

## Notitie veerconstanten

**Aan** : de heer  
**Van** : de heer  
**Getoetst** : de heer  
**Datum** : 8 maart 2021  
**Betreft** : Project Gronext aan de Middenweg te Eemshaven  
**Projectnummer** : VN-77409-4

---

### Inleiding

In opdracht van S4 Energy te Rotterdam heeft Raadgevend Ingenieursbureau & Partners B.V. de veerconstanten bepaald ten behoeve van het project "Gronext" aan de Middenweg te Eemshaven.

De werkzaamheden zijn verricht in aanvulling op het grondonderzoek en de bepaalde grondparameters ten behoeve van de paalberekeningen. De eerdere werkzaamheden zijn gerapporteerd in onderstaande documenten:

Ref [1] Geotechnisch onderzoek, aan de Middenweg te Eemshaven, VN-77409-1, R74098, d.d. 10 december 2020;

Ref [2] Grondparameters tbv paalberekeningen, Project Gronext aan de Middenweg te Eemshaven, Wiertsema & Partners, VN-77409-3, R74395, d.d. 6 januari 2021.

In Ref [2] is per sondering de ondergrond geschematiseerd en zijn grondparameters toegekend. In voorliggende notitie zijn voor de sonderingen de horizontale en verticale veerconstanten bepaald.

Rapportnummer:	R75617
Status:	Definitief
Datum:	8 maart 2021
Opgesteld door:	
Handtekening:	

## Grondparameters

In Ref [2] zijn de grondparameters ingeschat aan de hand van tabel 2.b van NEN 9997-1. Hierbij zijn de elasticiteitsmoduli weergegeven conform Ménard. De elasticiteitsmoduli zijn afhankelijk van de grondsoort en de geregistreerde grondsoort in de laag. In tabel 1 is de gehanteerde schematisering van de sonderingen gegeven.

Tabel 1 Gemiddelde grondparameters

Bovenkant Laag [m N.A.P.]	Samenstelling [-]	$\gamma / \gamma_{\text{sat}}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$q_{c, \text{gem}}$ [MPa]	$\varphi$ [°]	$c'$ [kPa]	$E_{100}$ [MPa]	$E_{\text{mod}}$ [MPa]
+1,0 à +0,9	Klei, slap	14 / 14	1 à 1,5	17,5	0	1	2,5 à 3,75
+0,6 à +0,3	Zand, los	17 / 19	3 à 5	30	0	15	2,55 à 4,25
-0,8 à -1,8	Klei, zandig	18 / 18	1 à 2	22,5	5	3	2,5 à 5,0
-1,5 à -3,5	Zand, sterk siltig	18 / 20	3 à 5	25	0	15	2,55 à 4,25
-6,7 à -7,6	Klei, matig vast	17 / 17	0,5 à 0,8	17,5	5	2	1,25 à 2,0
-7,3 à -10,0	Zand, matig vast	18 / 20	9 à 16	32,5	0	45	7,65 à 13,6
-15,5 à -18,6	Zand, sterk siltig	18 / 20	4 à 6	25	0	15	3,4 à 5,1
-18,0 à -19,7	Klei vast	19 / 19	1,5 à 2	17,5	13	4	3,75 à 5,0
-18,8 à -19,7	Zand	19 / 21	12 à 22	35	0	75	10,2 à 18,7

## Bepaling horizontale veerconstanten

In onderstaande formule is het verband tussen de elasticiteitsmodulus van Ménard en de horizontale veerconstante gegeven.

$$\frac{1}{k_h} = \begin{cases} \frac{1}{3E_m} \left[ 1.3R_0 \left( 2.65 \frac{R}{R_0} \right)^\alpha + \alpha R \right] & R \geq R_0 \\ \frac{2R}{E_m} \cdot \frac{4(2.65)^\alpha + 3\alpha}{18} & R < R_0 \end{cases}$$

Hierin is:

- $k_h$  Horizontale veerconstante [kN/m<sup>3</sup>]
- $E_m$  Elasticiteitsmodulus van Ménard [kN/m<sup>2</sup>]
- $R_0$  Referentiestraal (gelijk aan 0,300 m)
- $R$  Straal van de paal [m]
- $\alpha$  Alpha constante van Ménard afhankelijk van de grondsoort:

### constanten Ménard

grondsoort	$\alpha$ [-]
veen	1,00
klei	0,67
leem	0,50
zand	0,33
grind	0,25



Conform opgave zijn op de projectlocatie Tubex palen toegepast met een diameter van 559 mm en een boorpunt diameter 660 mm. De palen worden met een groutinjectie op diepte gebracht.

Aan de hand van de gegeven formule en de eerdere bepaalde elasticiteitsmoduli conform Ménard worden onderstaande (statische) veerconstanten berekend voor alleenstaande palen. De dynamische beddingsconstanten zijn conform NPR9998:2020 circa 2 à 5 keer de statische beddingsconstanten.

Tabel 2 Horizontale veerconstanten sondering DKM001

Bovenkant laag [m N.A.P.]	Samenstelling [-]	$E_{\text{mod}}$ Ménard [MPa]	$k_h$ statisch [MN/m <sup>3</sup> ]	$k_h$ dynamisch [MN/m <sup>3</sup> ]
+1,0 à +0,9	Klei, slap	2,5 à 3,75	8,3 à 12,5	16,7 à 62,5
+0,6 à +0,3	Zand, los	2,55 à 4,25	12,6 à 20,9	25,1 à 104,7
-0,8 à -1,8	Klei, zandig	2,5 à 5,0	8,3 à 16,7	16,7 à 83,3
-1,5 à -3,5	Zand, sterk siltig	2,55 à 4,25	12,6 à 20,9	25,1 à 104,7
-6,7 à -7,6	Klei, matig vast	1,25 à 2,0	4,2 à 6,7	8,3 à 33,3
-7,3 à -10,0	Zand, matig vast	7,65 à 13,6	37,7 à 67	75,4 à 335
-15,5 à -18,6	Zand, sterk siltig	3,4 à 5,1	16,8 à 25,1	33,5 à 125,6
-18,0 à -19,7	Klei vast	3,75 à 5,0	12,5 à 16,7	25 à 83,3
-18,8 à -19,7	Zand	10,2 à 18,7	50,3 à 92,1	100,5 à 460,7

### Bepaling verticale veerconstanten

De verticale veerconstante is afhankelijk van de paalafmeting, paallengte en inheinniveau en de daadwerkelijk optredende paalbelasting. Aan de hand van deze gegevens kan uit het last-zakkingsdiagram de kop- en puntzakking van de paal bepaald worden. De verticale veerconstante volgt dan uit onderstaande formule.

$$K_v = \frac{F_{\text{rep}}}{z_{\text{kop}}}$$

Waarin:

- $K_v$  = verticale veerstijfheid [kN/m]
- $F_{\text{rep}}$  = paalbelasting grenstoestand 2 [kN]
- $z_{\text{kop}}$  = paalkopverplaatsing [m]

Conform opgave van de opdrachtgever worden Tubex palen toegepast met een diameter van 559 mm en een boorpunt diameter van 660 mm. De palen worden met groutinjectie op diepte gebracht. De benodigde lengte van de palen wordt ingeschat op circa 10 m. Het paalpuntniveau bedraagt derhalve, uitgaande van een maaiveldniveau van N.A.P. +0,9 m, circa N.A.P. -9,1 m. Op dit niveau is niet overal een vaste zandlaag aanwezig. In sondering DKM001 wordt de vaste zandlaag vanaf circa N.A.P. -10,0 m aangetroffen. Hier wordt een minimaal paalpuntniveau van N.A.P. -11,0 m geadviseerd.



Bij de berekening zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- ▲ het project valt in de geotechnische categorie 2;
- ▲ de constructie is beschouwd als zijnde een niet-stijf bouwwerk;
- ▲ het optreden van negatieve kleef is niet in rekening gebracht aangezien er na oplevering geen significante zettingen worden verwacht;
- ▲ het optreden van positieve kleef is in rekening gebracht vanaf een niveau van circa N.A.P. -7,3 à -10,0 m;
- ▲ toetsing volgens uiterste grenstoestand houdt in dat voldaan moet worden aan:  $F_{c;d} \leq R_{c;netto;d}$  voor drukpalen. Met betrekking tot de vervorming zal in de regel de bruikbaarheidsgrenstoestand volgens NEN 9997-1+C2 bepalend zijn. Deze vervormingen zijn, gezien de zeer geringe vervorming van de palen niet maatgevend;
- ▲ bij de berekeningen zijn de volgende paalfactoren aangehouden:

Paaltype	Installatie methode	$\alpha_p$	$\alpha_{s, \text{zand}}$	$\alpha_t$	$\beta$
Stalen buispaal	Schroeven met groutinjectie	0,63	0,009	0,010	1,0

- ▲ correlatiefactoren  $\xi_3$  en  $\xi_4 = 1,39$  (per sondering) en partiële factoren  $\gamma_b = 1,20$ ,  $\gamma_s = 1,20$ ;
- ▲ de nieuwbouw wordt niet onderkelderd.

In bijlage 1 is per sondeerpunt, paal(schacht)afmeting en paalpuntniveau de maximale rekenwaarde van de grondmechanische draagkracht aangegeven. De in de tabel genoemde rekenwaarden zijn opgebouwd uit de punt- en schachtweerstand. De berekeningen zijn uitgevoerd conform Eurocode 7 (NEN 9997-1+C2). De genoemde draagkrachten (druk) gelden voor verticaal en centrisch op druk belaste palen. In bijlage 2 is een detailberekening van de draagkracht (druk) weergegeven, inclusief het last-zakkingsgedrag. Opgemerkt dient te worden dat de palen niet zijn gecontroleerd op de slankheid en de maximale (beton)spanning in de paalschacht.

De opgegeven paalbelasting bedraagt 6T (60 kN). Met een dergelijke paalbelasting worden op een paalpuntniveau van N.A.P. -11,0 m theoretische paalpuntzettingen van 0,1 à 0,2 mm berekend. De bijhorende (statische) veerconstante bedraagt derhalve minimaal 60 kN / 0,2 mm = 300 MN/m. De dynamische verticale beddingsconstante is conform NPR 9998:2020 circa 2 à 5 keer de statische beddingsconstante. De dynamische verticale beddingsconstante op het paalpuntniveau bedraagt derhalve 600 à 1.500 MN/m.

Op een niveau van N.A.P. -12,5 m wordt voor alle sonderingen een theoretische zetting van 0,1 mm berekend. De bijhorende (statische) veerconstante bedraagt derhalve minimaal 60 kN / 0,1 mm = 600 MN/m. De dynamische verticale beddingsconstante is conform NPR 9998:2020 circa 2 à 5 keer de statische beddingsconstante. De dynamische verticale beddingsconstante op het paalpuntniveau bedraagt derhalve 1.200 à 3.000 MN/m.



# Bijlage 1



  
**Wiertsema & Partners**  
RAADGEVEND INGENIEURS

## OVERZICHT NETTO DRAAGVERMOGEN DRUKPALEN

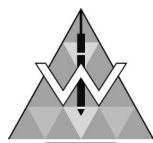
Alle niveaus/hoogtes/peilmaten zijn t.o.v.: N.A.P.

sondering	maaiveld niveau	paalpunt niveau	$R_{c; netto; d}$ SB559/660	[kN]
DKM001	0.95	-11.00	1008.4	
		-11.25	1058.2	
		-11.50	1097.9	
		-11.75	1141.2	
		-12.00	1170.6	
		-12.25	1205.5	
		-12.50	1331.6	
		-12.75	1403.6	
DKM002	0.92	-11.00	958.4	
		-11.25	1092.0	
		-11.50	1153.4	
		-11.75	1214.1	
		-12.00	1255.0	
		-12.25	1296.8	
		-12.50	1342.8	
		-12.75	1419.3	
DKM003	0.84	-11.00	871.1	
		-11.25	939.4	
		-11.50	968.2	
		-11.75	1019.8	
		-12.00	1194.7	
		-12.25	1356.4	
		-12.50	1427.3	
		-12.75	1495.5	
DKM004	0.88	-11.00	944.8	
		-11.25	1005.0	
		-11.50	1027.6	
		-11.75	1132.4	
		-12.00	1231.8	
		-12.25	1294.7	
		-12.50	1349.6	
		-12.75	1398.2	
DKM005	0.89	-11.00	1352.0	
		-11.25	1397.6	
		-11.50	1453.6	
		-11.75	1491.9	
		-12.00	1548.0	
		-12.25	1584.3	
		-12.50	1592.1	
		-12.75	1574.4	
	-13.00	1801.3		



Alle niveaus/hoogtes/peilmaten zijn t.o.v.: N.A.P.

sondering	maaiveld niveau	paalpunt niveau	$R_{c; netto; d}$ SB559/660	[kN]
DKM006	0.88	-11.00	1350.3	
		-11.25	1399.6	
		-11.50	1456.6	
		-11.75	1517.6	
		-12.00	1571.0	
		-12.25	1634.6	
		-12.50	1654.8	
		-12.75	1674.8	
DKM007	0.89	-11.00	926.2	
		-11.25	964.5	
		-11.50	995.7	
		-11.75	1027.3	
		-12.00	1069.3	
		-12.25	1144.6	
		-12.50	1122.0	
		-12.75	1156.3	
DKM008	0.86	-11.00	815.0	
		-11.25	851.1	
		-11.50	889.7	
		-11.75	921.6	
		-12.00	954.0	
		-12.25	985.3	
		-12.50	1175.7	
		-12.75	1315.0	
DKM009	0.86	-11.00	722.6	
		-11.25	759.1	
		-11.50	795.4	
		-11.75	821.2	
		-12.00	881.7	
		-12.25	924.3	
		-12.50	959.8	
		-12.75	962.2	
DKM010	0.86	-11.00	692.7	
		-11.25	761.8	
		-11.50	804.2	
		-11.75	927.3	
		-12.00	967.9	
		-12.25	1028.1	
		-12.50	1077.5	
		-12.75	1121.5	
-13.00	1215.1			



  
**Wiertsema & Partners**  
 RAADGEVEND INGENIEURS  


# Bijlage 2



  
**Wiertsema & Partners**  
RAADGEVEND INGENIEURS



**Uitgangspunten**

- gehanteerde sondering : DKM010
- gehanteerde paal : SB559/660
- paalpuntniveau : N.A.P.-12.25 m
- traject positieve kleef : N.A.P. -8.20 m
- tot: N.A.P.-12.25 m

**Maximale draagkracht van de paalpunt**

De maximale puntweerstand volgens art. 7.6.2.3 (e) bedraagt :

$$Q_{b,max} = 0.5 * \alpha_p * \beta * s * ((q_{c,I,gem} + q_{c,II,gem})/2 + q_{c,III,gem})$$
$$= 3.825 \text{ MPa}$$

waarin :		in dit geval :
$q_{c,I,gem}$	= de gemiddelde waarde van de conusweerstand over traject I	= 9.38 MPa
$q_{c,II,gem}$	= de gemiddelde waarde van de conusweerstand over traject II	= 7.21 MPa
$q_{c,III,gem}$	= de gemiddelde waarde van de conusweerstand over traject III	= 3.85 MPa
$\alpha_p$	= paalklassefactor	= 0.63 -
$\beta$	= factor voor de paalvoetvorm	= 1.00 -
$\varphi$	= hoek van de inwendige wrijving	= 32.5 -
$r$	= verhouding b/a	= 1.00 -
$s$	= factor voor de vorm van de voet	= 1.00 -

Voor een uitgebreide beschrijving van het bepalen van de gemiddelde conusweerstand in de gebieden I, II en III wordt verwezen naar art. 7.6.2.3 (e) in de norm.

De maximale draagkracht van de paalpunt volgens art. 7.6.2.3 (c) bedraagt:

$$R_{b,cal,max;i} = A_b * Q_{b,max;i}$$
$$= 1309 \text{ kN}$$

waarin :		in dit geval :
$A_b$	= oppervlak van de paalvoet	= 0.3421 m <sup>2</sup>

**Maximale paalschachtwrijving**

De maximale paalschachtwrijving volgens art. 7.6.2.3 (i) bedraagt:

$$q_{s,max;z} = \alpha_s * q_{c;z;a}$$

De maximale schachtwrijvingskracht volgens art. 7.6.2.3 (c) bedraagt:

$$R_{s,cal,max;i} = O_{s,\Delta l,gem} * \sum q_{s,max;z;i} * d_z$$
$$= 406 \text{ kN}$$



### Per laag

Alle niveaus/hoogtes/peilmaten zijn t.o.v.: N.A.P.

Nr Laag	Nivo [m]	$Q_{s;gem}$ [m <sup>f</sup> ]	$\alpha_s$	Perc. [%]	$q_{c;z;a}$ [MPa]	$q_{s;max}$ [MPa]	$d_z$ [m]	$R_{c;cal}$ [kN]
--	----	-8.20	--	--	--	--	--	--
1 Zand - Schoon - Matig	-12.24	1.76	0.0090	100	6.33	0.057	4.04	404.5
2 Zand - Schoon - Matig	-12.25	2.07	0.0090	100	9.04	0.081	0.01	1.7
totaal		1.76	0.0090		6.34	0.057	4.05	406.2

### Maximale draagkracht

De maximale draagkracht van de paal volgens art. 7.6.2.3 (c) bedraagt:

$$R_{c;cal;i} = R_{b;cal;max;i} + R_{s;cal;max;i} \\ = 1715 \text{ kN} (=1309 + 406)$$

De karakteristieke waarde van de maximale draagkracht van de paal volgens art. 7.6.2.3 (b) bedraagt:

$$R_{c;k} = R_{c;cal} / \xi_{3(n=1)} \\ = 1234 \text{ kN}$$

waarin : in dit geval :

$$\xi_{3(n=1)} = \text{factor volgens art. A.3.3.3 bij 1 sondering} = 1.39 -$$

Voor de rekenwaarde van de maximale draagkracht van de paal kan volgens art. 2.4.7.3.3 worden aangehouden :

$$R_{c;d} = R_{c;k} / \gamma_R \\ = 1028 \text{ kN}$$

waarin : in dit geval :

$$\gamma_R = \text{partiële weerstandsfactor volgens art. A.3.3.2} \\ \text{tabel A.6, A.7 of A.8} = 1.20 -$$



## LAST\_ZAKKINGSDIAGRAM SB559/660 VB

---

### Uitgangspunten

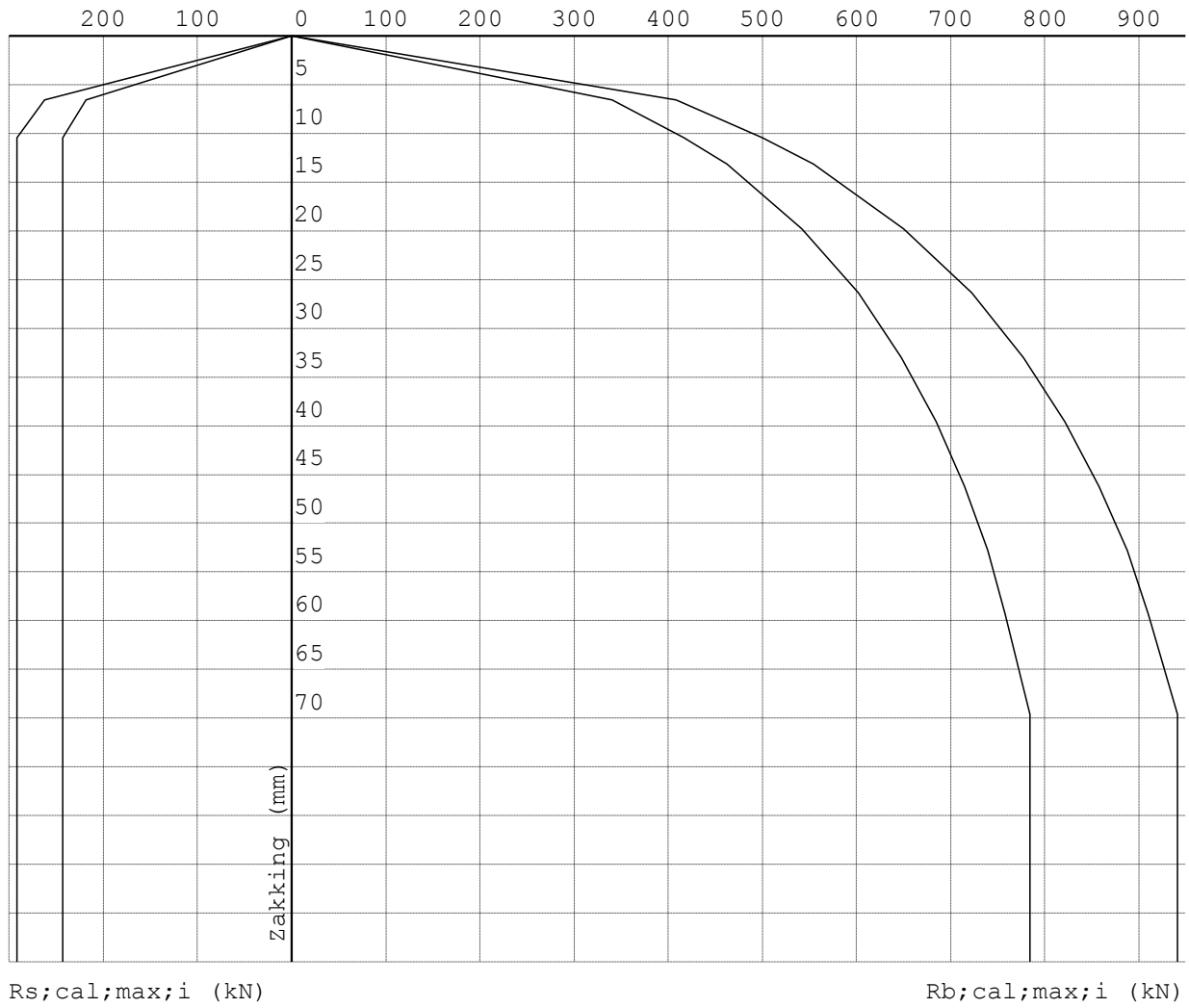
- gehanteerde sondering : DKM010
- gehanteerde paal : SB559/660
- paalpuntniveau : N.A.P.-12.25 m

### Last-zakkingsgedrag paal

paalzakking (mm)					draagvermogen 1B (kN)					paalzakking (mm)					draagvermogen 2 (kN)				
voet	kop	punt	wrijving	totaal	voet	kop	punt	wrijving	totaal	voet	kop	punt	wrijving	totaal	voet	kop	punt	wrijving	totaal
0.0	0.0	0	0	0	0.0	0.0	0	0	0	0.0	0.0	0	0	0	0.0	0.0	0	0	0
6.6	8.0	341	219	559	6.6	8.2	409	262	671	10.5	12.4	500	292	793	13.2	15.3	555	292	847
10.5	12.1	417	243	660	10.5	12.4	500	292	793	13.2	15.3	555	292	847	19.8	22.1	650	292	943
13.2	14.9	462	243	706	13.2	15.3	555	292	847	19.8	22.1	650	292	943	26.4	28.9	723	292	1015
19.8	21.7	542	243	786	19.8	22.1	650	292	943	26.4	28.9	723	292	1015	33.0	35.7	777	292	1070
26.4	28.5	602	243	846	26.4	28.9	723	292	1015	33.0	35.7	777	292	1070	39.6	42.4	822	292	1114
33.0	35.2	648	243	891	33.0	35.7	777	292	1070	39.6	42.4	822	292	1114	46.2	49.1	858	292	1150
39.6	41.9	685	243	928	39.6	42.4	822	292	1114	46.2	49.1	858	292	1150	52.8	55.7	888	292	1180
46.2	48.6	715	243	958	46.2	49.1	858	292	1150	52.8	55.7	888	292	1180	59.4	62.4	910	292	1202
52.8	55.3	740	243	983	52.8	55.7	888	292	1180	59.4	62.4	910	292	1202	66.0	69.1	930	292	1223
59.4	61.9	758	243	1002	59.4	62.4	910	292	1202	66.0	69.1	930	292	1223	69.6	72.7	941	292	1234
66.0	68.5	775	243	1019	66.0	69.1	930	292	1223	69.6	72.7	941	292	1234	660.0	663.1	941	292	1234
69.6	72.2	785	243	1028	69.6	72.7	941	292	1234	660.0	663.1	941	292	1234					
660.0	662.6	785	243	1028	660.0	663.1	941	292	1234										



**Last-zakkingsdiagram grenstoestand 1B en 2**



**Wiertsema & Partners**  
 RAADGEVEND INGENIEURS