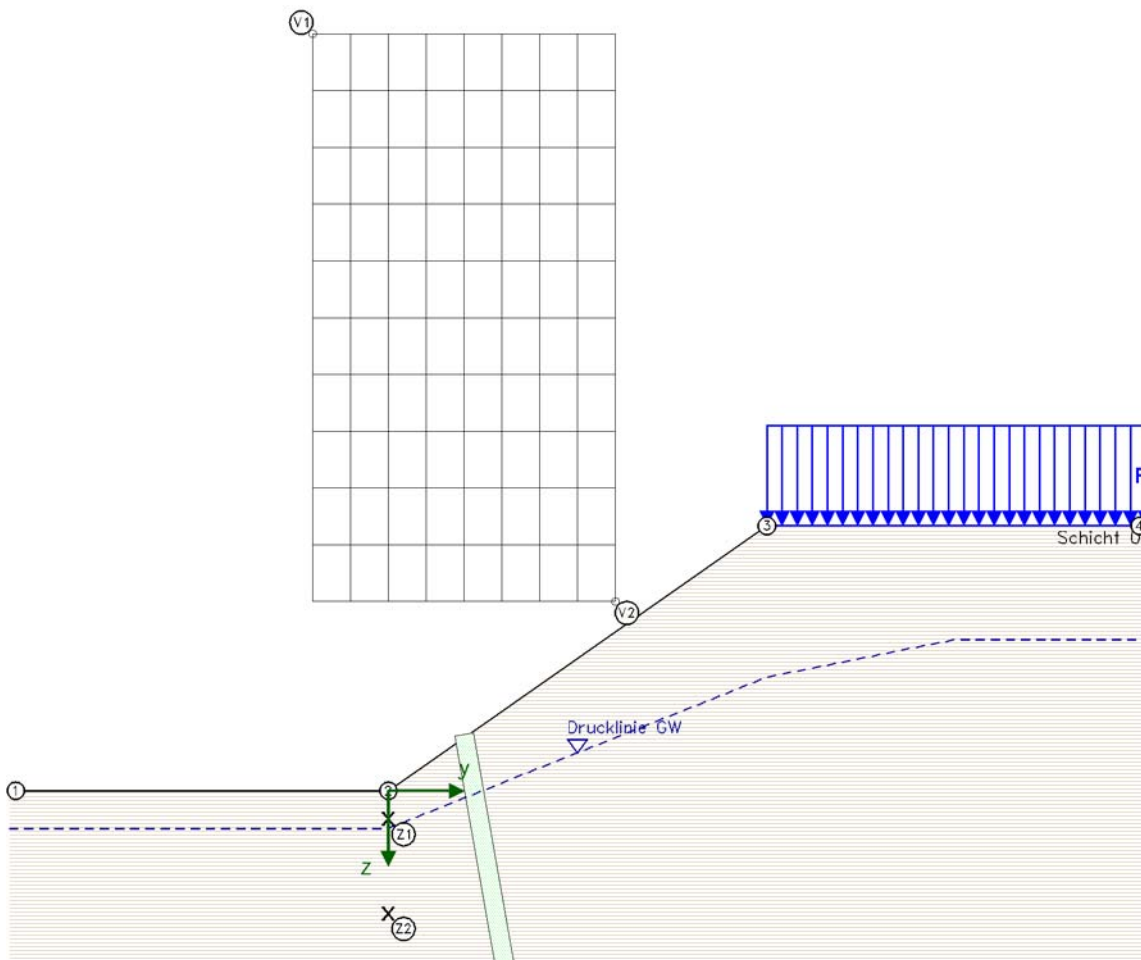


Geländebruchberechnung

Gesamtstandsicherheit nach DIN EN 1997-1:2009-09 mit NA-Deutschland

Ergänzende Regeln nach DIN 1054:2010-12 und DIN 4084:2009-01

Maßstab 1:200



1. System

1.1. Rechenwerte der Bodenschichten

Bezeichnung	γ kN/m ³	γ' kN/m ³	ϕ °	c kN/m ²	q_{konso1} kN/m ²
Schicht 0	18.00	10.00	25.00	5.00	0.00

γ - Wichte γ' - Wichte unter Auftrieb ϕ - Reibungswinkel c - Kohäsion
 q_{konso1} - Auflast für die eine bindige Schicht vorkonsolidiert ist

1.2. Koordinaten der Schichtgrenzen

Nr.	y m	z m
1	-10.00	0.00
2	0.00	0.00
3	10.00	-7.00
4	20.00	-7.00

1.3. Pfähle

Nr.	yKopf m	zKopf m	l m	α °	yFuß m	zFuß m	b m	b _{eff} m	u m	a m	M _{zul} kNm
1	2.00	-1.50	10.00	10.0	3.74	8.35	0.50	auto	auto	2.00	200.00

l - Länge des Pfahls α - Neigungswinkel des Pfahls gegen die Vertikale b - Durchmesser bzw. Breite
b_{eff} - wirksame Pfahlbreite für Erddruckermittlung u - Umfang a - Achsabstand senkrecht zur Betrachtungsebene
M_{zul} - zul. Biegemoment

1.4. Wasser

Wasserdruck aus Grundwasser

y m	z m
-10.00	1.00
0.00	1.00
10.00	-3.00
15.00	-4.00

Berücksichtigung des Wasserdrucks: nach [1], Abschn. 6 d) (über Porenwasserdruck)

2. Belastung

Flächenlasten

Nr.	Bezeichnung	teilbar	y _a m	z _a m	y _e m	z _e m	l m	q _k kN/m ²	Lasttyp	Bem. sit. BS
F1	p	nein	10.00	-7.00	30.00	-7.00	20.00	25.00	ständig	P

3. Berechnungsparameter

Teilsicherheitsbeiwerte auf der Einwirkungsseite

Die fettgedruckten Werte entsprechen nicht [2] Tabelle A 2.1

Einwirkung bzw. Beanspruchung	Formel	BS-P	BS-T	BS-A	BS-E
GEO-3: Grenzzustand des Versagens durch Verlustes der Gesamtstabilität		---	---	---	---
Ständige Einwirkungen	γ_G	1.00	1.00	1.00	1.00
Ungünstige veränderliche Einwirkungen	γ_Q	1.30	1.20	1.20	1.00

Teilsicherheitsbeiwerte auf der Widerstandsseite

Entsprechend [2] Tabellen A 2.2 und A 2.3

Lamelleneinteilung

Mindestanzahl $\min n = 20$

zulässige Breite $\max b = 4.82 \text{ m}$

maßgebende y-Koordinate im Schwerpunkt

Erdwiderstand am Austrittsende: wird nicht angesetzt

Berechnung der Sicherheit: vorhandene Sicherheit wird iterativ ermittelt, Startwert $\mu_0 = 0.77$

Mindestabmessungen für einen gültigen Gleitkreis: $b/h = 1.00/0.20 \text{ m}$

Hinweis:

Die Sicherheit der Gleitkreise wird nur für die Drehrichtung im Uhrzeigersinn ermittelt.

4. Bemessungswerte aus äußeren Lasten

4.1. Bemessungssituation BS-P

4.1.1. Flächenlasten

y _a m	z _a m	y _e m	z _e m	q _d kN/m ²	Lasttyp
10.00	-7.00	30.00	-7.00	25.00	ständig

5. Böschungsbruchsicherheit für Gleitkreisvariation

Variationsvorschrift für den Gleitkreismittelpunkt

innerhalb eines Rasters zwischen den Punkten V₁(-2.00/-20.00) und V₂(6.00/-5.00)

mit 9 Punkten in y-Richtung bei einem Abstand von 100.0 cm und

mit 11 Punkten in z-Richtung bei einem Abstand von 150.0 cm

Variationsvorschrift für den Radius

Variation des Gleitkreisradius zwischen den Punkten Z₁(0.00/0.75) und Z₂(0.00/3.25)

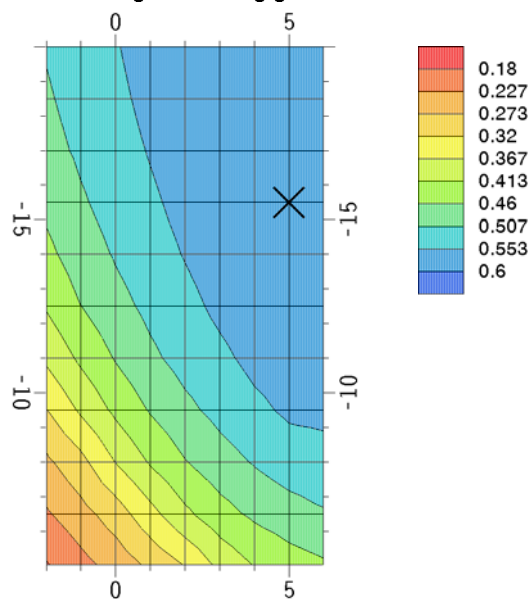
mit einer Radiusänderung von mindestens 20.0 cm

5.1. Berechnete Gleitkreise

Nr	y _m m	z _m m	r _{min} m	r _{max} m	r _{μ,max} m	μ _{max} -	Nr	y _m m	z _m m	r _{min} m	r _{max} m	r _{μ,max} m	μ _{max} -
1	-2.00	-20.00	20.85	23.34	23.14	0.51	8	5.00	-20.00	21.34	23.78	21.34	0.59
2	-1.00	-20.00	20.77	23.27	22.89	0.53	9	6.00	-20.00	21.60	24.01	21.60	0.59
3	0.00	-20.00	20.75	23.25	22.48	0.55	10	-2.00	-18.50	19.35	21.84	21.65	0.50
4	1.00	-20.00	20.77	23.27	20.77	0.57	11	-1.00	-18.50	19.28	21.77	21.58	0.53
5	2.00	-20.00	20.85	23.34	20.85	0.59	12	0.00	-18.50	19.25	21.75	21.37	0.54
6	3.00	-20.00	20.97	23.44	20.97	0.59	13	1.00	-18.50	19.28	21.77	19.28	0.56
7	4.00	-20.00	21.13	23.59	21.13	0.60	14	2.00	-18.50	19.35	21.84	19.35	0.58

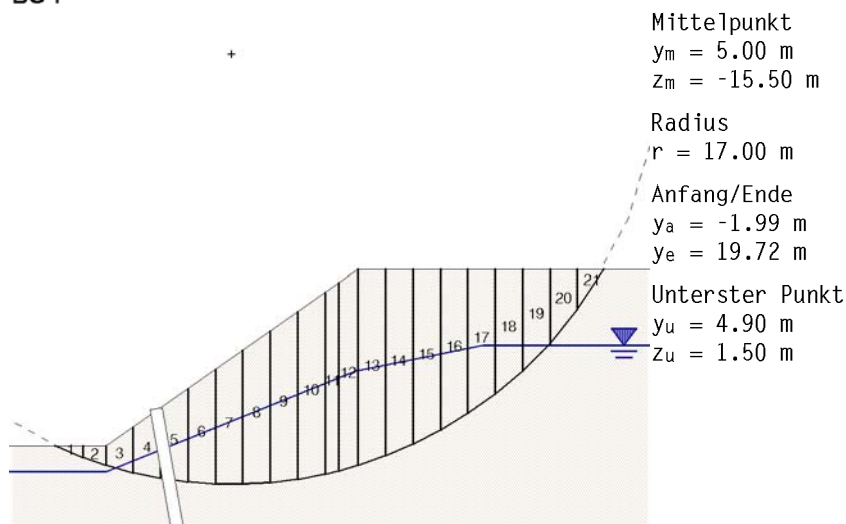
Nr	y _m m	z _m m	r _{min} m	r _{max} m	r _{μ,max} m	μ _{max} -	Nr	y _m m	z _m m	r _{min} m	r _{max} m	r _{μ,max} m	μ _{max} -
15	3.00	-18.50	19.48	21.96	19.48	0.59	58	1.00	-11.00	11.79	14.29	14.09	0.50
16	4.00	-18.50	19.66	22.11	19.66	0.60	59	2.00	-11.00	11.92	14.39	14.20	0.52
17	5.00	-18.50	19.89	22.32	19.89	0.60	60	3.00	-11.00	12.13	14.56	13.06	0.54
18	6.00	-18.50	20.16	22.56	20.16	0.59	61	4.00	-11.00	12.41	14.80	12.41	0.57
19	-2.00	-17.00	17.86	20.35	20.16	0.49	62	5.00	-11.00	12.77	15.10	12.77	0.58
20	-1.00	-17.00	17.78	20.27	20.08	0.52	63	6.00	-11.00	13.19	15.46	13.19	0.58
21	0.00	-17.00	17.75	20.25	20.06	0.54	64	-2.00	-9.50	10.44	12.91	12.72	0.32
22	1.00	-17.00	17.78	20.27	19.12	0.56	65	-1.00	-9.50	10.30	12.79	12.60	0.37
23	2.00	-17.00	17.86	20.35	17.86	0.58	66	0.00	-9.50	10.25	12.75	12.56	0.42
24	3.00	-17.00	18.00	20.47	18.00	0.59	67	1.00	-9.50	10.30	12.79	12.60	0.46
25	4.00	-17.00	18.20	20.64	18.20	0.60	68	2.00	-9.50	10.44	12.91	12.72	0.50
26	5.00	-17.00	18.44	20.86	18.44	0.60	69	3.00	-9.50	10.68	13.10	12.17	0.52
27	6.00	-17.00	18.74	21.12	18.74	0.59	70	4.00	-9.50	11.00	13.36	11.20	0.54
28	-2.00	-15.50	16.37	18.86	18.67	0.47	71	5.00	-9.50	11.40	13.70	11.40	0.56
29	-1.00	-15.50	16.28	18.78	18.58	0.50	72	6.00	-9.50	11.88	14.09	11.88	0.56
30	0.00	-15.50	16.25	18.75	18.56	0.53	73	-2.00	-8.00	8.98	11.43	11.24	0.26
31	1.00	-15.50	16.28	18.78	18.01	0.55	74	-1.00	-8.00	8.81	11.29	11.10	0.31
32	2.00	-15.50	16.37	18.86	16.37	0.57	75	0.00	-8.00	8.75	11.25	11.06	0.37
33	3.00	-15.50	16.52	18.99	16.52	0.59	76	1.00	-8.00	8.81	11.29	11.10	0.42
34	4.00	-15.50	16.74	19.17	16.74	0.60	77	2.00	-8.00	8.98	11.43	11.24	0.46
35	5.00	-15.50	17.00	19.41	17.00	0.60	78	3.00	-8.00	9.25	11.64	11.44	0.49
36	6.00	-15.50	17.32	19.69	17.32	0.59	79	4.00	-8.00	9.62	11.94	10.20	0.51
37	-2.00	-14.00	14.88	17.37	17.17	0.45	80	5.00	-8.00	10.08	12.31	10.08	0.53
38	-1.00	-14.00	14.78	17.28	17.09	0.48	81	6.00	-8.00	10.61	12.75	10.61	0.54
39	0.00	-14.00	14.75	17.25	17.06	0.51	82	-2.00	-6.50	7.52	9.95	9.77	0.22
40	1.00	-14.00	14.78	17.28	16.51	0.53	83	-1.00	-6.50	7.32	9.80	9.61	0.26
41	2.00	-14.00	14.88	17.37	16.03	0.56	84	0.00	-6.50	7.25	9.75	9.56	0.30
42	3.00	-14.00	15.05	17.51	15.05	0.58	85	1.00	-6.50	7.32	9.80	9.61	0.35
43	4.00	-14.00	15.28	17.71	15.28	0.59	86	2.00	-6.50	7.52	9.95	9.77	0.40
44	5.00	-14.00	15.57	17.96	15.57	0.59	87	3.00	-6.50	7.85	10.20	10.00	0.44
45	6.00	-14.00	15.92	18.26	15.92	0.59	88	4.00	-6.50	8.28	10.54	10.35	0.47
46	-2.00	-12.50	13.40	15.88	15.69	0.42	89	5.00	-6.50	8.81	10.96	8.81	0.49
47	-1.00	-12.50	13.29	15.78	15.59	0.46	90	6.00	-6.50	9.41	11.45	9.41	0.50
48	0.00	-12.50	13.25	15.75	15.56	0.49	91	-2.00	-5.00	6.09	8.49	8.30	0.18
49	1.00	-12.50	13.29	15.78	15.59	0.52	92	-1.00	-5.00	5.84	8.31	8.12	0.21
50	2.00	-12.50	13.40	15.88	14.92	0.54	93	0.00	-5.00	5.75	8.25	8.06	0.24
51	3.00	-12.50	13.59	16.03	13.77	0.56	94	1.00	-5.00	5.84	8.31	8.12	0.28
52	4.00	-12.50	13.84	16.25	13.84	0.58	95	2.00	-5.00	6.09	8.49	8.30	0.32
53	5.00	-12.50	14.16	16.52	14.16	0.59	96	3.00	-5.00	6.49	8.78	8.59	0.38
54	6.00	-12.50	14.55	16.85	14.55	0.59	97	4.00	-5.00	7.00	9.17	8.97	0.41
55	-2.00	-11.00	11.92	14.39	14.20	0.38	98	5.00	-5.00	7.62	9.65	9.28	0.44
56	-1.00	-11.00	11.79	14.29	14.09	0.42	99	6.00	-5.00	8.31	10.20	8.69	0.45
57	0.00	-11.00	11.75	14.25	14.06	0.46							

5.2. Ausnutzung in Abhängigkeit vom Gleitkreismittelpunkt



5.3. Maßgebende Gleitkreise

5.3.1. BS-P



Rechenwerte der Lamellen aus Eigenlast

$$T_G = \frac{((G_{\text{Boden}} + G_{\text{Bk}}) \cdot u \cdot b) \cdot \tan(\varphi) + c \cdot b}{(\cos(\vartheta) + \mu \cdot \tan(\varphi) \cdot \sin(\vartheta))}$$

Nr.	y m	z m	h _{Boden} m	b m	G kN/m	φ_{ca1} °	c_{ca1} kN/m ²	ϑ °	u kN/m ²	$G \cdot \sin \vartheta$ kN/m	T_G kN/m
1	-1.26	0.31	0.31	1.09	6.0	20.5	4.0	-21.6	0.0	-2.2	7.8
2	-0.41	0.62	0.62	0.90	10.0	20.5	4.0	-18.6	0.0	-3.2	8.4
3	0.62	0.93	1.36	1.09	26.9	20.5	4.0	-14.9	1.7	-6.9	15.1
4	1.67	1.17	2.34	1.09	47.5	20.5	4.0	-11.3	8.4	-9.3	19.9
5	2.74	1.35	3.27	1.09	67.0	20.5	4.0	-7.6	14.5	-8.9	24.4
6	3.82	1.46	4.13	1.09	85.1	20.5	4.0	-4.0	19.9	-5.9	28.5
7	4.90	1.50	4.93	1.09	101.7	20.5	4.0	-0.3	24.6	-0.6	32.4
8	5.98	1.47	5.66	1.09	116.8	20.5	4.0	3.3	28.7	6.7	35.9
9	7.07	1.38	6.32	1.09	130.5	20.5	4.0	7.0	32.0	15.8	39.3
10	8.15	1.21	6.91	1.09	142.6	20.5	4.0	10.7	34.7	26.4	42.5
11	8.96	1.03	7.31	0.54	75.3	20.5	4.0	13.5	36.2	17.5	22.4
12	9.62	0.86	7.59	0.77	111.4	20.5	4.0	15.8	37.1	30.2	33.2
13	10.54	0.57	7.57	1.09	156.0	20.5	4.0	19.0	36.8	50.8	46.8
14	11.62	0.16	7.16	1.09	147.5	20.5	4.0	22.9	34.8	57.4	44.9
15	12.71	-0.34	6.66	1.09	137.0	20.5	4.0	27.0	32.0	62.1	42.8
16	13.79	-0.95	6.05	1.09	124.4	20.5	4.0	31.1	28.1	64.3	40.5
17	14.87	-1.66	5.34	1.09	109.4	20.5	4.0	35.5	23.2	63.5	37.9
18	15.95	-2.50	4.50	1.09	91.3	20.5	4.0	40.1	15.0	58.8	35.6
19	17.03	-3.48	3.52	1.09	69.8	20.5	4.0	45.0	5.2	49.4	32.7
20	18.09	-4.65	2.35	1.09	45.9	20.5	4.0	50.3	0.0	35.4	26.5
21	19.03	-5.90	1.10	1.04	20.6	20.5	4.0	55.6	0.0	17.0	15.8
Σ				21.71	1822.7					518.5	633.2

Rechenwerte der Lamellen aus Auflast für 'BS-P'

$$Q_{\text{Konsol}} < Q \Rightarrow Q_R = 0$$

$$T_Q = \frac{Q_R \cdot \tan(\varphi) + c}{(\cos(\vartheta) + \mu \cdot \tan(\varphi) \cdot \sin(\vartheta))}$$

Lamelle	Q kN/m	Q _A kN/m	Q _A · sin ϑ kN/m	Q _{Konsol} kN/m	Q _R kN/m	T _Q kN/m
13	27.1	27.1	8.8	0.0	0.0	0.0
14	27.1	27.1	10.6	0.0	0.0	0.0
15	27.1	27.1	12.3	0.0	0.0	0.0
16	27.1	27.1	14.0	0.0	0.0	0.0
17	27.1	27.1	15.8	0.0	0.0	0.0
18	27.1	27.1	17.5	0.0	0.0	0.0
19	27.1	27.1	19.2	0.0	0.0	0.0
20	27.1	27.1	20.9	0.0	0.0	0.0
21	26.0	26.0	21.5	0.0	0.0	0.0
Σ	243.1	243.1	140.5		0.0	0.0

Rechenwerte der Pfähle

$$T_{\text{Pf,Bruch}} = (2 \cdot e_{p,z} \cdot b_{\text{eff}} \cdot M_{\text{zul}})^{0.5} \cdot \cos(\alpha_{\text{Pf}}) / a$$

$$T_{\text{Pf,Ep}} = E_{p,z} \cdot F_{u\beta} \cdot \cos(\alpha_{\text{Pf}}) / a$$

$$T_{\text{Pf}} = X_{\text{MIN}}(T_{\text{Pf,Bruch}}, T_{\text{Pf,Ep}})$$

Nr.	y _{Pf} m	z _{Pf} m	α_{Pf} °	b _{eff} m	e _{p,z,Pf} kN/m ²	T _{Pf,Bruch} kN/m	l _{z-Fuß} m	E _{p,z-Fuß} kN/m	T _{Pf,Ep} kN/m	T _{Pf} kN/m
1	2.50	1.32	18.5	1.50	1628.57	468.8	7.14	38257.7	18143.8	468.8

5.4. Wirksame Kräfte und Momente

Bem. sit.	$T_G + T_Q + T_{Pf}$ kN/m	$(G + Q_A) \cdot \sin \vartheta$ kN/m
BS-P	1102.0	659.0

5.5. Ausnutzung

$$\mu = E_{M,d} / R_{M,d}$$

$$E_{M,d} = r \cdot ((G + Q) \cdot \sin(\vartheta))$$

$$R_{M,d} = r \cdot (T_G + T_Q + T_{Pf})$$

Bem. sit.	$E_{M,d}$ kNm/m	$R_{M,d}$ kNm/m	μ -
BS-P	11204.18	18736.29	0.598

$\mu_{\max} = 0.598 < 1.0 \Rightarrow$ Maximale Ausnutzung der Böschungsstabilität eingehalten

G - Eigenlast ϑ - Tangentenwinkel u - Porenwasserdruck
 T_G - haltende Tangentialkraft infolge Eigengewicht, Kohäsion und Porenwasserdruck Q - Summe der Auflast je Lamelle
 Q_A - antreibender Anteil aus Auflast $Q_{Konsol.}$ - maßgeb. Vorkonsolidierung in der Lammelle
 Q_R - haltender Anteil aus Auflast T_Q - haltende Tangentialkraft infolge Auflast
 y_{Pf}/z_{Pf} - Schnittpunkt von Pfahl und Gleitkreis α_{Pf} - Winkel zwischen Pfahl und der Normalen an der Schnittstelle
 $e_{p,z,Pf}$ - Erdwiderstand im Schnittpunkt von Gleitkreis und Pfahl
 $T_{Pf,Bruch}$ - tangentialer Pfahlscherwiderstand nach [3] aus zul. Biegemoment
 $l_{z-Fuß}$ - Länge der Strecke von Schnittpunkt bis Pfahlfuß
 $E_{p,z-Fuß}$ - Summe des Erdwid. vom Schnittpunkt bis Pfahlfuß für eff. Breite
 $T_{Pf,Ep}$ - tangentialer Pfahlscherwiderstand aus Erdwiderstand
 T_{Pf} - maßgeb. haltende Tangentialkraft infolge Pfahlscherwiderstand

6. Zusammenfassung

Der Nachweis konnte für alle Bemessungssituationen erfüllt werden.

Literatur und Normen:

- [1] DIN 4084: Baugrund, Geländebruchberechnungen, Januar 2009
- [2] DIN 1054: Baugrund - Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau - Ergänzende Regeln zu DIN EN 1997-1, Dezember 2010
- [3] Huder, J.: Stabilisierung von Rutschungen mittels Ankern und Pfählen, Mitt. des Inst. für Grundbau und Bodenmech. ETH Zürich, Nr.120, 1983