: 2008-11
 DIN V 4085-100: 1996-04

1 Anwendungsbereich

Diese Norm gilt für die Berechnung des Erddrucks auf Bauwerke.

Die enthaltenen Erddruckansätze beziehen sich auf den ebenen und räumlichen Fall für den aktiven und den passiven Grenzzustand und für dazwischen liegende Spannungszustände.

Die in die Norm aufgenommenen Regeln ermöglichen ein einheitliches Vorgehen beim Ansatz des Erddrucks in bautechnischen Berechnungen. Sie enthalten notwendigerweise dem Kenntnisstand angemessene Vereinfachungen.

Die Norm gilt nicht für bergmännisch hergestellte Bauwerke.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

DIN 1054, *Baugrund — Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau*

DIN 4149, *Bauten in deutschen Erdbebengebieten — Lastannahmen, Bemessung und Ausführung üblicher Hochbauten*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

3.1

Erddruck

e

Druck des angrenzenden Bodens auf eine Bauwerkswand

3.2

Erddruckkraft

E

Resultierende des Erddrucks

3.3

aktiver Erddruck

e_a

kleinstmöglicher Erddruck, der sich infolge von Bodeneigenlast, Auflasten und sonstigen Einwirkungen auf eine Wand einstellt, wenn durch Bewegungen von Wand und Boden Entspannungen im Boden bis zur vollständigen Mobilisierung der Scherfestigkeit auftreten

ANMERKUNG Diese können durch Wandbewegungen oder auch durch anderweitig verursachte Bewegungen im Boden entstehen.

3.4

passiver Erddruck

Erdwiderstand

e_p

größtmöglicher Erddruck, der sich infolge von Bodeneigenlast, Auflasten und sonstigen Einwirkungen auf eine Wand einstellt, wenn im Boden Pressungen bis zur vollständigen Mobilisierung der Scherfestigkeit auftreten

ANMERKUNG Diese können durch Wandbewegungen oder auch durch anderweitig verursachte Bewegungen im Boden entstehen.

3.5**Erdruhedruck** e_0

Erddruck im gewachsenen, ungestörten Boden

3.6**Verdichtungserddruck** e_v

Erddruck, der sich zusätzlich zum aktiven Erddruck bzw. zum Erdruhedruck aus Bodeneigenlast einstellt, wenn der Hinterfüllungsboden lagenweise eingebracht und verdichtet wird

ANMERKUNG Siehe 6.6.1.

3.7**Wandreibungswinkel**

Reibungswinkel zwischen Wand und Boden

ANMERKUNG Der Wandreibungswinkel kann nur unter bestimmten Bedingungen voll mobilisiert werden, siehe 6.2.

3.8**Neigungswinkel des Erddrucks** δ

Winkel zwischen der Erddruckrichtung und der Wandnormalen

3.9**Mindesterdrruck**Erddruck, der sich bei Ansatz von $\varphi = 40^\circ$ und $c = 0$ ergibt und der bei der Bemessung eines Stützbauwerks mindestens anzusetzen ist**3.10****erhöhter aktiver Erddruck** e'_a

Erddruck, der sich infolge von Bodeneigenlast, Auflasten und sonstigen Einwirkungen auf eine Wand einstellt, wenn die Entspannung im Boden nicht ausreicht, um das Eintreten des aktiven Erddrucks zu erzeugen

3.11**verminderter passiver Erddruck** e'_p

Erddruck, der sich infolge von Bodeneigenlast, Auflasten und sonstigen Einwirkungen auf eine Wand einstellt, wenn die Bewegungen zwischen Boden und Wand nicht ausreichen um den passiven Erddruck zu erzeugen

3.12**Silodruck** e_s

Erddruck, der sich einstellt, wenn der Bodenkörper hinter einer Wand geometrisch so begrenzt ist, dass der Erddruck auf die Wand kleiner ist als wenn der Erdkörper nicht begrenzt wäre

ANMERKUNG Das trifft im aktiven Fall zu, wenn sich die unter dem Winkel ϑ_{ag} auftretende ebene Gleitfläche nicht vollständig ausbilden kann.

4 Formelzeichen und Indizes

Die in dieser Norm häufig verwendeten Formelzeichen sind in Tabelle 1 angegeben.

Tabelle 1 — Formelzeichen

Nr.	Formelzeichen	Benennung	Einheit
1	b	Breite	m
2	b_p	Breite der Vibrationsplatte	m
3	c	Kohäsion	kN/m ²
4	d	Einbindetiefe einer Wand	m
5	D	Lagerungsdichte	—
6	e	Erddruck	kN/m ²
7	E	Erddruckkraft	kN oder kN/m
8	f	Hilfsbeiwert	—
9	g	Hilfsbeiwert	—
10	G	Eigenlast eines Erdkörpers	kN oder kN/m
11	h	Höhe	m
12	i	hydraulischer Gradient	—
13	I_C	Konsistenzzahl	—
14	l	Länge, Länge der Wand in der Draufsicht	m
15	K	Erddruckbeiwert	—
16	p_v	gleichmäßig verteilte vertikale Flächenlast	kN/m ²
17	p_h	gleichmäßig verteilte horizontale Flächenlast	kN/m ²
18	p_v'	vertikale Streifenlast	kN/m ²
19	p_h'	horizontale Streifenlast	kN/m ²
20	V	vertikale Linienlast	kN/m
21	V^*	vertikale Punktlast	kN
22	H	horizontale Linienlast	kN/m
23	H^*	horizontale Punktlast	kN
24	Q	Resultierende aus Normal- und Reibungskraft in einer Gleitfläche	kN oder kN/m
25	s	Wandverschiebung	m
26	z	Tiefe unter der Schnittlinie der Geländeoberfläche mit der Wand	m
27	α	Wandneigungswinkel	°
28	β	Geländeneigungswinkel	°
29	γ	Wichte des Bodens	kN/m ³
30	δ	Neigungswinkel des Erddrucks	°
31	φ	Reibungswinkel des Bodens	°
32	ϑ	Neigungswinkel der Gleitfläche	°

Die in dieser Norm häufig verwendeten Indizes sind in Tabelle 2 angegeben.

Tabelle 2 — Indizes

Nr.	Index	Benennung für
1	a	aktiver Zustand
2	B	infolge einer Böschung
3	c	infolge von Kohäsion
4	dyn	infolge dynamischer Einwirkung
5	g	infolge von Bodeneigenlast
6	h H	Horizontalkomponente, infolge einer horizontalen Flächenlast
7	0	Ruhezustand
8	p	passiver Zustand, oder infolge vertikaler Oberflächenlast
9	u	undränkter Zustand
10	v V	Vertikalkomponente, infolge einer vertikalen Flächenlast

5 Unterlagen

Für die Erddruckberechnung sind Kenntnisse über folgende Sachverhalte erforderlich:

- Geländeverlauf;
- Art, Abmessungen und Herstellung des Bauwerks;
- Art, Größe und Lage von Oberflächenlasten, Fundamentlasten benachbarter Bauwerke und nutzungsbedingte Lasten (z. B. Kranlasten, Pollerzug, Eisdruck), die auf das Bauwerk einwirken;
- Wasserstände und Strömungsverhältnisse in der Umgebung des Bauwerks;
- Baugrundverhältnisse;
- Kenngößen des anstehenden Bodens und/oder des Hinterfüllungsmaterials, Art des Einbaus;
- Art und Beschaffenheit der an den Boden angrenzenden Bauwerkswand;
- Dynamische Einflüsse aus Maschinen o. Ä. und Angaben über den Rechenwert der Horizontalbeschleunigung nach DIN 4149, sofern ein Erdbebeneinfluss zu berücksichtigen ist.

6 Ermittlung des Erddrucks

6.1 Allgemeines

Bei der Ermittlung des Erddrucks ist die Scherfestigkeit entsprechend dem Zustand des Bodens anzusetzen, im dränierten Zustand ϕ' , c' . Der undränierter Zustand mit ϕ_u , c_u hat praktisch wenig Bedeutung, dagegen ist eine teilweise Konsolidation gegebenenfalls in Betracht zu ziehen. Die während der Nutzungszeit des untersuchten Bauwerks zu erwartende Veränderungen sind zu berücksichtigen. Wenn in weichen bindigen Böden bei der Erddruckberechnung vom undränierten Zustand ausgegangen wird, darf an der Wand an Stelle

der Wandreibung eine Adhäsion $a \leq c_u/2$ angesetzt werden, sofern ihre Wirksamkeit nachgewiesen werden kann.

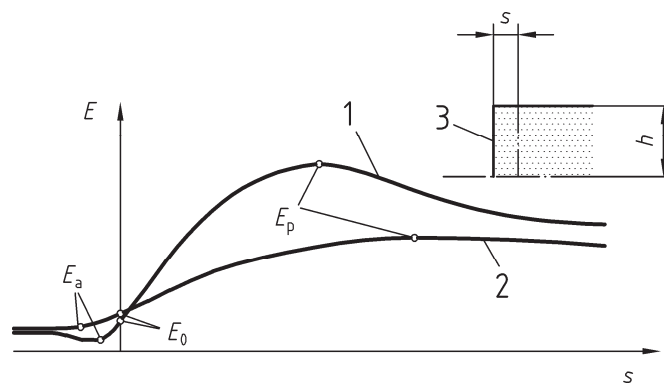
Bei der Berechnung des aktiven Erddrucks darf innerhalb der Anwendungsgrenzen nach 6.3.1.2 von ebenen Gleitflächen ausgegangen werden.

Bei der Berechnung des passiven Erddrucks ist im Allgemeinen von gekrümmten oder entsprechend aus ebenen Gleitflächenabschnitten zusammengesetzten Gleitflächen auszugehen. Dabei dürfen auch andere Verfahren, als das in der Norm angegebene, angewendet werden, wenn sichergestellt ist, dass sie ähnlich zuverlässige Ergebnisse liefern, wie z. B. das Verfahren von Caquot/Kérisel [9].

Die Berechnung des passiven Erddrucks mit ebenen Gleitflächen ist nur zulässig, wenn die bei $\alpha \neq 0$, $\beta \neq 0$ und $\delta \neq 0$ entstehenden Fehler durch geeignete, durch Erfahrung gestützte Maßnahmen ausgeglichen werden.

ANMERKUNG Siehe hierzu [9], [21], [22], [30], [31], [42], [53].

Bei Annahme eines Linienbruchs ist unter Beachtung der Art der Wandbewegung jeweils die Gleitfläche maßgebend, für die die aktive Erddruckkraft am größten und die passive Erddruckkraft am kleinsten wird.



Legende

- 1 dichte Lagerung
- 2 lockere Lagerung
- 3 Wand

ANMERKUNG Anhaltswerte für die zur Erzeugung des aktiven bzw. passiven Grenzzustands erforderlichen Verschiebungen können dem Anhang B entnommen werden.

**Bild 1 — Größe der Erddruckkraft in Abhängigkeit von der Wandverschiebung
(gilt etwa für parallele Wandbewegung)**

Bei der Berechnung der Erddruckkraft aus Eigenlast des Bodens ist zunächst von einer geradlinigen Zunahme des Erddrucks mit der Tiefe auszugehen. Gegebenenfalls ist anschließend der Erddruck entsprechend der Art der Wandbewegung umzuverteilen, siehe Tabellen B.1 und B.3.

Bei biegsamen Wänden sind in bestimmtem Umfang Umlagerungen des Erddrucks aus den nachgiebigeren Wandbereichen in weniger nachgiebige zu erwarten. Durch die Vorspannung von Ankern oder Steifen können ebenfalls Erddruckumlagerungen hervorgerufen werden.

Die Horizontalkomponente des Erddrucks aus Eigenlast des Bodens erhält man allgemein aus:

$$e_{xgh}(z) = \gamma \cdot z \cdot K_{xgh} \quad (1)$$

Dabei ist

- γ die Wichte des Bodens;
- z die Tiefe unter der Schnittlinie der Geländeoberfläche mit der Wand, siehe Bild 2;
- K_{xgh} der Erddruckbeiwert.

Indizes:

- x Spannungszustand des Bodens (a aktiver Bruchzustand, 0 Ruhezustand, p passiver Bruchzustand);
- g Einfluss aus Eigenlast des Bodens;
- h Horizontalkomponente.

Bei homogenem Boden, dreieckförmiger Erddruckverteilung und einer Wandhöhe h ist damit die Horizontalkomponente der Erddruckkraft aus Eigenlast des Bodens

$$E_{xgh} = \frac{e_{xgh}(z=h) \cdot h}{2} = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot h^2 \cdot K_{xgh} \quad (2)$$

Die Vertikalkomponente ergibt sich aus

$$E_{xgv} = E_{xgh} \cdot \tan(\alpha + \delta), \quad E_{xg} = \frac{E_{xgh}}{\cos(\alpha + \delta)} \quad (3)$$

Die Vorzeichen der bei der Ermittlung des Erddrucks benutzten Winkel und Bezeichnungen sind in Bild 2 und Bild 4 definiert.

Werden zur Berechnung des Erddrucks andere Berechnungsverfahren als die in dieser Norm angegebenen verwendet, wie zum Beispiel das Bettungsmodulverfahren oder die Finite-Element-Methode, muss sichergestellt werden, dass Verträglichkeit mit den Erkenntnissen der Erddrucktheorie besteht [17].

Es muss ebenso beachtet werden, dass die Erddruckansätze auch die während der Nutzungszeit des jeweiligen Bauwerks zu erwartenden ungünstigen Veränderungen berücksichtigen müssen. Das ist besonders bei Dauerbauwerken wichtig [40].

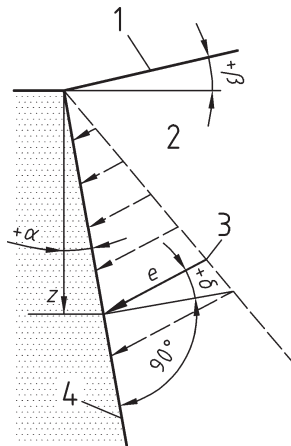
6.2 Neigungswinkel des Erddrucks

Der Neigungswinkel δ des Erddrucks bezüglich der Wandnormalen ergibt sich aus den Wechselwirkungen zwischen Boden und Bauwerk. Er hängt von folgenden Einflüssen ab:

- a) vom Spannungszustand im Boden;
- b) von den Relativbewegungen zwischen Boden und Bauwerk;
- c) von der Scherfestigkeit in der Kontaktfläche;
- d) von der Fähigkeit der Wand, tangential Kräfte abzutragen.

Für die Einflüsse a) und b) müssen durch Erfahrung gestützte plausible Annahmen getroffen werden, siehe Tabelle B.4.

Die Einflüsse c) und d) liefern obere Begrenzungen, wobei der kleinere Wert maßgebend ist.



Legende

- 1 Geländeoberfläche
- 2 Boden
- 3 Erddruck
- 4 Wand

ANMERKUNG Auf das Vorzeichen des Wandneigungswinkels sei besonders hingewiesen, da in der Literatur auch andere Definitionen verwendet werden.

Bild 2 — Vorzeichenregel für die bei der Ermittlung des Erddrucks benutzten Winkel

Ist eine Bauwerkswand durch ihre konstruktiven Eigenschaften in der Lage, tangentielle Kräfte abzutragen, so sind zur Sicherstellung dieser Wirksamkeit entsprechende Nachweise (z. B. $\Sigma V = 0$) zu führen.

Hinweise für sinnvolle Annahmen enthält Tabelle B.4.

Bei Ankern oder Steifen ist deren Einfluss auf die Neigung des Erddrucks zu berücksichtigen.

In der Regel ist $\delta_a \geq 0$ und $\delta_p \leq 0$.

In die Formeln der folgenden Abschnitte ist für δ der sich jeweils einstellende Neigungswinkel des Erddrucks einzusetzen.

6.3 Aktiver Erddruck

6.3.1 Aktiver Erddruck — ebener Fall

6.3.1.1 Allgemeines

Der Erddruckanteil aus Eigenlast des Bodens, der Erddruckanteil aus Kohäsion und der Erddruckanteil aus an der Geländeoberfläche gleichmäßig verteilten Lasten darf in der Regel mit Hilfe von Erddruckbeiwerten berechnet werden.

Der Erddruckanteil aus Linienlasten oder Streifenlasten darf auch mit Hilfe von Erddruckbeiwerten ermittelt werden, wenn durch diese Lasten der Gleitflächenwinkel aus Eigenlast des Bodens ϑ_{ag} nicht wesentlich verändert wird, siehe auch 6.3.1.6.

Bei Wänden, die sich um den Fußpunkt oder einen tiefer gelegenen Punkt drehen, müssen die rechnerischen Zugspannungen in der Berührungsfläche von Boden und Wand vernachlässigt werden.

6.3.1.2 Erddruckanteil aus Eigenlast des Bodens

Das nachstehende Berechnungsverfahren gilt in der Regel mit ausreichender Genauigkeit, sofern folgende Bedingungen erfüllt sind [11]:

- $\delta_a \geq 0$: $-20^\circ \leq \alpha < -10^\circ$ bei $0 \leq \beta \leq \varphi$
 $-10^\circ \leq \alpha \leq \alpha_{\max}$ bei $-\varphi \leq \beta \leq \varphi$
- $\delta_a < 0$: $-20^\circ \leq \alpha \leq \alpha_{\max}$ bei $-\varphi \leq \beta \leq \frac{2 \cdot \varphi}{3}$

Der Winkel $\alpha_{\max}$ ist der Winkel zwischen der Gegengleitfläche und der Vertikalen, siehe Bild 3.

$$\alpha_{\max} = \vartheta_{\text{ag}} - \varphi$$

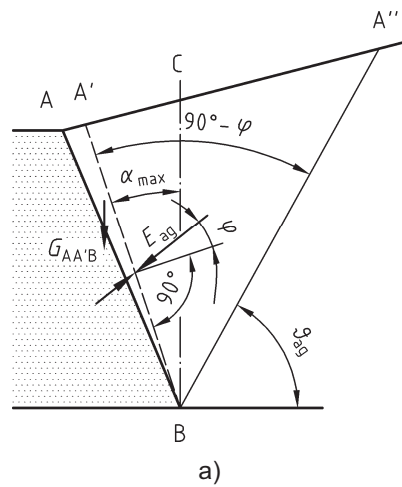
mit ϑ_{ag} für $\alpha = 0$ und $\delta_a = \beta$

Bei $\alpha > \alpha_{\max}$ ist der Erddruck nicht an der Wand AB, sondern entweder:

- a) im Schnitt A'B anzusetzen. Dabei ist $\delta_a = \varphi$ zu setzen. Die Eigenlast $G_{AA'B}$ des Bodenkeils AA'B ist mit zu berücksichtigen, siehe Bild 3a)

oder

- b) im Schnitt BC anzusetzen. Dabei ist der Neigungswinkel des Erddrucks gleich dem Neigungswinkel der Geländeoberfläche zu wählen $\delta = \beta$ (Rankinescher Zustand). Die Eigenlast G_{ABC} des Bodenkeils ABC ist mit zu berücksichtigen, siehe Bild 3b).



Legende

A''B Gleitflächen

A'B	Elektronen
A'B	Gegengleitflächen

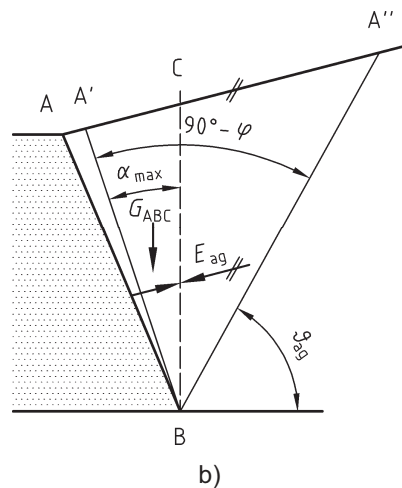


Bild 3 — Ansatz der Erddruckkraft im Fall $\alpha > \alpha_{\max}$

Der Erddruck bei ebener Wand und ebener Geländeoberfläche ist nach Gleichung (1)

$$e_{\text{agh}}(z) = \gamma \cdot z \cdot K_{\text{agh}} \quad (4)$$

und die Komponenten der Erddruckkraft

$$E_{\text{agh}} = \frac{e_{\text{agh}}(z=h) \cdot h}{2} = \frac{\gamma \cdot h^2 \cdot K_{\text{agh}}}{2} \text{ und} \quad (5)$$

$$E_{agv} = E_{agh} \cdot \tan(\alpha + \delta) \quad (6)$$

Der Erddruckbeiwert für die Horizontalkomponente des Erddrucks [49] berechnet sich aus

$$K_{agh} = \left[\frac{\cos(\varphi - \alpha)}{\cos \alpha \cdot \left(1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta_a) \cdot \sin(\varphi - \beta)}{\cos(\alpha - \beta) \cdot \cos(\alpha + \delta_a)}} \right)} \right]^2 \quad (7)$$

Der Gleitflächenwinkel für den aktiven Erddruck aus Eigenlast des Bodens ist

$$\vartheta_{ag} = \varphi + \arctan \left(\frac{\cos(\varphi - \alpha)}{\sin(\varphi - \alpha) + \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta_a) \cdot \cos(\alpha - \beta)}{\sin(\varphi - \beta) \cdot \cos(\alpha + \delta_a)}}} \right) \quad (8)$$

$$\text{Im Sonderfall } \alpha = \beta = \delta_a = 0 \text{ ist } K_{agh} = \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \quad (9)$$

$$\text{und } \vartheta_{ag} = 45^\circ + \frac{\varphi}{2}$$

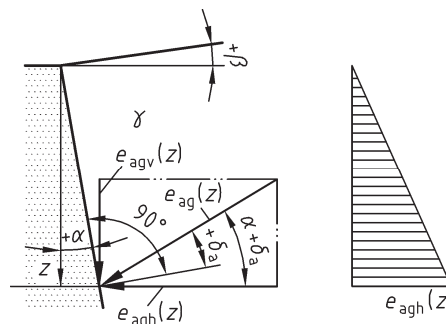
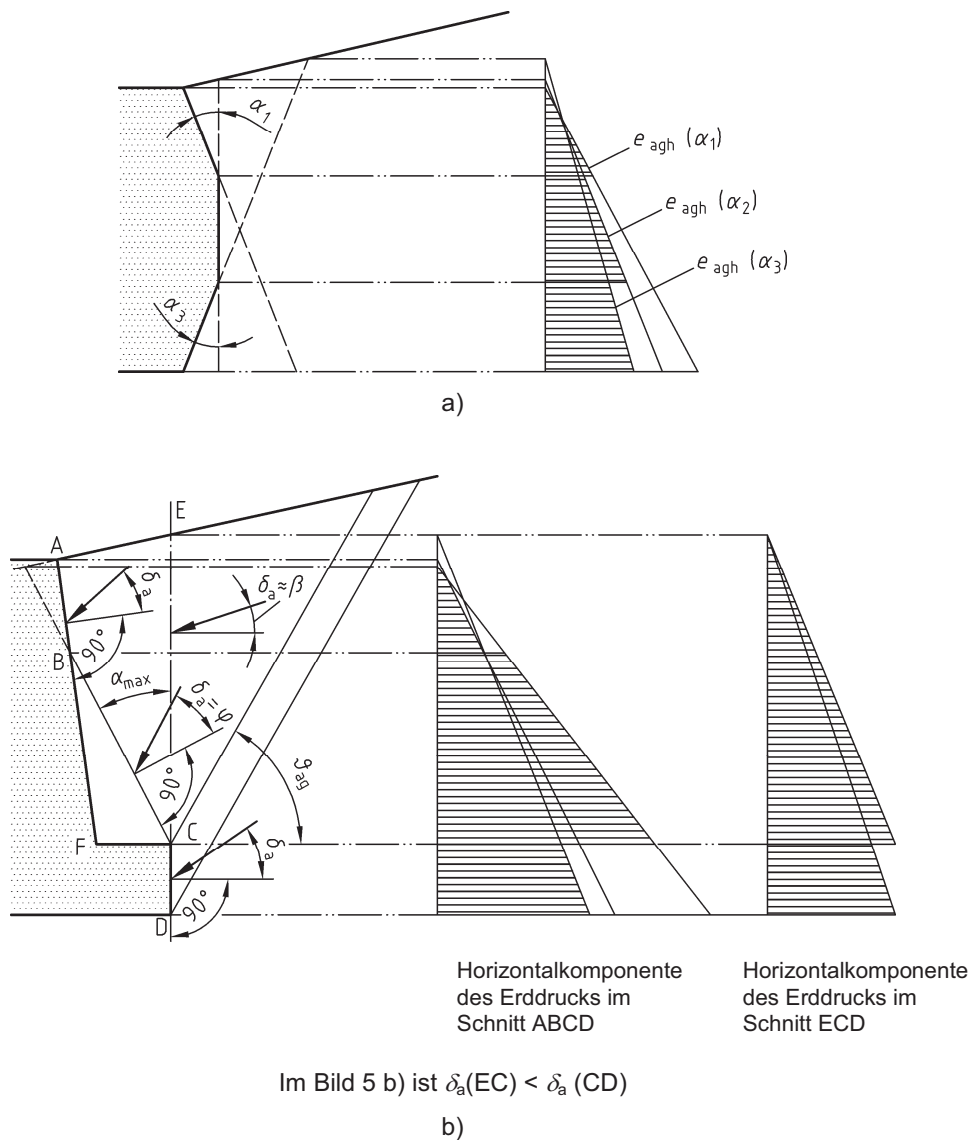


Bild 4 — Bezeichnungen bei der Berechnung des aktiven Erddrucks

Bei nicht ebener Wand dürfen die Näherungen nach Bild 5 angewendet werden.

**Bild 5 — Näherung bei nicht ebener Wand**

Bei mehrfach gebrochener Wandrückseite wie in Bild 5a) darf für die unterschiedlich geneigten Wandabschnitte der Erddruckbeiwert entsprechend der jeweiligen Wandneigung angesetzt werden.

Bei einer zurückspringenden Wand wie in Bild 5b) darf der Erddruck entweder an der Fläche ABCD oder näherungsweise im Schnitt ECD angesetzt werden, siehe auch Bild 3. Im ersten Fall ist die Eigenlast des Erdkörpers BCF, im zweiten Fall die Eigenlast des Erdkörpers AECF als der Eigenlast der Wand zugehörig zu berücksichtigen.

Beim Erddruckansatz für die Bemessung einer Winkelstützwand ist der Erddruck aus Eigenlast des Bodens direkt an der Wand AF, bei homogenem Boden dreieckig verteilt, anzusetzen. Dabei sind die Angaben der Tabelle A.2 zu beachten.

Bei nicht ebener Geländeoberfläche und Böschungsneigungen $\beta \leq 0,9\varphi$ liefert die in Bild 6 dargestellte Methode eine sehr gute Näherung. Bei $\beta \rightarrow \varphi$ liefert sie bis 30 % zu große Erddruckwerte.

Die Erddruckkraft entspricht dem Inhalt der schraffierten Fläche [19].

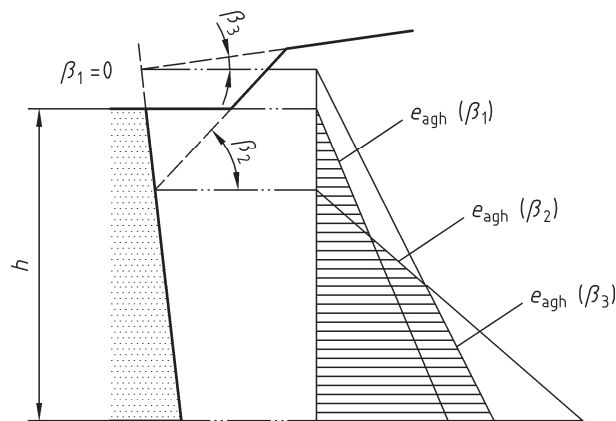


Bild 6 — Näherung bei nicht ebener Geländeoberfläche

Bei oberflächenparallel geschichtetem Boden darf nach Bild 7 verfahren werden.

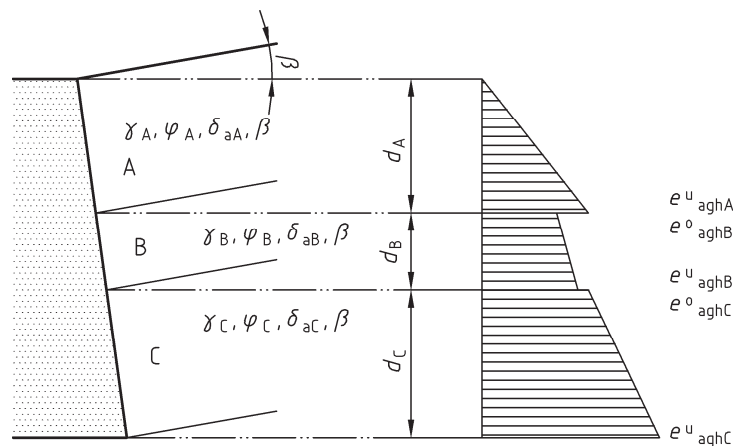


Bild 7 — Erddruckansatz bei oberflächenparallel geschichtetem Boden

$$e_{aghA}^u = \gamma_A \cdot d_A \cdot K_{aghA} \quad (10)$$

$$e_{aghB}^o = \gamma_A \cdot d_A \cdot K_{aghB} \quad (11)$$

$$e_{aghB}^u = [\gamma_A \cdot d_A + \gamma_B \cdot d_B] \cdot K_{aghB} \quad (12)$$

$$e_{aghC}^o = [\gamma_A \cdot d_A + \gamma_B \cdot d_B] \cdot K_{aghC} \quad (13)$$

$$e_{aghC}^u = [\gamma_A \cdot d_A + \gamma_B \cdot d_B + \gamma_C \cdot d_C] \cdot K_{aghC} \quad (14)$$

Wenn die Geländeoberfläche unter β geneigt, der Boden aber mit anderer Neigung geschichtet ist, darf das Vorgehen nach Bild 7 näherungsweise auch angewendet werden. In diesem Fall sind die Erddruckbeiwerte der unteren Schichten ebenfalls mit dem Neigungswinkel der Oberfläche β zu berechnen.

Die vorstehend dargestellten Erddruckverteilungen gelten für eine Drehung der Wand um ihren Fuß. Bei anderen Wandbewegungsarten ist der Erddruck unter Beachtung von Tabelle B.1 flächengleich umzulagern.

Bei weichen bindigen oder locker gelagerten nichtbindigen Böden darf nicht umgelagert werden, wenn dies zu einer günstigeren Bemessung führen würde.

Bei nicht ebener Geländeoberfläche und geschichtetem Boden ist sinngemäß zu verfahren.

6.3.1.3 Erddruckanteil infolge einer gleichmäßig verteilten vertikalen Oberflächenlast p_v

Der Erddruckzuwachs infolge einer gleichmäßig verteilten vertikalen Oberflächenlast p_v ist

$$e_{\text{aph}} = p_v \cdot K_{\text{aph}} \text{ mit} \quad (15)$$

$$K_{\text{aph}} = \frac{\cos \alpha \cdot \cos \beta}{\cos(\alpha - \beta)} \cdot K_{\text{agh}} \quad (16)$$

Die Horizontalkomponente der Erddruckkraft bei homogenem Boden ist

$$E_{\text{aph}} = p_v \cdot h \cdot K_{\text{aph}} \quad (17)$$

6.3.1.4 Erddruckanteil infolge Kohäsion

Der aktive Erddruck wird durch die Wirkung der Kohäsion verringert.

Die Horizontalkomponente des Erddruckanteils infolge Kohäsion ist näherungsweise

$$e_{\text{ach}} = -c \cdot K_{\text{ach}} \text{ mit} \quad (18)$$

$$K_{\text{ach}} = \frac{2 \cdot \cos(\alpha - \beta) \cdot \cos \varphi \cdot \cos(\alpha + \delta_a)}{[1 + \sin(\varphi + \alpha + \delta_a - \beta)] \cdot \cos \alpha} \quad (19)$$

Der Erddruckanteil infolge von Kohäsion ist gleichmäßig über die Wandhöhe verteilt. Bei Wandbewegungsarten, bei denen im oberen Wandbereich wegen des Einflusses der Kohäsion der Erddruck sehr kleine Werte annimmt, wird in der Regel der Mindesterddruck maßgebend, siehe 6.3.1.5.

$$E_{\text{ach}} = -c \cdot h \cdot K_{\text{ach}} \quad (20)$$

Gegebenenfalls ist der Erddruck aus Kohäsion in eine sinnvolle Erddruckumlagerung einzubeziehen.

6.3.1.5 Mindesterddruck

Wird beim Ansatz des aktiven Erddrucks der Einfluss der Kohäsion berücksichtigt, werden in Oberflächennähe sehr kleine, u. U. auch negative Werte für den Erddruck berechnet. Um Unsicherheiten infolge örtlicher Schwachstellen des Bodens zu begegnen, darf bei der Berechnung von Stützbauwerken ein Mindestwert für den Erddruck nicht unterschritten werden.

Der anzusetzende Mindesterddruck entspricht dem Erddruck der sich bei Annahme einer Scherfestigkeit entsprechend $\varphi = 40^\circ$ und $c = 0$ infolge der Eigenlast des Bodens bei Beibehaltung der geometrischen Größen α und β sowie des Verhältnisses δ_a/φ , ergibt.

Der Beiwert für den Mindesterddruck ist

$$K_{\text{agh}}^* = K_{\text{agh}}(\varphi = 40^\circ) \quad (21)$$