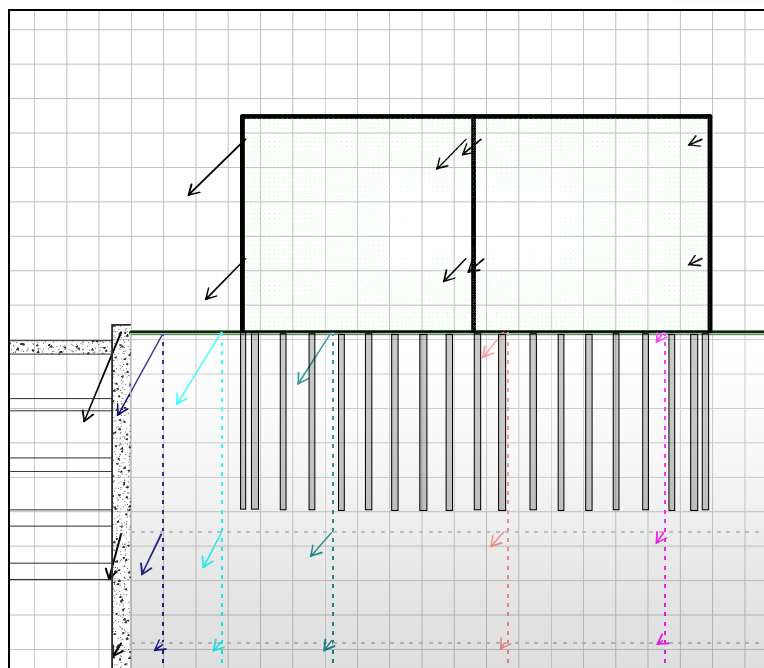


Grondvervormingen ten gevolge van het maken van bouwputten

Hoofdrapport



Beschrijving document : Het bepalen van de grondverplaatsingseffecten die in Nederland kunnen optreden bij het ontgraven van diepe bouwputten in stedelijke omgeving.

Documentencode : JK_04_02_Hoofdrapport_D01
Datum : 21 april 2011
Gebruiksstatus : Definitief
Auteur : John Kimenai
Studentennummer : 1328182
Afstudeerbedrijf : Deltares
Opleiding : Civiele Techniek sectie Geo-Engineering
Instituut : TU Delft

Voorwoord

Dit afstudeerrapport met als titel; 'Grondvormingen t.g.v. het maken van bouwputten' betekent een voltooiing van mijn studie. Een studie Civiele Techniek die ongeveer 10 jaar geleden op het MBO begon. Nadat ik ook het HBO afgerond heb ben ik naar de TU Delft gegaan en heb daar gekozen voor de masterspecialisatie Geotechniek, Funderingstechnieken. Na de afronding van dit rapport en dus ook de afronding van mijn studie sta ik aan de start van mijn loopbaan in de geotechniek.

Het afstudeeronderzoek, bestaande uit een hoofdrapport en bijlagen, beschrijft diverse empirische zettingsvoorspellingen van grondmodellen naast aan te leggen diepe bouwputten. Daarnaast is een omschrijving van de bouw van station Rokin van de NoordZuidlijn te Amsterdam gegeven. Aan de hand van deze kennis heb ik onderzoek verricht naar het grondvormingsmodel tijdens de aanlegfase in de nabijheid van station Rokin. Tevens heb ik een bouwactiviteit die zeer grote invloed blijkt te hebben op de grondvorming, namelijk het voorbereiden, nader onderzocht. Hierover heb ik conclusies getrokken en aanbevelingen voorgeschreven.

Een afstudeeronderzoek dat resulteert in conclusies en aanbevelingen die van groot belang zijn voor nieuwe civieltechnische ondergrondse projecten waarbij men wil voorbereiden of waarbij (grond)deformaties voorspeld dienen te worden.

Mijn dagelijkse begeleider van Deltares Mandy Korff, mijn dagelijkse begeleider van de TU Delft Bert Everts en mijn overige commissieleden Frits van Tol en Klaas-Jan Bakker wil ik bedanken voor alle inhoudelijke (en taaltechnische) kennis die ze me bijgebracht hebben. Ik wil het Adviesbureau NoordZuidlijn, de Dienst NoordZuidlijn en Witteveen+Bos bedanken voor het leveren van de gegevens. Tevens wil ik graag mijn collega's van Deltares en iedereen die me bij de TU Delft, faculteit Civiele Techniek, heeft geholpen bedanken. Als laatste wil ik mijn carnavalsvereniging de Schuimsoppers, familie, vrienden en natuurlijk mijn ouders én Katrien bedanken voor de steun. Steun gedurende heel mijn studieperiode.

Prinsenbeek, 21 april 2011

John Kimenai

*Figuur titelpagina:
Schets van grond- en belendingdeformaties.*

Colofon

Onderwerp

Grondvervormingen ten gevolge van het maken van bouwputten

Organisatie

Student	John Kimenai Beeksestraat 42 4841 GC Prinsenbeek Studienummer 1328182 Tel: 088-3357462 (Deltares) Tel: 06-46080849 (privé) A.C.M.Kimenai@student.tudelft.nl
Afstudeercommissie	
Voorzitter	prof. ir. A.F. van Tol Sectie Geo-Engineering, Civiele Techniek, TU Delft Kamer KG. 00.140 Tel: 015-2782092 (TU Delft) Tel: 088-3357284 (Deltares) A.F.vanTol@tudelft.nl
Dagelijkse begeleider TU Delft	ing. H.J. Everts Sectie Geo-Engineering, Civiele Techniek, TU Delft Kamer KG. 00.500 Tel: 015-2785478 (TU Delft) H.J.Everts@tudelft.nl
Dagelijkse begeleider Deltares	ir. M. Korff Unit Geo-Engineering, Stedelijk Engineering (UEN) Deltares Kamer SW-625 Tel: 088-3357466 (Deltares) Mandy.Korff@deltares.nl
Externe begeleider	dr. ir. K.J. Bakker Sectie Hydraulic Engineering, Civiele Techniek, TU Delft Kamer HG. 3.77.1 Tel: 015-2785075 (TU Delft) K.J.Bakker@tudelft.nl
Afstudeercoördinator	ir. J.P. Oostveen Sectie Geo-Engineering, Civiele Techniek, TU Delft Kamer KG. 00.480 Tel: 015-2785423 (TU Delft) J.P.Oostveen@tudelft.nl

Samenvatting

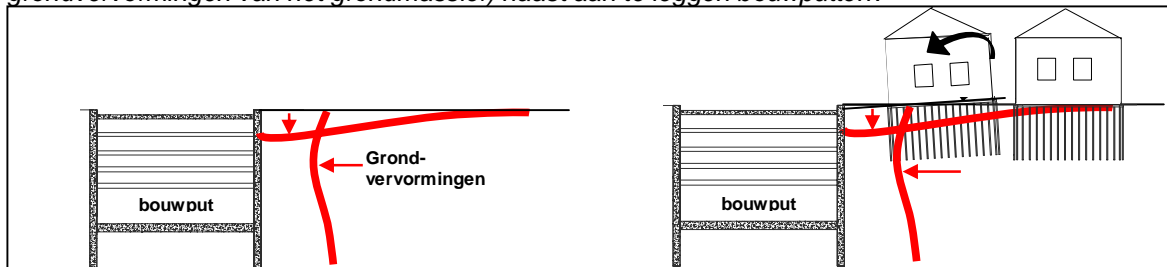
Student	Afstudeerbegeleiders
John Kimenai	prof. ir. A.F. van Tol, ing. H.J. Everts en dr. ir. K.J. Bakker
Opdrachtgever	Bedrijfsbegeleider
Deltares	ir. M. Korff

Dit afstudeeronderzoek richt zich op het grondvervormingsgedrag naast aan te leggen bouwputten. Vooral bij diepe bouwputten in stedelijke omgeving is het onduidelijk hoe en waar het vervormingsgedrag, afhankelijk van de Nederlandse specifieke omstandigheden zoals de grondopbouw, belendingen en funderingen, tot stand komt.

Onderzoeken in bestaande literatuur, ten aanzien van grondvervormingsprofielen van het grondmassief naast aan te leggen bouwputten, geven een (veelal empirische) weergave van het grondvervormingspatroon. Deze onderzoeken zijn voornamelijk gericht op 'green field' situaties (zie figuur 1a). Maar er is bijvoorbeeld bij de op dit moment aan te leggen NoordZuidlijn in Amsterdam helemaal geen sprake van 'green field' situaties (zie figuur 1b).

Hoofdvraag:

Is de omgeving van invloed op het grondvervormingsgedrag (zowel horizontale- als verticale grondvervormingen van het grondmassief) naast aan te leggen bouwputten?



Figuur 1a; 'Green field' situatie.

Figuur 1b; Belendingen in het invloedsgebied van aan te leggen bouwputten.

Dit onderzoek beschrijft in de literatuurstudie diverse onderzoeken die empirische grafieken tonen met gronddeformaties naast aan te leggen bouwputten. Door deze onderzoeken te vergelijken met een empirisch onderzoek van grondvervormingspatronen ter plaatse van station Rokin en projectgebonden Eindige-Elementen-Modellen berekeningen is getracht een antwoord te krijgen op de hoofdvraag.

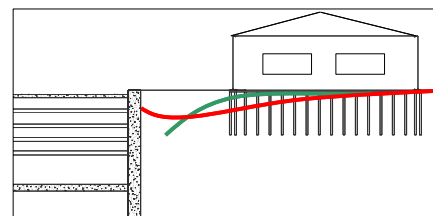
Het empirische onderzoek in dit afstudeeronderzoek richt zich op de NoordZuidlijn te Amsterdam. Het betreft een ondergrondse metrolijn die het historische centrum doorkruist. Tijdens en bij het gehele bouwtraject wordt ten aanzien van andere ondergrondse projecten een zeer geavanceerd monitoringssysteem toegepast.

De metrolijn bevat 3 diepe ondergrondse stations. Station Rokin is één van die stations. Ook bij dit station wordt zowel de bouwput, als de grond en belending in het invloedsgebied voor, tijdens en na het bouwproces gemonitord. Met behulp van de vrijgekomen data is een vergelijking met de literatuurstudie en berekeningen gemaakt. Aan de hand van deze vergelijkingen is het mogelijk de hoofdvraag van dit onderzoek te beantwoorden.

Conclusies:

Maaiveldmetingen laten zien dat belendingen bij station Rokin wel degelijk van invloed zijn op het grondvervormingsgedrag naast aan te leggen bouwputten (zie figuur 3). Deformatiepatronen in 'green field' situaties geven dus een

ander gronddeformatiepatroon dan in stedelijke gebieden zoals bij de NoordZuidlijn. Helaas is het lastig om deze conclusie te verifiëren met andere aanwezige ondergrondse



Figuur 3; Groene lijn is gemeten maaiveldzakking. Rode lijn geeft het verwachtingspatroon weer.

meetinstrumenten zoals automatische extenso- en inclinometers. Deze monitoringsinstrumenten hebben veel minder informatie geleverd dan op voorhand was voorzien. De oorzaken hiervan zijn:

- De automatische meetinstrumenten in de ondergrond hebben een levensduur die korter is dan de totale bouwtijd van station Rokin;
- Kortdurende te analyseren bouwfasen resulteren in kleine deformaties en kleine invloedsgebieden. Vanwege de bandbreedte van de foutmarge van de meetinstrumenten is het niet mogelijk die kleine deformaties te analyseren. Tevens resulteert een klein invloedsgebied in relatief (te) weinig meetinstrumenten in het te analyseren gebied;
- Langdurige bouwfasen resulteren in verstoorde meetdata vanwege bijvoorbeeld het stuk gaan van meetapparatuur tijdens de uitvoering;
- Er zijn relatief weinig ondergrondse meetinstrumenten in het invloedsgebied aanwezig, 15 meetpunten voor een te analyseren invloedsgebied met een oppervlak van $\pm 1500 \text{ m}^2$.

Aanbevelingen:

- Om vast te stellen of de omgeving van belang is voor het gronddeformatiepatroon rondom een bouwput wordt nader onderzoek aanbevolen. Dit kan bijvoorbeeld bij de twee andere diepe stations van de NoordZuidlijn, Ceintuurbaan en Vijzelgracht waarbij de meetdata al grotendeels geproduceerd is;
- Tevens wordt aanbevolen om bij toekomstige monitoringsprojecten te leren van het falen van het monitoringssysteem zoals dat bij station Rokin toegepast is;
- Het is maar zeer de vraag of met de huidige kennis van de techniek, wetenschappelijke onderzoeken zoals dezen aan de hand van geavanceerde en kwetsbare meetinstrumenten in realistische projecten uitgevoerd kunnen worden. De geleverde monitoringsdata voldoen namelijk niet aan de verwachtingen. Met de huidige stand van techniek is laboratoriumonderzoek wellicht een betere optie.

Tijdens dit onderzoek is gestuit op onverwachte bevindingen in het grondvervormingsprofiel in de nabijheid van de bouwactiviteit voorbereiden. Tijdens deze bouwactiviteit worden ondergrondse obstakels ter plaatse van het diepwandtracé verwijderd en vervangen door Softmix. Vanwege de tijdens het voorbereiden opgetreden zeer onverwachte en nog nooit eerder geconstateerde relatief grote deformaties zijn de bevindingen dan ook in dit onderzoek gepresenteerd.

Conclusies ten aanzien van de bouwactiviteit voorbereiden:

- De bouwactiviteit zoals uitgevoerd bij station Rokin levert op enkele meters van de werkzaamheden maximaal $\pm 130 \text{ mm}$ horizontale grondvervorming van de bouwput af. Deze deformaties zijn te wijten aan de in te brengen stalen casing (40 à 50 mm dikke wand van de boorbuis en plugvorming in die buis) ten behoeve van het uitboren van de grond;
- De bouwactiviteit levert maximaal $\pm 50 \text{ mm}$ verticale grondzakking. Deze deformatie is voornamelijk te wijten aan het trekken van de casing. Op het moment van trekken wordt de ruimte die ontstaat als gevolg van het verwijderen van de buiswand gevuld met Softmix én vindt vervorming van het omringende grondmassief plaats;
- Naar aanleiding van een vergelijking tussen enerzijds het deformatiepatroon van het voorbereiden en anderzijds het verwijderen van obstakels met behulp van kleine bouwkuipen, blijkt dat een grondmassief dat opgespannen wordt (vorboren), minder belendingdeformaties levert dan wanneer een grondmassief ontspannen wordt (bouwkuipen).

Aanbevelingen voor toekomstige projecten waarbij de bouwactiviteit voorbereiden toegepast wordt, zijn:

- De bouwactiviteit voorbereiden zoals deze bij station Rokin is uitgevoerd levert grote gronddeformaties die voor andere situaties (bijvoorbeeld in de nabijheid van panden die op staal gefundeerd zijn) zorgwekkend kunnen zijn;
- De gronddeformaties bij station Rokin hebben niet geresulteerd in negatieve gevolgen voor de belendingen, in tegendeel zelfs. Maar er zijn projecten denkbaar waarbij dit wel het geval kan zijn. Nader onderzoek van verschillen tussen op- en ontspanning van het grondmassief en de gevolgen daarvan, kan uitsluitsel geven wanneer een grondmassief nu specifiek negatieve gevolgen heeft op de belending.

Inhoudsopgave

Voorwoord	I
Colofon.....	II
Samenvatting	III
Inhoudsopgave	V
Figuren.....	VII
Tabellen	XI
1 Inleiding	1
1.1 Aanleiding.....	1
1.1.1 Achtergrondinformatie	1
1.1.2 Probleem	3
1.1.3 Belang.....	3
1.2 Doelstelling.....	3
1.2.1 Hoofdvraag.....	3
1.2.2 Werkwijze	3
1.2.3 Randvoorwaarden.....	3
1.3 Structuurbeschrijving	4
2 Literatuurstudie.....	5
2.1 Inleiding	5
2.2 'Green field' gronddeformatie.....	6
2.2.1 Peck (1969).....	6
2.2.2 Goldberg et al. (1976).....	7
2.2.3 Clough en O'Rourke (1990).....	7
2.2.4 Long (2001).....	9
2.2.5 Ch. Moormann & H.R. Moormann (2002).....	9
2.2.6 Van Dijk (2003)	11
2.3 Gronddeformaties m.b.v. EEM bij station Rokin t.g.v. ontgraven.....	13
2.3.1 Eindige-Elementen-Modellen (EEM).....	13
2.3.2 Projectgebonden EEM.....	14
2.4 Samenvatting	15
3 Ontwerp bouwput station Rokin	16
3.1 Inleiding	16
3.2 Bodem omschrijving Amsterdam	17
3.2.1 Bodemopbouw	18
3.2.2 Omgeving Amsterdam.....	21

3.3	Bouwput station Rokin	23
3.3.1	Bouwmethode 'wandendak methode'	23
3.3.2	Constructieonderdelen	28
3.4	Belending.....	30
3.4.1	Belending in invloedsgedebied van bouwput.....	30
3.4.2	Onderlinge pandbeïnvloeding	33
3.4.3	Stijfheid fundering & bovenbouw	34
3.5	Monitoringsystemen.....	36
3.5.1	Doel.....	36
3.5.2	Meetinstrumenten	37
3.6	Conclusie.....	48
4	Meetdata Rokin	49
4.1	Inleiding	49
4.2	Situering benodigde meetdata	50
4.2.1	Bouwfases.....	50
4.2.2	Meetraaien.....	52
4.2.3	Verticale en horizontale grond- & belendingdeformaties	53
4.3	Interpretatie meetdata en vergelijkingen met literatuur.....	56
4.3.1	Verticale maaivelddeformaties alle fasen	57
4.3.2	Horizontale & verticale meetdata bouwfases 1 & 2	58
4.3.3	Horizontale & verticale meetdata eerste ontgravingsslag.....	61
4.4	Conclusies meetdata	63
4.5	Meetdata n.a.v. voorbereen	65
4.5.1	Bouwkuipen / voorbereen.....	65
4.5.2	Interpretatie meetdata	65
5	Conclusies & aanbeveling.....	70
5.1	Grondvervormingsgedrag.....	70
5.1.1	Conclusies.....	70
5.1.2	Aanbevelingen	72
5.2	Vorboren.....	73
5.2.1	Conclusies.....	73
5.2.2	Aanbevelingen	74
	Begrippenlijst	75
	Bronvermelding.....	76
	Literatuurlijst.....	76
	Web sites.....	78

Figuren

Figuur 1.1; 1: Grondvervormingen in een 'green field' situatie. 2: Grondvervormingen met omgevingsaspecten (belending) zoals bij de NoordZuidlijn het geval is.	1
Figuur 0.1; Situering NoordZuidlijn in Amsterdam met de stations en nadrukkelijk station Rokin aangegeven (figuur afkomstig van bron: M. Korff, 2009, XIV).....	2
Figuur 0.2; Typische historische belending (belending gelegen aan de oostzijde van het toekomstige station Rokin t.p.v. de Kalfsvelsteeg).....	2
Figuur 1.4; Langsdoorsnede van station Rokin gekeken naar de belending die gesitueerd is aan de oostzijde van het station (bron; Benthem Crouwel Architects).....	2
Figuur 2.1; 1: Grondvervormingen in een 'green field' situatie (zie § 2.2). 2: Grondvervormingen met omgevingsaspecten zoals in dit geval belending. 3: Een voorbeeld van een visualisatie van EEM, wat uitgevoerd wordt in de ontwerpfase.....	5
Figuur 2.2; Grondvervormingen in een 'green field' situatie.	6
Figuur 2.3; In de grafiek is op de verticale as de verticale gronddeformatie ter plaatse van het maaiveld gedeeld door de ontgraven diepte weergegeven. De horizontale as geeft de afstand tot aan de bouwput gedeeld door de te ontgraven diepte weer. Beide waarden zijn dimensieloos. Tevens is de grafiek in drie zones verdeeld. Met behulp van deze zones kan er een indeling van diverse grondsoorten gemaakt worden. Figuur is afkomstig uit bron: Peck, 1969, XIII.	6
Figuur 2.4; Maximale verticale en horizontale deformaties [inch] voor slappe grondsoorten (1 inch is gelijk aan 2,54 cm).....	7
Figuur 2.5; Maximale geobserveerde verticale gronddeformaties [mm] t.o.v. de afstand tot de bouwput [m] bij bouwputten met grondgevoerde wanden.....	8
Figuur 2.6; 1: Dimensieloze zettingprofielen voor het afschatten van zettingen naast ontgravingen in diverse grondsoorten. 2: Gemeten zettingen naast ontgravingen in slappe klei.....	8
Figuur 2.7; Schematische weergave van symbolen die behoren bij Cat. 2b.....	9
Figuur 2.8; Horizontale verplaatsingen ten opzichte van ontgravingsdiepte [m].....	9
Figuur 2.9; Maximale verticale u_v^{\max} [cm] verplaatsing t.o.v. de ontgravingsdiepte H [m] in vergelijking met de afstand t.o.v. de afstand tot aan de bouwput in de grafiek van Peck (Peck, 1969, XIII) met de zones t.a.v. diverse grondsoorten.....	10
Figuur 2.10; Maximale horizontale u_h^{\max} [cm] en verticale u_v^{\max} [cm] verplaatsing t.o.v. de ontgravingsdiepte H [m].....	10
Figuur 2.11; Vier punten waarmee Van Dijk een schatting van de gronddeformatie van het grondprofiel naast de bouwput tijdens de initiatieffase maakt.	11
Figuur 2.12; Definitie van de invloedslengte (h_m).	12
Figuur 2.13; Diagram voor schatting van de maximale horizontale wandverplaatsing.....	12
Figuur 2.14; Schematische weergave van station Rokin met diverse grondlagen en een situering van de omgeving zoals de panden en meetinstrumenten.....	13
Figuur 2.15; Berekeningsresultaten van verticale vervormingen van het maaiveld ter plaatse van Monitoringsraai I (t.p.v. meetraai 14 t.p.v. Enge Kapelsteeg westzijde van het te bouwen station Rokin). De verwachtingswaarde van de vervormingen zijn uitgezet t.o.v. het hart van de bouwput. Figuur afkomstig uit bron: R.P. Roggeveld et al., 2009, XXVI.	14
Figuur 2.16; 1: Vervormingspatroon n.a.v. 'green field' situatie volgens literatuur. 2: Vervormingspatroon n.a.v. een situatie met 'omgevingsbeïnvloeding' volgens literatuur. 3: vervormingspatroon n.a.v. een EEM.	15
Figuur 3.1; Schematisch bovenaanzicht en doorsnede van het tracé van de NoordZuidlijn in Amsterdam waarbij de diepe ondergrondse stations zijn aangegeven (bron; archief van Projectbureau NoordZuidlijn).	17
Figuur 3.2; Langsdoorsnede van station Rokin gekeken naar de belending die gesitueerd is aan de oostzijde van het station (bron; Benthem Crouwel Architects).....	17
Figuur 3.4; De straat en gracht t.p.v. Rokin voor het jaar 1937. Foto genomen vanaf noordzijde van	

het	19
Figuur 3.5; Autonome grondzakkingen in de omgeving van de drie diepe stations volgens bron: C.A.G. Hogenes, 1998, XXI.	21
Figuur 3.6; Horizontale verplaatsingen van ruim 3 mm van het pand t.p.v. Rokin met huisnummer 30 bij een temp. verschil van ± 20 °C.	22
Figuur 3.7; Verticale verplaatsingen van ruim 1 mm van het pand t.p.v. Rokin met huisnummer 30 bij een temp. verschil van ± 20 °C.	22
Figuur 3.8; 1: De bouwput van station Rokin tijdens de bouwphase. Met de blauwe lijn is het invloedsgebied in de omgeving van het station aangegeven. Het invloedsgebied is gedefinieerd als het gebied waar zettingen groter dan 1 mm zijn voorspeld. Figuur afkomstig uit MOBONZ WebGIS. 2: Dwarsdoorsnede van de bouwput tijdens de bouwphase inclusief belending aan beide zijde van de bouwput.	23
Figuur 3.9; Een schematische weergave van een willekeurige bouwput vervaardigd met de 'wandendak methode'. Figuur A; maken van diepwanden. Figuur B; aanbrengen dakconstructie en eerste ontgravingsslag. Figuur C; aanbrengen eerste stempel en het realiseren van diverse ontgravingslagen. Figuur D; meerdere stempellagen plaatsen en ontgraven tot gewenste diepte. Bron: SBR, XXIX.	24
Figuur 3.10; Een bovenaanzicht van station Rokin, t.p.v. de rode arceringen zijn t.p.v. het tracé van de diepwanden de obstakels verwijderd met behulp van damwandkuipen (4 * 10 m). Figuur afkomstig uit 'MOBONZ WebGIS'.	25
Figuur 3.11; Schematische weergave van voorboorproces (figuren afkomstig uit bron: E. de Jong, 2008, XVIII).	26
Figuur 3.12; Diepte van boorgaten & stalen casing en situering van boorgaten. Bouwphase 1 is aan de oostkant van de bouwput gesitueerd en bouwphase 2 is aan de westkant van de bouwput. Maten zijn weergegeven t.o.v. NAP.	27
Figuur 3.13; Schematische dwarsdoorsnede tijdens de bouwphase van station Rokin met bijbehorende constructieonderdelen.	29
Figuur 3.14; De bouwput met het invloedsgebied en diverse funderingsklasse van de panden. Het invloedsgebied is gedefinieerd als het gebied waar zettingen groter dan 1 mm zijn voorspeld. Voor een omschrijving van de kleuren wordt verwezen naar Tabel 3.6. Figuur afkomstig uit MOBONZ WebGIS.	30
Figuur 3.15; Schematische dwarsdoorsnede van belending naast de bouwput.	31
Figuur 3.16; Schets van belending met bijbehorende fundering. Bron: F.J. Kaalberg, III.	31
Figuur 3.17; 1: Typische historische belending ter plaatse van het te bouwen station, Rokin 18 t/m 26. 2: Moderne belending ter plaatse van het te bouwen station, Rokin 55 - 65.	32
Figuur 3.18; Modelleren van een blok met meerdere panden ten tijde van het passeren van een TBM. Figuur afkomstig uit: H. Netzel & F.J. Kaalberg, 2000, XXIII.	33
Figuur 3.19; Gebouwdeformatie is afhankelijk van de bovenbouw en fundering.	34
Figuur 3.20; 1: Mogelijke vervormingsgevallen van panden naar aanleiding van grondvervormingen. 2: Kantelen van panden richting de bouwput van Vijzelgracht met een opening van ongeveer 250 mm als resultaat.	34
Figuur 3.21; Gebouwdeformaties met hogging en sagging deformaties. Bron: Burland et al., 2004, XIX.	35
Figuur 3.22; Kleef ter plaatse van de palen van de fundering. Bron; Stichting bouwresearch, 1986, XXVII.	35
Figuur 3.23; Data van meetinstrumenten in de ondergrond t.p.v. de Wijde Kapelsteeg wordt uitgelezen.	36
Figuur 3.24; Schematische weergave van Station Rokin tijdens de bouwphase. Het diepe gedeelte van de bouwput, met afmetingen van ± 200 meter lang, ± 25 meter breed en ± 25 meter diep, is weergegeven met de kleur bruin. De verdeelhallen die buiten de scope van dit onderzoek vallen zijn met de kleur geel weergegeven. Met de kleur grijs is de belending weergegeven. De lichtblauwe lijn geeft het invloedsgebied rondom de bouwput weer. Het invloedsgebied is gedefinieerd als het gebied waar zettingen groter dan 1 mm zijn voorspeld. De diverse gekleurde punten geven meetinstrumenten t.b.v. gronddeformaties weer in de verschillende ontsluitingswegen. De donkerblauwe punten op de	

belending zijn de prisma's die gemeten worden met behulp van totalstations, aangegeven met een rode 'R' (Figuur is afkomstig uit MOBONZ WebGIS)	38
Figuur 3.25; Situering van maaiveldmeetinstrumenten (blauwe punten) t.p.v. de Cellebroerssteeg t.o.v. de bouwput (bruin gearceerd). Figuur is afkomstig uit MOBONZ WebGIS.....	39
Figuur 3.26; 1: Een schematische weergave van een maaiveldmeetinstrument. 2: Bovenzijde van een beschermbox is verwerkt in het straatwerk.....	40
Figuur 3.27; Schematische dwarsdoorsnede en een bovenaanzicht van de Kalfsvelsteeg met de locatie van extenso- & inclinometers t.o.v. de diepwand en diepte t.o.v. NAP (bovenaanzicht is afkomstig uit MOBONZ WebGIS).....	41
Figuur 3.28; Een schematische weergave van de dwarsdoorsnede van een boorbuis \varnothing 150 tot 200 mm met daarin extenso- & inclinometer (Bron; H. Netzel en F.J. Kaalberg, XXII)). Figuur afkomstig uit bron: Interfels, VIII.....	42
Figuur 3.29; Een schematische weergave van een extensometer en details daarvan (Figuur 1 is afkomstig uit bron: Soldata/ Grontmij, VII. Figuren 2 en 3 zijn afkomstig uit bron: S. F. Frankenmolen, 2006, VI.....	42
Figuur 3.30; Een schematische weergave en details van een inclinometer. (Figuur 1 is afkomstig van 'In-place inclinometers', www.sisgeo.com/pdf/schede/S400_EN.pdf.	43
Figuur 3.31; Werkzaamheden t.p.v. panden die aan de oostzijde het toekomstige station zijn gelegen. Tijdens de werkzaamheden is een beschermbox van een meetinstrument zwaar beschadigd (foto's afkomstig van R. de Nijs van Adviesbureau Noord/Zuidlijn).....	44
Figuur 3.32; 1: Twee totalstations t.p.v. het Damrak aan het gebouw van de Beurs van Berlage. 2: Twee willekeurige prisma's op de belending. 3: Situering prisma's (rode punten) & meetbouten (witte punten) t.p.v. Rokin 91 (foto afkomstig uit MOBONZ WebGIS).....	45
Figuur 3.33; Werking van het gebouwmonitoring systeem (Figuur afkomstig van www.solodatagroup.com, Technical information Structure monitoring, CYCLOPS).....	46
Figuur 3.34; Schematische weergave van controle autonome zettingen van de ondergrond m.b.v. waterpassing. De totalstations zijn niet gerefereerd aan de derde zandlaag (Bron: D. Cook et al., 2007, IV).....	47
Figuur 3.35; Schematische weergave van vier netwerken met bijbehorende totalstations met bijbehorende referentiepunten en prisma's (figuur afkomstig uit bron: D. Cook, 2006, XXVIII).....	47
Figuur 3.36; Stroomschema wat leidt tot de deformaties van belending.....	48
Figuur 3.37; Stroomschema met de vraag of belending(deformaties) de grond*- en bouwputdeformaties** beïnvloeden.....	48
Figuur 4.1; Tijdsfad van bouwactiviteiten aan de oostzijde van de toekomstige bouwput.....	50
Figuur 4.2; Tijdsfad van bouwactiviteiten aan de westzijde van de toekomstige bouwput.....	50
Figuur 4.3; Tijdsfad van de bouwactiviteiten tijdens fase 2. De fase 'ontgraven tot NAP -6,3 m wordt in § 4.3.3 specifiek behandeld.....	51
Figuur 4.4; Schematische weergave van de bouwput van station Rokin met meetraaien haaks op de bouwput (figuur afkomstig uit MOBONZ WebGIS).....	52
Figuur 4.5; Schets van grond- en diepwand vervormingen. Met de pijlen zijn de diverse hoogten van de situering van de meetinstrumenten weergegeven. Foto is afkomstig uit bron: M. Korff, 2009, XIV.53	53
Figuur 4.6; Schematische weergave van een verwachtingspatroon van deformaties (diepwand, grond en belending) in de nabijheid van een aan te leggen bouwput. Tevens is het funderingsniveau van de funderingspalen van de belending weergegeven. Alle sheets die in bijlage 9 terug te vinden zijn, zijn op eenzelfde manier opgebouwd.....	55
Figuur 4.7; Meetdata van de maaiveldzakkingen (na de bouwactiviteit voorboren t/m ontgraving NAP -14,8 m) en de verwachtingswaarde van maaiveldzakkingen van projectgebonden Plaxis berekeningen (alleen ontgraving t/m NAP -14,8m) in de grafiek van Peck (1969). De Punten 3a en 3b laten een ander beeld zien dan de verwachting, dit n.a.v. omgevingsbeïnvloeding.....	57
Figuur 4.8; Maaiveldzakkingen volgen niet de literatuur zoals Figuur 4.9; Onderscheid tussen de fundering van de	58
Figuur 4.10; Schematische weergave van deformaties (grond en belending) ter plaatse van de Kalfsvelsteeg tijdens de ontgravingfase. In de figuur zijn de beschreven interpretaties en conclusies	

weergegeven met de rode cijfers. De interpretatie is representatief voor alle meetraaien (overige sheets van de meetraaien zijn terug te vinden in bijlagen 9). Deze weergave is representatief voor fase 1: tot aan de start van de ontgraving en voor fase 2: de ontgraving zelf van de bouwput van station Rokin (tot en met NAP -14,8 m). De groene bouwmuren geven de belending aan de noordzijde van de steeg aan. De zwarte bouwmuren geven de belending aan de zuidzijde van de steeg aan. De aangegeven hoogte van de belending is niet representatief voor de werkelijkheid. De zwarte stippellijn geeft het paalpuntniveau en daarmee de funderingsafdracht van de belendingen weer. 59

Figuur 4.11; Situering belending tussen Wijde Kapelsteeg nr.1 en nr. 3. T.p.v. Wijde Kapelsteeg nr. 2. T.p.v. Rokin 91 60

Figuur 4.12; Schematische weergave van deformaties (grond en belending) ter plaatse van de Wijde Kapelsteeg tijdens de 1^{ste} ontgravingsslag (ontgraving van NAP -3,5 m tot en met NAP -6,3 m). In de schematisatie zijn de beschreven interpretaties weergegeven met de rode cijfers. De interpretatie is niet bewezen voor andere meetraaien. Groene bouwmuren zijn van de belending aan de noordzijde van de steeg. Zwarte bouwmuren zijn de belending aan de zuidzijde van de steeg. 62

Figuur 4.13; Schematische weergave van tijdschema t.a.v. interpretatie van automatische meetinstrumenten. 64

Figuur 4.14; Gemeten deformaties n.a.v. de totale bouwphase voorbereiden. Het betreft de data ter plaatse van de Kalfsvelsteeg maar zijn representatief voor alle meetraaien t.p.v. Rokin. De meetinstrumenten op de belending geven relatief kleine deformaties. Tevens is aangegeven wat voor (grond)materiaal men tijdens het leegboren van de stalen casing van boorpaal nummer 10 op de diverse diepten tegen is gekomen (data afkomstig van 'productierapporten boorpalen' van Franki). De groene bouwmuren geven de belending aan de noordzijde van de stegen weer. De zwarte bouwmuren geven de belending aan de zuidzijde van de stegen aan. De aangegeven hoogte van de belending is niet representatief voor de werkelijkheid. De zwarte stippellijn geeft het paalpuntniveau en daarmee de funderingsafdracht van de belendingen weer. Opgemerkt dient te worden dat met name boorbuis E01 deformaties weergeeft (NAP -12,5 m en dieper) die niet te verklaren zijn. Een mogelijke oorzaak is het uitknikken van de beschembuis van de inclinometers. 66

Figuur 4.15; Gemeten deformaties als gevolg van het boren n.a.v. één boorpaal. Het betreft de deformaties ter plaatse van de Kalfsvelsteeg maar zijn representatief voor alle meetraaien t.p.v. Rokin. De meetinstrumenten op de belending geven niet te analyseren (kleine) deformaties. Tevens is aangegeven wat voor (grond)materiaal men tijdens het leegboren van de stalen casings tegen is gekomen op de diverse diepten (data afkomstig van 'productierapporten boorpalen' van Franki). De groene bouwmuren geven de belending aan de noordzijde van de stegen weer. De zwarte bouwmuren geven de belending aan de zuidzijde van de stegen weer. De aangegeven hoogte van de belending is niet representatief voor de werkelijkheid. De zwarte stippellijn geeft het paalpuntniveau en daarmee de funderingsafdracht van de belendingen weer. 67

Figuur 4.16; Visuele weergave van diverse fasen tijdens het installeren van één boorpaal met de bijbehorende belending- en gronddeformaties. 68

Figuur 4.17; Visuele weergave van de oorzaken van de horizontale gronddeformaties die optreden tijdens het inbrengen van de stalen casing (foto afkomstig uit dagrapporten dagelijks toezicht NoordZuidlijn). 69

Figuur 5.1; Stroomschema wat leidt tot de deformaties van belending. 70

Figuur 5.2; Stroomschema met de vraag of belending(deformaties) de grond- * en bouwputdeformaties ** beïnvloeden. 70

Figuur 5.3; Meetdata van de maaiveldzakkingen (na de bouwactiviteit voorbereiden t/m ontgraving NAP -14,8 m) en de verwachtingswaarde van maaiveldzakkingen van projectgebonden Plaxis berekeningen (t/m ontgraving NAP -14,8m) in de grafiek van Peck (1969). De Punten 1 en 2 laten een ander beeld zien dan de verwachting, dit n.a.v. omgevingsbeïnvloeding. 71

Figuur 5.4; Schematische weergave van tijdschema t.a.v. interpretatie van automatische meetinstrumenten. 72

Figuur 5.5; Schematische weergave van grond- en belendingdeformaties n.a.v. de totale bouwphase voorbereiden. Tevens zijn de oorzaken van de horizontale gronddeformaties visueel weergegeven (foto afkomstig uit dagrapporten dagelijks toezicht NoordZuidlijn). 74

Tabellen

Tabel 3.1; Geologische tijdschaal van het Kwartair met bijbehorende formaties en grondlagen (bron: S.F. Frankenmolen, 2006, VI)	18
Tabel 3.2; Schematisatie laagopbouw t.p.v. Kalfsvelsteeg afgeleid van sondering 3223S, zie voor de sondering en situering bijlage 2 (Bron Laagopbouw: K. de Jong, 2008, XXXI).....	20
Tabel 3.3; Overzicht minimale en maximale stijghoogte van BGT in de bouwfase van de watervoerende lagen (Bron stijghoogte: S.F. Frankenmolen et al., 2007, II).....	20
Tabel 3.4; Tijdsfad bouwactiviteiten t.p.v. doorsnede Kalfsvelsteeg, bouwfase 1 oost zijde bouwput (totale bouwijd 09-07-'03 tot 21-11-'03).....	27
Tabel 3.5; Tijdsfad bouwactiviteiten t.p.v. doorsnede Enge/ Wijde Kapelsteeg, bouwfase 2 west zijde bouwput (totale bouwijd 20-12-'04 tot 11-02-'05).	27
Tabel 3.6; Classificeren funderingen van belending. Classificatie afkomstig van de stad Amsterdam.	30
Tabel 3.7; Stegen die meetinstrumenten bevatten ter plaatse van het toekomstige station Rokin. Tevens zijn de afstanden van de panden en de situering van de extenso- & inclinometers tot het hart van de diepwand weergegeven (bron: K. De Jong et al., 2008, XXXI).....	39
Tabel 4.1; Resultaten n.a.v. bijlage 10.5. Belendingdeformaties n.a.v. twee verschillende bouwactiviteiten. Een positieve x richting betekent deformaties van de werkzaamheden af. De belendingdeformaties n.a.v. voorboren zijn representatief voor alle belendingen naast de bouwput van Rokin.	65
Tabel 5.1; Belendingdeformaties n.a.v. twee verschillende bouwactiviteiten. Een positieve x richting betekent deformaties van de werkzaamheden af. De belendingdeformaties n.a.v. voorboren zijn representatief voor alle belendingen naast de bouwput van Rokin.....	73

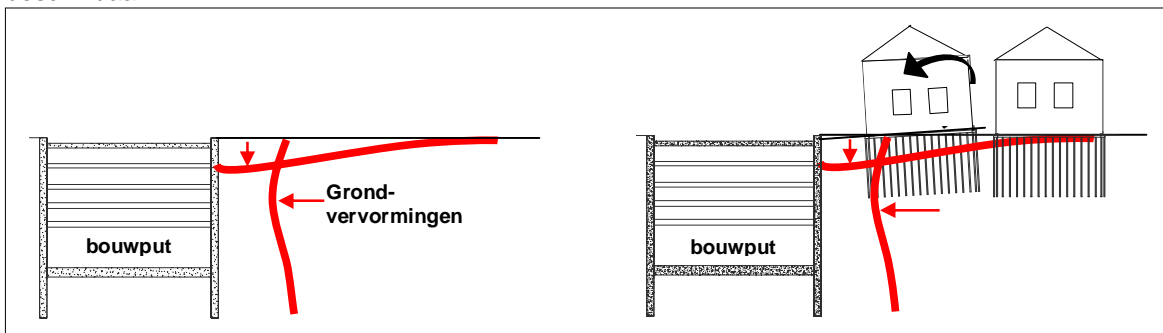
1 Inleiding

In deze inleiding van het hoofdrapport worden achtereenvolgens de aanleiding, doelstelling en structuurbeschrijving van dit onderzoek gegeven. De aanleiding geeft aan waarom dit onderzoek van belang is en waarom dit onderzoek nu plaats vindt. In de doelstelling wordt de hoofdvraag van dit onderzoek gegeven en de manier waarop deze vraag beantwoord gaat worden met de daarbij behorende randvoorwaarden. De structuurbeschrijving is de leeswijzer van dit onderzoek.

1.1 Aanleiding

1.1.1 Achtergrondinformatie

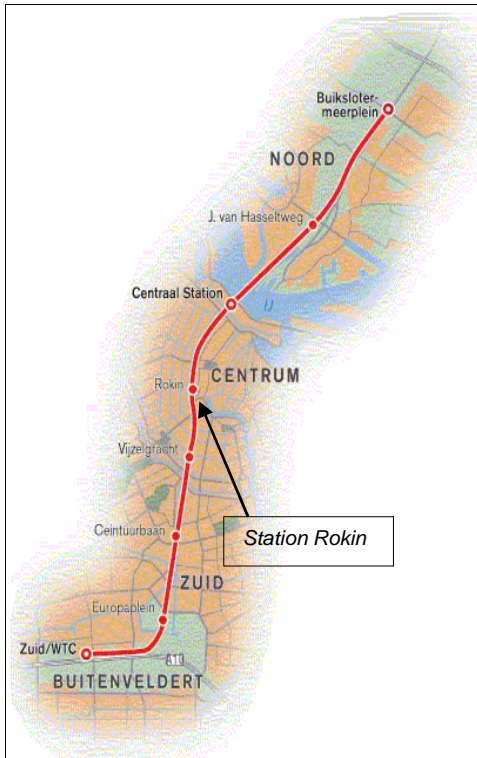
Bij de aanleg van bouwputten treden grondvervormingen op. Grondvervormingen naast een bouwput treden op in horizontale en verticale richting ter plaatse van diverse diepten. Voor een schematische weergave wordt verwezen naar Figuur 1.1. Hoe groter de afstand tot aan de bouwput hoe minder deformaties er optreden. Eén van de mogelijkheden om gronddeformaties naast aan te leggen bouwputten te voorspellen is om eerder geïnterpreteerde meetdata van gronddeformaties naast gerealiseerde bouwputten te bestuderen. In het verleden zijn studies verricht naar grondvervormingen die optreden naast diepe bouwputten. Aan de hand van deze studies zijn voorspellingsmodellen opgesteld. Er zijn dus meerdere voorspellingsmethoden in de vorm van grafieken opgesteld en beschikbaar.



Figuur 1.1; 1: Grondvervormingen in een 'green field' situatie. 2: Grondvervormingen met omgevingsaspecten (belending) zoals bij de NoordZuidlijn het geval is.

De NoordZuidlijn wordt de toekomstige metroverbinding van Noord Amsterdam naar Zuid Amsterdam (zie Figuur 1.2). De metrolijn gaat het historische deel van de binnenstad doorkruisen en wordt hier ondergronds aangelegd. Tevens wordt een deel van de lijn bovengronds aangelegd. Ter plaatse van het historische gedeelte van de stad bevat de NoordZuidlijn drie diepe ondergrondse stations. Te weten station Ceintuurbaan, Rokin en Vijzelgracht.

Dit onderzoek heeft alleen betrekking op de diepe bouwput voor het toekomstige station Rokin (zie Figuur 1.4). Dit vanwege specifieke bouwactiviteiten die bij andere stations niet of nauwelijks toegepast zijn. Station Rokin is tijdens de bouwphase ongeveer 200 meter lang, 25 meter breed en 25 meter diep. De bouwput is op enkele meters van de historische en karakteristieke belending gesitueerd (zie Figuur 1.3). Als basis van dit onderzoek worden de volgende bronnen aangehouden; M. Korff, 2009, XIV & M. Korff et al., 2010, XII. In deze onderzoeken is algemene informatie over de NoordZuidlijn en specifieke informatie betreffende station Rokin terug te vinden.



Figuur 1.3; Typische historische belending (belending gelegen aan de oostzijde van het toekomstige station Rokin t.p.v. de Kalfsvestee).

Figuur 1.2; Situering NoordZuidlijn in Amsterdam met de stations en nadrukkelijk station Rokin aangegeven (figuur afkomstig van bron: M. Korff, 2009, XIV).

Voorafgaand aan de bouw van station Rokin heeft het adviesbureau van de NoordZuidlijn in het onderzoek: R.P. Roggeveld et al., 2009, XXVI gronddeformaties voorspelt. Dit betreffen 'green field' zettingspredicties. Deze predicties zijn afkomstig van plaats specifieke omstandigheden en bestaande voorspellingsmethoden. Tijdens de aanleg van station Rokin omschrijft het adviesbureau van de NoordZuidlijn in zogenaamde statusrapporten geconstateerde grondvervormingen die op zijn getreden tijdens de diverse bouwfases bij de bouwputten in Amsterdam.

Na iedere bouwfase wordt bekeken of de op voorhand geschatte vervormingen zijn opgetreden. Aan de hand van de statusrapporten worden conclusies getrokken voor het verdere verloop van de bouwactiviteiten. Het kan bijvoorbeeld van belang zijn, bouwactiviteiten aan te passen omdat anders onacceptabele vervormingen op gaan treden bij voortzetting van het werk.

Het is daarom van essentieel belang dat de op voorhand geschatte grondvervormingen een acceptabele indicatie geven. Met als gevolg minder aanpassingen tijdens het bouwproces.



Figuur 1.4; Langsdoorsnede van station Rokin gekeken naar de belending die gesitueerd is aan de oostzijde van het station (bron; Benthem Crouwel Architects).

1.1.2 Probleem

Geven onderzoeken uit bestaande literatuur een correcte weergave van de werkelijke grondvervormingen (per bouwactiviteit) die op gaan treden? Een 'green field' omgeving en bijbehorend gronddeformatiepatroon is weergegeven in Figuur 1.1.1. Echter is van een 'green field' situatie in een historische binnenstad van Amsterdam helemaal geen sprake. Belending en de funderingspalen van de belending zijn in de omgeving terug te vinden. Figuur 1.1.2 geeft een schematische visualisatie van de werkelijke situatie ter plaatse van de NoordZuidlijn. Is de 'omgeving' (zoals aanwezige belending) in dergelijke grondvervormingsgrafieken niet van belang?

1.1.3 Belang

Nu worden bij voorspellingen ten aanzien van bouwputten 'green field' grondvervormingsgrafieken gebruikt. Echter als de omgeving van belang is bij grondvervormingen naast aan te leggen bouwputten, kan hiermee rekening worden gehouden tijdens het opstellen van de ontwerpen. Met als gevolg dat er dus eventuele aanpassingen in het bouwproces bespaard kunnen worden.

Onderzoek naar de gronddeformaties in combinatie met de omgeving naast aan te leggen bouwputten is dus op zijn plaats. In het verleden zijn al internationale onderzoeken in de vorm van grondvervorming-voorspellingen gepresenteerd. Echter optimalisatie en validatie voor Nederlandse omstandigheden en aanvulling van kennisleemte ten behoeve van voorspellingen is gewenst.

De NoordZuidlijn is bij uitstek een plaats waar een dergelijk onderzoek plaats kan vinden. Het komt namelijk zelden voor dat bij een bouwproject zoveel meetinstrumenten in de grond aangebracht zijn zoals in Amsterdam bij de NoordZuidlijn het geval is. Meetinstrumenten die horizontale en verticale metingen op diverse diepten in de grond uitvoeren. De vrijgekomen monitoringsgegevens bieden een schat aan mogelijkheden voor analyse van de gronddeformaties. Een grote hoeveelheid en diversiteit aan data geeft mogelijkheden ten aanzien van interpretatie. Met deze interpretatie is het mogelijk de kennisleemtes ten aanzien van de grondvervormingen naast bouwputten te verkleinen.

1.2 Doelstelling

1.2.1 Hoofdvraag

Is de omgeving van invloed op het grondvervormingsgedrag (zowel horizontale- als verticale grondvervormingen van het grondmassief) naast aan te leggen bouwputten?

1.2.2 Werkwijze

De hoofdvraag wordt in dit onderzoek beantwoord door de volgende stappen uit te voeren:

- Literatuurbeschrijving van voorspellingsmethoden voor grondmassief vervormingen;
- Uitvoeringswijze bouwput beschrijven;
- Specifieke omstandigheden van de bouwput en omgeving onderzoeken;
- Uitkomsten van bestaande berekeningen en literatuur vergelijken met resultaten van metingen;
- Afwijkingen tussen metingen en voorspellingen verklaren.

1.2.3 Randvoorwaarden

Ten aanzien van de grondvervormingen die optreden bij het maken van bouwputten, is het helaas niet mogelijk om tijdens deze afstudeerperiode alle facetten te bestuderen. Daarom zijn een aantal grenzen opgesteld:

- Het onderzoek richt zich alleen op Nederlandse omstandigheden, zowel ten aanzien van grondopbouw, omgeving (belendingen) als bouwputconstructies;

- Er wordt alleen gewerkt met rechthoekige symmetrische bouwputten met enige omvang, zoals station Rokin. Onder bouwputten met enige omvang wordt verstaan; bouwputten vervaardigd met diepwanden, meerdere lagen stempels en een jetgroutstempel. Bouwputten anders gemaakt dan met behulp van de wanden-dakmethode worden niet behandeld;
- Eventuele specifieke eigenschappen van deformaties die aanwezig zijn in de hoeken van de bouwput, vallen buiten het bereik van dit onderzoek;
- Externe invloeden zoals grondwaterstandveranderingen, grondwaterstromingen en spanningswater in de omgeving worden niet meegenomen;
- Grondspanningseffecten die in de bouwput optreden, zoals zwel van de bouwputbodem, vormen geen onderdeel van deze studie;
- Onvoorziene calamiteiten in, op of rond de bouwput worden niet meegenomen.

1.3 Structuurbeschrijving

De verslaglegging van dit onderzoek is opgebouwd uit dit hoofd rapport en bijlagen. Een omschrijving van de bevindingen en bijbehorende conclusies zijn terug te vinden in dit hoofd rapport. Onderbouwingen van de beschrijvingen uit het hoofd rapport zijn terug te vinden in de bijlage. De onderdelen die in het hoofd rapport aan bod komen hebben allemaal betrekking op station Rokin van de NoordZuidlijn. De indeling van dit onderzoek is uit de volgende onderdelen opgebouwd; een literatuurstudie, een casestudie plus een analyse van station Rokin en conclusies & aanbevelingen.

De literatuurstudie van dit onderzoek is terug te vinden in hoofdstuk 2. In de literatuurstudie komen diverse onderzoeken naar aanleiding van gronddeformaties naast bouwputten aan bod, te weten:

- 'Green field' gronddeformaties;
- Berekeningen van grondvervormingen bij station Rokin gemaakt m.b.v. computere modellen.

Om de beschreven literatuur te kunnen vergelijken met de meetdata van een project wordt in hoofdstuk 3 een studie betreffende station Rokin te Amsterdam uitgevoerd. De volgende punten komen aan bod:

- Inleiding;
- Bodemopbouw;
- Toegepaste bouwmethode;
- Constructieonderdelen van de bouwput;
- Bouwactiviteiten;
- Monitoring.

Naar aanleiding van de literatuurstudie volgen grafieken waarmee grondvervormingen kunnen worden voorspeld. Samen met de bestaande computerberekeningen en de specifieke eigenschappen van station Rokin zoals beschreven in hoofdstuk 3, kan een vergelijking met de meetdata opgesteld worden. Deze vergelijking vindt plaats in hoofdstuk 4. De meetdata wordt geanalyseerd en bestaat uit meerdere onderdelen, te weten:

- Er wordt onderscheid gemaakt in 2 bouwfasen. Te weten, fase 1; tot aan de start van de ontgraving en fase 2; de ontgraving van de bouwput (tot NAP -14,8 m);
- Deze verschillende bouwfasen worden geanalyseerd aan de hand van drie meettraaien ter plaatse van het station;
- Hierbij worden de grondvervormingen opgesplitst in horizontale en verticale vervormingen;
- Deze horizontale en verticale vervormingen worden ter plaatse van het maaiveld, eerste zandlaag en tweede zandlaag geanalyseerd.

Na deze analyse wordt de meetdata vergeleken met de literatuur en bestaande berekeningen. Hoofdstuk 5 van dit rapport beantwoordt de hoofdvraag van dit rapport in de vorm van overall conclusies. Ook worden aanbevelingen gegeven voor nader onderzoek. Tevens worden aandachtspunten t.a.v. de bouwactiviteit voorbereiden besproken.

2 Literatuurstudie

2.1 Inleiding

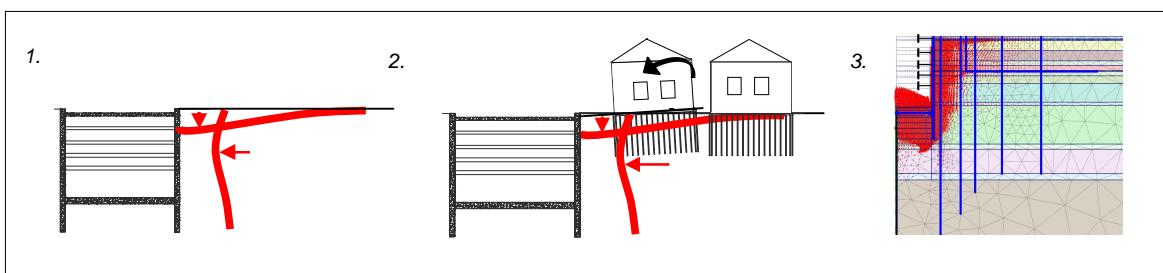
In het verleden is internationaal al veel onderzoek gedaan naar de grondvervormingen naast bouwputten. Dit om vervormingen van het grondmassief te kunnen voorspellen. De onderzoeken zijn door verschillende onderzoekers opgesteld aan de hand van empirische gegevens en analytische modellen. Het gaat hierbij om onderzoeken naar grondvervormingen van het grondmassief met slappe grondsoorten, calamiteiten zijn hierbij niet inbegrepen.

Er bestaan dus diverse onderzoeken bestaande uit onder andere grafieken, waarmee schattingen van voorspellingen van de gronddeformaties naast bouwputten gemaakt kunnen worden. Om naar te gaan of bepaalde grafieken aangepast en of verbeterd kunnen worden zoals aangegeven in hoofdstuk 1, worden eerst de onderzoeken die van belang zijn in dit hoofdstuk omschreven. Onderwerpen en onderzoeken die ten aanzien van dit rapport van belang zijn:

- 'Green field' gronddeformaties in een 2D situatie haaks op de bouwput (zie figuur 2.1.1 en § 2.2). In bron: M. Korff, 2009, XIV zijn de meeste onderzoeken die van belang zijn voor deze studie omschreven. Dit onderzoek dient dan ook als basis voor deze studie.
- Invloed van de 'omgeving' zoals panden en de funderingen van deze panden (zie figuur 2.1.2). De invloed van de omgeving is van diverse factoren afhankelijk. Er kan een onderverdeling gemaakt worden in:
 1. Stijfheid bovenbouw:
 - Buigen;
 - Kantelen;
 - Schranken.
 2. Stijfheid grondlagen in combinatie met de fundering (positieve/ negatieve kleef);

Ook voor dit onderdeel is bron: M. Korff, 2009, XIV één van de basisdocumenten.

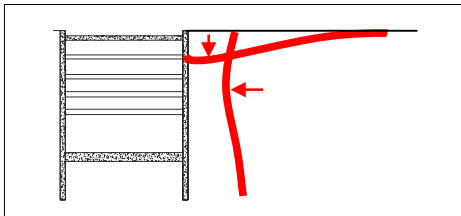
Schattingen van de vervormingen kunnen met de voorspellingsgrafieken gemaakt worden. Tevens kunnen met behulp van Eindige-Elementen-Modellen (EEM), plaats specifieke relatief nauwkeurige voorspellingen van grondverplaatsingen naast de bouwput gemaakt worden. Zie Figuur 1.1.3 voor een voorbeeld van een visualisatie van een Plaxis berekening). Deze voorspellingen zijn tijdens de ontwerpfase gemaakt door Adviesbureau NoordZuidlijn. De analyse is gepresenteerd in: R.P. Roggeveld et al., 2009, XXVI. De representatieve berekeningen worden in deze § 2.3 omschreven.



Figuur 2.1; 1: Grondvervormingen in een 'green field' situatie (zie § 2.2). 2: Grondvervormingen met omgevingsaspecten zoals in dit geval belending. 3: Een voorbeeld van een visualisatie van EEM, wat uitgevoerd wordt in de ontwerpfase.

2.2 'Green field' gronddeformatie

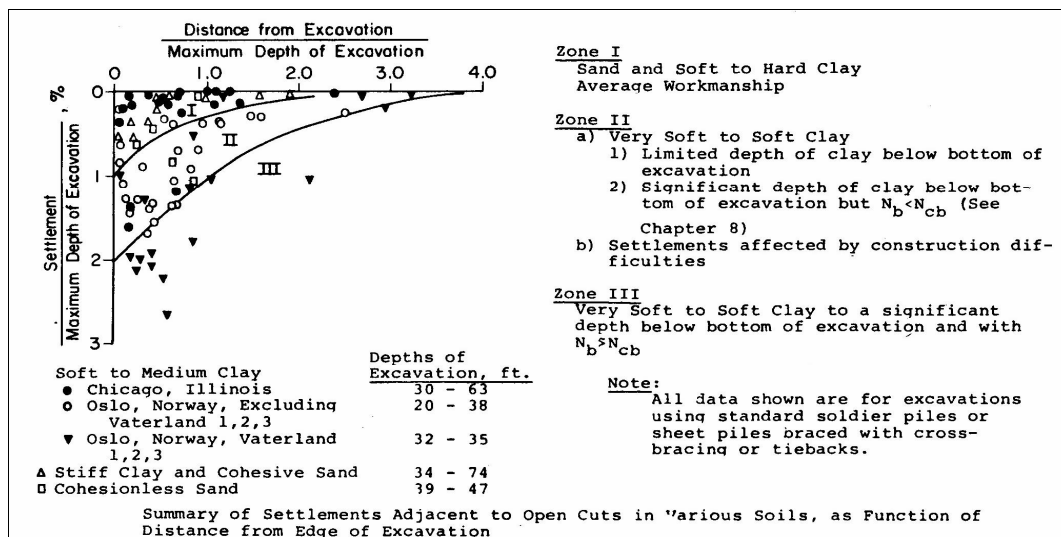
Wanneer tijdens de ontwerpfase zowel horizontale als verticale grondvervormingen voorspeld moeten worden kan dit bepaald worden aan de hand van berekeningen met Eindige-Elementen-Modellen. Een programma dat geschikt is om grondvervormingen te analyseren is Plaxis. Echter is het tijdens de ontwerpfase van belang schattingen te kunnen maken van de grondvervormingen. Het schatten kan gebeuren met behulp van empirische modellen. Deze modellen zijn opgesteld en kunnen relatief snel afgelezen worden in grafieken. Diverse onderzoekers hebben tot heden gronddeformaties op diverse manieren geanalyseerd en in relaties met de diepte van de put en afstand tot de grondkering omgezet. In deze deelparagraaf worden de onderzoeken, die van belang zijn voor dit rapport, nader omschreven. Het betreffen hier alleen grondvervormingen in een 'green field' situatie zoals weergegeven in Figuur 2.2 (dus situatie zonder gebouwen etc.). Achtereenvolgens worden de onderzoeken van Peck (1969), Goldberg et al. (1976), Clough en O'Rourke (1990), Long (2001), Ch. Moormann & H.R. Moormann (2002) en van Van Dijk (2003) geanalyseerd.



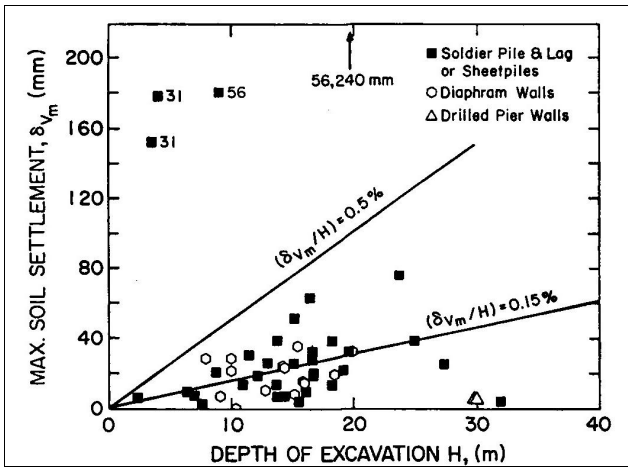
Figuur 2.2; Grondvervormingen in een 'green field' situatie.

2.2.1 Peck (1969)

Peck was één van de eersten die maaivelddeformaties naast een bouwput heeft geanalyseerd. Op empirische wijze heeft Peck een grafiek opgesteld waarmee de zettingen van het maaiveld worden uitgezet ten opzichte van de afstand tot de ontgraving. Beide waarden zijn gedeeld door de ontgravingsdiepte (zie Figuur 2.3).

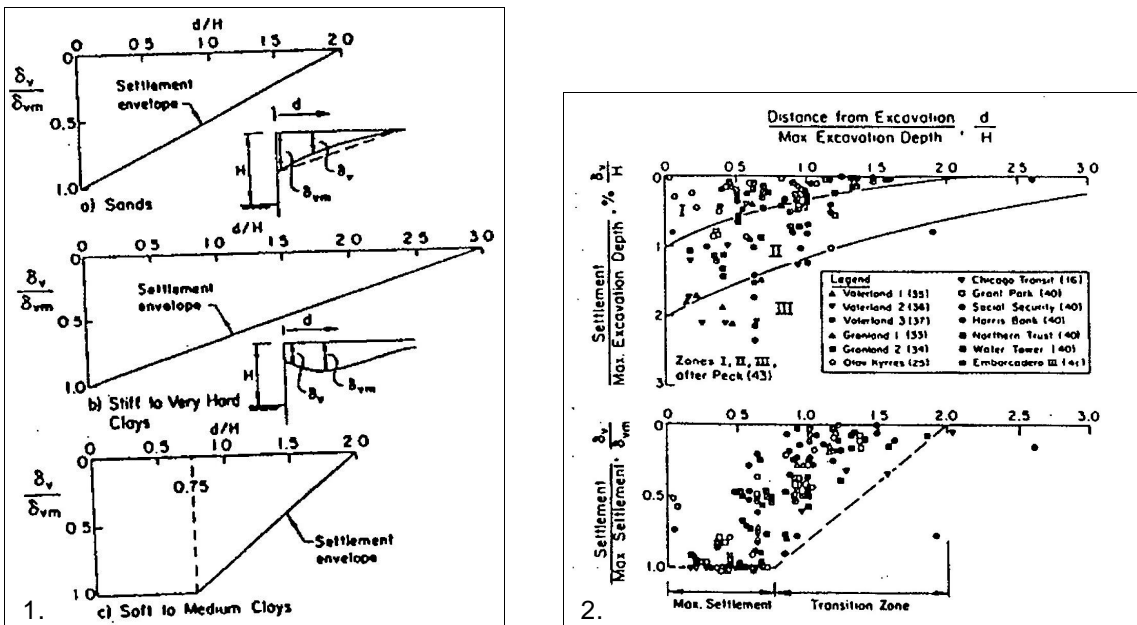


Figuur 2.3; In de grafiek is op de verticale as de verticale gronddeformatie ter plaatse van het maaiveld gedeeld door de ontgraving diepte weergegeven. De horizontale as geeft de afstand tot aan de bouwput gedeeld door de te ontgraven diepte weer. Beide waarden zijn dimensieloos. Tevens is de grafiek in drie zones verdeeld. Met behulp van deze zones kan er een indeling van diverse grondsoorten gemaakt worden. Figuur is afkomstig uit bron: Peck, 1969, XIII.



Figuur 2.5; Maximale geobserveerde verticale gronddeformaties [mm] t.o.v. de afstand tot de bouwput [m] bij bouwputten met grondgevoerde wanden.

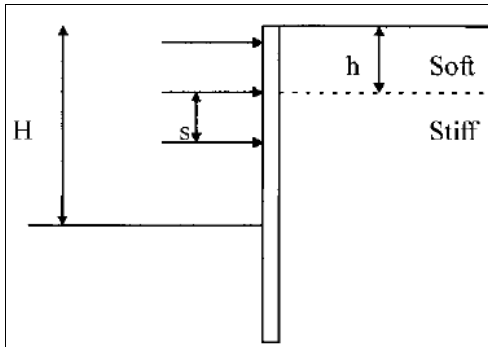
Dimensieloze grondvervorming profielen als basis voor verticale deformaties naast ontgravingen in zand, stevige tot harde klei en slappe klei zijn weergegeven in Figuur 2.6.1. Met deze grafieken is de vorm van de zettingstrog dimensieloos weergegeven. Figuur 2.6.1. c betreft de meest representatieve grondsoort die aangetroffen wordt in West-Nederland. Echter zijn deze grafieken enkel en alleen gebaseerd op de ontgravingfase en niet op installatie effecten etc. Figuur 2.6.2 geeft een overzicht van 41 metingen ten aanzien van grondvervormingen van projecten met diepwanden in slappe kleigronden. De meetgegevens zijn in de grafiek van Peck (zie § 2.2.1) verwerkt. Een aantal nieuwe cases is toegevoegd aan de cases van Peck, 1969, XIII. Echter zijn er geen verbeterlagen ten aanzien van de originele grafiek van Peck te herkennen.



Figuur 2.6; 1: Dimensieloze zettingprofielen voor het afschatten van zettingen naast ontgravingen in diverse grondsoorten. 2: Gemeten zettingen naast ontgravingen in slappe klei.

2.2.4 Long (2001)

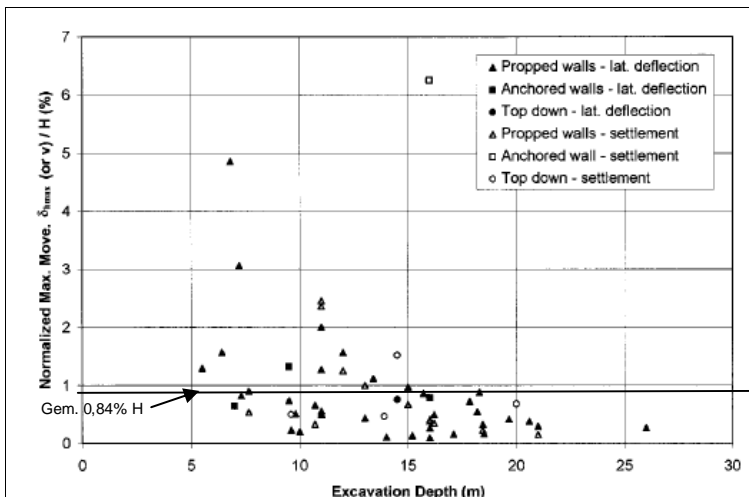
Long heeft een database van 296 cases van wand- en grondverplaatsingen ter plaatse van diepe ontgravingen onderzocht. In het onderzoek zijn diverse categorieën aangebracht ten aanzien van dikte van slappe grondlagen en wat voor grondsoort ter plaatse van het ontgravingniveau aangetroffen wordt. Voor dit onderzoek is 'Cat 2b' van toepassing (zie Figuur 2.7). De categorie betekent $h > 0,6 H$ (h is de dikte van de slappe lagen en H is de ontgravingdiepte). En het gaat hier om de 'wandendak methode'.



Figuur 2.7; Schematische weergave van symbolen die behoren bij Cat. 2b.

Long trekt de volgende conclusies:

- De maximale horizontale wandverplaatsing u_h^{\max} is gemiddeld 0,84% H (ontgravingdiepte). Dit getal is afgeleid uit 35 verschillende cases (naar aanleiding van Figuur 2.8);
- De maximale verticale grondverplaatsing u_v^{\max} naast de wand is gemiddeld 0,8% H . Dit getal is afgeleid uit 13 verschillende cases.

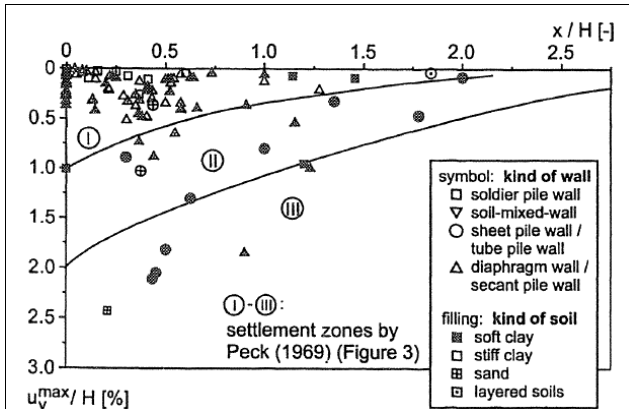


Figuur 2.8; Horizontale verplaatsingen ten opzichte van ontgravingdiepte [m].

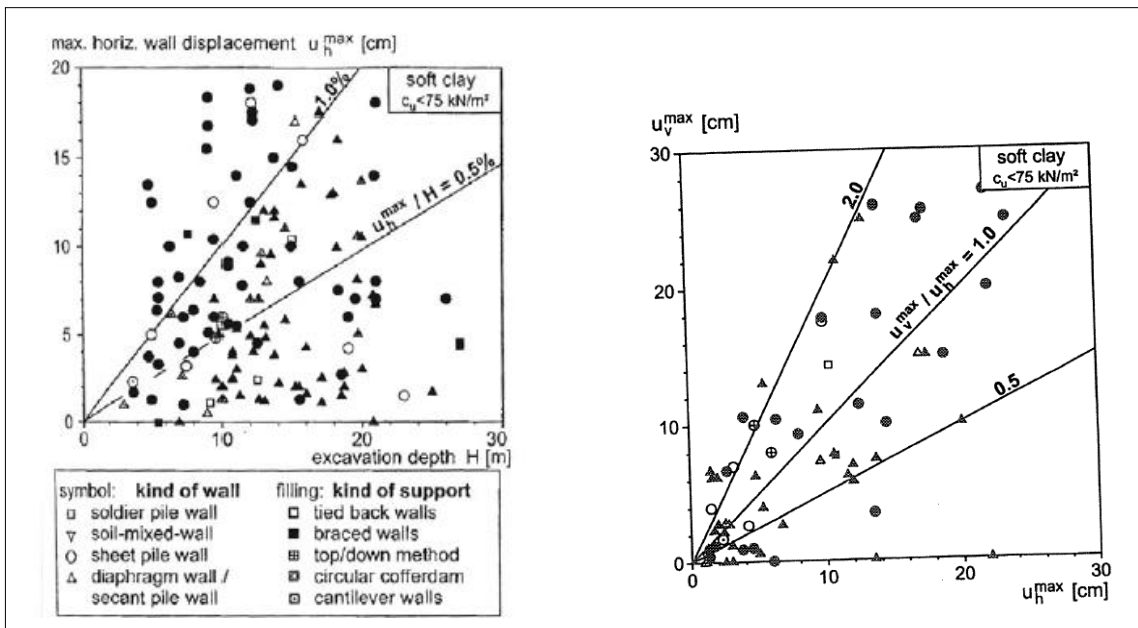
2.2.5 Ch. Moormann & H.R. Moormann (2002)

Ch. Moormann & H.R. Moormann hebben 536 internationale cases van diepe ontgravingen van zachte gronden (c_u (=ongedraineerde schuif sterkte) $\leq 75 \text{ kN/m}^2$) geanalyseerd. Hiervan zijn 300 cases in de periode van 1991-2001 geanalyseerd. Hierbij is gekeken naar grond, grondwater, geometrie bouwput, afstempeling en ontgravingmethode. Op empirische wijze is bepaald welke

parameters invloed uitoefenen op de vervormingen bij diepe bouwputten. Specifiek is gekeken naar de relatie tussen grondverplaatsingen, wandverplaatsingen, soort constructie en ontgravingsmethode. De nieuwe data is gepresenteerd in de grafiek met zones van Peck (Peck, 1969, XIII) zie Figuur 2.9. In deze figuur is te zien dat de vervormingen kleiner zijn dan in de grafiek van Peck (zie Figuur 2.9) gepresenteerd wordt. Er zijn in 'soft clay' vervormingen gevonden die in de lijn der verwachting van Peck liggen. Tevens zijn de maximale horizontale en verticale verplaatsingen ten opzichte van de ontgravingsdiepte uitgezet in grafieken, zie figuur 2.10.



Figuur 2.9; Maximale verticale u_v^{max} [cm] verplaatsing t.o.v. de ontgravingsdiepte H [m] in vergelijking met de afstand t.o.v. de afstand tot aan de bouwput in de grafiek van Peck (Peck, 1969, XIII) met de zones t.a.v. diverse grondsoorten.



Figuur 2.10; Maximale horizontale u_h^{max} [cm] en verticale u_v^{max} [cm] verplaatsing t.o.v. de ontgravingsdiepte H [m].

Conclusies van Ch. Moormann & H.R. Moormann zijn;

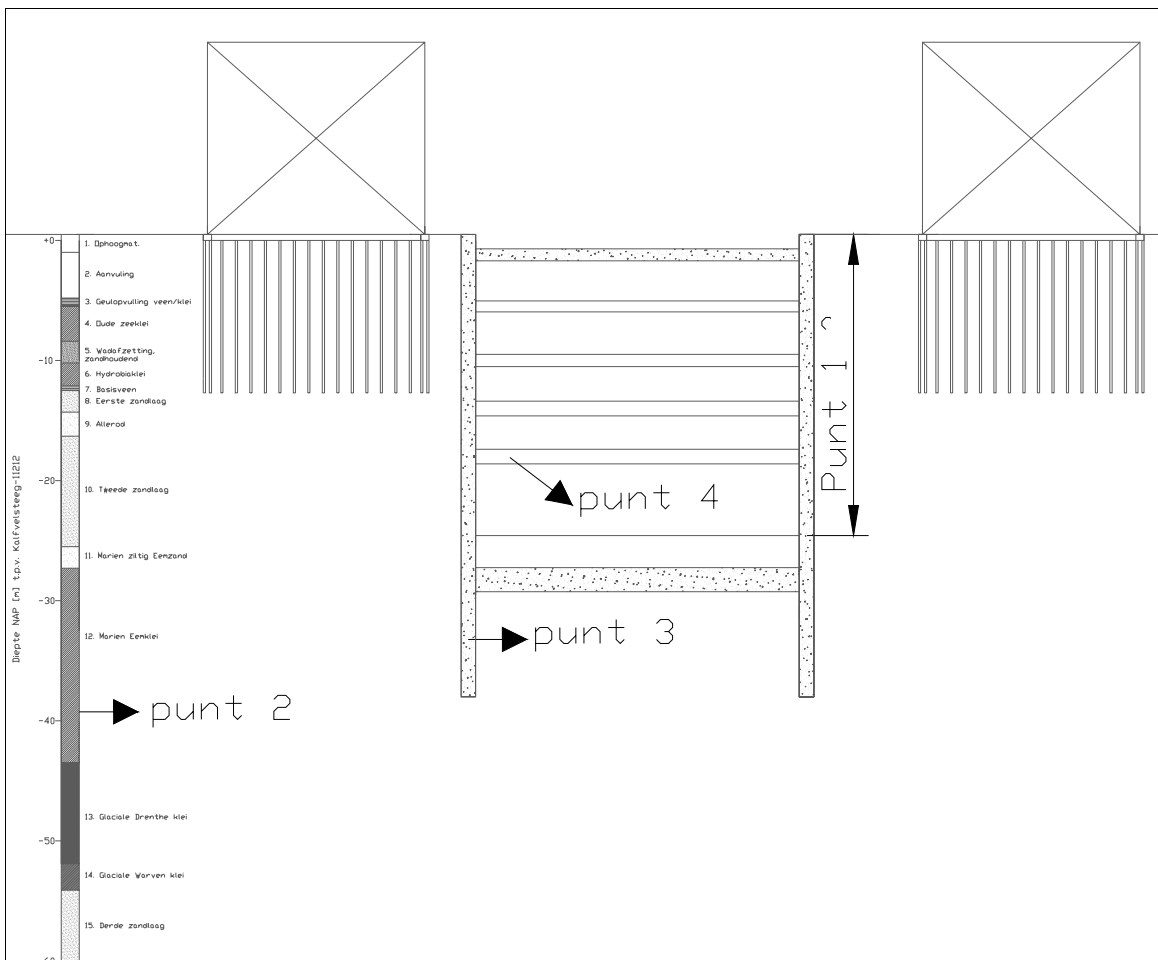
- De maximale horizontale wandverplaatsing u_h^{max} is gemiddeld 0,87% H (ontgravingsdiepte). De maximale horizontale verplaatsing is meestal gemeten op een diepte van 0,5 H tot 1,0 H beneden maaiveld;

- De maximale verticale grondverplaatsing u_v^{\max} naast de wand is gemiddeld 1,1% H. De maximale verticale verplaatsing is meestal gemeten op een afstand van $\leq 0,5 H$ van de wand. Echter zijn er ook cases met afstanden tot 2,0 H;
- Er is geen empirische invloed van soort afstempelsysteem en onderlinge afstand tussen de stempels bij diepe bouwputten op de horizontale wandverplaatsing te herkennen.

2.2.6 Van Dijk (2003)

Aan de hand van Nederlandse omstandigheden geeft Van Dijk tijdens de initiatieffase een schatting voor het grondvervormingsprofiel naast een bouwput. Onder Nederlandse omstandigheden wordt een 'slappe' bodem met een hoge grondwaterstand verstaan. De schatting is afhankelijk van diverse factoren die van belang zijn tijdens de ontgraving. Van Dijk geeft aan met de volgende punten een schatting te kunnen maken (zie Figuur 2.11 voor een schematische weergave):

1. Ontgravingsdiepte;
2. Een globaal grondprofiel;
3. Type wand;
4. Toegepaste ondersteuning.



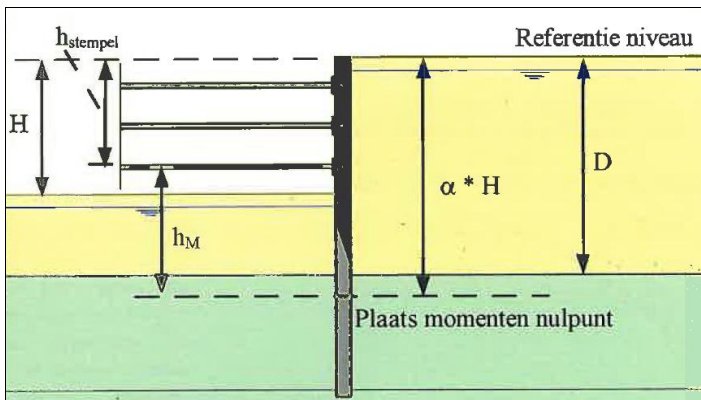
Figuur 2.11; Vier punten waarmee Van Dijk een schatting van de gronddeformatie van het grondprofiel naast de bouwput tijdens de initiatieffase maakt.

Van Dijk stelt dat er een relatie bestaat tussen de systeemstijfheid en de maximale horizontale wandverplaatsing.

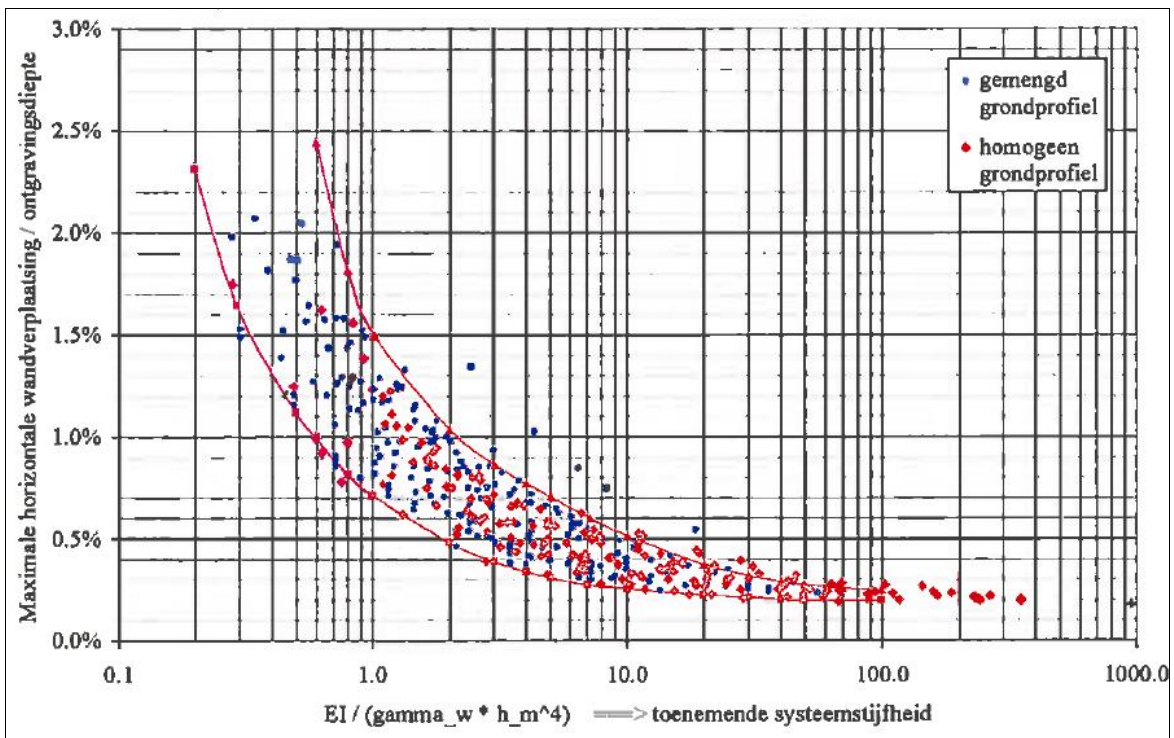
$$\text{Systeemstijfheid} = \frac{\text{Wandstijfheid (EI)}}{\text{Soortelijkgewicht } (\gamma_w) * \text{invloedslengte } (h_m)}$$

Voor een visualisatie van de invloedslengte wordt verwezen naar Figuur 2.12.

De systeemstijfheid kan uitgezet worden ten opzichte van de horizontale wandverplaatsing als percentage van de ontgravingsdiepte (zie Figuur 2.13). Aan de hand van de horizontale wandverplaatsing (van een damwand) kan met behulp van de grafieken van Figuur 2.6.1. van Clough & O'Rourke een dimensieloos zettingsprofiel opgesteld worden.



Figuur 2.12; Definitie van de invloedslengte (h_m).



Figuur 2.13; Diagram voor schatting van de maximale horizontale wandverplaatsing.

2.3 Gronddeformaties m.b.v. EEM bij station Rokin t.g.v. ontgraven

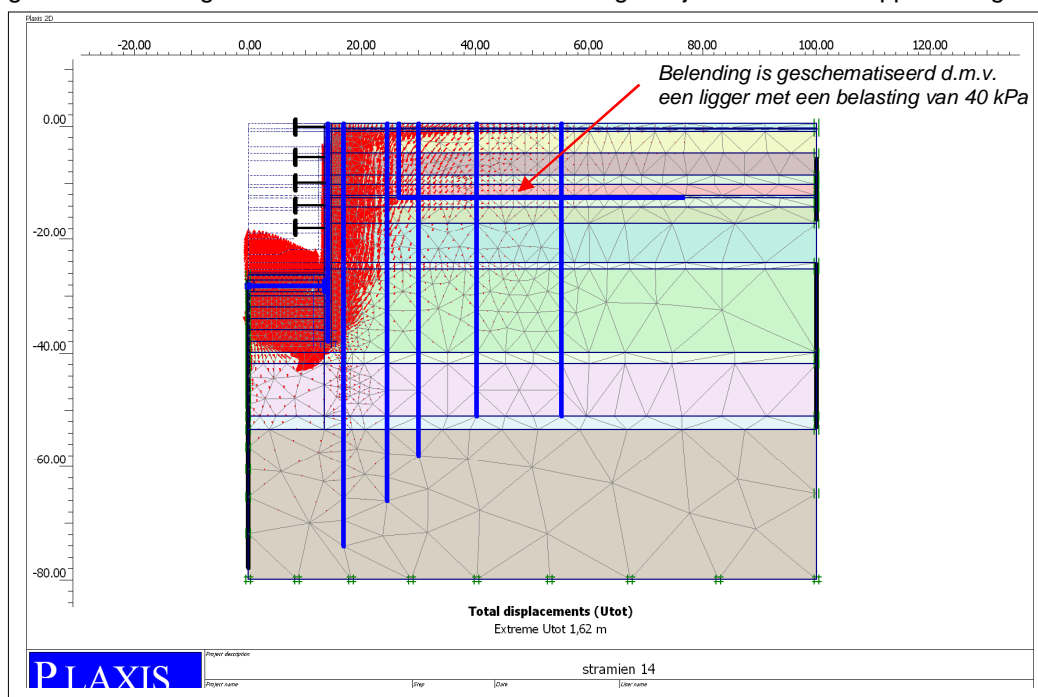
De grafieken en verwachtingen uit § 2.2 geven alleen een verwachting van de horizontale- en verticale grondvervormingen naast een bouwput. Echter geven tijdens de ontwerpfase, zoals ook bij de NoordZuidlijn, de grafieken een schatting maar is dit zeker niet voldoende om na te gaan of de vervormingen binnen de gestelde vervormingseisen vallen. Met behulp van geavanceerde computerberekeningen is het mogelijk een projectgerichte voorspelling te maken.

2.3.1 Eindige-Elementen-Modellen (EEM)

Met behulp van Eindige-Elementen-Modellen is het mogelijk voorspellingen te maken van de grondverplaatsingen. Met een dergelijk programma is het mogelijk de gehele geometrie van de grond met alle objecten die zich daarop of in bevinden te schematiseren. Zie Figuur 2.14 voor een schematische weergave van station Rokin. Deze schematisatie wordt gemaakt door een verdeling in elementen waartussen een relatie bestaat in de vorm van spanningen en vervormingen. Het vervormingsgedrag van de grond kan geanalyseerd worden omdat lineair-elastische of niet lineair-elastische modellen voor het spanning-rekgedrag van diverse grondsoorten beschikbaar zijn.

De nauwkeurigheid van het model is afhankelijk van de invoer van diverse materiaalparameters en de manier waarop het elementenmodel is opgebouwd.

Een Eindige-Elementen-Modellen programma dat in staat is grondvervormingen naast een bouwput te voorspellen is het computerprogramma 'Plaxis'. Met dit programma zijn door Adviesbureau NoordZuidlijn berekeningen tijdens de ontwerpfase gemaakt. De berekeningen van station Rokin zijn gepresenteerd in; R.P. Roggeveld et al., 2009, XXVI. Keuzes ten aanzien van modellering, de gebruikte fasering en de resultaten van de berekeningen zijn tevens in dit rapport terug te vinden.



Figuur 2.14; Schematische weergave van station Rokin met diverse grondlagen en een situering van de omgeving zoals de panden en meetinstrumenten.

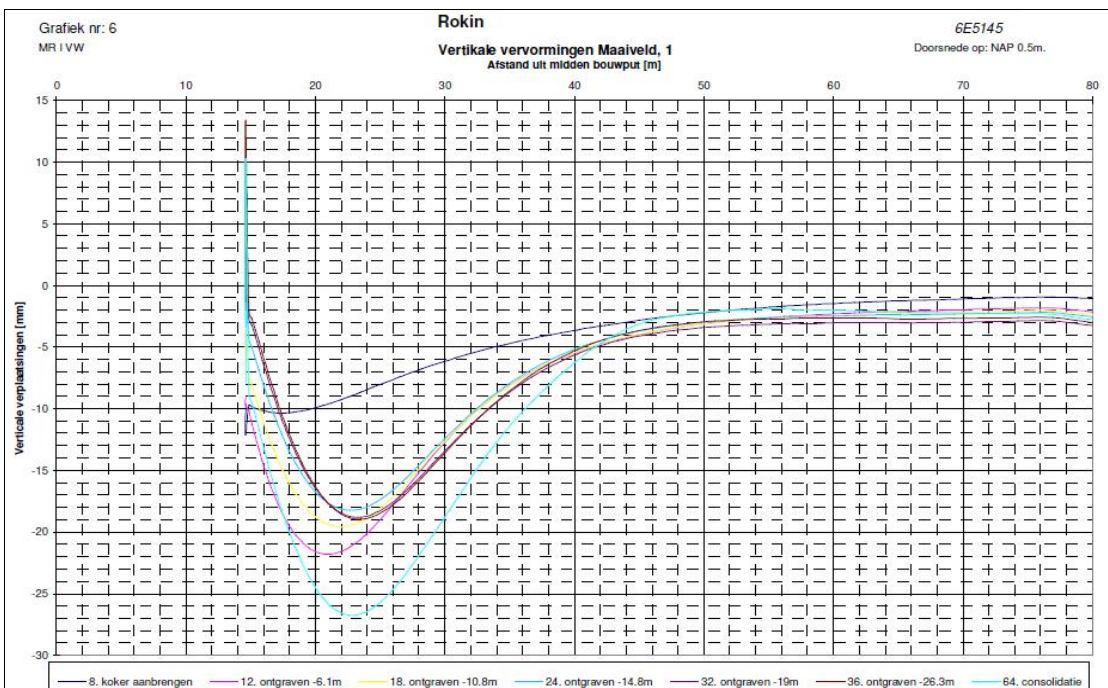
2.3.2 Projectgebonden EEM

De representatieve berekeningen t.b.v. station Rokin zijn uitgevoerd om een analyse te maken van de te verwachten vervormingen. De data is gepresenteerd in diverse grafieken. De analyse is opgesteld aan de hand van berekeningen op diverse diepten in de grondlagen. Verticale maaiveldzakkingen en zakkingen ter plaatse van de eerste & tweede zandlaag zijn gepresenteerd. Voor de berekeningen die zijn opgenomen in het rapport is aangenomen dat de gemodelleerde doorsnede van de bouwput symmetrisch is (R.P. Roggeveld et al., 2009, XXVI). De uiteindelijke bouwput wordt niet geheel symmetrisch maar er wordt gesteld dat de asymmetrie verwaarloosbare effecten op de uiteindelijke zettingen geeft.

Een voorbeeld van een grafiek van de berekende verticale vervormingen ter plaatse van het maaiveld is weer gegeven in Figuur 2.15. Grafieken van vier verschillende monitoringsraaien en drie verschillende diepten in de grond (maaiveld, eerste zandlaag en tweede zandlaag) zijn weergegeven in de rapportage. Het zijn monitoringsraaien waar meetinstrumenten in de ondergrond zijn aangebracht. Het betreffen de volgende raaien (zie bijlage 4 voor de situering van de meetraaien):

- Monitoringsraai I ligt ter hoogte van stramien 14, in de westelijke richting van het station, door de Enge Kapelsteeg;
- Monitoringsraai II ligt ter hoogte van stramien 22, in westelijke richting van het station, door de Wijde Kapelsteeg;
- Monitoringsraai III ligt ter hoogte van stramien 17-18, in oostelijke richting van het station, door de Kalfsvelsteeg;
- Monitoringsraai IV ligt ter hoogte van stramien 33, in oostelijke richting van het station, door de Wijde Lombardsteeg.

Uit de invoer informatie van Figuur 2.14 blijkt dat de belending in de berekeningen geschematiseerd is met behulp van een ligger met een belasting van 40 kPa ter plaatse van de eerste zandlaag. Funderingspalen of andere onderdelen van de belending zijn niet in de berekening ingevoerd. Voor de vervormingspatronen van alle meetraaien wordt verwezen naar bijlage 9.



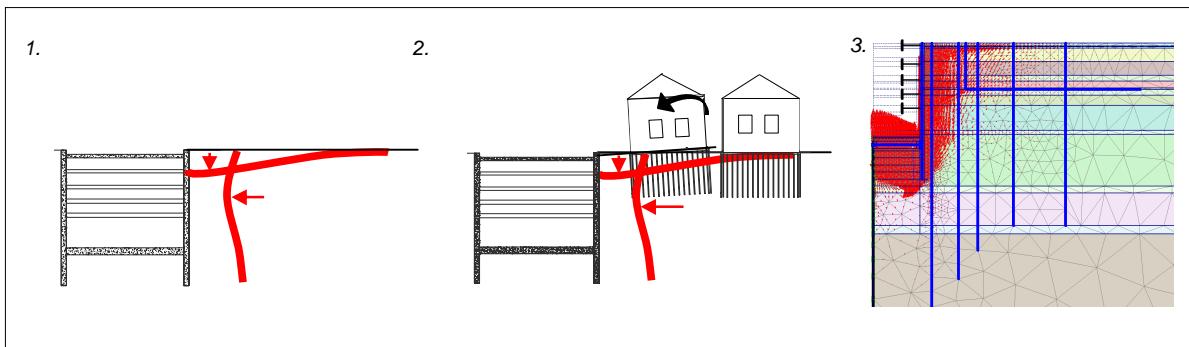
Figuur 2.15; Berekeningsresultaten van verticale vervormingen van het maaiveld ter plaatse van Monitoringsraai I (t.p.v. meetraai 14 t.p.v. Enge Kapelsteeg westzijde van het te bouwen station Rokin). De verwachtingswaarde van de vervormingen zijn uitgezet t.o.v. het hart van de bouwput. Figuur afkomstig uit bron: R.P. Roggeveld et al., 2009, XXVI.

2.4 Samenvatting

In paragraaf 2.2 zijn diverse deformatiepatronen omschreven, die in de literatuur terug te vinden zijn: deformatiepatronen ten aanzien van het grondmassief naast aan te leggen bouwputten. Deze deformatiepatronen zijn opgesteld voor een snelle en algemene indruk tijdens de ontwerpfase. In § 2.3 zijn de Eindige-Elementen-Modellen (EEM) uit het rapport: R.P. Roggeveld et al., 2009, XXVI beschreven. Dit rapport is opgesteld tijdens de ontwerpfase voor station Rokin. In dat rapport zijn EEM berekeningen opgesteld die de grondvervormingen naast de bouwput van station Rokin voorspellen. Het betreft in dat document berekeningen met specifieke gegevens van station Rokin en de omgeving.

De vraag die bij ieder bouwproject ten aanzien van grondvervormingen gesteld kan worden is; Volgen de gemeten gronddeformaties naast de bouwput van station Rokin het gemiddelde vervormingspatroon zoals omschreven in de literatuur en voorspellingen? Om antwoord op deze vraag te krijgen worden in hoofdstuk 3 eerst het ontwerp van station Rokin en bijbehorende specifieke eigenschappen omschreven. Waarna in hoofdstuk 4 de meetdata (werkelijke situatie) vergeleken wordt met de diverse vervormingspatronen zoals omschreven in dit hoofdstuk (zie Figuur 2.16). De diverse deformatiepatronen zijn;

1. 'Green field' vervormingspatroon;
2. Een vervormingspatroon met de omgeving daarin verwerkt;
3. EEM van de specifieke situatie met de belasting ingevoerd als een ligger met een belasting van 40 kPa ter plaatse van de eerste zandlaag (funderingspalen ed. zijn niet in de berekening geschematiseerd).



Figuur 2.16; 1: Vervormingspatroon n.a.v. 'green field' situatie volgens literatuur. 2: Vervormingspatroon n.a.v. een situatie met 'omgevingsbeïnvloeding' volgens literatuur. 3: vervormingspatroon n.a.v. een EEM.

3 Ontwerp bouwput station Rokin

Om de hoofdvraag die in het inleidende hoofdstuk van dit onderzoek vermeldt staat te kunnen beantwoorden, wordt de theorie van gronddeformaties (zoals omschreven in hoofdstuk 2) vergeleken met een case. De case heeft betrekking op station Rokin. Voor de situering van het station in het tracé van de NoordZuidlijn wordt verwezen naar Figuur 3.1. Het onderzoek spitst zich op station Rokin vanwege specifieke bouwactiviteiten die bij andere stations niet of nauwelijks toegepast zijn. Als basis van dit onderzoek wordt het document van M. Korff et al., 2010, XII aangehouden. In dit onderzoek is basisinformatie over de NoordZuidlijn en specifieke informatie betreffende station Rokin terug te vinden. Voor meer algemene informatie betreffende het gedrag van bouwputten wordt onderzoek: M. Korff, 2009, XIV als basis aangehouden.

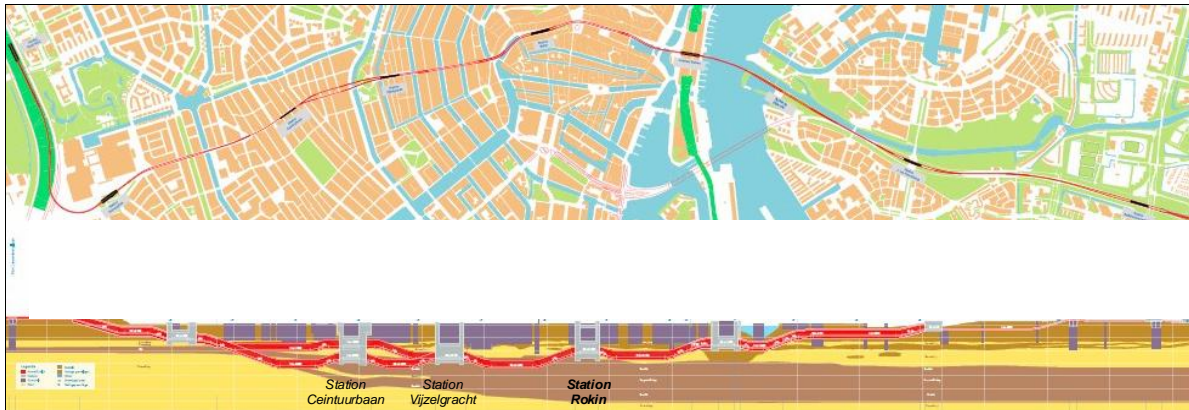
Locatie specifieke omstandigheden van station Rokin worden in dit hoofdstuk omschreven. Wanneer deze punten beschreven zijn wordt de analyse van de gronddeformaties, aan de hand van meetdata, in hoofdstuk 4 opgesteld. Vervolgens kunnen de specifieke omstandigheden en de meetdata vergeleken worden met hoofdstuk 2 (grondvervormingspatronen volgens de literatuur). Daarna worden er ten aanzien van de opgestelde doelstellingen in hoofdstuk 1, conclusies getrokken om de hoofdvraag van dit onderzoek te kunnen beantwoorden.

De eerste paragraaf van dit hoofdstuk betreft een algemene inleiding ten aanzien van de NoordZuidlijn. Het grondvervormingspatroon is afhankelijk van de locatie specifieke omstandigheden ter plaatse van het station. Daarom worden de volgende specifieke omstandigheden in dit hoofdstuk omschreven:

- Bodemomschrijving Amsterdam;
- Bouwput station Rokin;
 - o Bouwmethode;
 - o Bouwactiviteit voorboren;
 - o Constructieonderdelen;
- Belendingen;
- Monitoringsystemen.

3.1 Inleiding

De NoordZuidlijn wordt de toekomstige metroverbinding van Noord- naar Amsterdam Zuid zie Figuur 3.1. De linkerkant van de figuur betreft Amsterdam Zuid de rechterkant van de figuur betreft het noorden van Amsterdam. De metrolijn gaat het historische deel van de binnenstad doorkruisen en wordt daar ondergronds aangelegd. Tevens wordt een deel van de lijn bovengronds aangelegd. Ter plaatse van het historische gedeelte van de stad bevat de NoordZuidlijn drie diepe ondergrondse stations. Te weten station Ceintuurbaan, Rokin en Vijzelgracht. Deze stations worden met twee naast elkaar gesitueerde geboorde tunnels op een diepte variërend tussen 20 en 31 m onder het maaiveld (met een diameter van ongeveer 7 meter) verbonden.



Figuur 3.1; Schematisch bovenaanzicht en doorsnede van het tracé van de NoordZuidlijn in Amsterdam waarbij de diepe ondergrondse stations zijn aangegeven (bron; archief van Projectbureau NoordZuidlijn).

Dit onderzoek is gericht op het ondergrondse deel van de NoordZuidlijn. Dat betekent dat er West-Nederlandse ondergrond aanwezig is. Vanwege specifieke bouwactiviteiten spitst dit onderzoek zich toe op station Rokin. Grondvervormingen naast de bouwput, die afhankelijk zijn van de bouwactiviteiten die benodigd zijn voor het realiseren van deze bouwput, worden nader onderzocht. Station Rokin is tijdens de bouwfase ± 200 meter lang, ± 25 meter breed en ± 25 meter diep. Voor een schematische weergave van de bouwput tijdens de bouwfase wordt verwezen naar Figuur 3.8. De bouwput is op enkele meters van de historische en karakteristieke belending gesitueerd. Vanwege deze specifieke omstandigheden wordt het proces op de voet gevolgd met behulp van een monitoringssysteem (zie voor een omschrijving van het monitoringssysteem, § 3.5). Voor een langsdoorsnede van het station met een aanzicht van de aanwezige belending wordt verwezen naar figuur 3.2. De figuur illustreert de verhoudingen in afmetingen tussen de belending en het te maken station. Voor meer animaties van station Rokin wordt verwezen naar bijlage 1.



Figuur 3.2; Langsdoorsnede van station Rokin gekeken naar de belending die gesitueerd is aan de oostzijde van het station (bron; Benthem Crouwel Architects).

3.2 Bodem omschrijving Amsterdam

Gronddeformaties naast een bouwput zijn afhankelijk van de bouwmethode en bijbehorende constructieonderdelen van de bouwput (zie § 3.3). Daarnaast bestaan er randvoorwaarden die de gronddeformaties in de omgeving van de put beïnvloeden. De bodem, met daarin de verschillende grondlagen en diverse grondwaterstanden zijn de randvoorwaarden. In deze paragraaf wordt een omschrijving van de bodem gegeven.

3.2.1 Bodemopbouw

Bodemopbouw is één van de randvoorwaarde die een rol speelt bij optredende grondvervormingen naast een bouwput. In deze subparagraaf wordt de bodemopbouw omschreven. Hierin wordt in eerste instantie gekeken naar de geologie waarna deze verder onderverdeeld wordt in de diverse grondlagen en bijbehorende eigenschappen van die lagen. Verschillende grondpakketen bezitten de eigenschap van een watervoerende laag. De diverse eigenschappen worden omschreven. De laatste subparagraaf gaat specifiek in op gevallen ten aanzien van de bodem in Amsterdam en de omgeving.

3.2.1.1 Geologie

Ter plaatse van het toekomstige station bestaat de bovenste ± 12 meter van de grond uit een Holocene laag. Daaronder bevindt zich de Pleistocene laag. In de Pleistocene laag zijn diverse zandlagen aanwezig die gescheiden worden door het Allerød en diverse kleilagen. Voor de geologische opbouw wordt verwezen naar Tabel 3.1. Voor meer informatie ten aanzien van de geologie in Amsterdam wordt verwezen naar bron: S.F. Frankenmolen, 2006, VI.

Periode			Formatie	Relevante grondlagen
Kwartair	Holoceen		Westland	
	Boven-Pleistoceen	Weichselien	Twente	Eerste zandlaag Allerød Tweede zandlaag
		Eemien	Eem	Eemklei laag
	Middel-Pleistoceen	Saalien	Drenthe	Drenthe klei
		Holsteinien	Urk/ Sterksel	Derde zandlaag
		Elsterien		
		Cromerien complex		

Tabel 3.1; Geologische tijdschaal van het Kwartair met bijbehorende formaties en grondlagen (bron: S.F. Frankenmolen, 2006, VI)

3.2.1.2 Grondprofiel

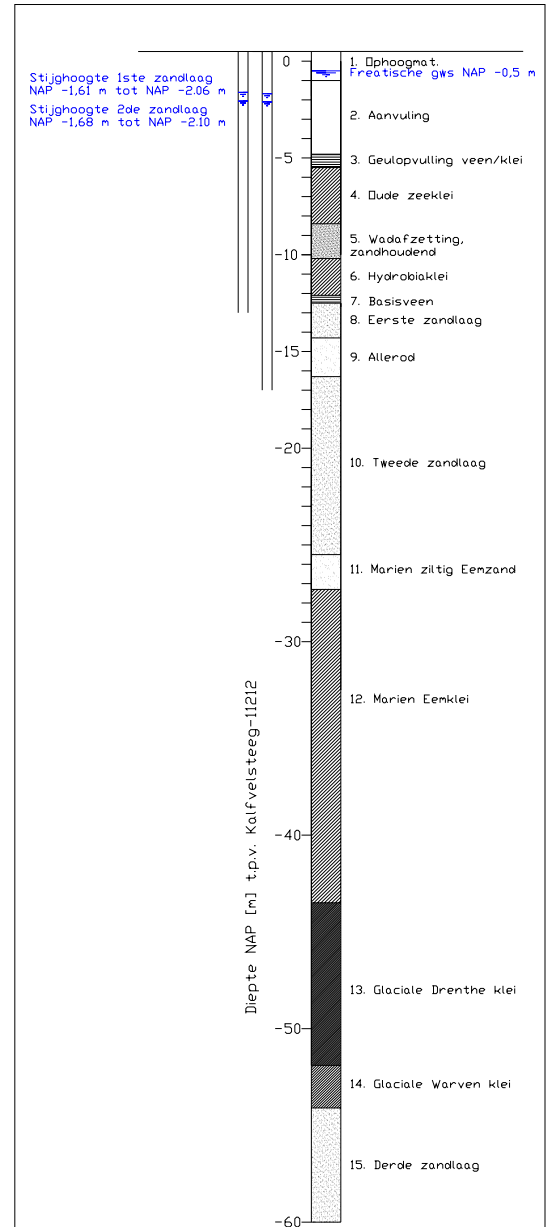
Zowel laagindeling als de grondeigenschappen hebben invloed op de grondvervormingen. Deze eigenschappen worden met behulp van boringen en sonderingen bepaald.

Ter plaatse van het toekomstige station zijn tientallen sonderingen en ± 5 boringen uitgevoerd. Voor een situering van de sonderingen en diverse sonderingengrafieken wordt verwezen naar bijlage 2. Tijdens het indrukken van een standaard sondeerconus worden puntweerstand en schachtwrijving automatisch geregistreerd. Aan hand van deze gegevens kunnen grondprofielen opgesteld worden. Het resultaat van deze metingen is terug te vinden in Tabel 3.2 en Figuur 3.3.

Tot en met de bovenkant van de derde zandlaag met een hoogte van NAP -54,1 m bestaat de grondopbouw uit veertien verschillende soorten grondlagen. In Amsterdam zijn de meeste 'oude' gebouwen gefundeerd op de eerste zandlaag. Hedendaagse gebouwen worden voornamelijk op de tweede zandlaag gefundeerd. Daarnaast is er nog een derde zandlaag aanwezig. Echter begint deze, zoals al aangegeven, pas op een diepte van NAP -54,1 m. Tussen deze zandlagen bevinden zich diverse soorten klei- en veenlagen. De top van de grondopbouw bestaat uit ophoog- en aanvullingsmateriaal. Deze lagen zijn onder andere in het jaar 1937 aangebracht bij het dempen van de 25 meter brede gracht ter plaatse van de huidige straat Rokin. De huidige maaiveldhoogte bevindt zich op een hoogte van NAP + 0,5 m.



Figuur 3.4; De straat en gracht t.p.v. Rokin voor het jaar 1937. Foto genomen vanaf noordzijde van het toekomstig station (bron <http://www.nieuwbouw.amsterdam.nl/contents/pages/108930/rokin.jpg>).



Figuur 3.3; Schematisering grondopbouw t.p.v. het toekomstige station.

Grondsoort	Niveaus		Volumiek gewicht	
	Bk. laag [m t.o.v. NAP]	Ok. laag [m t.o.v. NAP]	γ_d [kN/m ³]	γ_n [kN/m ³]
1. Ophoogmateriaal zand	0,50	- 1,00	16,9	18,4
2. Aanvulling	- 1,00	- 4,80	15,0	15,0
3. Geulopvulling veen met kleilagen	- 4,80	- 5,50	12,1	12,1
4. Oude zeeklei	- 5,50	- 8,40	16,5	16,5
5. Wadafzettingen, zandhoudend	- 8,40	- 10,20	17,9	17,9
6. Hydrobiaklei	- 10,20	- 12,10	15,2	15,2
7. Basisveen	- 12,10	- 12,50	11,7	11,7
8. Eerste zandlaag	- 12,50	- 14,30	17,8	19,8
9. Allerød	- 14,30	- 16,30	17,5	18,5
10. Tweede zandlaag	- 16,30	- 25,50	17,0	19,0
11. Marien siltig Eemzand	- 25,50	- 27,30	16,4	18,4
12. Mariene Eemklei	- 27,30	- 43,50	17,9	17,9
13. Glaciale Drenthe Klei	- 43,50	- 51,90		
14. Glaciale Warven Klei	- 51,90	- 54,10		
15. Derde Zandlaag	- 54,10	-		

Tabel 3.2; Schematisatie laagopbouw t.p.v. Kalfsvelsteeg afgeleid van sondering 3223S, zie voor de sondering en situering bijlage 2 (Bron Laagopbouw: K. de Jong, 2008, XXXI)

3.2.1.3 Grondwater/ hydrologie

Het grondprofiel ter plaatse van het te bouwen station bestaat uit vijftien grondlagen zoals in Tabel 3.2 is aangegeven. Hierbij valt onderscheid te maken tussen watervoerende en niet watervoerende lagen. Dit onderscheid is van groot belang wanneer er bouwactiviteiten tussen én door de diverse grondlagen plaats vinden.

De grondopbouw bevat ter plaatse van het toekomstige station drie verschillende zandlagen. Naast het freatisch vlak van NAP -0,5 m heeft men tijdens het realiseren van de bouwput te maken met de diverse stijghoogte van de watervoerende lagen.

De stijghoogten van de diverse watervoerende lagen ter plaatsen van het toekomstige station zijn terug te vinden in Tabel 3.3. In deze tabel is de representatieve stijghoogte tijdens de bouw fase weergegeven. Voor meer specifieke informatie ten aanzien van UGT en stijghoogte in de gebruikersfase wordt verwezen naar bijlage 3.

Laagnummer	Watervoerend laag	Minimale stijghoogte [m t.o.v. NAP]	Maximale stijghoogte [m t.o.v. NAP]
8.	Eerste zandlaag	-2,06	-1,61
10.	Tweede zandlaag	-2,10	-1,68
15.	Derde zandlaag	-3,12	-2,40

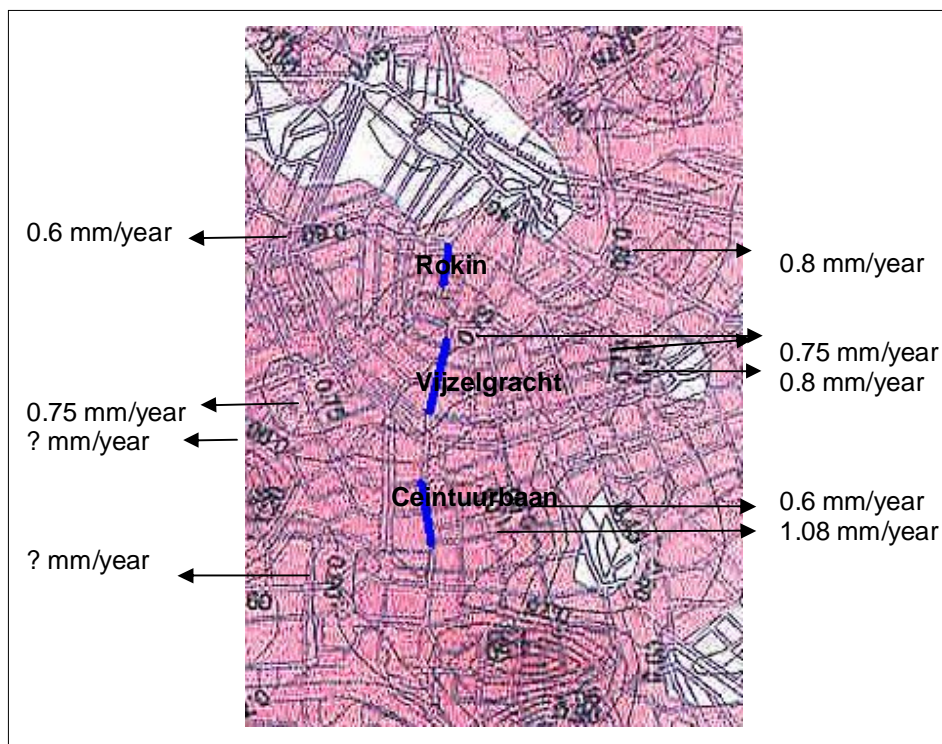
Tabel 3.3; Overzicht minimale en maximale stijghoogte van BGT in de bouw fase van de watervoerende lagen (Bron stijghoogte: S.F. Frankenmolen et al., 2007, II).

3.2.2 Omgeving Amsterdam

Vanwege diverse slappe grondlagen in Amsterdam (zie Tabel 3.2) is er sprake van autonome zettingen (zie § 3.2.2.1). Tevens geven plaatselijke seizoensinvloeden, temperatuurschommelingen met als gevolg spanningen in het materiaal van de belending (zie § 3.2.2.2). Deze spanningen resulteren in niveauperanderingen van de panden. De vervorming van de panden kan invloed hebben op de ondergrond. Op beide punten wordt in deze paragraaf ingegaan. Andere optredende gronddeformaties zijn te wijten aan bouwactiviteiten van derden of bouwactiviteiten ten behoeve van de NoordZuidlijn.

3.2.2.1 Autonome zettingen

De autonome zettingen zijn afkomstig van het consolidatieproces van de Holocene lagen en kruip van de Eemklei laag. De maximale zakking bedraagt 7,88 mm/jaar en de maximale stijging bedraagt 2,4 mm/jaar. De gemiddelde relatieve zetting van 794 hoogtemerken in Amsterdam bedraagt 0,9 mm/jaar. Voor een visualisatie van de autonome zettingen in de omgeving van de drie diepe stations van de NoordZuidlijn wordt verwezen naar Figuur 3.5. De data is representatief voor de periode van 1927 tot 1998. Data is afkomstig uit bron: C.A.G. Hogenes, 1998, XXI.

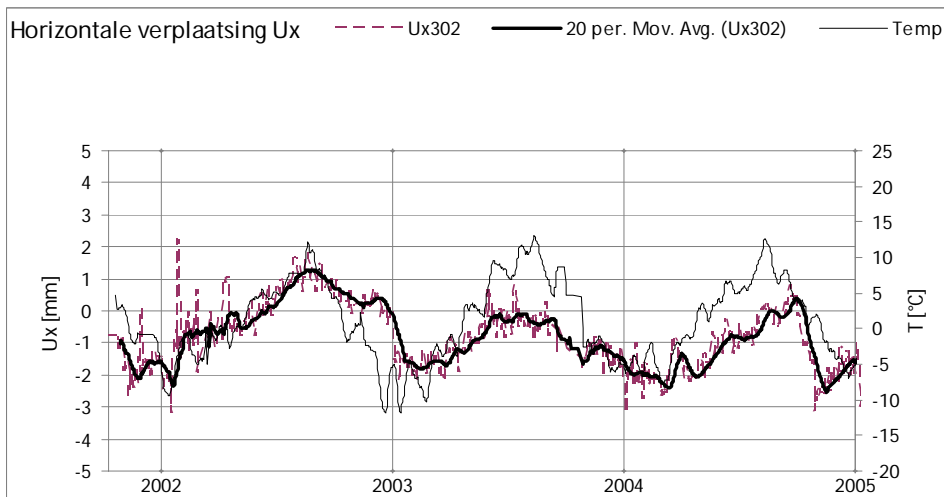


Figuur 3.5; Autonome grondzakkingen in de omgeving van de drie diepe stations volgens bron: C.A.G. Hogenes, 1998, XXI.

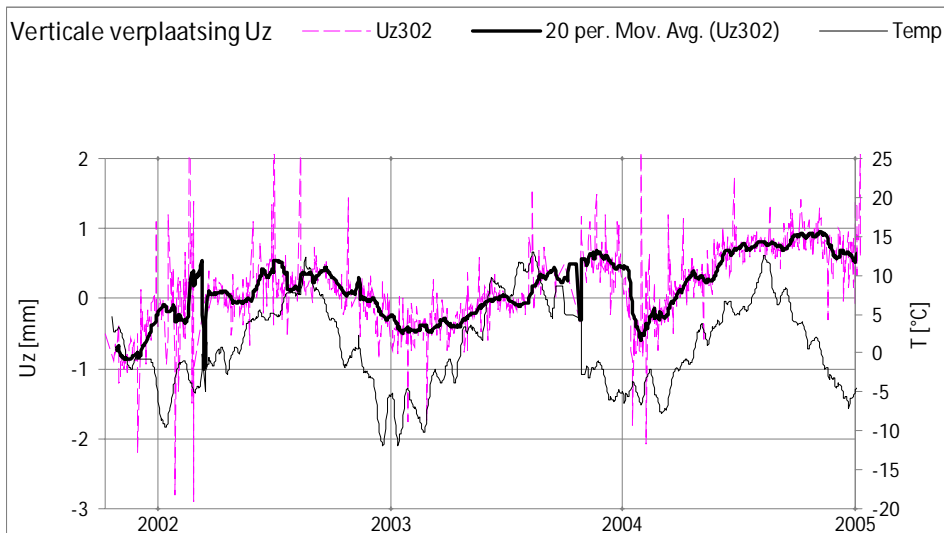
3.2.2.2 Seizoensinvloeden

Iedere materiaalsoort bezit een gevoeligheid ten aanzien van temperatuurschommelingen. Dit geldt ook voor het materiaal van de belending naast het te bouwen station. In onderstaande figuren (Figuur 3.6 & Figuur 3.7) is te zien dat de belending, de temperatuurschommelingen in horizontale en verticale richting volgt. Het betreft een verplaatsing van enkele millimeters in beide richtingen. Als voorbeeld wordt hier huisnummer 30 ter plaatse van Rokin gevisualiseerd. De data is afkomstig van het monitoringsysteem van totalstations & prisma's (zie § 3.5.2.3 voor een omschrijving van het monitoringsysteem). Data is afkomstig van een periode voorafgaand aan de bouwactiviteiten in een tijdsbestek van ruim drie jaar.

In het document: D. Cook et al., 2007, IV wordt echter alleen gesproken over verticale verplaatsingen van de belending ten aanzien van seizoensinvloeden. De data in het betreffende document is afkomstig van station Ceintuurbaan waarbij ± 6 mm verticale vervorming van de belending optreedt. Onderstaande figuren laat zien dat er ook enkele millimeters horizontale vervormingen aanwezig zijn.



Figuur 3.6; Horizontale verplaatsingen van ruim 3 mm van het pand t.p.v. Rokin met huisnummer 30 bij een temp. verschil van ± 20 °C.



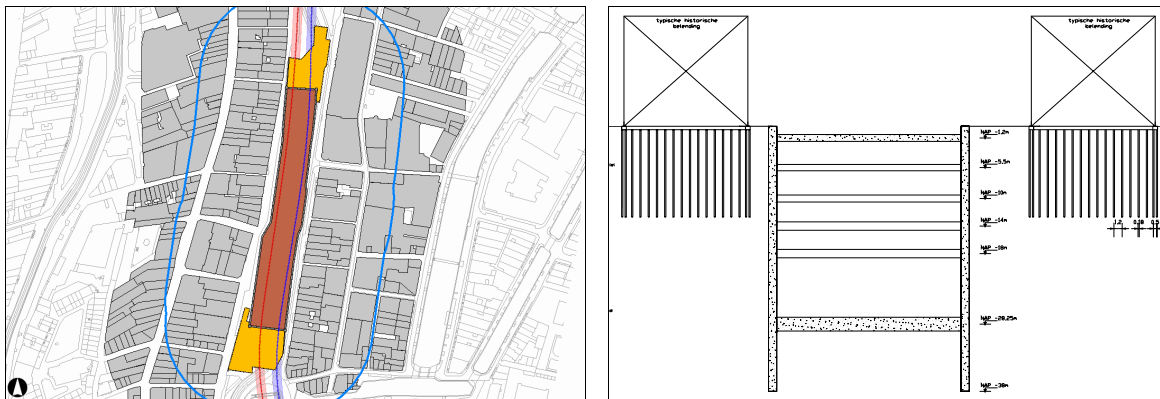
Figuur 3.7; Verticale verplaatsingen van ruim 1 mm van het pand t.p.v. Rokin met huisnummer 30 bij een temp. verschil van ± 20 °C.

3.3 Bouwput station Rokin

Zoals in de inleiding van dit hoofdstuk aangegeven, zijn er drie aan te leggen diepe stations bij de NoordZuidlijn te Amsterdam. Het betreffen de stations Ceintuurbaan, Vijzelgracht en Rokin. Vanwege specifieke bouwactiviteiten spitst dit onderzoek zich toe op station Rokin.

Het diepe gedeelte van de bouwput, met afmetingen van ± 200 meter lang, ± 25 meter breed en ± 25 meter diep, is met de kleur bruin weergegeven in het bovenaanzicht in Figuur 3.8. Tevens is een dwarsdoorsnede van het station weergegeven (voor meer specifieke tekeningen wordt verwezen naar bijlage 4). De verdeelhallen die buiten de scope van dit onderzoek vallen zijn met de kleur geel weergegeven. Met de kleur grijs is de belending weergegeven. De lichtblauwe lijn geeft het invloedsgebied rondom de bouwput weer.

De bouwmethode waarmee het station gebouwd wordt en de constructieonderdelen die daarbij gebruikt worden, zijn in deze paragraaf nader toegelicht. Dit omdat deze facetten van belang kunnen zijn ten aanzien van het grondvervormingsprofiel.

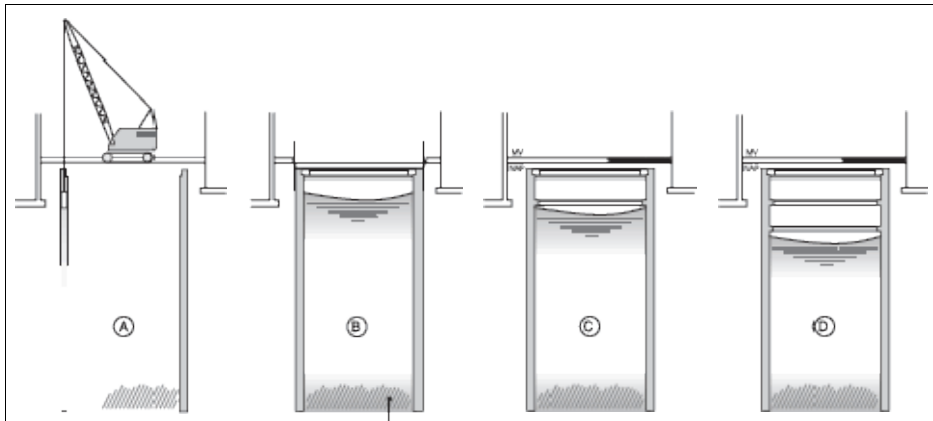


Figuur 3.8; 1: De bouwput van station Rokin tijdens de bouwfase. Met de blauwe lijn is het invloedsgebied in de omgeving van het station aangegeven. Het invloedsgebied is gedefinieerd als het gebied waar zettingen groter dan 1 mm zijn voorspeld. Figuur afkomstig uit MOBONZ WebGIS. 2: Dwarsdoorsnede van de bouwput tijdens de bouwfase inclusief belending aan beide zijde van de bouwput.

3.3.1 Bouwmethode 'wandendak methode'

De bouwput van het toekomstige station Rokin is visueel weergegeven in Figuur 3.8. De bouwput kan met behulp van diverse methoden gebouwd worden. Bij dit station is gekozen voor de bouwmethode genaamd 'wandendak methode'. Deze bouwmethode heeft een bepaalde bouwfasering met bijbehorende constructieonderdelen die specifieke gevolgen hebben voor het grondvervormingspatroon. De bouwmethode en specifieke onderdelen worden in deze subparagraaf omschreven. Voor een planning van de diverse bouwfases behorende bij deze bouwmethode specifiek voor station Rokin wordt verwezen naar bijlage 6.

Voor een zeer schematische weergave van een stappenplan van de bouwmethode wordt verwezen naar Figuur 3.9. De figuur is zeer schematisch omdat er meerdere bouwactiviteiten benodigd zijn voor het realiseren van de bouwput, die van groot belang kunnen zijn voor het grondvervormingsgedrag. Uit de meetdata van § 4.5 blijkt dat de bouwactiviteit 'voorboren' hiervan een voorbeeld is. Deze bouwactiviteit kan van grote invloed zijn op het vervormingsgedrag van het grondmassief naast de bouwput. Daarom wordt deze bouwactiviteit inclusief gevolgen van grondvervormingen nader omschreven in § 3.3.1.1.



Diverse fasen
Wandendak methode

Figuur 3.9; Een schematische weergave van een willekeurige bouwput vervaardigd met de 'wandendak methode'. Figuur A; maken van diepwanden. Figuur B; aanbrengen dakconstructie en eerste ontgravingsslag. Figuur C; aanbrengen eerste stempel en het realiseren van diverse ontgravingslagen. Figuur D; meerdere stempellagen plaatsen en ontgraven tot gewenste diepte. Bron: SBR, XXIX.

Bouwactiviteiten behorende bij deze bouwmethode die van belang zijn voor dit onderzoek, worden hieronder opgesomd. Voor een overzicht van het tijdsplan van alle bouwactiviteiten ter plaatse van station Rokin wordt verwezen naar bijlage 6.

Alvorens er bouwactiviteiten ten behoeve van de bouwput zijn ondernomen, zijn alle funderingen van naast gelegen (historische)panden (zie § 3.4.1 voor omschrijving panden) onderzocht. Panden met een fundering, die niet aan de vooraf gestelde criteria van het adviesbureau NoordZuidlijn voldoen, zijn verbeterd of hersteld.

In het jaar 2003 is men begonnen met de bouwactiviteiten aan de oostzijde, fase 1, van de bouwput. Achtereenvolgens zijn in fase 1 de volgende bouwactiviteiten uitgevoerd:

- Een maaiveldophoging van ± 50 cm grond;
- Obstakels in de ondergrond zijn verwijderd (omdat de uitvoeringsmethode 'voorboren' alleen bij station Rokin wordt uitgevoerd wordt deze bouwactiviteit nader omschreven in § 3.3.1.1);
- Geleidebalken ten behoeve van diepwanden aangebracht;
- Diepwandpanelen aangebracht;
- Jetgroutstempel.

Vervolgens zijn aan de westzijde van het toekomstige station dezelfde bouwactiviteiten in dezelfde volgorde uitgevoerd. De werkzaamheden van fase 2 zijn in het jaar 2005 gestart. Bijbehorende constructieonderdelen bij de diverse bouwfasen worden in subparagraaf 3.3.2 nader toegelicht.

Dit betreffen allemaal bouwfasen die van belang zijn ten aanzien van het gronddeformatiemodel die in § 4.2 vergeleken wordt met de literatuur en bestaande berekeningen.

De grondwaterstandverlagingen, de ontgravingslagen en het plaatsen van de daarbij behorende stempellagen van het station zijn verdeeld in diverse fasen:

- Ontgraven grond tot NAP – 6,3 m;
- Ontgraven grond tot NAP – 10,8 m;
- Ontgraven grond tot NAP – 14,8 m (is eind situatie voor dit onderzoek, zie § 4.3);
- Ontgraven grond tot NAP – 18,8 m;
- Ontgraven grond tot NAP – 26,3 m.

Wanneer de ontgravingfasen gerealiseerd zijn kan de stationsvloer aangebracht worden. Vanaf dat moment is de ruwbouw van het station klaar. En daarmee ook de gevolgen van de bouwactiviteiten die van belang kunnen zijn voor rapportages als deze. Van de totale ontgraving wordt een gronddeformatiemodel opgesteld in § 4.3. Deze wordt dan vervolgens vergeleken met de literatuur en bestaande berekeningen.

3.3.1.1 Bouwactiviteit voorbereiden

De bouwactiviteiten van de drie diepe stations bij de NoordZuidlijn zijn hetzelfde of met elkaar te vergelijken. De bouwactiviteit 'voorboren' wordt echter alleen ter plaatse van heel de bouwput van Rokin (en een deel bij station Vijzelgracht) uitgevoerd. Daarom wordt deze bouwactiviteit hier nader omschreven en worden de gevolgen ten aanzien van de gronddeformaties naar aanleiding van de meetdata in § 4.5 besproken. De volgende punten ten behoeve van de bouwactiviteit voorbereiden komen in deze subparagraaf aan bod:

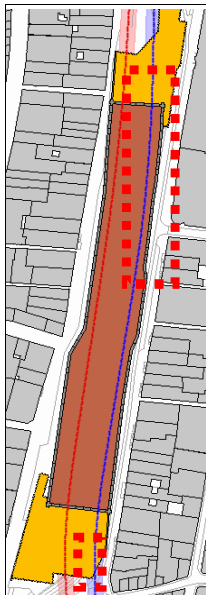
- Uitvoeringsmethode;
- Tijdspad.

In bijlage 10.2 is specifieke informatie ten aanzien van gebruikt materieel terug te vinden, zoals de boormachine, snijring, stalen casing en de avegaar. Tevens is een fotoreportage van geselecteerde foto's uit de 'dagrapporten van dagelijks toezicht NoordZuidlijn te Amsterdam' terug te vinden.

Uitvoeringsmethode:

In het historische centrum van Amsterdam zijn diepe obstakels, zoals oude kademuren en houten palen, in de ondergrond terug te vinden. Bij het maken van de diepe bouwputten ondervindt men echter hinder van deze obstakels. Om deze obstakels te verwijderen is bij station Rokin, ter plaatse van de toekomstige diepwanden, in eerste instantie begonnen met het plaatsen van damwandkuipen (ca. 10 m * 4 m). In deze kuipen was het mogelijk om de oude kademuren te verwijderen en houten palen te trekken (voor situering van de bouwkuipen wordt verwezen naar Figuur 3.10). Echter bleken er 10 keer zo veel obstakels in de ondergrond te zitten dan op voorhand was aangenomen. Tevens kreeg men de damwandplanken niet in de grond. Omdat de obstakels moeilijk te verwijderen waren met behulp van damwandkuipen, heeft men besloten om het tracé ter plaatse van de diepwanden voor te boren. (Het voorbereiden is in een later stadium ook toegepast op één fase van station Vijzelgracht in de periode van 3 januari 2007 tot 2 juni 2007).

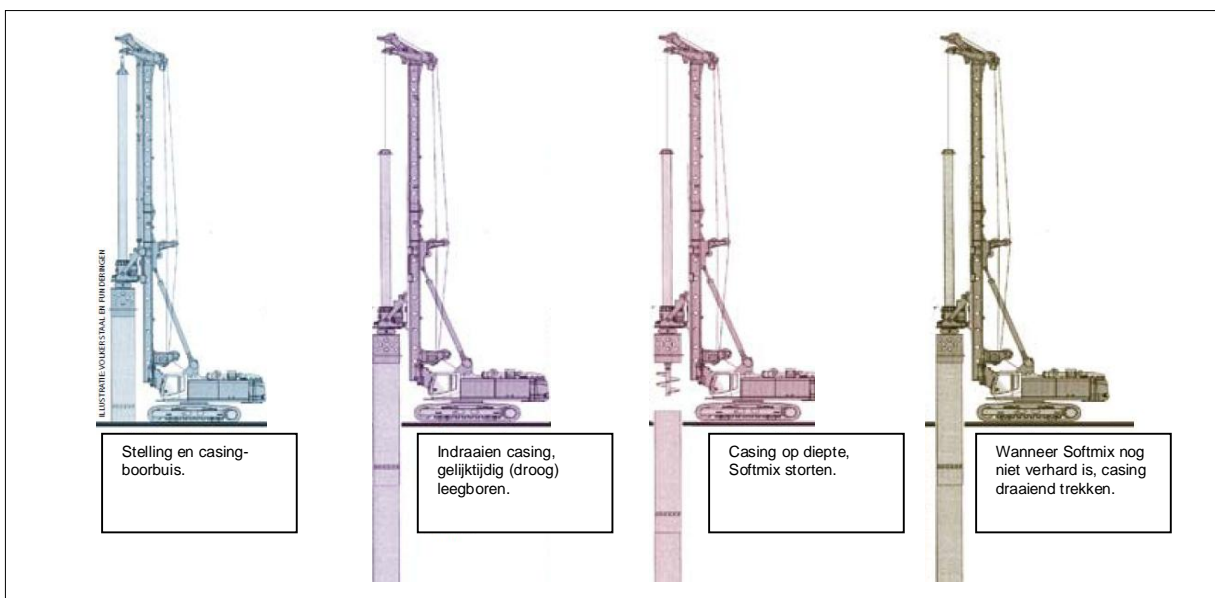
In het met rood aangegeven tracé in Figuur 3.10 zijn de obstakels verwijderd met damwandkuipen. Het overige tracé ter plaatse van de diepwanden heeft men de diepe obstakels verwijderd met een 'Appelboor'. Deze werkgang wordt ook wel 'voorboren' genoemd.



Figuur 3.10; Een bovenaanzicht van station Rokin, t.p.v. de rode arceringen zijn t.p.v. het tracé van de diepwanden de obstakels verwijderd met behulp van damwandkuipen (4 * 10 m). Figuur afkomstig uit 'MOBONZ WebGIS'.

Ter plaatse van de diepwanden heeft men de diepe obstakels verwijderd met een 'Appelboor'. Deze werkgang wordt ook wel 'voorboren' genoemd. In Figuur 3.11 is de werkgang van het voorboren schematisch weergegeven. Men draait een stalen casing met een doorsnede van 1,2 meter in de grond. Gelijktijdig wordt deze casing leeg geboord met een avegaar. Wanneer de casing op diepte is en de casing is ontdaan van grond en obstakels, wordt deze gevuld met een materiaal dat geen problemen geeft voor de werkgang 'diepwanden' maar stijf genoeg is om de omringende grond op zijn plaats te houden. Het materiaal wat terug in de casing gestort wordt moet waterdicht zijn. Dit in verband met eventuele kortsluiting tussen de freatische grondwaterstand met een hoogte van NAP - 0,5 m en de stijghoogte in de Eerste Zandlaag (dit is ook van toepassing wanneer tot de Tweede Zandlaag geboord wordt) zie tabel 3.3.

Aan elkaar grenzende boorpalen zijn niet gelijktijdig gerealiseerd. Dit kan geconcludeerd worden na een analyse van het effect van de geboorde palen (zie bijlage 10.4).

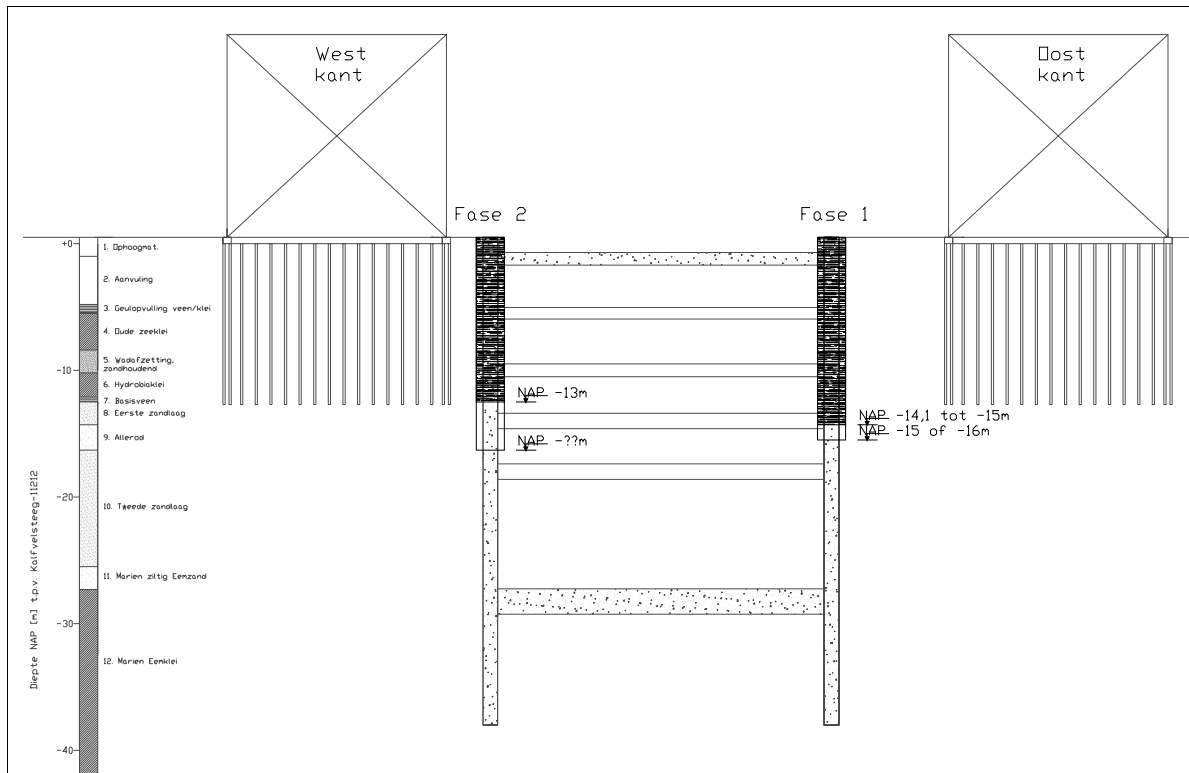


Figuur 3.11: Schematische weergave van voorboorproces (figuren afkomstig uit bron: E. de Jong, 2008, XVIII).

Wanneer er geen ondoordringbare laag tussen deze watervoerende lagen aanwezig is, gaat het boorgat als verticale drain fungeren en wordt de grondwaterstand in de omgeving verlaagd. Dit kan zakkings van grond en uiteindelijk van de belending tot gevolg hebben. Tevens bestaat het risico dat de houten palen van de belending boven de grondwaterstand komen te staan en dat er een rottingsproces optreedt.

Een ondoordringbaar materiaal voor water is de toegepaste Softmix. Dit materiaal is gekozen om in de boorgaten te storten. Softmix is een mengsel van cement, vliegashoudend zand en water. Wanneer de casing gevuld is met Softmix kan deze al draaiend getrokken worden. Voor een gedetailleerde omschrijving van de werkgang, beschrijvende foto's en schetsen van het gebruikte materieel wordt verwezen naar bijlagen 10.2 & 10.3.

Voor een specifieke situering en de diepte van het voorboren wordt verwezen naar een dwarsdoorsnede van het station, zie Figuur 3.12. In deze figuur zijn de bekende diepten van de casing en het uitboren ten opzichte van het grondprofiel & de belending weergegeven.



Figuur 3.12: Diepte van boorgaten & stalen casing en situering van boorgaten. Bouwfase 1 is aan de oostkant van de bouwput gesitueerd en bouwfase 2 is aan de westkant van de bouwput. Maten zijn weergegeven t.o.v. NAP.

Tijdspad:

De bouwactiviteit voorbereiden bij station Rokin is in twee fasen uitgevoerd. Bouwfase één is aan de oostzijde van de bouwput als eerste fase uitgevoerd. Bouwfase twee is aan de westzijde van de bouwput na fase één uitgevoerd. Het tijdspad van de bouwactiviteit voorbereiden ter plaatse van de specifieke meetraaien is met de kleur groen schematisch in tabel 3.4 & 3.5 weergegeven.

Activiteiten Rokin doorsnede 11212	2003												2004											
	januari	februari	maart	april	mei	juni	juli	augustus	september	oktober	november	december	januari	februari	maart	april	mei	juni	juli					
Bouwfase 1																								
funderingsvernieuwing																								
verwijderen obstakels																								
opbouw t500m																								
voorboren																								
geteidebalken																								
paneel 14,15																								
paneel 16																								
paneel 18																								
paneel 13																								
diepvand paneel 16,17																								

Tabel 3.4; Tijdspad bouwactiviteiten t.p.v. doorsnede Kalfsveldsteeg, bouwfase 1 oost zijde bouwput (totale bouwtijd 09-07-'03 tot 21-11-'03).

Activiteiten Rokin doorsnede 11192&11233	2003												2005											
	januari	februari	maart	april	mei	juni	juli	augustus	september	oktober	november	december	januari	februari	maart	april	mei	juni	juli					
Bouwfase 2																								
funderingsvernieuwing																								
verwijderen obstakels																								
opbouw t500m																								
voorboren																								
geteidebalken																								
paneel 92																								
paneel 91																								
paneel 90																								
paneel 89																								

Tabel 3.5; Tijdspad bouwactiviteiten t.p.v. doorsnede Enge/ Wijde Kapelsteeg, bouwfase 2 west zijde bouwput (totale bouwtijd 20-12-'04 tot 11-02-'05).

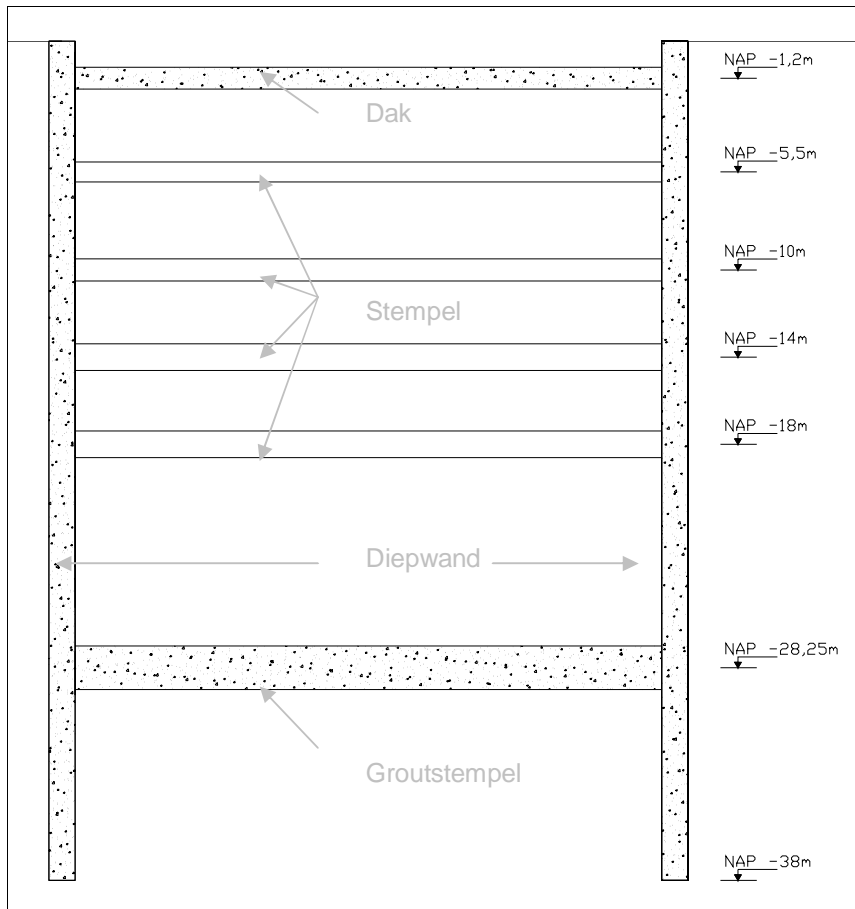
In § 4.5 wordt meetdata ten aanzien van de bouwfase voorbereiden geanalyseerd. Voor meer informatie ten aanzien van het voorbereiden bij station Rokin wordt verwezen naar bijlage 10.2 & 10.3. In deze bijlage is specifieke informatie ten aanzien van gebruikt materieel terug te vinden, zoals de boormachine, snijring, stalen casing en de avegaar. Tevens is een fotoreportage van geselecteerde foto's uit de 'dagrapporten van dagelijks toezicht NoordZuidlijn te Amsterdam' terug te vinden.

3.3.2 Constructieonderdelen

Tijdens de diverse bouwfasen worden constructieonderdelen aangebracht. Voor de specifieke omschrijving van de maatgevende constructieonderdelen van diverse meettraaien wordt verwezen naar bijlage 5. In

Figuur 3.13 zijn de diverse onderdelen van de ruwbouw schematisch weergegeven. Het betreffen de constructieonderdelen die invloed kunnen uitoefenen op het grondmassief naast de bouwput. De onderdelen die dus van belang kunnen zijn voor deze rapportage. De verschillende onderdelen worden op volgorde van aanbrengen in onderstaande opsomming besproken:

- Diepwand, een 1,2 meter dikke gewapende in de grond gevormde betonnen wand die reikt tot een diepte van NAP – 38 m wordt vanaf maaiveld aangebracht. De diepwand reikt tot in een ongeveer 25 meter dikke ondoorlatende Eem-kleilaag. De diepwand is opgebouwd uit verschillende diepwandpanelen met breedtes variërend van ± 3 m tot ± 7 m. De gehele bouwput bestaat uit ongeveer 100 panelen. De diepwanden hebben tijdens de bouwfase en in de uiteindelijke situatie een grond- en waterkerende functie;
- Groutstempel, een twee meter dik groutstempel met het hart op NAP - 28,25 m wordt vanaf maaiveld aangebracht voordat de ontgraving van de bouwput start. Het stempel wordt aangebracht tussen de diepwanden om vervormingen van deze wanden te voorkomen tijdens de ontgraving. De groutstempel heeft tijdens de bouwfase uitsluitend een stempelende functie en geen waterkerende functie;
- Dak, voordat de eerste ontgravingsslag plaats vindt wordt een 0,65 m dik dak net onder het maaiveld aangebracht. Het dak dient constructief gezien als een stempel om vervormingen van de diepwand te voorkomen. Ter plaatse van de Enge Kapelsteeg is het dek van de bouwput niet momentvast verbonden met de diepwand. Hierdoor is het mogelijk dat de diepwand een grotere uitbuiging kan ondergaan. Ter plaatse van de andere ontsluitingswegen is het dek wel momentvast verbonden. Bron: K. de Jong, 2008, XXXI;
- Stempels, op vier verschillende niveaus worden tussen de diepwanden, met behulp van gordingen tijdelijke stempelingen aangebracht. De stempels kunnen opgespannen worden door middel van vijzels. In
- Figuur 3.13 zijn de diverse niveaus ten opzichte van NAP weergegeven. De stempels worden na iedere ontgravingsslag aangebracht om vervormingen van de diepwanden en grond te voorkomen tijdens de bouwfase. Na de ruwbouwfase worden deze tijdelijke stempels vervangen door definitieve stempels. De vervanging en daarmee eventueel optredende gevolgen van de definitieve stempels vallen buiten de scope van dit onderzoek;
- Vloer, wordt niet in heel de bouwput op dezelfde diepte aangebracht. Maar over het algemeen is de bovenkant van de twee meter dikke gewapend betonnen vloer gesitueerd op een diepte van NAP -22,83 m. Door de grote stijfheid neemt de stationsvloer de functie van het groutstempel over. De vloer heeft tevens een waterkerende functie.



Figuur 3.13; Schematische dwarsdoorsnede tijdens de bouwfase van station Rokin met bijbehorende constructieonderdelen.

3.4 Belending

De bodem en de bouwput zijn omschreven in de voorgaande paragrafen van dit hoofdstuk. Een ander belangrijk punt ten aanzien van het grondvervormingsprofiel zijn de panden ter plaatse van het invloedsgebied. In het navolgende worden de panden omschreven en wordt er ingegaan op eigenschappen van deze panden, die zich in het invloedsgebied van de bouwput bevinden.

3.4.1 Belending in invloedsgebied van bouwput

Buiten de grondopbouw met bijbehorende eigenschappen, zijn de panden ter plaatse van het invloedsgebied ten aanzien van de grondvervormingen naast de bouwput van belang. In Figuur 3.14 is aangegeven wat het invloedsgebied van het te bouwen station is. Tabel 3.6 geeft een omschrijving van kleuren die gebruikt zijn in Figuur 3.14. Opgemerkt dient te worden dat dit rapport alleen ingaat op de belending in de omgeving haaks op de lange kant van de bouwput. Naar alle verwachting treedt er ter plaatse van de hoeken van de bouwput een ander grondgedrag op. Dit grondgedrag valt buiten de scope van dit onderzoek.

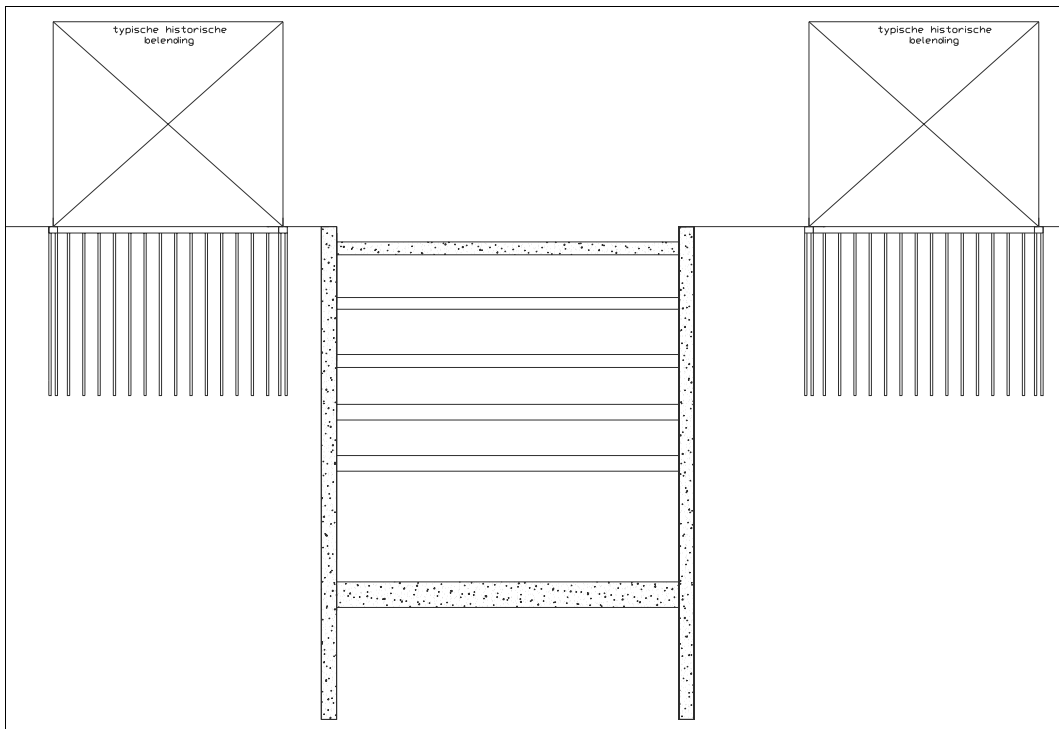


Figuur 3.14; De bouwput met het invloedsgebied en diverse funderingsklasse van de panden. Het invloedsgebied is gedefinieerd als het gebied waar zettingen groter dan 1 mm zijn voorspeld. Voor een omschrijving van de kleuren wordt verwezen naar Tabel 3.6. Figuur afkomstig uit MOBONZ WebGIS.

Funderingsklasse belending		
Grijs	-	
Blauw	I	Casco van fundering is goed. Handhavingstermijn tenminste 40 jaar.
Groen	II	Casco fundering goed of redelijk. Zeer geringe onderlinge zettingsverschillen toelaatbaar. Handhavingstermijn tenminste 25 jaar.
Geel	III	Casco fundering matig, wel onderlinge zettingsverschillen acceptabel. Handhavingstermijn tenminste 15 jaar.
Rood	IV	Casco fundering slecht, binnen korte tijd kunnen onaanvaardbare zettingen optreden. Geen geadviseerde handhavingstermijn.

Tabel 3.6; Classificeren funderingen van belending. Classificatie afkomstig van de stad Amsterdam.

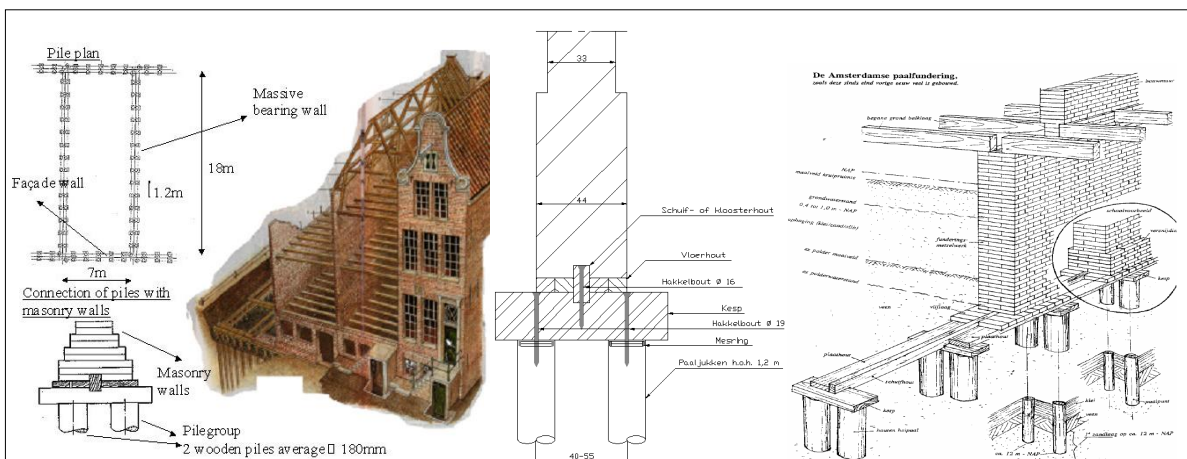
Aan beide zijden van het toekomstige station bevinden zich historische en moderne panden. De afstand van de panden tot aan de bouwput varieert ter plaatse van de stegen van 7,1 m tot 12,5 meter (zie Tabel 3.7 en Figuur 3.15). Echter zijn er ook panden die 3 meter van het te bouwen station staan. In deze subparagraaf wordt het volgende omschreven: het type fundering, funderingstechnische gegevens en de kwaliteit & het type van de bovenbouw.



Figuur 3.15; Schematische dwarsdoorsnede van belending naast de bouwput.

De constructie van de historische panden en de fundering is ter plaatse van Rokin niet overal exact hetzelfde. Maar voor dit onderzoek worden de historische panden, constructief gezien, aangenomen zoals in de schematische schetsen van Figuur 3.16 is aangegeven. Constructief gezien reageren de panden afzonderlijk van elkaar maar er zijn ook panden die met elkaar, als één groep reageren (zie § 3.4.2).

Ter plaatse van het te bouwen station zijn ook moderne panden aanwezig, zie Figuur 3.17. Echter zijn deze niet naast de stegen gelegen waar monitoringsdata aanwezig is (zie Figuur 3.24 voor situering monitoringsapparatuur) en waarvan eventuele grondvervormingen geanalyseerd kunnen worden. Daarom vallen deze moderne belendingen en bijbehorende funderingen buiten dit onderzoek.



Figuur 3.16; Schets van belending met bijbehorende fundering. Bron: F.J. Kaalberg, III.

Kenmerken van de panden naar aanleiding van Figuur 3.16 en bijlage 7 (overzichttekening van panden ten opzichte van de bouwput) die voor dit rapport van belang zijn:

- Panden zijn van diverse bouwjaren, van het jaar 1600 tot ongeveer het jaar 1900 (met uitzondering van Kalverstraat 99, bouwjaar 1969 - 1970). Voor specifieke bouwjaren van de te analyseren panden en bijbehorende kenmerken wordt verwezen naar bijlage 7;
- Bouwmuren staan haaks op het te bouwen station;
- Bouwmuren en gevels zijn opgebouwd uit metselwerk. Onder het maaiveld zijn deze 440 mm dik, ter hoogte van het maaiveld gemiddeld 330 mm dik en vanaf de eerste verdieping tot de top van de panden 220 mm dik (bron; TNO, 1995, XXIV)
- Paalbelastingen, exclusief negatieve kleef, met aanname dat de bouwmuur en gevel zijn losgekoppeld (echter is dit zeer onwaarschijnlijk waardoor de bovenbelasting in de praktijk groter is);
 - o Paalbelasting bouwmuur 88,6 kN/paal;
 - o Paalbelasting gevel 36,1 kN/paal.

Bron; S.F. Frankenmolen, 2006, VI.

- Een fundering onder één bouwmuur bestaat uit twee rijen palen (een zogenaamde 'Amsterdamse fundering') met een onderlinge afstand van $\pm 0,4$ m tot $\pm 0,55$ m. De palenrijen worden verbonden door houten kespen. De onderlinge afstand van de palenparen is 1,2 m;
- Fundering van houten palen reiken tot in de eerste zandlaag. Dit betekent dat de houten funderingspalen ongeveer 12 meter lang zijn;
- Paaldiameters van de houten palen aan de bovenzijden variëren van 160 mm tot 300 mm. Paaldiameters aan de onderzijden variëren van 70 mm tot 200 mm. Dit betekent een verloop over de lengte van de paal van ± 8 mm/m;
- Panden bevatten meerdere bouwlagen en in de meeste gevallen ook een kelder of souterrain (zie bijlage 7 voor de specifieke panden);
- Er wordt niet uitgegaan van andere onvoorziene obstakels of funderingen in de ondergrond naast de bouwput.

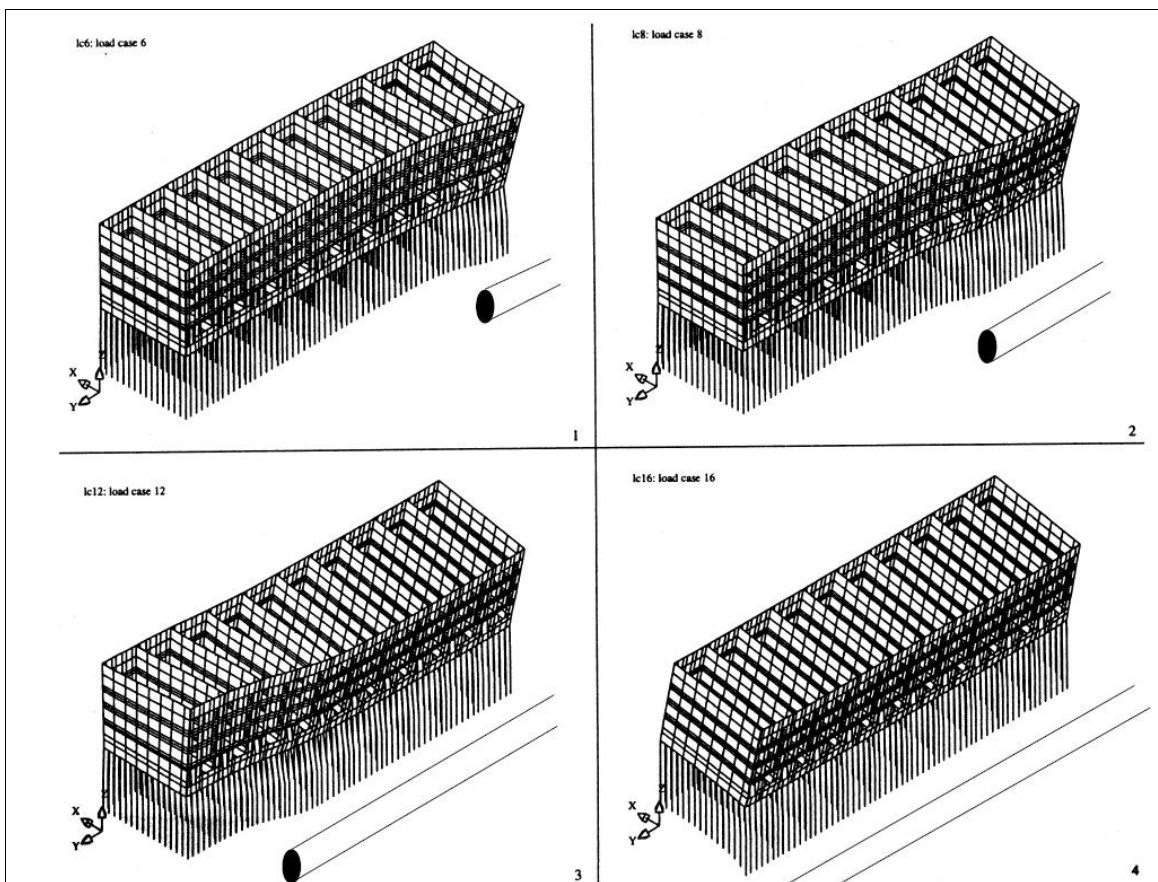


Figuur 3.17; 1: Typische historische belending ter plaatse van het te bouwen station, Rokin 18 t/m 26. 2: Moderne belending ter plaatse van het te bouwen station, Rokin 55 - 65.

3.4.2 Onderlinge pandbeïnvloeding

Enkele panden ter plaatse van Rokin staan los ten opzichte van de buurgebouwen. Echter zijn de meeste panden in zogenaamde blokken gebouwd. Dit betekent dat de panden aan elkaar bevestigd zijn. Schematisering tot één blok van de panden is conservatief maar heeft een andere werking op de ondergrond dan los staande panden. In Figuur 3.18 is een blok met panden gemodelleerd ten tijde van het passeren van een Tunnel Boor Machine (TBM). Dit geeft inzicht in de werking van een blok met diverse panden. Een dergelijke samenwerking van de panden treedt ook op ten tijde van het maken van de bouwput.

Afhankelijk van de stijfheid van de constructie en ondergrond kunnen panden buigen, kantelen en schranken (zie Figuur 3.20). Tevens is het tijdspad waarin de vervormingen optreden van belang. Voor deze gevallen wordt verwezen naar de volgende subparagraaf.

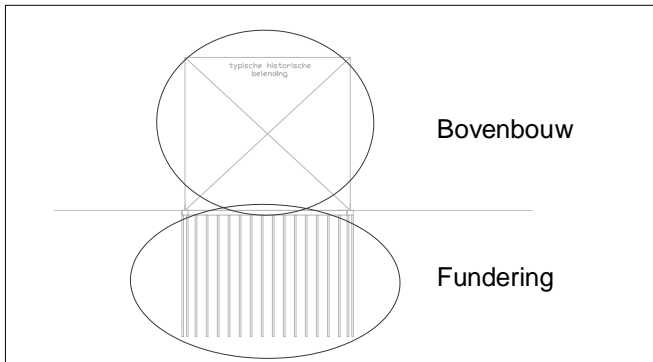


Figuur 3.18; Modelling van een blok met meerdere panden ten tijde van het passeren van een TBM. Figuur afkomstig uit: H. Netzel & F.J. Kaalberg, 2000, XXIII.

3.4.3 Stijfheid fundering & bovenbouw

De gebouwdeformaties zijn afhankelijk van (zie Figuur 3.19):

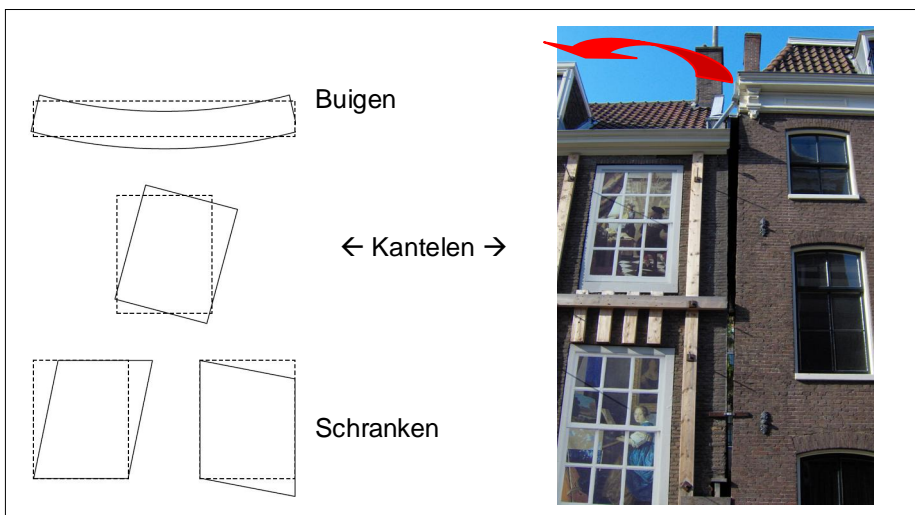
1. Stijfheid bovenbouw:
 - o Buigen;
 - o Kantelen;
 - o Schranken.
2. Stijfheid grondlagen in combinatie met de fundering (positieve/ negatieve kleef).



Figuur 3.19; Gebouwdeformatie is afhankelijk van de bovenbouw en fundering.

1. Bovenbouw

Afhankelijk van de stijfheid van de bovenbouw en de snelheid van vervorming zijn er diverse vervormingmogelijkheden van panden ter plaatse van grondvervormingen. Buigen, kantelen en schranken zijn drie mogelijkheden. Voor een visualisatie van de vervormingmogelijkheden wordt verwezen naar Figuur 3.20.



Figuur 3.20; 1: Mogelijke vervormingsgevallen van panden naar aanleiding van grondvervormingen. 2: Kantelen van panden richting de bouwput van Vijzelgracht met een opening van ongeveer 250 mm als resultaat.

Wanneer een belending relatief slap is qua constructie gaat deze ten tijde van grondvervormingen buigen of schranken. Afhankelijk van de buigcurve treden er deformaties in de belending op. Meer

3.5 Monitoringsystemen

Tijdens de bouw van bouwputten treden (grond)deformaties in de omgeving op. Deze zijn gerelateerd aan de bouwmethode en bijbehorende bouwactiviteiten met constructieonderdelen (zie § 3.3). Dit proces kan gemonitord en kan gestuurd worden met behulp van een monitoringsysteem.

In de omgeving van het te bouwen station is een monitoringsysteem aanwezig net zoals bij het gehele tracé van de NoordZuidlijn. Dit systeem heeft tot doel de horizontale en verticale gronddeformaties naast de bouwput te meten. In deze paragraaf worden diverse meetinstrumenten nader omschreven die naast een bouwput zijn geïnstalleerd en van belang zijn voor dit onderzoek. Meetdata afkomstig van de meetinstrumenten, in combinatie met het grondprofiel uit § 3.2.1.2 worden in hoofdstuk 4 van dit onderzoek gepresenteerd, geanalyseerd en vergeleken met bestaande literatuur en berekeningen die omschreven zijn in hoofdstuk 2. Aan de hand van deze vergelijking worden conclusies getrokken.

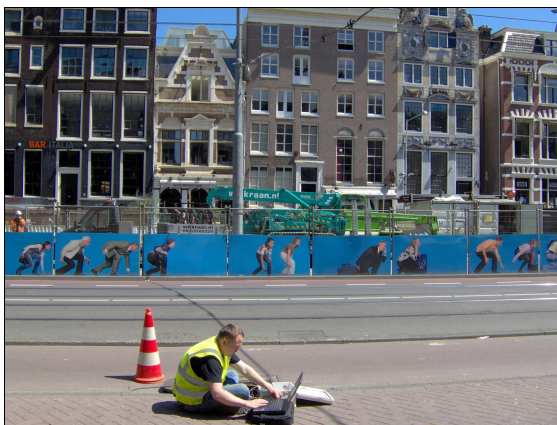
3.5.1 Doel

Wanneer monitoringinstrumenten worden toegepast is het van belang dat er nagedacht wordt over de uitvoering en de verwerking van de meetdata. Wanneer er geen duidelijk omschreven doelen zijn, kan monitoring zelden leiden tot bruikbare resultaten. Alleen bij de juiste doelen is de meetdata nuttig te gebruiken.

Vijf soorten doelen om (grond)deformaties bij bouwputten te meten en monitoren zijn (Bron; CUR 223, 2010, IX):

1. Wetenschappelijke doelen, verbeteren kennis van het gedrag van bouwputten;
2. Operationele doelen, ondersteuning beslissingen voor beheersing risico's;
3. Kwaliteitsborging, controle van ontwerputgangspunten;
4. Communicatieve doelen, voorlichting en verkrijgen draagvlak;
5. Juridische doelen, inzicht in aansprakelijkheid bij schade in de omgeving, voorwaarde voor toestemming vergunningverleners en voorwaarde voor verzekering.

Het doel van de monitoring ten aanzien van dit onderzoek is het verhogen van de stand van de techniek. De gemeten effecten in het gedrag van de grond rond de bouwput worden met de monitoringsgegevens geanalyseerd. Monitoringsgegevens zijn afkomstig van de meetinstrumenten. In de volgende deelparagraaf worden doel & locatie en een omschrijving van de meetinstrumenten die van belang zijn voor dit onderzoek beschreven. In hoofdstuk 4 komen resultaten en conclusies aan bod.



Figuur 3.23; Data van meetinstrumenten in de ondergrond t.p.v. de Wijde Kapelsteeg wordt uitgelezen.

3.5.2 Meetinstrumenten

Monitoringsgegevens rondom het te bouwen station bieden een schat aan mogelijkheden voor analyse van de effecten in het gedrag van de grond. Ter plaatse van het invloedsgebied haaks op de bouwput worden de vervormingen van het grondmassief tijdens de bouwfasen geanalyseerd. Deze analyse wordt vergeleken met de literatuurstudie uit hoofdstuk 2.

De monitoringsgegevens zijn afkomstig van meetinstrumenten. In de diverse stegen rondom het te bouwen station zijn meetinstrumenten in de grond aangebracht. De betreffende stegen zijn allemaal haaks op de bouwput gericht. De monitoringsgegevens van de grond geven een overzicht van de horizontale en verticale gronddeformaties haaks op de bouwput. Zie Figuur 3.24 en Tabel 3.7 voor een overzichtstekening van de bouwput en de situering van de stegen. Tevens wordt de belending ter plaatse van het invloedsgebied van de bouwput gemonitord. In de bouwput zelf zijn ook monitoringsinstrumenten aangebracht. Het specifieke doel, locatie en omschrijving van de meetinstrumenten die van belang zijn voor de analyse worden in deze paragraaf toegelicht.

De verschillende (grond)deformaties die optreden kunnen in het invloedsgebied gemeten worden met diverse meetinstrumenten:

Gronddeformaties naast en haaks op de bouwput worden met meetinstrumenten ter plaatse van de stegen gemeten:

- Maaiveldmeetinstrumenten (zie voor omschrijving meetinstrument § 3.5.2.1) ten behoeve van het meten van verticale gronddeformaties ter plaatse van het maaiveld;
- Extensometers en Inclinometers (zie voor omschrijving meetinstrumenten § 3.5.2.2) op diverse diepten ten opzichte van NAP, ten behoeve van het meten van verticale en horizontale gronddeformaties.

Gebouwdeformaties worden gemonitord door middel van:

- Totalstations en prisma's (zie voor omschrijving meetinstrumenten § 3.5.2.3) ten behoeve van zakkingsmetingen op de belending in x, y en z richting;
- Meetbouten (zie voor omschrijving meetinstrumenten § 3.5.2.3) met behulp van een waterpassing ten behoeve van zakkingsmetingen op de belending in z richting.

Bouwputdeformaties worden tijdens de bouwfasen ook gemonitord. Meetinstrumenten die gebruikt worden zijn:

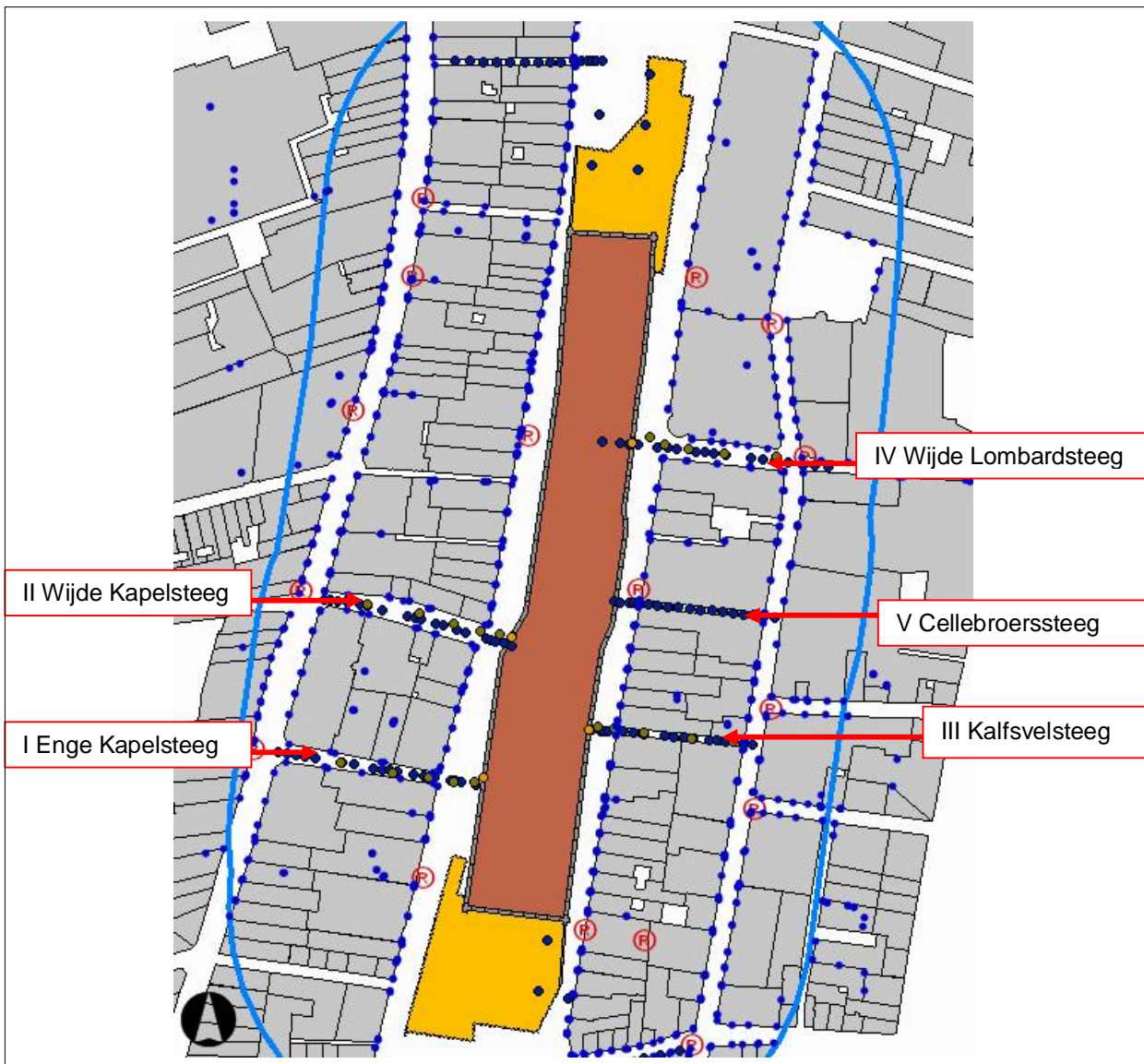
- Inclinometers in de diepwanden ten behoeve van het meten van horizontale diepwand deformaties;
- Waterspanningmeters onder het groutstempel ten behoeve van het monitoren van de grondwaterdruk;
- Tell tales op het groutstempel ten behoeve van het monitoren van de zakkingen met behulp van 'zakbaken';
- Rekstroken op de stempels ten behoeve van het vastleggen van de verlenging of verkorting van de stempels;
- Peilbuizen om grondwaterstanden te monitoren.

Met behulp van een Geografisch Informatie Systeem (GIS) wordt meetdata van bovenstaande meetinstrumenten van een aan te geven tijdsbestek automatisch verkregen. Dit programma slaat alle data op, de data wordt gestructureerd gearchiveerd en kan visueel worden weergegeven. Via de website van 'MOBONZ WebGIS' kunnen alle meetsensoren op het hele tracé opgevraagd worden aan de hand van een unieke code.

Meetinstrumenten die van toepassing zijn bij het analyseren van de grondvervormingen buiten de bouwput worden in onderstaande (deel)paragrafen toegelicht. Doel & locatie en een omschrijving van het meetinstrument worden omschreven. Het betreffen:

- Maaiveldmeetinstrumenten;
- Extenso- & inclinomeetinstrumenten;
- Gebouw monitoringsinstrumenten.

Voor een schematische weergave van de situering van de meetinstrumenten in de grond ten opzichte van de bouwput wordt verwezen naar Figuur 3.24. Voor een specifieke situering van meetinstrumenten per steeg wordt verwezen naar bijlage 8. Gebouw monitoringsinstrumenten worden in dit onderzoek ook beschreven omdat deze de gevolgen van de gronddeformaties kunnen constateren. Gebouwdeformaties worden in dit onderzoek ook geanalyseerd (zie § 4.3) ter controle voor het meetsysteem in de grond.



Figuur 3.24; Schematische weergave van Station Rokin tijdens de bouwfase. Het diepe gedeelte van de bouwput, met afmetingen van ± 200 meter lang, ± 25 meter breed en ± 25 meter diep, is weergegeven met de kleur bruin. De verdeelhallen die buiten de scope van dit onderzoek vallen zijn met de kleur geel weergegeven. Met de kleur grijs is de belending weergegeven. De lichtblauwe lijn geeft het invloedsgebied rondom de bouwput weer. Het invloedsgebied is gedefinieerd als het gebied waar zettingen groter dan 1 mm zijn voorspeld. De diverse gekleurde punten geven meetinstrumenten t.b.v. gronddeformaties weer in de verschillende ontsluitingswegen. De donkerblauwe punten op de belending zijn de prisma's die gemeten worden met behulp van totalstations, aangegeven met een rode 'R' (Figuur is afkomstig uit MOBONZ WebGIS).

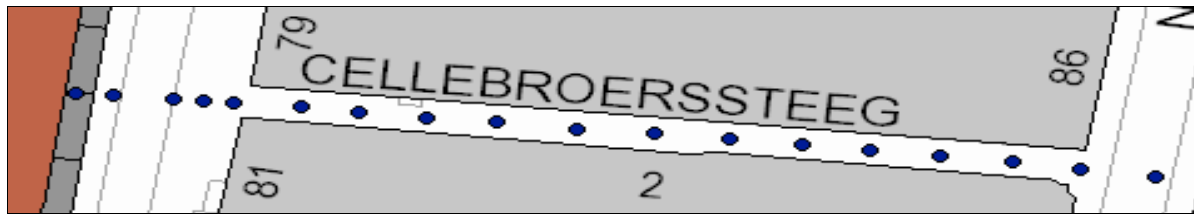
Reken- doorsnede	Straatnaam	Kilometer	Afstand diepwand tot gevel [m]	Afstand diepwand tot extenso- & inclinometers [m]				
				2,8	8,4	15,9	26,2	41,1
I	Enge Kapelsteeg	11233	12,5	2,8	8,4	15,9	26,2	41,1
II	Wijde Kapelsteeg	11192	7,1	3,7	9,2	16,9	27,2	42,1
III	Kalfsvelsteeg	11212	7,9	2,1	6,6	15,3	28,9	41,1
IV	Wijde Lombardsteeg	11131						
V	Cellebroerssteeg							

Tabel 3.7; Stegen die meetinstrumenten bevatten ter plaatse van het toekomstige station Rokin. Tevens zijn de afstanden van de panden en de situering van de extenso- & inclinometers tot het hart van de diepwand weergegeven (bron: K. De Jong et al., 2008, XXXI).

3.5.2.1 Maaiveldmeetinstrumenten

Doel & locatie

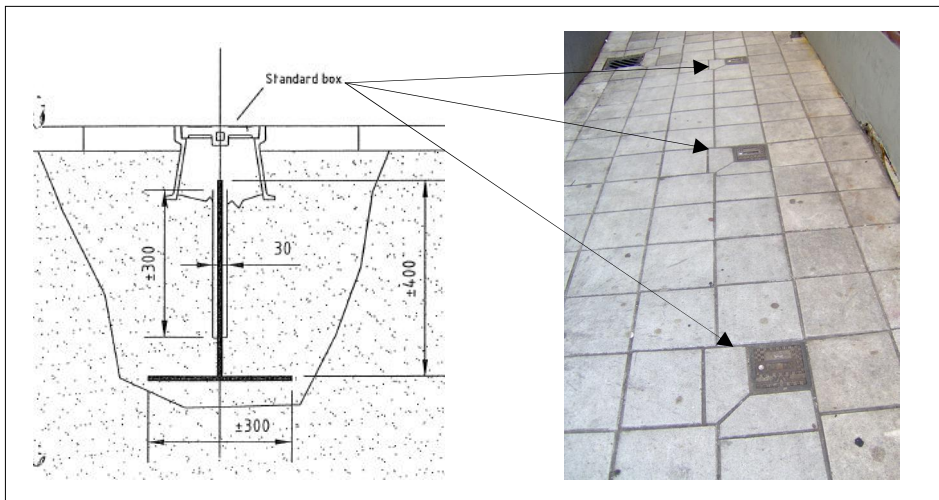
MOBONZ WebGIS levert data van maaiveldmetingen in de vorm van verticale gronddeformaties ter plaatse van het maaiveld. In de vijf stegen van het te bouwen station worden maaiveldmetingen uitgevoerd. De meetdata afkomstig uit de Kalfsvelsteeg, Cellebroerssteeg, de Enge- en Wijde Kapelsteeg worden in dit onderzoek gebruikt. Iedere steeg bevat ± 20 meetinstrumenten die enkele meters van elkaar gelegen zijn. Zie Figuur 3.25 voor een schematische weergave van de Cellebroerssteeg. De frequentie van inmeten is veel lager dan bij automatische metingen zoals dat bijvoorbeeld gebeurt bij extenso- & inclinometers. Dit komt doordat de maaiveldmetingen handmatig worden uitgevoerd. Gemiddeld wordt er één keer in zes weken een meting uitgevoerd.



Figuur 3.25; Situering van maaiveldmeetinstrumenten (blauwe punten) t.p.v. de Cellebroerssteeg t.o.v. de bouwput (bruin gearceerd). Figuur is afkomstig uit MOBONZ WebGIS.

Omschrijving meetinstrument

Figuur 3.26.1 geeft een schematische weergave van een maaiveldmeetinstrument. Het meetinstrument bestaat uit een gegalvaniseerde voetplaat van $\pm 300 \times 300$ mm met daarop een verticale staaf van ± 400 mm lang (in de praktijk ± 800 mm lang), die naar het maaiveld gericht is. De staaf wordt beschermd door middel van een mantelbuis om invloeden van de bovenliggende grondlaag te voorkomen. De bovenkant van de staaf die ter hoogte van het maaiveld beschermd wordt door een box kan ingemeten worden. Voor een visuele weergave van diverse boxes in een steeg wordt verwezen naar Figuur 3.26.2. Uit eerdere proeven is gebleken dat het meetinstrument een nauwkeurigheid heeft van 0,2 mm (informatie afkomstig van Mondriaanproef)

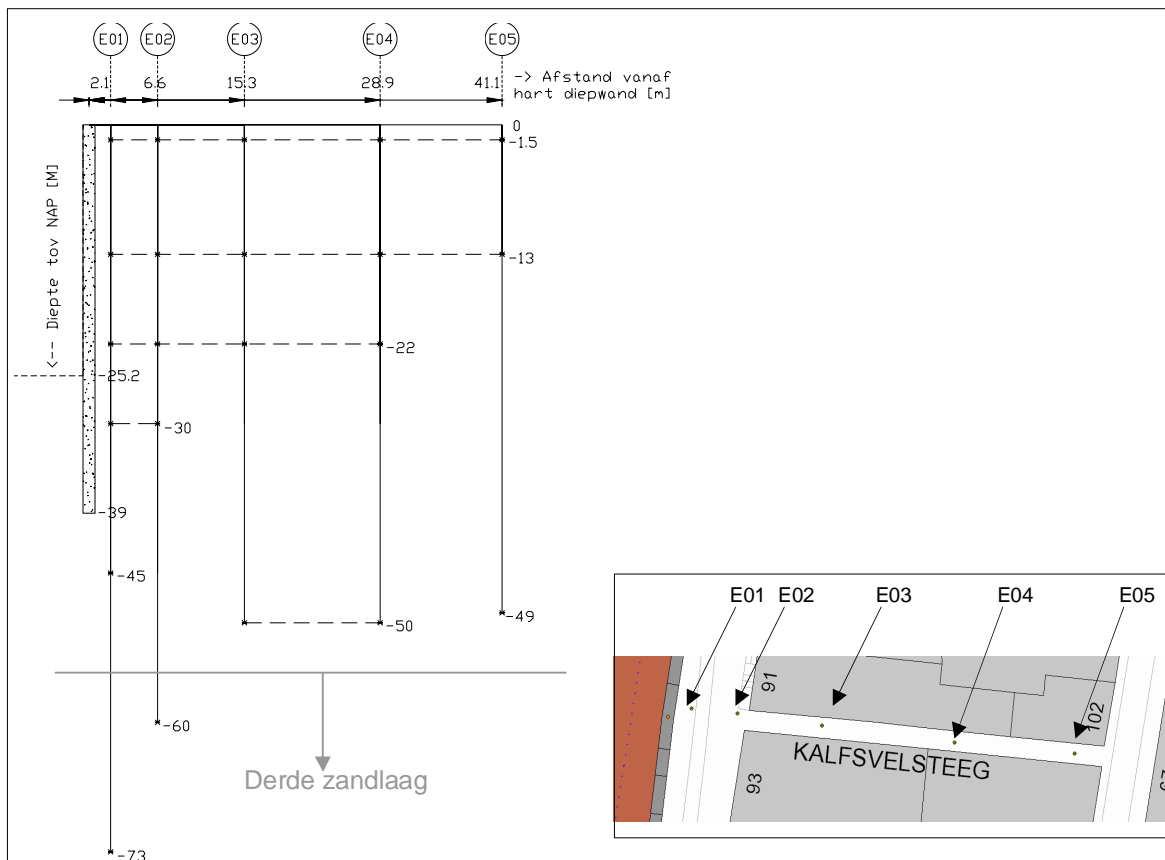


Figuur 3.26; 1: Een schematische weergave van een maaiveldmeetinstrument. 2: Bovenzijde van een beschermbox is verwerkt in het straatwerk.

3.5.2.2 Extenso- & inclinometers

Doel & locatie

Horizontale en verticale grondverplaatsingen op diverse diepten ten opzichte van NAP worden op verschillende afstanden haaks op de bouwput gemonitord. Zie Figuur 3.27 voor een schematische dwarsdoorsnede van de Kalfsvelsteeg met de situering van de meetinstrumenten E01 tot en met E05. De elektronisch gegenereerde horizontale (inclinometers) en verticale (extensometers) verplaatsingen uit MOBONZ WebGIS, geven inzicht in de totale gronddeformaties. Meetinstrumenten in drie stegen van het toekomstige station (Kalfsvelsteeg, de Enge- en Wijde Kapelsteeg; zie voor overzichtstekening Figuur 3.24) leveren automatisch horizontale en verticale gronddeformaties haaks op de bouwput. Meetdata is met een bepaalde continuïteit beschikbaar doordat de deformaties automatisch gemeten worden. Dit betekent dat er tot tientallen keren per dag gemeten wordt.

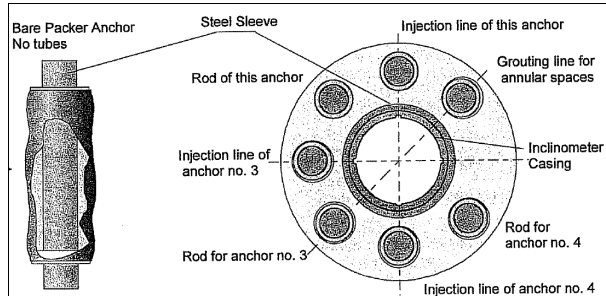


Figuur 3.27; Schematische dwarsdoorsnede en een bovenaanzicht van de Kalfsvelsteeg met de locatie van extenso- & inclinometers t.o.v. de diepwand en diepte t.o.v. NAP (bovenaanzicht is afkomstig uit MOBONZ WebGIS).

Per steeg zijn er vijf extenso- & inclinometers aangebracht. In Figuur 3.27 is de Kalfsvelsteeg als voorbeeld steeg met meetinstrumenten weergegeven. Een extensometer genereert in één instrument op maximaal zes verschillende punten in de diepte meetdata. Een inclinometer genereert op maximaal dertig verschillende punten in de diepte meetdata. Meetinstrumenten E01 en E02, die het dichtst bij de bouwput zijn gelegen, zijn in de derde zandlaag gefundeerd. De andere drie buizen met meetinstrumenten (E03, E04 en E05) zijn in de tweede zandlaag gefundeerd. De derde zandlaag wordt als vaste en daardoor als referentielaag beschouwd. Als meetinstrumenten niet in deze laag gefundeerd zijn moet bij extensometerdata worden uitgegaan van een verticaal verschil van gemiddeld 0,9 mm per jaar door autonome zakkingen (zie § 3.2.2.1 voor een omschrijving van het begrip autonome zakkingen).

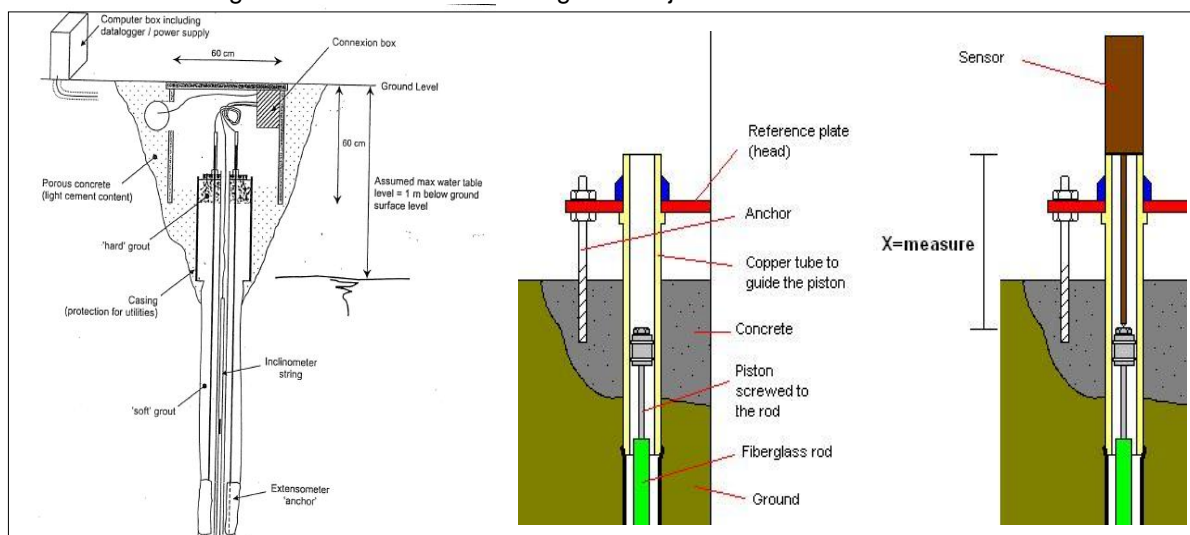
Omschrijving meetinstrumenten

De extenso- & inclinometers zijn in flexibele boorbuisen verwerkt. In één boorbuis van \varnothing 150 tot 200 mm zit zowel een extenso- als een inclinometer verwerkt. Voor een schematische weergave van een dwarsdoorsnede van deze buis wordt verwezen naar Figuur 3.28.



Figuur 3.28; Een schematische weergave van de dwarsdoorsnede van een boorbuis \varnothing 150 tot 200 mm met daarin extenso- & inclinometer (Bron; H. Netzel en F.J. Kaalberg, XXII). Figuur afkomstig uit bron: Interfels, VIII.

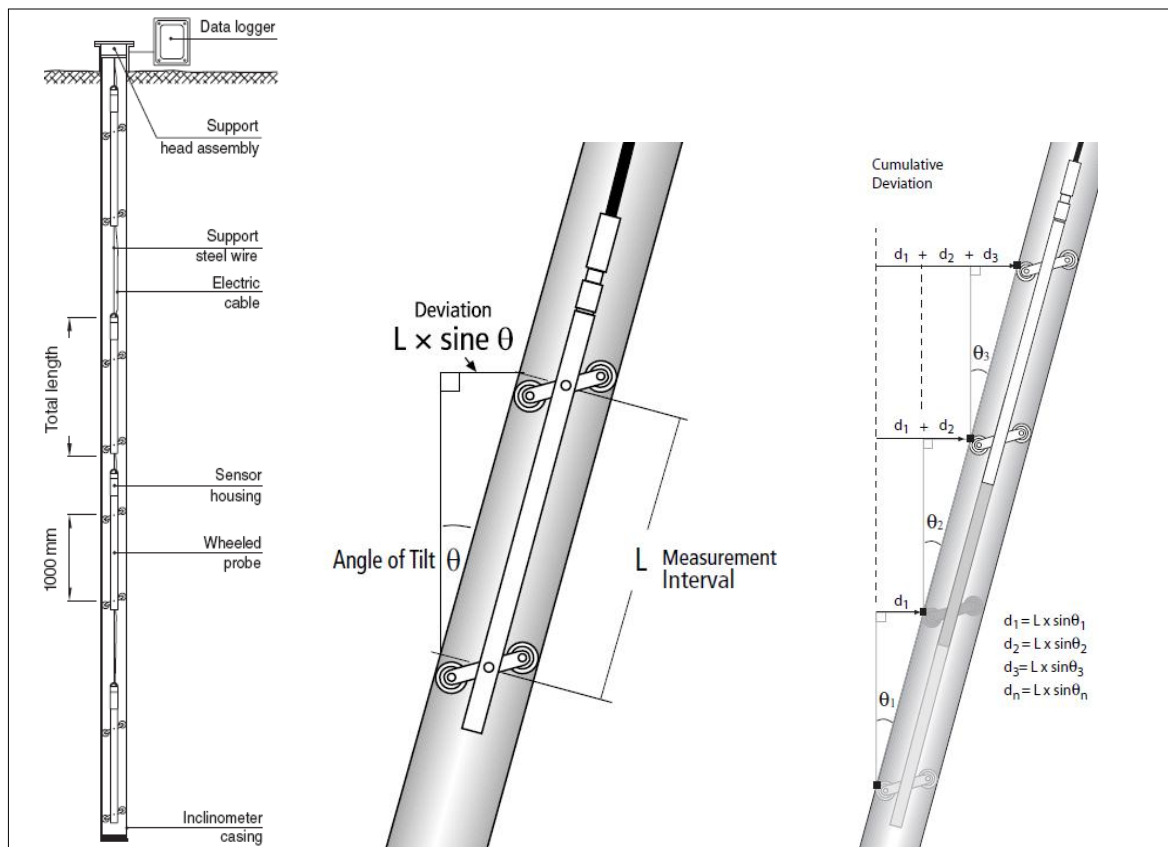
Extensometers zijn op diverse diepten in een boorbuis aangebracht. De extensometers worden vastgezet met behulp van ankers. Deze ankers zijn vastgezet met behulp van een groutprop. De ankers zijn doormiddel van glasvezel met een referentiepunt op het maaiveld verbonden. De glasvezel loopt door een mantelbuis om invloeden van andere grondlagen te voorkomen. Zie voor een schematische weergave en details Figuur 3.29. Met behulp van een verplaatsing opnemer ter plaatse van het maaiveld is de deformatie van de glasvezel te meten ten opzichte van een vast referentiepunt in de derde zandlaag. Op deze manier is het mogelijk om van maximaal zes verschillende diepten data ten aanzien van verticale gronddeformaties te verkrijgen. In de dichtstbijzijnde en tevens langste buis bij de bouwput (E01) zijn dat; surface, NAP -1,5 (of -0,9)/ -13 (= eerste zandlaag)/ -22 (= tweede zandlaag)/ -30/ -45 meter (zie Figuur 3.27 voor een schematische weergave). De boorbuis is in de derde zandlaag op een diepte van NAP -73 m gefundeerd. Dit punt wordt zowel in horizontale als in verticale zin als een vast punt beschouwd. De bandbreedte en daarmee de nauwkeurigheid van de extensometers betreft normaal millimeters. De extenso meetinstrumenten hebben een maximaal bereik van 75 mm verticale zakking en 25 mm rijkning. Wanneer dit maximum bereikt is kunnen de instrumenten weer gebruikt worden nadat deze gereset zijn.



Figuur 3.29; Een schematische weergave van een extensometer en details daarvan (Figuur 1 is afkomstig uit bron: Soldata/ Grontmij, VII. Figuren 2 en 3 zijn afkomstig uit bron: S. F. Frankenmolen, 2006, VI)

Inclinometers zijn in dezelfde boorbuis als de extensometers aangebracht. Voor een schematische weergave van een inclinometer wordt verwezen naar Figuur 3.30. Een inclinometer kan de veranderingen van de helling in een buis bepalen. Hieruit kan de horizontale gronddeformatie afgeleid worden. De casingafmeting en hoeveelheid kabels die benodigd zijn om data vanuit de instrumenten naar de database te transporteren geeft een limitering van de hoeveelheid meetinstrumenten. De meetinstrumenten in de buis zijn onderling met een staaldraad bevestigd. Afhankelijk van de diepte ten opzichte van NAP wordt iedere 2 tot 4 meter een meting verricht. Dit betekent dat in de diepste buis (E01) dertig metingen gegenereerd worden. De onderkant van de boorbuis is verankerd in de derde zandlaag en dit punt wordt beschouwd als vast referentiepunt.

De richting van de horizontale deformatie is afhankelijk van de coördinaten waar gemeten wordt. In de figuur hiernaast is een x- en y-as weergegeven ter plaatse van de Rokin. De y-as snijdt in langsricting door het hart van het station t.a.v. de tekenafspraken. Deze tekenafspraken zijn van belang bij het uitlezen van inclinometerdata afkomstig uit MOBONZ WebGIS. Wanneer men met een positieve tekenafpraak te maken heeft en een positieve horizontale verplaatsing waarneemt, betekent dat er een verplaatsing van de bouwput af optreedt. Een negatieve aflezing in de data met een positief conventieteken betekent deformaties naar de bouwput toe.



Figuur 3.30; Een schematische weergave en details van een inclinometer. (Figuur 1 is afkomstig van 'In-place inclinometers', www.sisgeo.com/pdf/schede/S400_EN.pdf. Figures 2 en 3 zijn afkomstig van www.slopeindicator.com/pdf/course%20material/data%20reduction.pdf).

3.5.2.3 Totalstations & prisma's

Ondanks zorgvuldigheid tijdens de werkzaamheden zijn meetinstrumenten in de grond beschadigd. Daarom zijn ter plaatse van het toekomstige station bepaalde meetdata in de grond onbruikbaar. Een voorbeeld van een beschadigd onderdeel van een meetinstrument is te zien in Figuur 3.31. Tevens blijkt achteraf dat alle meetinstrumenten in de grond tijdens de gehele bouwperiode in de Wijde Lombardsteeg defect zijn.



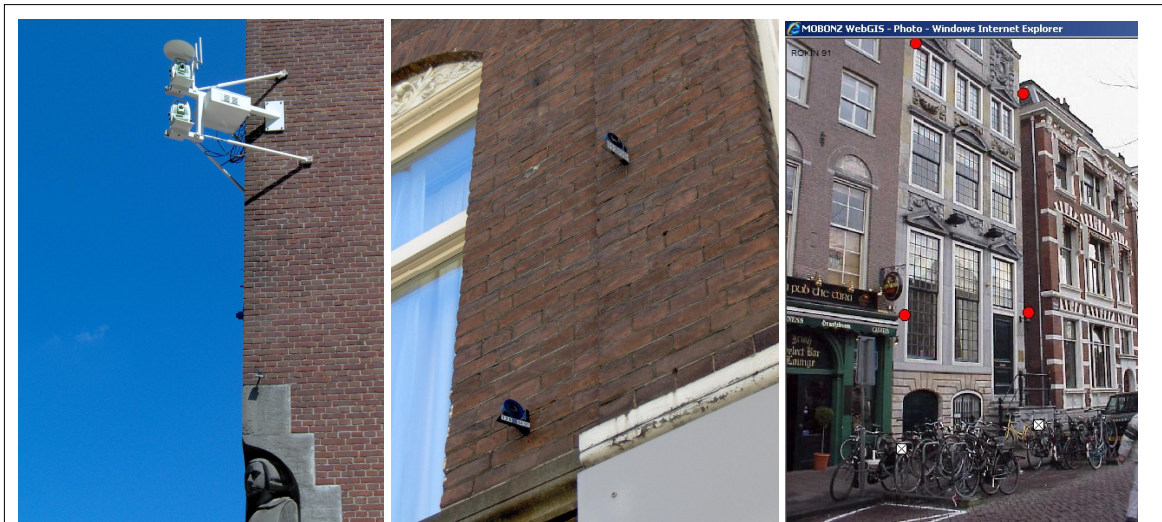
Figuur 3.31; Werkzaamheden t.p.v. panden die aan de oostzijde het toekomstige station zijn gelegen. Tijdens de werkzaamheden is een beschermbuis van een meetinstrument zwaar beschadigd (foto's afkomstig van R. de Nijs van Adviesbureau Noord/Zuidlijn).

Doel & locatie

Het analyseren van de gronddeformaties naast de bouwput is niet overal mogelijk met behulp van extenso- & inclinometers en maaiveldmeetapparatuur. Dit heeft onder andere te maken met defecte meetapparatuur in de grond. Aanvullend geven de gebouwdeformaties ook informatie over de gevolgen van gronddeformaties.

Gebouwdeformaties zijn het gevolg van gronddeformaties. Aan de hand van de data van gebouwdeformaties kunnen conclusies getrokken worden over de gronddeformaties. De informatie afkomstig van de belendingen geeft dus inzicht in de gronddeformaties. Daarom is het voor dit onderzoek van belang, om in bepaalde gevallen de deformaties van de belending te kunnen analyseren.

De gebouwdeformaties worden vastgesteld aan de hand van meetdata. Meetdata wordt gegenereerd op diverse tijdstippen. Gemiddeld worden de instrumenten één keer per uur automatisch afgelezen. Voor een situering van de totalstations en prisma's wordt verwezen naar Figuur 3.24. Aangrenzende panden binnen de invloedzone ter plaatse van de bouwput bevatten meerdere prisma's op diverse hoogten. Deze prisma's worden gemonitord met totalstations. Ongeveer 15 totalstations zijn in de omgeving van de bouwput geïnstalleerd (zie Figuur 3.32 voor totalstations en prisma's). De volautomatische totalstations meten continu honderden prisma's. Het meetsysteem levert de x, y en z deformaties van de belending op diverse hoogten. Op een aantal belendingen zijn dakprisma's aangebracht en op vrijwel alle panden in het invloedgebied zijn prisma's op de voorgevel aangebracht. Deze bevinden zich onder de dakgoot en ter hoogte van de eerste verdieping. Op de bouwmuur in de dwarssteun zijn ook op twee hoogten prisma's aangebracht.



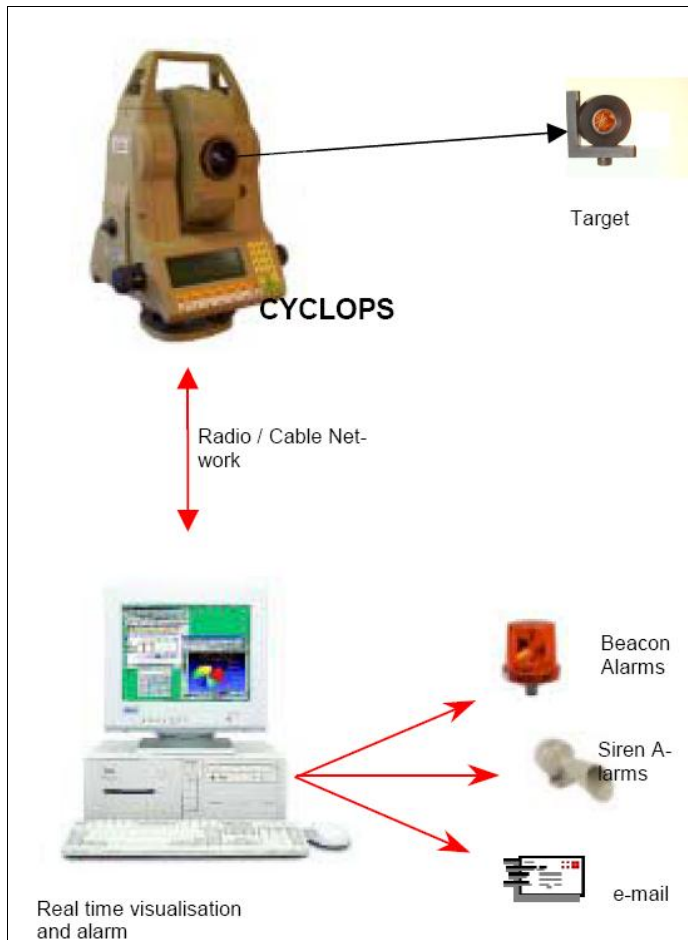
Figuur 3.32; 1: Twee totalstations t.p.v. het Damrak aan het gebouw van de Beurs van Berlage. 2: Twee willekeurige prisma's op de belending. 3: Situering prisma's (rode punten) & meetbouten (witte punten) t.p.v. Rokin 91 (foto afkomstig uit MOBONZ WebGIS).

Er is met een 'basismonitoring' gestart voordat begonnen is met de bouwactiviteiten ter plaatse van het toekomstige station. Dit om de panden ten aanzien van vervormingen te kunnen analyseren zonder dat daarbij werkzaamheden ten aanzien van de NoordZuidlijn invloed hebben gehad. Voorbeelden hiervan zijn seizoensinvloeden (zie § 3.2.2.2 voor een omschrijving van seizoensinvloeden) en vervormingen die toe te schrijven zijn aan derden.

Van belang voor dit onderzoek is de 'Procesmonitoring' die tijdens de bouwactiviteiten wordt uitgevoerd. Naast de 'procesmonitoring' wordt ook een zogenaamde 'close out-monitoring' uitgevoerd. Deze monitoring wordt na de bouwactiviteiten uitgevoerd. Om eventuele zettingeffecten op lange termijn tot circa een jaar na de bouwactiviteiten te kunnen analyseren. Met de 'close out-monitoring' is in dit onderzoek nog niets gedaan omdat deze fase nog volgt.

Omschrijving meetinstrumenten

De volautomatische totalstations meten continu honderden prisma's in het invloedsgebied van het te bouwen station. Het meetsysteem levert de x, y en z deformaties van de belending op diverse hoogten. Via een radioverbinding wordt de data verzonden naar een database. Wanneer er een onvoorziene onvolkomenheid in de (grond)deformatie optreedt, kan dit gemeld worden via sms, e-mail of alarmsystemen. Zie Figuur 3.33 voor een schematische weergave van dit systeem. De nauwkeurigheid van het monitoringsysteem is op 0,5 mm per 60 m gesteld (bron; www.solodatagroup.com, Technical information Structure monitoring, CYCLOPS).

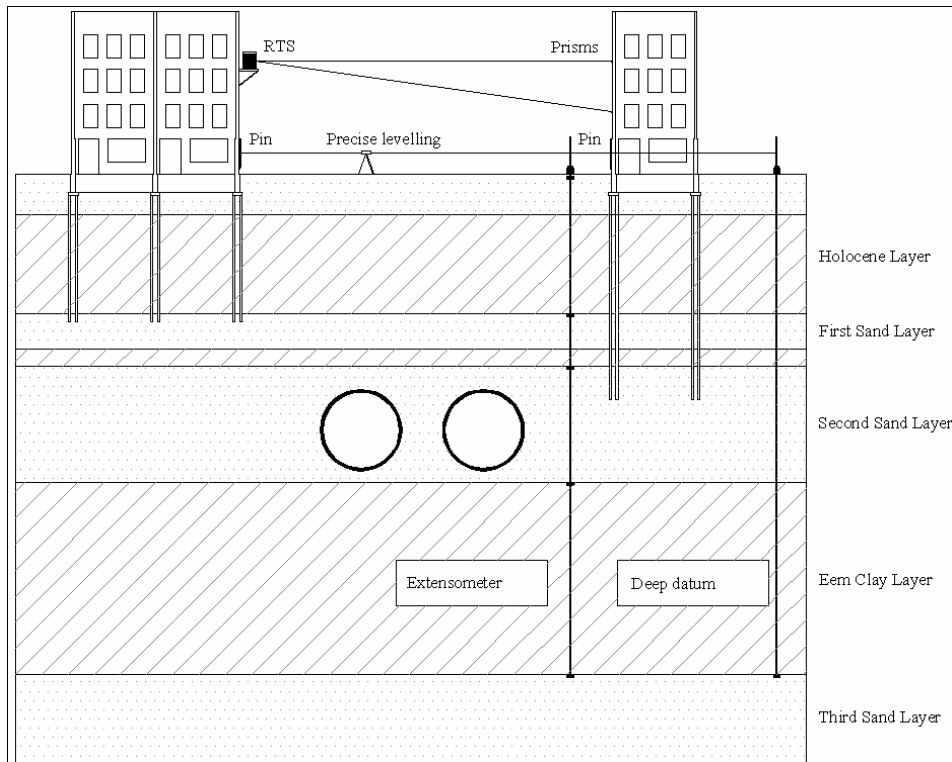


Figuur 3.33; Werking van het gebouwmonitoring systeem (Figuur afkomstig van www.solodatagroup.com, Technical information Structure monitoring, CYCLOPS).

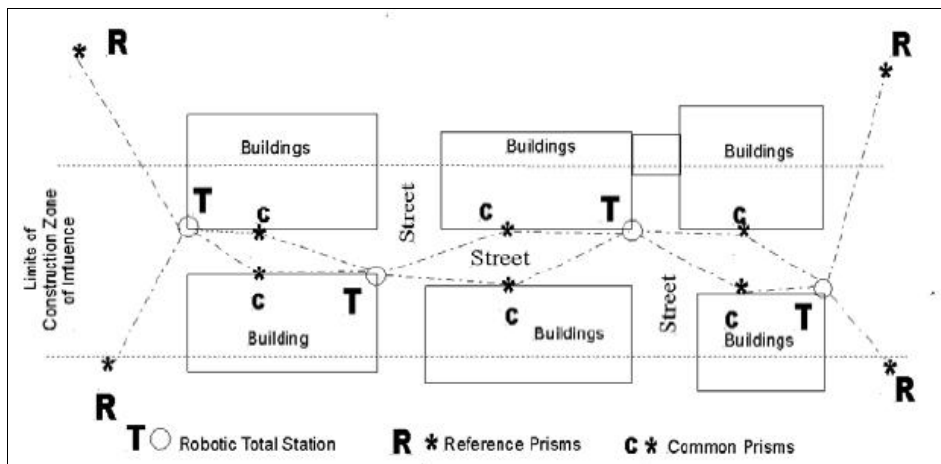
De panden worden gemonitord met behulp van totalstations & prisma's. De panden worden ook met behulp van waterpassing & meetbouten gemonitord. De meetbouten die aan de buitenzijde van de belending bevestigd zijn (zie Figuur 3.32) worden met behulp van een waterpassing handmatig ingemeten. De meetdata geldt als controle middel en als back-up voor het automatische systeem met totalstations & prisma's. Het betreft hier enkel meetdata ten aanzien van verticale vervormingen met een meetnauwkeurigheid van ca. 1 mm.

De handmatige metingen zijn gerelateerd aan de derde zandlaag. Dit betekent dat de handmatige metingen ook autonome zettingen (zie § 3.2.2.1 voor een omschrijving van autonome zettingen) waarnemen.

Het meetsysteem van de totalstations & prisma's is niet gerelateerd aan de derde zandlaag en meet dus niet de autonome zettingen (zie Figuur 3.34). Deze autonome zettingen zijn dus niet verwerkt in de diverse netwerken van de onderlinge totalstations en bijbehorende prisma's. Hierdoor kan er tussen elk netwerk van de totalstations onderling verschil ontstaan (zie Figuur 3.35). Dit betekent dat er onderlinge verschillen in de meetpunten kunnen optreden of opgetreden zijn.



Figuur 3.34; Schematische weergave van controle autonome zettingen van de ondergrond m.b.v. waterpassing. De totalstations zijn niet gerefereerd aan de derde zandlaag (Bron: D. Cook et al., 2007, IV).



Figuur 3.35; Schematische weergave van vier netwerken met bijbehorende totalstations met bijbehorende referentiepunten en prisma's (figuur afkomstig uit bron: D. Cook, 2006, XXVIII)

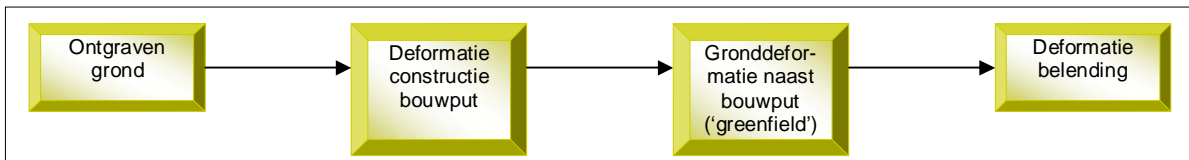
De meetinstrumenten die in deze paragraaf beschreven zijn, leveren data. De data biedt een schat aan informatie ten aanzien van grondvervormingen naast een bouwput. Het betreft horizontale en verticale gronddeformaties haaks op de bouwput. Deze monitoringsdata wordt in hoofdstuk 4 geanalyseerd. Vervolgens wordt de data vergeleken met opgestelde berekeningen en literatuur dat in hoofdstuk 2 verwerkt is. Hieruit volgen conclusies, waarna aanbevelingen in hoofdstuk 5 worden opgesteld.

3.6 Conclusie

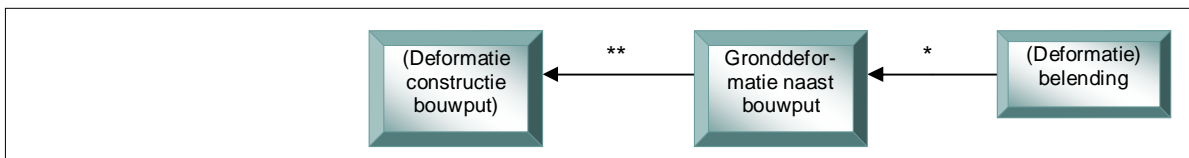
In dit hoofdstuk zijn specifieke punten ten aanzien van station Rokin van de NoordZuidlijn te Amsterdam, omschreven. Het betreft een omschrijving van het grondprofiel, de bouwput van station Rokin, de aangrenzende panden en de aanwezige monitoringssystemen rondom de bouwput.

In § 3.4.1 is de belending omschreven zoals deze rondom het toekomstige station aanwezig is. Deze belending kan onafhankelijk of met meerdere panden tegelijk, op diverse manieren reageren op grondvervormingen naast een te bouwen bouwput. De gebouwdeformatie is het gevolg van de grondvervormingen zoals aangegeven in het stroomschema van Figuur 3.36. Een dergelijk stroomschema wordt gehanteerd wanneer gebruik wordt gemaakt van 'green field' zettingsprofielen zoals besproken in § 2.1.

Echter reageert de belending op de gronddeformaties, of kan het ook zo zijn dat de gronddeformatie afhankelijk is van de belending? Kan de interactie ook omgedraaid worden met als gevolg, minder of andere grondvervormingen naast een bouwput zoals aangegeven in het stroomschema van figuur 3.36 *? En heeft deze interactie dan ook nog gevolgen voor de deformaties van de bouwput **? Hebben funderingspalen geen enkele invloed op het gronddeformatiemodel?



Figuur 3.36; Stroomschema wat leidt tot de deformaties van belending.



Figuur 3.37; Stroomschema met de vraag of belending(deformaties) de grond*- en bouwputdeformaties** beïnvloeden.

In hoofdstuk 4 worden de meetresultaten van station Rokin geanalyseerd. Aan de hand van de data wordt ter plaatse van de belendingen, op verschillende afstanden van de bouwput, gekeken of er onregelmatigheden in de gronddeformaties zijn te analyseren ten opzichte van de literatuurstudie uit hoofdstuk 2. Aan de hand van deze vergelijking is het mogelijk een antwoord te geven op de hoofdvraag van dit onderzoek.

4 Meetdata Rokin

Meetdata van gronddeformaties die opgetreden zijn naast de aan te leggen bouwput van station Rokin, wordt in dit hoofdstuk gepresenteerd en geïnterpreteerd. Tevens wordt, wanneer mogelijk, een vergelijking tussen literatuur (hoofdstuk 2) en meetdata opgesteld. Na de diverse vergelijkingen worden in hoofdstuk 5 conclusies opgesteld om de onderzoeksvraag van dit rapport te beantwoorden. Speciale aandacht gaat in dit hoofdstuk (§ 4.5) uit naar de meetdata van grond- en belendingdeformaties van de bouwactiviteit voorboren (zie omschrijving van de uitvoering in § 3.3.1.1). De meetdata wordt gepresenteerd en geïnterpreteerd waarna conclusies volgen.

4.1 Inleiding

Tijdens alle werkzaamheden zijn de bouwput, de grond en de belending rondom de bouwput op diverse manieren gemonitord. Een omschrijving, situering en specifieke informatie van de meetinstrumenten is terug te vinden in § 3.5. Het monitoringsysteem heeft sinds het jaar 2002 een grote hoeveelheid aan meetdata geproduceerd. In de hierop volgende paragrafen wordt meetdata gepresenteerd. Deze data wordt onderling met elkaar vergeleken en wanneer mogelijk, wordt een vergelijking met de literatuurstudie van hoofdstuk 2 opgesteld. Na het onderzoek volgen conclusies.

De meetdata die voor dit onderzoek van belang zijn, zijn onderverdeeld in diverse onderdelen, te weten:

- De meetdata (zowel grond- als belendingdeformaties) is geanalyseerd ten tijde van:
 - o Fase 1; alle werkzaamheden tot aan de start van de ontgraving van de bouwput;
 - o Fase 2; de ontgraving van de bouwput;
 - o Daarnaast is de eerste ontgravingsslag van fase 2, nader onderzocht. De argumenten voor deze verdiepingsslag worden samen met de meetdata in § 4.3.3 gepresenteerd en toegelicht.
- De twee bouwfasen worden geanalyseerd aan de hand van drie meetraaien die in het te analyseren grondmassief geplaatst zijn. De meetraaien zijn haaks op het station geplaatst. Daarnaast is een analyse aan de hand van belendingdeformaties van belendingen in de nabijheid van de meetraaien opgesteld;
- Zowel de grond- als de belendingdeformaties worden opgesplitst in horizontale- en verticale richting;
- De horizontale- en verticale grondvervormingen worden ter plaatse van de volgende levels gepresenteerd en geanalyseerd:
 - o het maaiveld;
 - o de eerste zandlaag;
 - o de tweede zandlaag.Daarnaast worden de belendingdeformaties op diverse hoogten gepresenteerd en geanalyseerd.

In § 4.5 wordt speciaal aandacht besteed aan de meetdata ten tijde van de bouwactiviteit voorboren.

4.2 Situering benodigde meetdata

De te analyseren meetdata is onder verdeeld in twee fasen. Te weten alle werkzaamheden tot aan de start van de ontgraving (fase 1) en de ontgraving zelf (fase 2). Deze indeling is gemaakt omdat de verwachting is dat deze twee bouwfases essentiële verschillen in het grondvervormingsprofiel kunnen genereren met als gevolg een specifiek antwoord op de hoofdvraag van dit onderzoek. Om tot een gedegen antwoord te komen wordt in deze paragraaf tevens de situering van de benodigde meetdata omschreven.

4.2.1 Bouwfasen

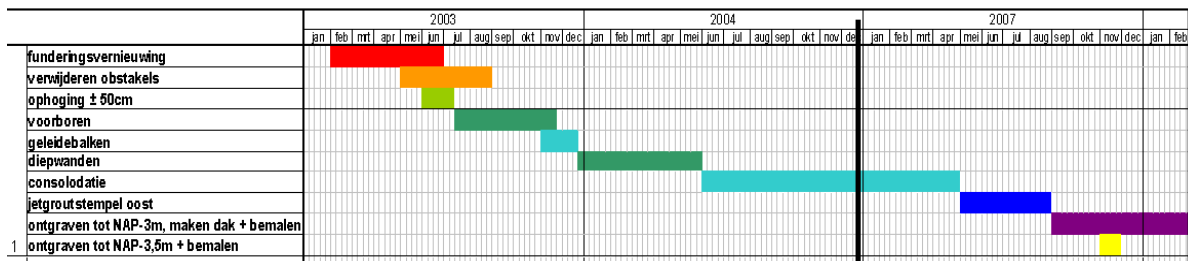
Fase 1; Alle werkzaamheden tot aan de start van de ontgraving

De meetdata die in deze bouwphase gepresenteerd en geanalyseerd wordt heeft specifiek betrekking op alle bouwactiviteiten tot aan het moment dat men begint met ontgraven van de bouwput (zie figuren 4.1 & 4.2 en bijlage 6 voor specifieke informatie ten aanzien van de bouwactiviteiten).

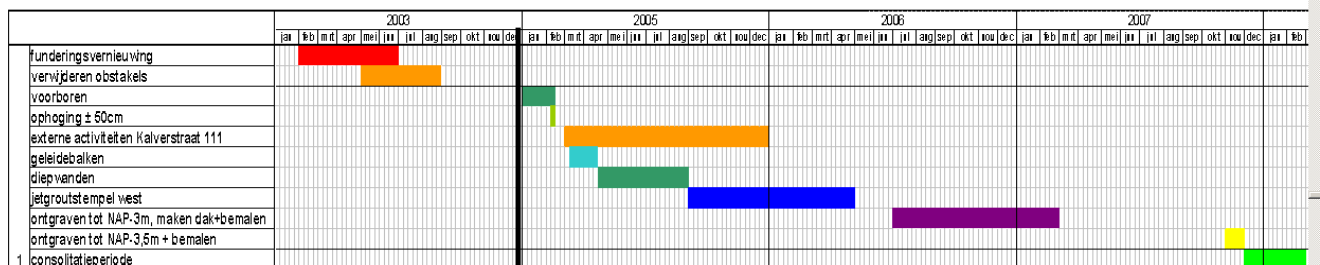
De bouwactiviteiten die in deze fase van invloed zijn op de gronddeformaties in het grondmassief naast de aan te leggen bouwput, zijn:

- Funderingsverbetering van belending;
- Voorbelasting tracé;
- Voorboren van diepe obstakels ter plaatse van de diepwandpanelen;
- Diepwandpanelen aanbrengen;
- Jetgroutstempel plaatsen;
- Ontgraven tot NAP -3,5 m en het dak van de bouwput realiseren;
- Consolidatieperiode.

Het tijdsbestek waarin fase 1 zich afspeelt, is van 1 mei 2003 tot en met 1 maart 2008. Zoals besproken in hoofdstuk 3, worden de bouwactiviteiten in deze fase in twee delen uitgevoerd om de verkeershinder ter plaatse van het maaiveld te minimaliseren. De werkzaamheden aan de oostzijde van de bouwput startten op 1 mei 2003, aan de westzijde van de bouwput startten de werkzaamheden op 1 januari 2005. Desbetreffende bouwactiviteiten aan zowel de oost- als westzijde van de bouwput zijn gereed op 1 maart 2008.



Figuur 4.1; Tijdsplan van bouwactiviteiten aan de oostzijde van de toekomstige bouwput.



Figuur 4.2; Tijdsplan van bouwactiviteiten aan de westzijde van de toekomstige bouwput.

4.2.2 Meetraaien

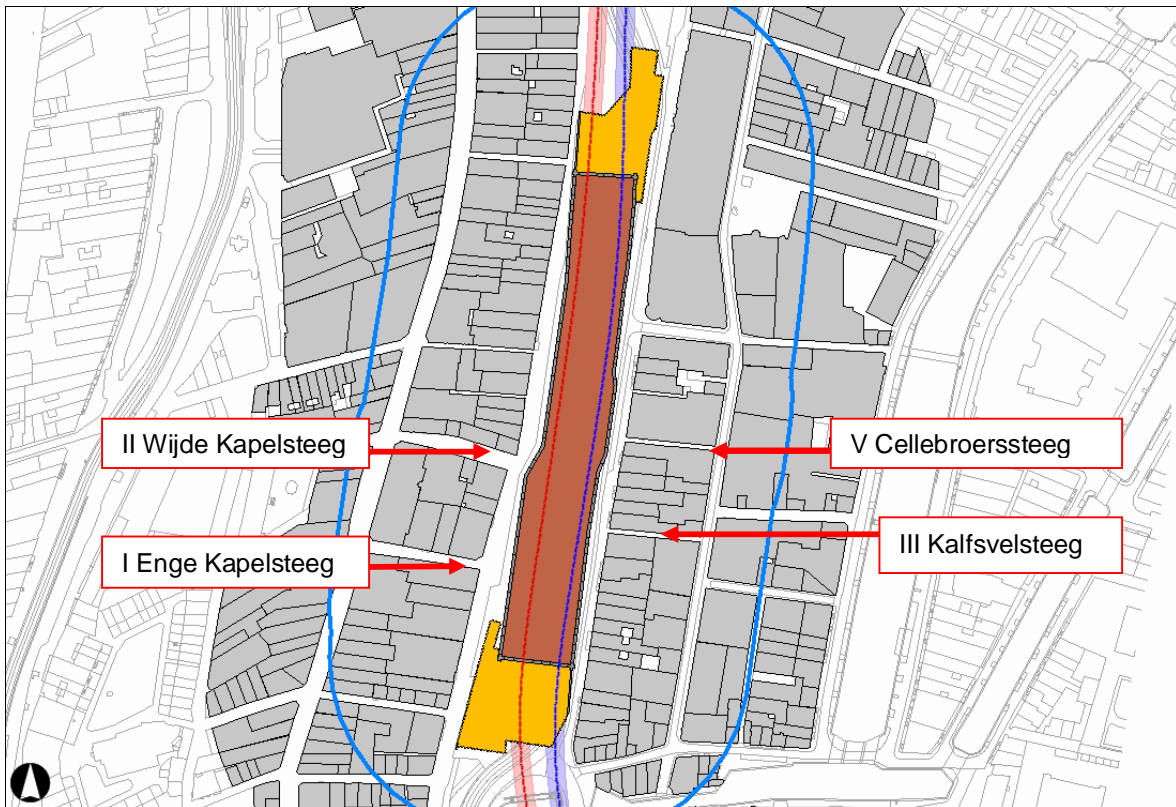
Voor beide bouwfases is vanuit diverse meetraaien meetdata beschikbaar:

- Data in de vorm van gronddeformaties uit drie stegen haaks op de bouwput;
- Data van belending in de nabijheid van de stegen;
- Data van meetinstrumenten afkomstig uit de diepwanden ter plaatse van de meetraaien.

Het betreffen de meetraaien die in de volgende stegen gesitueerd zijn (zie Figuur 4.4):

- I. Enge Kapelsteeg;
- II. Wijde Kapelsteeg;
- III. Kalfsvelsteeg.

De V Cellebroerssteeg geeft alleen meetdata ten aanzien van maaivelddeformaties. Meetinstrumenten in andere meetraaien geven zoals besproken in § 3.5 incomplete data.



Figuur 4.4; Schematische weergave van de bouwput van station Rokin met meetraaien haaks op de bouwput (figuur afkomstig uit MOBONZ WebGIS).

4.2.3 Verticale en horizontale grond- & belendingdeformaties

In voorgaande subparagrafen is aangegeven welke bouwfases bekeken worden ten aanzien van de deformaties. Tevens is aangegeven op welke plaats (in bovenaanzicht) ten opzichte van de bouwput de meetinstrumenten geplaatst zijn.

In onderstaande deelparagrafen worden keuzes ten aanzien van de horizontale en verticale situering van de gekozen meetinstrumenten voor dit rapport toegelicht. Daarna wordt de meetdata geanalyseerd aan de hand van opgestelde sheets. Het betreft meetdata van de gronddeformaties, in horizontale en verticale richting op diverse diepten. Tevens wordt meetdata van belendingdeformaties gepresenteerd en geanalyseerd; daarna volgen conclusies.

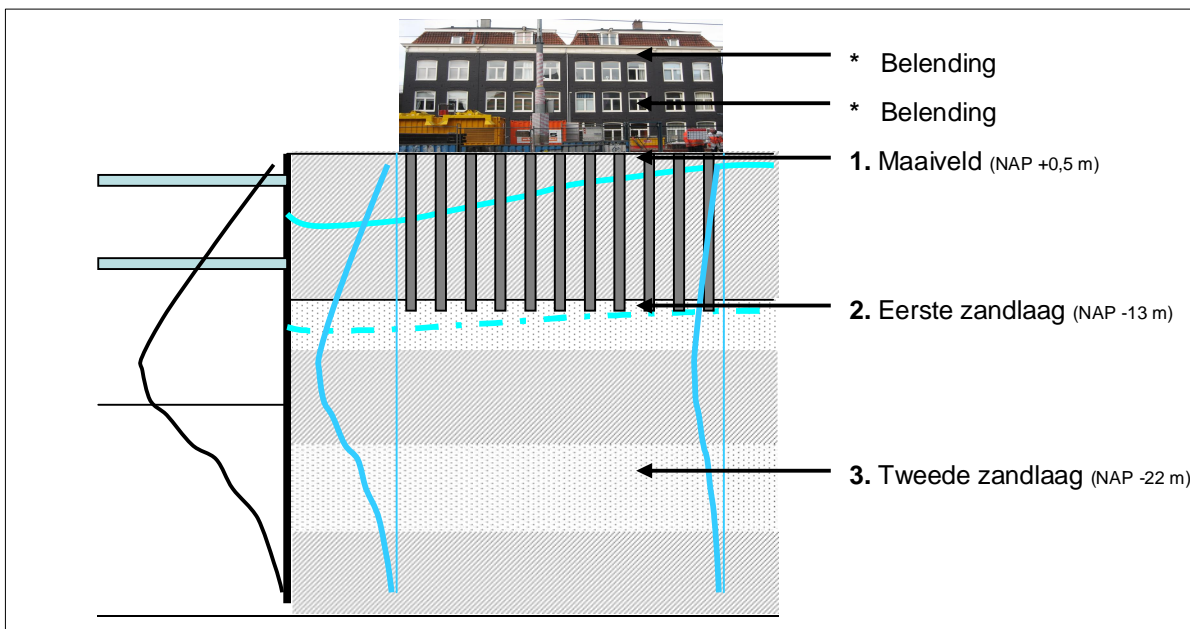
4.2.3.1 Verticale grond- & belendingdeformaties

Gronddeformaties treden op in horizontale- & verticale richting en op diverse diepten. De data wordt in dit onderzoek niet alleen in verticale richting maar ook in horizontale richting gepresenteerd. Op deze manier is het mogelijk met behulp van vectoren de deformaties in een sheet weer te geven.

Een aantal specifieke diepte in de ondergrond zijn van belang voor dit onderzoek, te weten (zie Figuur 4.5);

1. Het maaiveld;
2. De eerste zandlaag;
3. De tweede zandlaag.

Ook de panden worden op diverse hoogten gemonitord alleen zijn deze hoogten onderling wel afwijkend van elkaar. Niet alleen de hoogte, maar ook de specifieke situering van de meetinstrumenten is per pand verschillend. De meetinstrumenten leveren op de panden, zowel horizontaal als verticaal, meetdata. Met alle beschikbare meetdata van een aantal specifieke panden wordt dit onderzoek uitgevoerd. Een onderbouwing van de gekozen diepten in de grond wordt in de volgende alinea's gegeven.



Figuur 4.5; Schets van grond- en diepwand vervormingen. Met de pijlen zijn de diverse hoogten van de situering van de meetinstrumenten weergegeven. Foto is afkomstig uit bron: M. Korff, 2009, XIV.

1. Maaiveld

De metingen van de verticale maaiveldzakkingen worden verricht met extensometers en met maaiveldmeetinstrumenten zoals omschreven in § 3.5.

- De handmatig te meten *maaiveldmeetinstrumenten* (voor resultaten zie § 4.3.1) zijn tijdens de uitvoering van de werkzaamheden minder aangetast dan de automatische extensometers en daardoor betrouwbaarder. Tevens zijn er meer meetpunten (tien tot twintig meetinstrumenten per meetraai ten opzichte van vijf extensometers per meetraai) beschikbaar. De maaiveldmeetinstrumenten zijn buiten de drie aangegeven stegen ook in de Cellebroerssteeg geschikt voor interpretatie. Daarom is buiten de meetdata van de drie stegen ook de meetdata van de Cellebroerssteeg in bijlage 9 terug te vinden;
- De automatische meetdata afkomstig van *extenso- en inclinometers* (voor resultaten zie § 4.3.2 & 4.3.3) zijn zoals aangegeven in drie stegen betrouwbaar en dus bruikbaar voor interpretatie.

In bijlage 9 zijn vier sheets van meetdata terug te vinden die verticale gronddeformaties weergeven ter plaatse van het maaiveld. De data van de aangrenzende belending is tevens in de sheets opgenomen. Omdat panden in de loop der jaren tegen elkaar gebouwd zijn, zijn er diverse bouwmuren in de doorsnede aanwezig. Dit betekent dat er te plaatse van deze bouwmuren funderingspalen in de grond aanwezig kunnen zijn. Of zoals in bijlage 7 aangegeven, er kan gevarieerd zijn in ondergrondse constructies zoals een souterrain in combinatie met funderingspalen of een kelder in combinatie met funderingspalen. Ter plaatse van een beperkt aantal bouwmuren is meetdata beschikbaar van de belendingdeformaties. Deze informatie is tevens in de sheets opgenomen.

De combinatie van de gronddeformatie en de belendingdeformatie kan een inzicht geven in de verhouding tussen beide. Tevens is de verwachtingswaarde van de op voorhand opgestelde Plaxis berekeningen in de sheets opgenomen. Met behulp van deze informatie is een vergelijking te maken tussen de verwachting van de specifieke situatie (berekening en literatuur) en de gemeten realiteit ter plaatse van station Rokin. Voor de interpretatie van de meetdata wordt verwezen naar § 4.3.1.

2. Eerste zandlaag

De situering van de verticale meetinstrumenten ter plaatse van de eerste zandlaag is NAP -13 m. Zoals bij de sheets ten aanzien van het maaivelddeformaties zijn bij de sheets van de 'eerste zandlaag' ook de verticale belendingdeformaties toegevoegd. Op deze manier kan een vergelijking opgesteld worden tussen de belendingdeformaties en de gronddeformaties. Deze vergelijking kan van belang zijn omdat de panden op de eerste zandlaag gefundeerd zijn. De draagkracht van de belending wordt dus voornamelijk ontleend aan deze zandlaag. Tevens kunnen bij deze sheets gronddeformaties vergeleken worden met de op voorhand opgestelde verwachtingswaarde van de Plaxis berekeningen.

3. Tweede zandlaag

De situering van de verticale meetinstrumenten ter plaatse van de tweede zandlaag is NAP -22 m. Bij deze sheets zijn zoals bij de sheets van het maaiveld en de eerste zandlaag ook de belendingdeformaties toegevoegd. Deze informatie is toegevoegd om naar te gaan of er essentiële verschillen zijn tussen zakkingen van de tweede zandlaag en de belendingen.

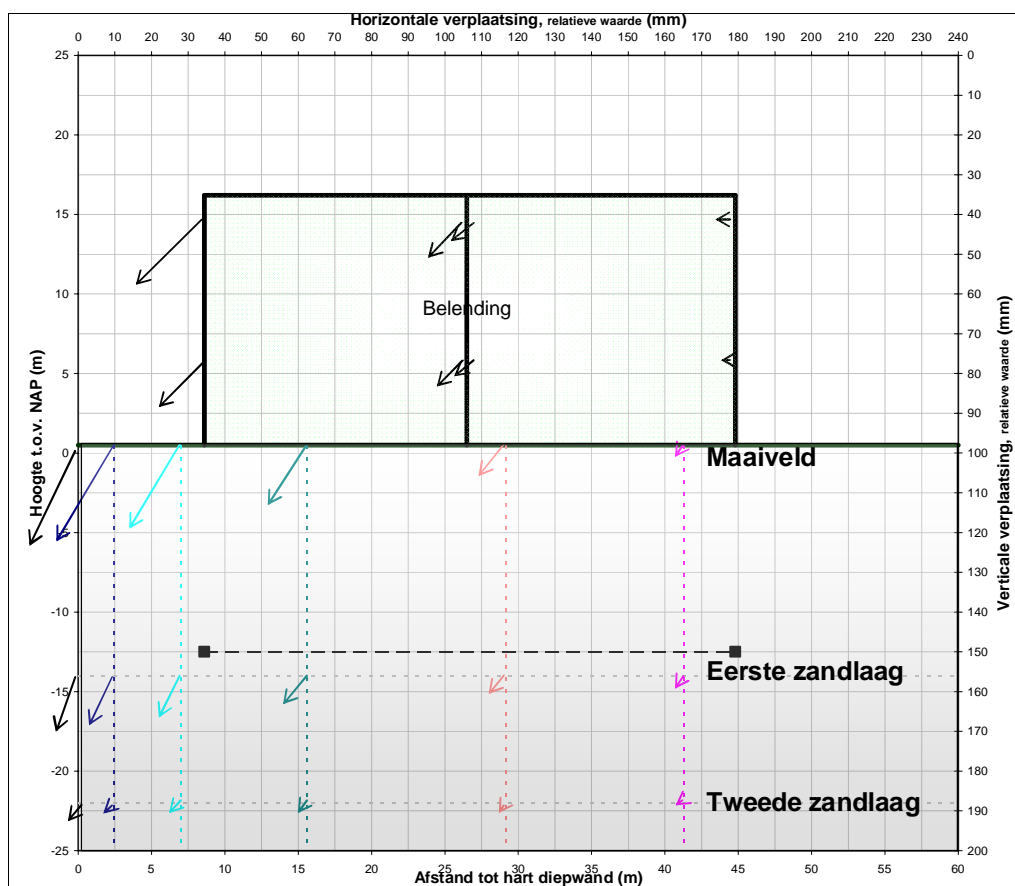
4.2.3.2 Horizontale en verticale grond-, diepwand- & belendingdeformaties

Om een totaalbeeld te genereren van het grondmassief naast de bouwput zijn verticale deformaties (zie § 4.2.3.1) en horizontale gronddeformaties in één sheet uiteengezet. Tevens zijn de horizontale- en verticale deformaties van de belendingen op diverse hoogten uitgezet. Daarnaast kunnen ook de diepwanddeformaties in de sheet toegevoegd worden.

Alle beschikbare grond-, diepwand- en belendingdeformaties zijn met behulp van vectoren weergegeven. Een vector geeft een beeld van de horizontale en verticale deformaties op één specifiek punt. Zie Figuur 4.6 voor een voorbeeldsheet, die qua opbouw representatief is voor alle sheets die terug te vinden zijn in bijlagen 9.

De figuren zijn als volgt opgebouwd; Op de verticale as is aan de linker zijde de hoogte ten opzichte van NAP uitgezet. Aan de rechterzijde kunnen de relatieve waarden van de verticale deformaties op diverse hoogten ten opzichte van NAP in millimeters afgelezen worden. Op de horizontale as is aan de onderzijde van de sheet de afstand tot het hart van de diepwand uitgezet. Aan de bovenzijde kunnen de horizontale deformaties (relatieve waarden) in millimeters op diverse plaatsen ten opzichte van de bouwput afgelezen worden.

Het voordeel van deze weergave is een compleet inzicht van de gemeten deformaties. De hoogten van alle belendingen in de bijlagen zijn niet representatief ten aanzien van de werkelijke hoogte. De exacte hoogte en daarmee de invloed van de stijfheid van de panden is onbekend.



Figuur 4.6; Schematische weergave van een verwachtingspatroon van deformaties (diepwand, grond en belending) in de nabijheid van een aan te leggen bouwput. Tevens is het funderingsniveau van de funderingspalen van de belending weergegeven. Alle sheets die in bijlage 9 terug te vinden zijn, zijn op eenzelfde manier opgebouwd.

In de sheets zijn ten aanzien van de maaiveldmetingen niet de maaiveldmeetinstrumenten zoals in de paragraaf besproken, gebruikt maar de extensometers. Dit omdat deze op exact dezelfde plaats (zowel horizontaal als verticaal) gesitueerd zijn als de inclinometers. Wanneer de meetdata van één punt afkomstig is kan een vector ter plaatse van de deformaties geplaatst worden.

Ten aanzien van de sheets moet opgemerkt worden dat de inclinometerdata afkomstig is van een diepte van NAP -2 m, terwijl de extensometerdata afkomstig is van het maaiveld NAP +0,5 m. Ten aanzien van de eerste zandlaag worden de verticale metingen met de extensometers op NAP -13 m gemeten. Echter is het niveau van de inclinometerdata afkomstig van NAP -14 m. De deformaties die uit de inclino- en extensometerdata volgt, is in de sheets gepresenteerd op NAP -14 m.

4.3 Interpretatie meetdata en vergelijkingen met literatuur

Het monitoringssysteem zoals omschreven in § 3.5 in combinatie met de gekozen meetinstrumenten volgens § 4.2 levert meetdata. In deze paragraaf volgt een interpretatie van de meetdata in diverse sheets. Meetdata ten aanzien van:

1. Verticale maaiveldmeetinstrumenten;
2. Horizontale & verticale meetdata van fase 1 & 2;
3. Horizontale & verticale meetdata van de eerste ontgravingsslag.

Wanneer de interpretatie van de meetdata is opgesteld wordt, indien mogelijk, een vergelijking met de literatuurstudie opgesteld. In de literatuurstudie zijn diverse deformatiepatronen, die door diverse auteurs zijn opgesteld, omschreven.

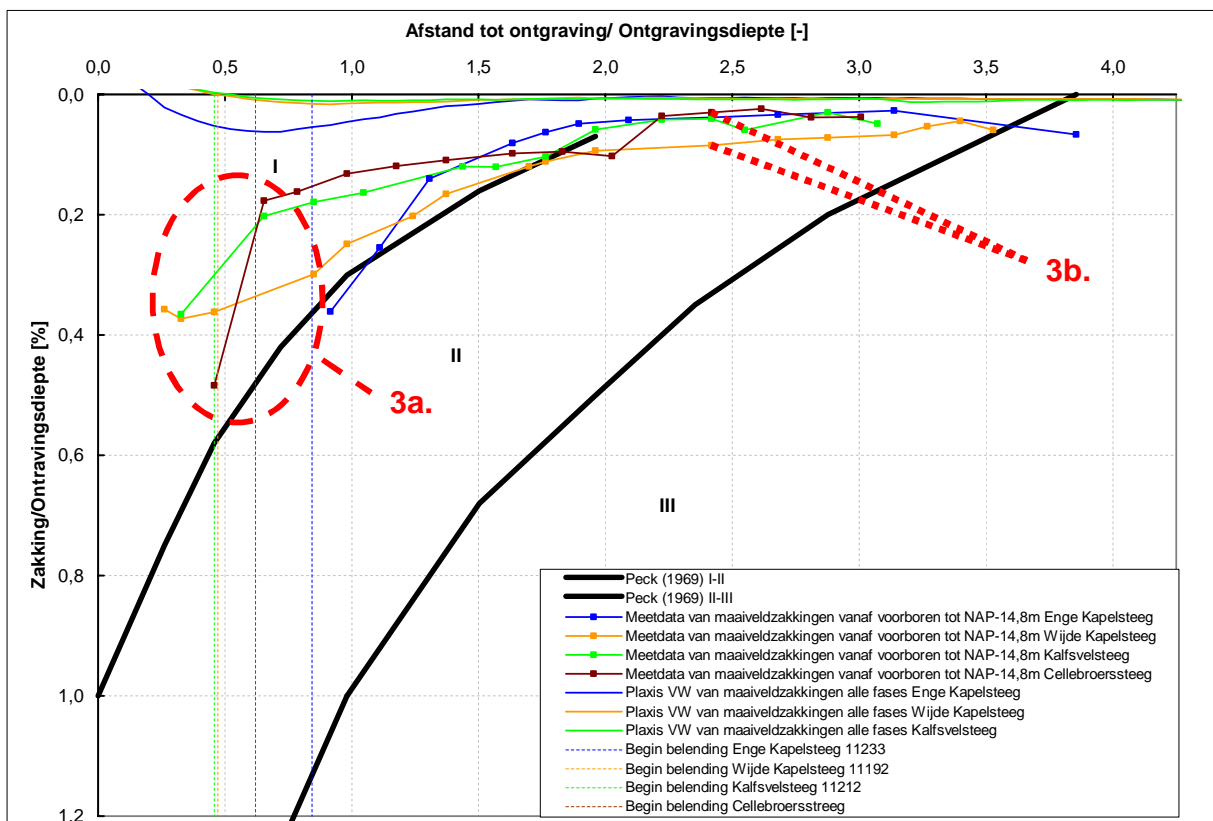
Aan de hand van de vergelijking worden conclusies opgesteld. Na deze analyse volgt een verdieping exercitie van de eerste ontgravingsslag. Dit gebeurt tevens aan de hand van interpretatie van de meetdata, een vergelijking met de literatuur en conclusies. Alle meetdata en gemaakte sheets behorende bij deze paragraaf zijn terug te vinden in bijlage 9.

4.3.1 Verticale maaivelddeformaties alle fasen

Figuur 4.7 presenteert een sheet met handmatig gemeten maaiveldzakkingen naast een aan te leggen bouwput zoals Peck (1969) deze omschreven heeft (zie § 2.2.1 voor een omschrijving). In deze sheet zijn de verwachtingswaarde van de Plaxis berekeningen en de meetdata van de maaiveldzakkingen van alle fasen exclusief de bouwphase voorboren (ontgravingsdiepte 15,3 meter, van NAP +0,5 m tot NAP -14,8 m) van alle gemeten meettraaien van station Rokin weergegeven. Met deze sheet is het mogelijk specifieke vergelijkingen op te stellen tussen Peck (1969), berekeningen en de meetdata.

Interpretatie verticale maaivelddeformaties (Figuur 4.7)

1. De verwachtingswaarde van de projectgebonden Plaxis berekeningen wordt in 'Peck zone I' geplot;
2. De gemeten maaivelddeformaties bij station Rokin, leveren resultaten die in zone I & II van de Peck grafieken geplot worden. Tevens is de gemeten waarde relatief gezien aanzienlijk groter dan de projectgebonden berekeningen;
3. De geanalyseerde meettraaien (t.p.v. de belending) genereren maaivelddeformaties die relatief veel minder groot zijn dan in een 'green field' situatie verwacht wordt, zie figuur 4.7 (3a.) en figuur 4.8 voor een schematisatie. De breedte van de steeg lijkt invloed op het vervormingsgedrag te hebben, zie 3b in figuur 4.7.



Figuur 4.7; Meetdata van de maaiveldzakkingen (na de bouwactiviteit voorboren t/m ontgraving NAP -14,8 m) en de verwachtingswaarde van maaiveldzakkingen van projectgebonden Plaxis berekeningen (alleen ontgraving t/m NAP -14,8m) in de grafiek van Peck (1969). De Punten 3a en 3b laten een ander beeld zien dan de verwachting, dit n.a.v. omgevingsbeïnvloeding.

Conclusies verticale maaivelddeformaties

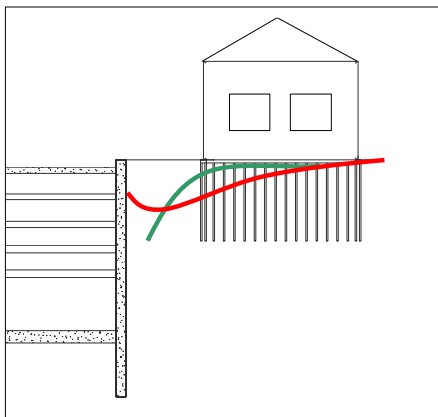
1. De projectgebonden Plaxis berekeningen zijn veel kleiner dan de deformaties zoals verwacht volgens de literatuur (Peck). Dit is mede te wijten aan het feit dat in de Plaxis berekeningen geen fases voor de ontgraving, zoals het maken van diepwanden, zijn meegenomen;
2. De gemeten maaiveldzakkingen zijn over de totale doorsnede groter dan op voorhand voorspeld. Een vermoedelijke oorzaak kan de grondgesteldheid in Amsterdam zijn;
3. Aan de hand van de meetdata kan gesteld worden dat de literatuur in mindere mate rekening houdt met de invloed van 'omgevingsfactoren', zoals in dit geval belending (zie punt 3a. in Figuur 4.7). Een schematische weergave van deze conclusie is te zien in figuur 4.8.

Ter plaatse van de belending kan de grond na deformatie aan de belending of aan de palen blijven hangen. Het gevolg is dus minder maaiveldzakkingen in de nabije omgeving.

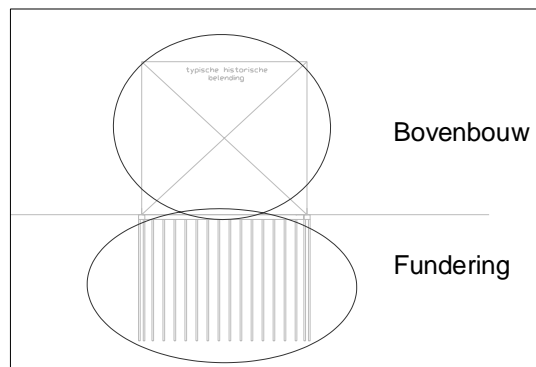
Haaks op de meetraaien in de stegen is geen meetdata beschikbaar. Wel is in figuur 4.7 te zien dat grond ter plaatse van bredere stegen (Wijde Kapelsteeg ± 7 m breed) meer deformaties genereert ± 10 mm, dan smalle stegen (bijvoorbeeld de Enge Kapelsteeg ± 3,5 m breed). Zie punt 3b. in Figuur 4.7.

Aan de hand van de data is niet vast te stellen wat de consequenties zijn van (zie figuur 4.9):

1. Bovenbouw;
2. De fundering van de belending.



Figuur 4.8; Maaiveldzakkingen volgen niet de literatuur zoals de rode lijn (in 'green field') aangeeft maar volgen de groene lijn.



Figuur 4.9; Onderscheid tussen de fundering van de belending en de bovenbouw van de belending.

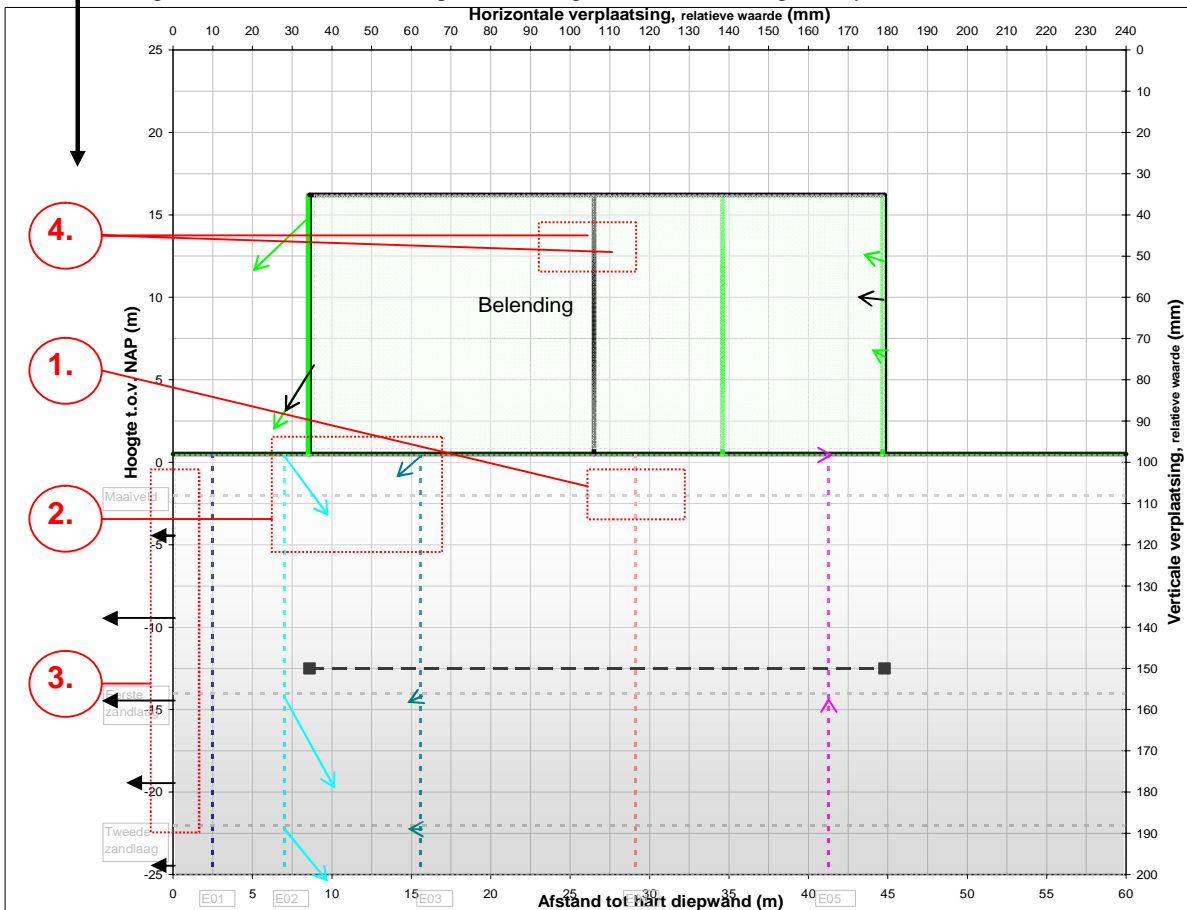
4.3.2 Horizontale & verticale meetdata bouwfasen 1 & 2

Een visuele weergave van de meetdata van bouwfasen 1 & 2 is te zien in Figuur 4.10. Een interpretatie van de meetdata en conclusies daarvan volgen in deze subparagraaf.

Interpretatie meetdata (Figuur 4.10)

Het interpreteren van de combinatie van meetdata ten aanzien van de grond-, diepwand- en belendingdeformaties ter plaatse van station Rokin blijkt (haast) onmogelijk. Dit omdat data in bepaalde gevallen verstoord en of incompleet is. De resultaten in de vorm van een sheet geven daardoor dus een verstoord beeld (zie Figuur 4.10). De verstoringen en of de incomplete meetdata leveren echter wel conclusies & aanbevelingen ten aanzien van toekomstige projecten. Een representatieve weergave van alle meetraaien en bijbehorende interpretaties van de meetdata zijn:

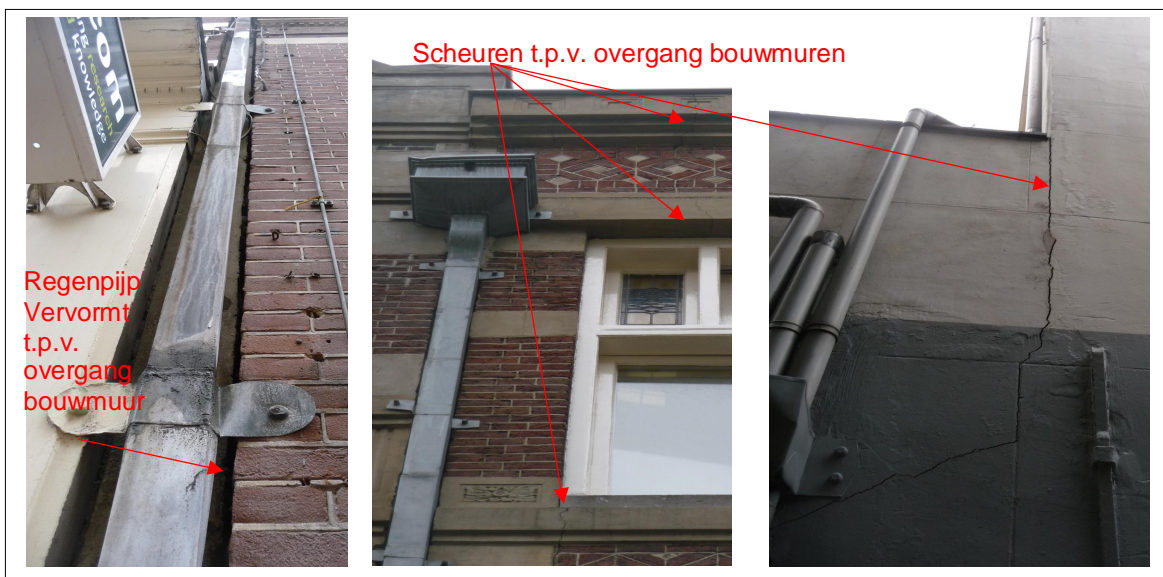
1. De verwerkte data in de sheets geeft een incompleet beeld van de deformaties. Dit is te wijten aan het feit dat van de ruwe gronddeformatie meetdata van de automatische inclinometers 40% en automatische extensometers 50% gecorrigeerd moest worden voor dit onderzoek (interpolatie tussen eerste en laatste betrouwbare meting, tijdsperioden van onbetrouwbare data variëren). Of de data is zelfs helemaal niet beschikbaar. Hierbij dient opgemerkt te worden dat één op voorhand onbetrouwbare meetraai niet geanalyseerd is;
2. Het is maar de vraag of het percentage data van de grond dat niet aangepast is, waarvan nu resultaten in een sheet gepresenteerd zijn, correcte meetdata betreft. Deze vraag kan gesteld worden omdat de meetdata van de extenso- en inclinometers onverklaarbare deformatiepatronen weergeeft;
3. Tijdens de gekozen bouwfase zijn er geen meetdata beschikbaar van de automatische meetinstrumenten in de diepwand. Maar er zijn wel handmatige meetdata beschikbaar van fase 2 (ontgravingsfase), zie de zwarte pijlen.
4. De beschikbare meetdata van de belending lijkt niet verstoord. Aanvullend aan de nu beschikbare gegevens van voor- en achterzijde, zouden ook gegevens bij alle bouwmuren wenselijk zijn. Hierdoor ontstaat een wenselijker meetpatroon, namelijk: dat er ter plaatse van iedere bouwmuur, onafhankelijke meetdata beschikbaar is maar dat is helaas niet het geval, waardoor onderlinge belendingdeformaties niet geanalyseerd kunnen worden.



Figuur 4.10; Schematische weergave van deformaties (grond en belending) ter plaatse van de Kalfsvelsteeg tijdens de ontgravingsfase. In de figuur zijn de beschreven interpretaties en conclusies weergegeven met de rode cijfers. De interpretatie is representatief voor alle meetraaien (overige sheets van de meetraaien zijn terug te vinden in bijlagen 9). Deze weergave is representatief voor fase 1: tot aan de start van de ontgraving en voor fase 2: de ontgraving zelf van de bouwput van station Rokin (tot en met NAP -14,8 m). De groene bouwmuren geven de belending aan de noordzijde van de steeg aan. De zwarte bouwmuren geven de belending aan de zuidzijde van de steeg aan. De aangegeven hoogte van de belending is niet representatief voor de werkelijkheid. De zwarte stippellijn geeft het paalpuntniveau en daarmee de funderingsafdracht van de belendingen weer.

Conclusies meetdata fase 1 & 2

1. De sheet presenteert incomplete data. De gekozen bouwfases zoals beschreven in § 4.2, hebben een tijdsbestek van meerdere jaren. Tijdens een dergelijk lang uitvoeringstraject kunnen veel defecten aan de meetapparatuur ontstaan. Deze ontstaan door de uitvoering van de werkzaamheden of nevenactiviteiten. Tevens hebben de geïnstalleerde meetinstrumenten niet de levensduur die anno 2011 wel verwacht wordt (meetinstrumenten zijn in 2002 geïnstalleerd en moeten nu nog functioneren). Wanneer er geen meetdata beschikbaar zijn kunnen er geen vergelijkingen met de literatuur en geen conclusies getrokken worden;
2. Zie punt 1. Wellicht is het de vraag of de bandbreedte van de foutmarge van de meetinstrumenten groter is dan op voorhand verwacht;
3. De automatische meetinstrumenten in de diepwanden hebben vanaf dag één niet gefunctioneerd zoals verondersteld. De handmatige meetdata van de inclinometers geven wel een beeld van het deformatiepatroon van de diepwand. De diepwanddeformaties resulteren ter plaatse van het paalpuntniveau van de belending bij de Kalfsvelsteeg in ± 20 mm horizontale deformatie richting de bouwput. De belendingdeformatie resulteert in ± 15 mm verticale en 15 mm horizontale verplaatsing richting de bouwput. De verhouding tussen diepwand en belendingdeformatie wordt ook waargenomen bij fase 2 ter plaatse van de Wijde Kapelsteeg. Ter plaatse van de Enge Kapelsteeg ontbreken diepwanddeformaties. De handmatige diepwanddeformaties geven nogmaals aan dat de geleverde data van de gronddeformaties niet kloppen met het verwachtingspatroon;
4. Er zijn niet voldoende data beschikbaar ter plaatse van de bouwmuren van de belendingen. De aan elkaar grenzende belending in de stegen, dus belending haaks op de bouwput geeft anno 2011 scheurpatronen ter plaatse van drie bouwmuren (zie figuur 4.11). Nadat de werkzaamheden afgerond zijn, is niet meer te achterhalen wanneer deze scheurpatronen zijn opgetreden. En daarmee ook of de panden (en de onderlinge bouwmuren) zonder scheuren beïnvloed zijn door bepaalde bouwactiviteiten. Dit komt omdat er ter plaatse van iedere bouwmuur niet overall, meetinstrumenten geïnstalleerd zijn. De onderlinge pandenbeïnvloeding valt hierdoor niet te analyseren met als gevolg dat de onderlinge belendingdeformatie en de vergelijking van belending- en gronddeformatie niet met elkaar valt te maken.



Figuur 4.11; Situering belending tussen Wijde Kapelsteeg nr.1 en nr. 3. T.p.v. Wijde Kapelsteeg nr. 2. T.p.v. Rokin 91

Overallconclusie meetdata fase 1 & 2

De aanwezige meetdata geeft geen helder grondvervormingspatroon van het grondmassief naast de bouwput van station Rokin. Tevens kan dit patroon niet vergeleken worden met diepwandvervormingen en belendingdeformaties. Dit probleem is wellicht te ondervangen door een kortere bouwperiode te analyseren. En een bouwperiode te kiezen die in de 'levensduur' van de meetinstrumenten valt. Een periode die aan deze eisen lijkt te voldoen is de eerste ontgravingslag van de bouwput. De eerste ontgravingslag vindt plaats van 1 maart 2008 tot 16 april 2008 (zie Figuur 4.3) voor de tijdsperiode ten opzichte van de tijdsperiode van fase 1 & 2). De ontgraving vindt plaats op een diepte van NAP -3,5 m tot aan NAP -6,3 m.

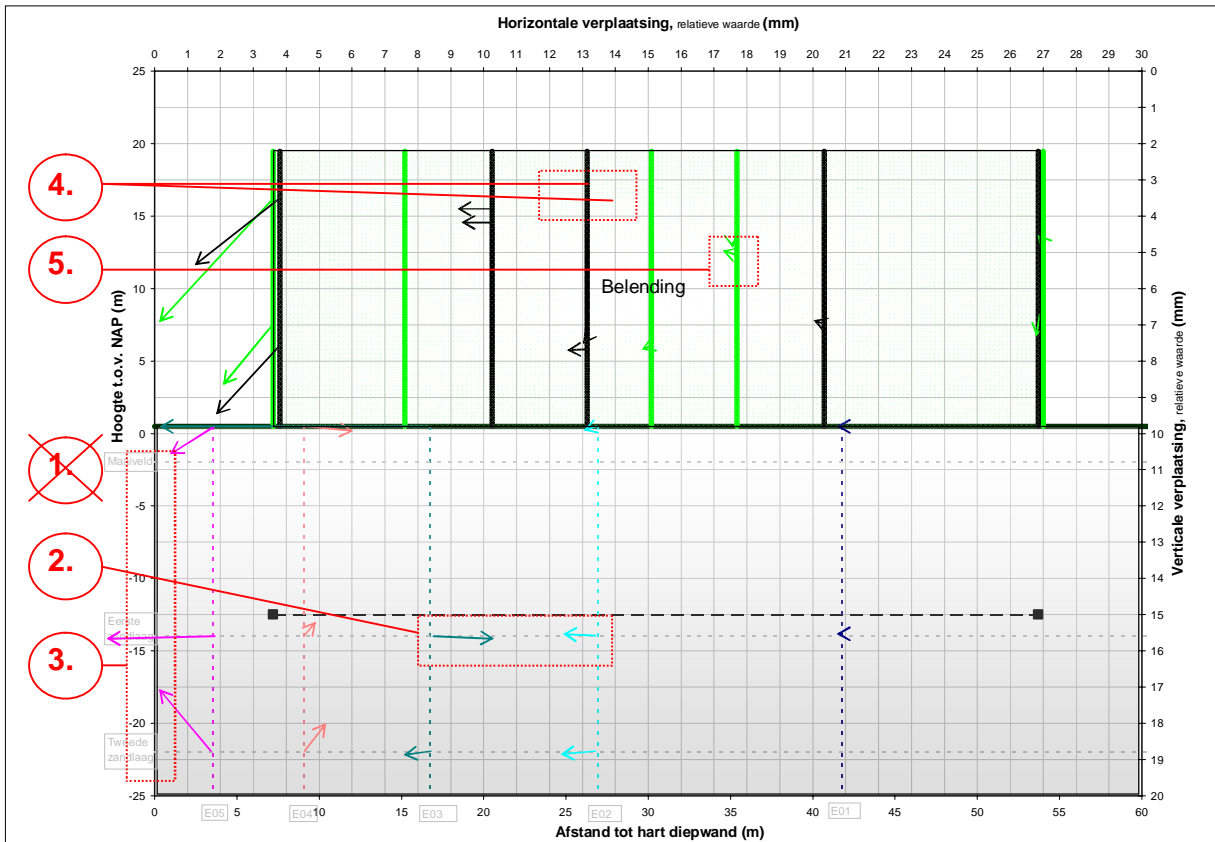
4.3.3 Horizontale & verticale meetdata eerste ontgravingslag

De sheets met deformatiepatronen van § 4.3.1 geven geen reëel beeld van de grondvervormingen van een grondmassief. Naar aanleiding van de conclusies van de vorige subparagraaf wordt in deze subparagraaf een verdiepingslag uitgevoerd. Eén specifieke bouwphase wordt nader onderzocht. Aan de hand van deze ontgravingslag volgt naar verwachting een deformatiepatroon dat tegelijkertijd meer informatie geeft over de andere bouwfasen. De bouwphase die nader onderzocht wordt is de eerste ontgravingslag.

De eerste ontgravingslag vindt plaats van 1 maart 2008 tot 16 april 2008. *De ontgraving vindt plaats op een diepte van NAP -3,5 m tot aan NAP -6,3 m.* Alleen meetdata van de meetraai ter plaatse van de Wijde Kapelsteeg is beschikbaar. In de andere meetraaien is geen meetdata beschikbaar die inzicht kan bieden ten aanzien van het gronddeformatiepatroon. De betreffende tijdsduur van deze periode is ten opzichte van de eerder genoemde fasen uit § 4.3.2. relatief klein (enkele weken). Een gevolg daarvan is dat de bouwactiviteit relatief minder deformaties te weeg brengt aan zowel de grond als de belending. Daarom is een aanpassing van de waardes van de assen ten opzichte van de sheets van fase 1 & 2 uitgevoerd (Figuur 4.10).

Interpretatie meetdata 1^{ste} ontgravingslag (zie figuur 4.12)

1. De ruwe meetdata van de gronddeformaties van de inclino- en extensometers nagenoeg niet gecorrigeerd. Alle vectoren geven dus een beeld van de ruwe data. Er is maar één meetraai met meetdata waardoor geen vergelijkingen ten opzichte van andere meetraaien mogelijk is;
2. Het is maar de vraag of de data van de grond die beschikbaar zijn, waarvan nu resultaten in een sheet gepresenteerd zijn, correcte meetdata betreft. Deze vraag kan gesteld worden omdat de meetdata van de extenso- en inclinometers onverklaarbare deformatiepatronen weergeeft;
3. Tijdens de gekozen bouwphase zijn er geen meetdata beschikbaar van de automatische meetinstrumenten in de diepwand;
4. De beschikbare meetdata van de belending lijkt niet verstoord. Aanvullend aan de nu beschikbare gegevens van voor- en achterzijde, zouden ook gegevens bij alle bouwmuren wenselijk zijn. Hierdoor ontstaat een wenselijker meetpatroon, namelijk: dat er ter plaatse van iedere bouwmuur, onafhankelijke meetdata beschikbaar is maar dat is helaas niet het geval, waardoor onderlinge belendingdeformaties niet geanalyseerd kunnen worden;
5. De bouwphase geeft ten opzichte van de eerder geanalyseerde bouwfasen relatief kleine deformaties (enkele millimeters). Het is de vraag of dergelijke deformaties van de belending volledig toe te schrijven zijn aan de bouwactiviteit. Dit omdat seizoensinvloeden, zoals omschreven in § 3.2.2.2, dergelijke deformaties ook te weeg kunnen brengen.



Figuur 4.12; Schematische weergave van deformaties (grond en belending) ter plaatse van de Wijde Kapelsteeg tijdens de 1^{ste} ontgravingsslag (ontgraving van NAP -3,5 m tot en met NAP -6,3 m). In de schematisatie zijn de beschreven interpretaties weergegeven met de rode cijfers. De interpretatie is niet bewezen voor andere meetraaien. Groene bouwmuren zijn van de belending aan de noordzijde van de steeg. Zwarte bouwmuren zijn de belending aan de zuidzijde van de steeg.

Conclusies meetdata 1^{ste} ontgravingslag

1. Ter plaatse van de op voorhand gekozen situering is meetdata beschikbaar. De gekozen bouwfase heeft een tijdsbestek van enkele weken. Het gevolg van een relatief korte periode is dat er ter plaatse van de meetpunten meetdata geleverd zijn. Dit in tegenstelling tot wat eerder geanalyseerd is bij bouwactiviteiten met een langere periode;
2. Data in de sheet zijn verstoord. Aan de hand van de onverklaarbare richtingen van de meetdata kunnen geen conclusies verbonden worden. Tevens kunnen de richtingen van de meetdata niet geverifieerd worden met andere meetraaien omdat daarvan geen meetdata beschikbaar zijn. Wellicht is het de vraag of de bandbreedte van de foutmarge van de meetinstrumenten groter is dan op voorhand verwacht;
3. De meetinstrumenten in de diepwanden hebben vanaf dag één niet gefunctioneerd zoals verondersteld. Dit omdat de bovenkant van het meetinstrument niet ingemeten is, waardoor een referentie ontbreekt. Zonder meetdata kunnen er geen vergelijkingen met de literatuur en geen conclusies opgesteld worden;
4. Er is niet voldoende data beschikbaar ter plaatse van de bouwmuren van de belending. De aan elkaar grenzende belending in de stegen, dus belending haaks op de bouwput geeft anno 2011 scheurpatronen ter plaatse van drie bouwmuren (zie figuur 4.11). Nadat de werkzaamheden afgerond zijn, is niet meer te achterhalen wanneer deze scheurpatronen zijn opgetreden. Dit komt omdat er niet ter plaatse van iedere bouwmuur, meetinstrumenten geïnstalleerd zijn. De onderlinge pandenbeïnvloeding valt hierdoor niet te analyseren met als

- gevolg dat de onderlinge belendingdeformatie en de vergelijking van belending- en gronddeformatie niet met elkaar valt te maken;
5. Het is niet na te gaan of de belendingdeformaties toe te schrijven zijn aan de seizoensinvloeden of aan de bouwactiviteit. Aan de hand van deze kennis is geen enkele vergelijking tussen de grond en belending op te stellen.

4.4 Conclusies meetdata

Conclusies ten aanzien van de meetdata zijn:

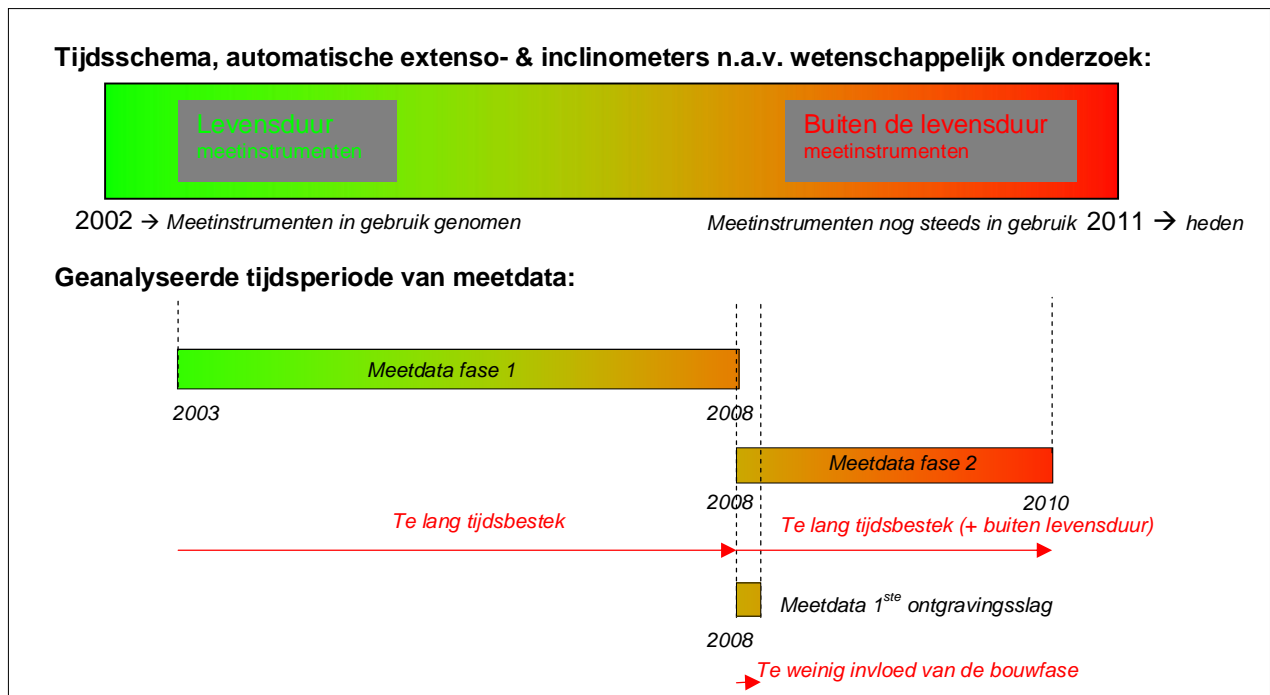
- *Beperkte hoeveelheid betrouwbare meetdata van automatische extenso- en inclinometers beschikbaar.*

Er zijn 15 meetpunten in het grondmassief beschikbaar. Het te onderzoeken invloedsgebied naast de bouwput beslaat afmetingen van ± 60 m breed en ± 25 m diep. Dit resulteert in een totaal grondoppervlak van ± 1500 m². Vijf meetlansen per meetraai met meetinstrumenten (betekent 15 extenso- en inclinomeetpunten) geeft een zeer grof beeld van het deformatiepatroon.

Deze conclusie wordt versterkt wanneer er meetdata komen te vervallen zoals bij de specifieke onderzochte fasen van dit onderzoek het geval is:

- o Fasen (1 & 2) vallen buiten de *levensduur van de meetinstrumenten* (zie Figuur 4.13). De automatische meetinstrumenten leveren sinds het jaar 2002 data. Meetinstrumenten hebben een kortere levensduur dan de totale tijd van de werkzaamheden zoals deze tot aan dit moment uitgevoerd worden. De meetinstrumenten leveren anno 2011 namelijk al meer dan 9 jaar data;
 - o Fasen 1 & 2 bevatten een *te lang tijdsbestek*. Voor de interpretatie van de meetdata betreffende fase 1 en 2 van dit onderzoek, is achteraf voor een te lang tijdsbestek gekozen (zie Figuur 4.13). In het tijdsbestek zijn in de meetdata veel verstoringen opgetreden. Het betreffen verstoringen naar aanleiding van werkzaamheden (zie foto hiernaast, waarbij het meetinstrument t.p.v. het maaiveld stuk is) en onvoorziene verstoringen die toe te schrijven zijn aan onverklaarbare oorzaken;
 - o De eerste ontgravingsslag resulteert in *te kleine deformaties*. Ten tijde van de bouwfase '1^{ste} ontgravingsslag' (ontgraving van NAP -3,5 m tot en met NAP -6,3 m) zijn dergelijke kleine (belending)deformaties opgetreden dat deze niet te analyseren zijn (zie Figuur 4.13), omdat deze deformaties naast de werkzaamheden ook aan seizoensinvloeden toegeschreven kunnen worden;
 - o De eerste ontgravingsslag beslaat een *te klein invloedsgebied*. Het invloedsgebied van de gronddeformaties van de 1^{ste} ontgravingsslag is relatief klein ten opzichte van bijvoorbeeld later uitgevoerde ontgravingslagen. Het gevolg is dat bij de geanalyseerde fase minder meetinstrumenten in het invloedsgebied aanwezig zijn. Minder meetinstrumenten resulteert in minder meetdata waarover conclusies ten aanzien van de gronddeformaties getrokken kunnen worden.
- *De automatische meetinstrumenten in de diepwanden hebben vanaf dag één niet gewerkt.* De deformaties van de diepwanden zijn niet te analyseren van de automatische meetinstrumenten. Interactie tussen grond en diepwand is dus onmogelijk te onderzoeken.
 - *Er zijn niet ter plaatse van alle bouwmuren meetinstrumenten geïnstalleerd.* Panden zijn in de loop der jaren tegen elkaar aangebouwd. De onderlinge optredende interactie tussen de panden is helaas niet overal te analyseren omdat meetinstrumenten ontbreken. Conclusies naar aanleiding van scheuren ter plaatse van de bouwmuren zijn daarom niet te geven.

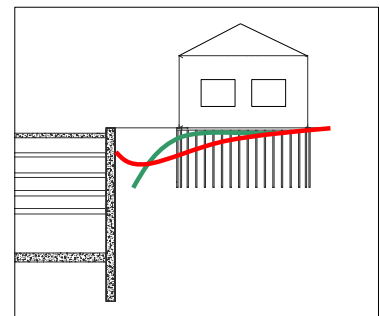




Figuur 4.13; Schematische weergave van tijdschema t.a.v. interpretatie van automatische meetinstrumenten.

- Interpretatie van de meetdata afkomstig van handmatige maaiveldmetingen resulteert in het feit dat belending van invloed is op het grondvervormingsgedrag naast aan te leggen bouwputten maar dit kan niet bevestigd worden.

Meetdata afkomstig van de maaiveldmeetinstrumenten leveren ten aanzien van dit onderzoek nieuwe inzichten in grondvervormingspatronen. De belendingen oefenen namelijk ter vergelijking met een 'green field' situatie (zie schematisatie hiernaast, rode gronddeformatielijn), wel degelijk invloed uit op het grondvervormingsgedrag naast aan te leggen bouwputten (groene lijn). Helaas kunnen de bevindingen afkomstig van de maaiveldmeetdata niet geverifieerd worden met de data van de inclino- en extensometers, dit naar aanleiding van onvoldoende en onbetrouwbare meetdata van deze meetinstrumenten.



Overall conclusie & aanbeveling meetdata:

Het meetsysteem dat bij station Rokin van de NoordZuidlijn in Amsterdam toegepast wordt, voldoet niet aan de verwachtingen die op voorhand van dit onderzoek aanwezig waren.

Ten opzichte van alle andere ondergrondse projecten in de wereld is het meetsysteem bij de NoordZuidlijn het meest geavanceerde systeem ooit. Zowel belendingen, als de grond en de bouwput zelf worden continue (automatisch) gemonitord.

Dit wetenschappelijk onderzoek heeft specifieke eisen voor de geproduceerde meetdata. De bandbreedte van onnauwkeurigheid van de automatische meetinstrumenten is groter dan op voorhand van het project werd aangenomen. Het is daarom de vraag of wetenschappelijke onderzoeken zoals deze in realistische projecten uitgevoerd kunnen worden met de huidige kennis van techniek (Remote Sensing kan in de toekomst wellicht ook uitkomst bieden). Laboratoriumonderzoek is wellicht een betere optie maar bij dat soort onderzoeken bestaan weer andere problemen, zo kan het bijvoorbeeld moeilijk zijn de werkelijke situaties op kleine na te bootsen.

4.5 Meetdata n.a.v. voorbereen

De bouwactiviteiten ten behoeve van het realiseren van de drie diepe stations bij de NoordZuidlijn zijn qua uitvoering hetzelfde of met elkaar te vergelijken. De bouwactiviteit voorbereen wordt echter alleen ter plaatse van de bouwput van Rokin (en een deel bij station Vijzelgracht) uitgevoerd. Daarom is deze bouwactiviteit in § 3.3.1.1 nader omschreven en worden meetdata in deze paragraaf besproken. Voordat specifiek ingegaan wordt op de gevolgen van voorbereen, wordt eerst geanalyseerd wat de verschillen in belendingdeformatie zijn tussen het verwijderen van obstakels met behulp van kleine bouwkuipen en door middel van voorbereen.

4.5.1 Bouwkuipen / voorbereen

Tabel 4.1 geeft een overzicht van de conclusies die getrokken kunnen worden naar aanleiding van een vergelijking van de deformaties die optreden bij bouwactiviteiten waarbij obstakels uit de grond verwijderd worden met behulp van bouwkuipen of doormiddel van voorbereen (zie bijlage 10.5 voor een analyse). Helaas zijn er in de omgeving van de werkzaamheden (zuidoost van de bouwput) geen grondmeetinstrumenten aanwezig. Aan de hand van de belendingdeformaties kunnen toch conclusies getrokken worden.

Verwijderen obstakels d.m.v.	Z deformatie [mm]	X deformatie [mm]
Vorboren (t.p.v. Rokin 105)	- 2	+ 1
Bouwkuipen (t.p.v. Rokin 117)	- 4	- 4

Tabel 4.1; Resultaten n.a.v. bijlage 10.5. Belendingdeformaties n.a.v. twee verschillende bouwactiviteiten. Een positieve x richting betekent deformaties van de werkzaamheden af. De belendingdeformaties n.a.v. voorbereen zijn representatief voor alle belendingen naast de bouwput van Rokin.

De bouwactiviteit voorbereen resulteert in 2 mm minder belending zakkings van de voorgevel dan wanneer de obstakels verwijderd worden met behulp van bouwkuipen. Tevens beweegt de voorgevel van de belending tijdens het voorbereen niet naar de werkzaamheden toe maar vervormt deze juist één millimeter van de werkzaamheden af. Wanneer de horizontale deformaties van de twee bouwfases met elkaar vergeleken wordt, kan vast gesteld worden dat er een verschil van 5 mm horizontale deformatie is. Aan de hand van deze conclusie kan gesteld worden dat de bouwactiviteit voorbereen beduidend betere gevolgen heeft voor de belending dan de bouwactiviteit waarbij de obstakels met behulp van bouwputten verwijderd zijn. Hoe minder negatieve deformaties ten tijde van de eerste bouwactiviteiten ten aanzien van de bouwput, hoe beter dit is voor het uiteindelijke deformatie patroon wanneer de hele bouwput gerealiseerd is.

Naar aanleiding van de meetdata uit Tabel 4.1 kan geconcludeerd worden dat een ontspanning van de grond (bouwkuipen) naast de werkzaamheden meer invloed op de belending uitoefent dan wanneer grond opgespannen wordt (vorboren).

4.5.2 Interpretatie meetdata

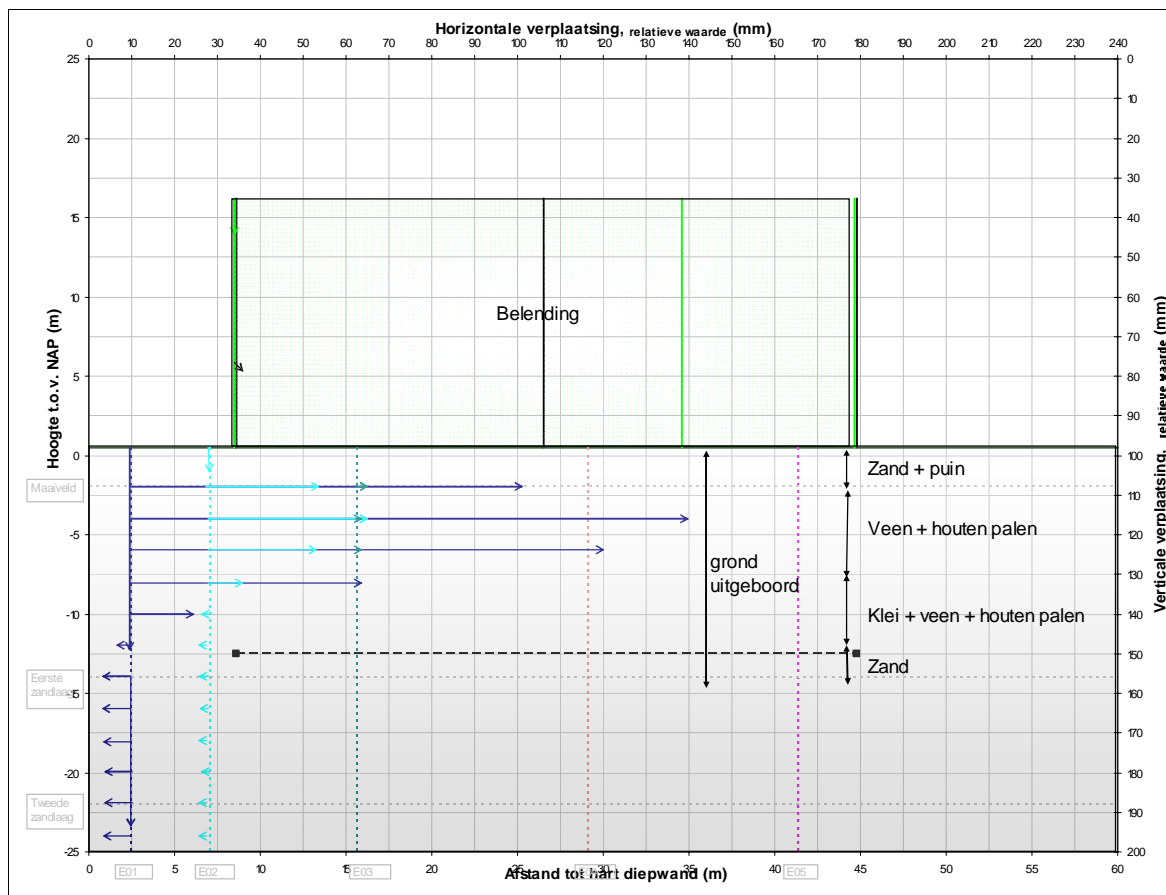
Aan de hand van § 4.5.1 kan geconcludeerd worden dat de bouwactiviteit voorbereen tot minder deformaties van de belending leidt dan wanneer alle obstakels in de grond verwijderd worden met behulp van bouwkuipen. In deze subparagraaf wordt nagegaan waar de (grond)deformaties van het voorbereen specifiek aan te wijten zijn. Deze analyse wordt gemaakt ter plaatse van de Kalfsvelsteeg. In deze steeg is een monitoringsraai aanwezig waarbij zowel de belending- als de gronddeformaties geanalyseerd kunnen worden.

De verwachting is dat in tegenstelling tot wat in § 4.3 naar aanleiding van de meetdata geconcludeerd werd, tijdens deze bouw fase wel representatieve meetwaarden van deze bouwactiviteit volgen. Dit omdat de bouwactiviteit al relatief snel (aantal jaren) na aanbrengen van de meetinstrumenten volgt, dus binnen de gestelde levensduur van de meetinstrumenten. De bouw fase bevat een relatief korte tijdsperiode (enkele weken), echter treden er in tegenstelling tot § 4.3 wel waarneembare deformaties

in het invloedsgebied op. Met bruikbare meetdata kan in tegenstelling tot § 4.3 dus wel een gefundeerde analyse opgesteld worden.

4.5.2.1 Deformatie t.g.v. totale bouwactiviteit voorboren

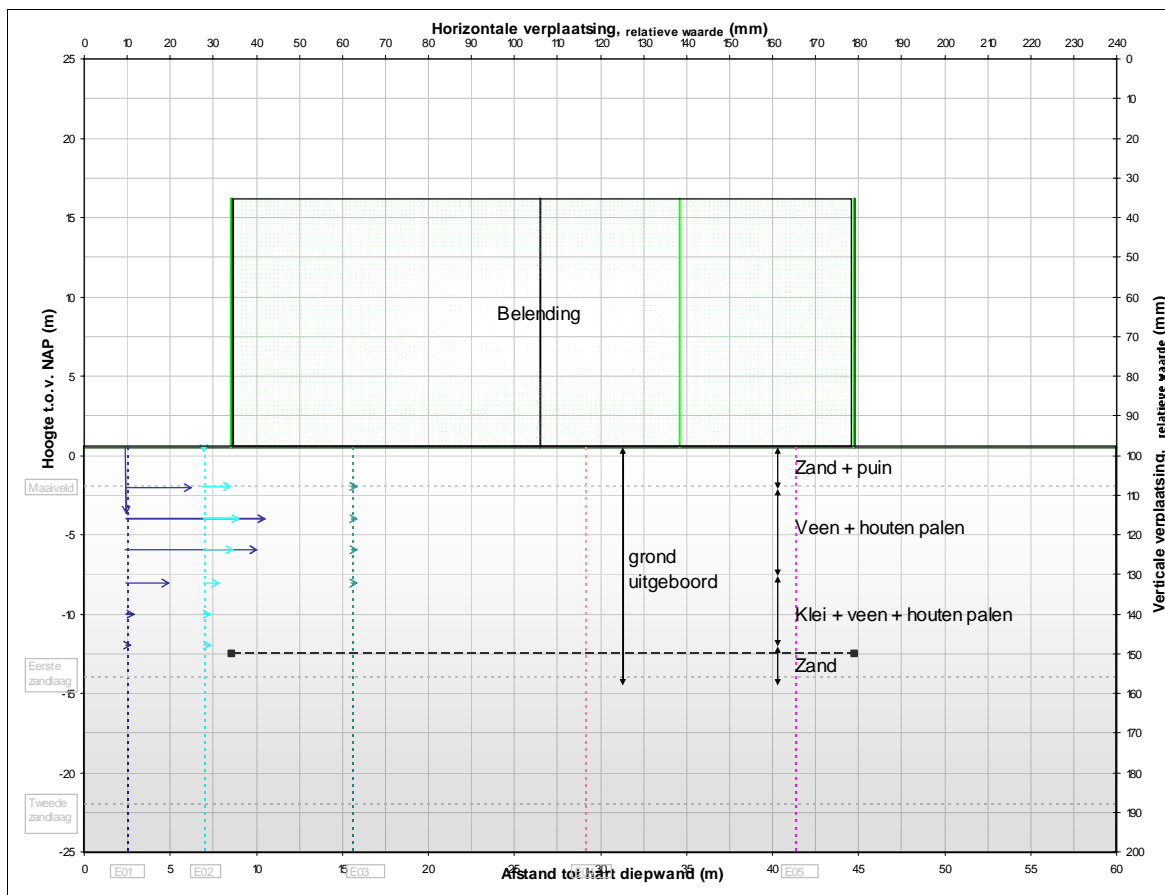
In bijlage 10.6 zijn de meetdata van de extenso- en inclinometers van de meetraaien weergegeven van de totale fase van voorboren. De totale horizontale gronddeformaties op enkele meters afstand van de werkzaamheden die uit deze bijlage volgt is maximaal ± 130 mm, horizontale deformaties van de werkzaamheden af. De totale verticale grondzakking op een aantal meters van de werkzaamheden die uit deze bijlage volgt is maximaal ± 50 mm (deze deformaties zijn representatief voor alle meetraaien). Voor een visuele weergave van de deformaties wordt verwezen naar Figuur 4.14. De belendingdeformaties in de totale fase zijn relatief klein (zie Tabel 4.1).



Figuur 4.14; Gemeten deformaties n.a.v. de **totale bouwactiviteit voorboren**. Het betreft de data ter plaatse van de Kalfsvelsteeg maar zijn representatief voor alle meetraaien t.p.v. Rokin. De meetinstrumenten op de belending geven relatief kleine deformaties. Tevens is aangegeven wat voor (grond)materiaal men tijdens het leegboren van de stalen casing van boorpaal nummer 10 op de diverse diepten tegen is gekomen (data afkomstig van 'productierapporten boorpalen' van Franki). De groene bouwmuren geven de belending aan de noordzijde van de stegen weer. De zwarte bouwmuren geven de belending aan de zuidzijde van de stegen aan. De aangegeven hoogte van de belending is niet representatief voor de werkelijkheid. De zwarte stippellijn geeft het paalpuntniveau en daarmee de funderingsafdracht van de belendingen weer. Opgemerkt dient te worden dat met name boorbuis E01 deformaties weergeeft (NAP -12,5 m en dieper) die niet te verklaren zijn. Een mogelijke oorzaak is het uitknikken van de beschermhuis van de inclinometers.

4.5.2.2 Deformaties t.g.v. één boorpaal

De deformaties die in Figuur 4.14 geschetst worden, zijn afkomstig van de totale bouwactiviteit voorbereiden. Om na te gaan waaraan de deformaties specifiek te wijten zijn, is één boorpaal tijdens de uitvoering per uur geanalyseerd. In de analyse is gekozen om paalnummer 10 ter plaatse van de Kalfsvesteege uit te werken. Dit is de eerste paal die in de omgeving van de monitoringsraai uitgevoerd is. Het inbrengen van de eerste paal resulteert in de grootste gronddeformaties (deze boorpaal is representatief voor de meetdata in de andere stegen). Deze analyse is mede tot stand gekomen met de 'dagrapporten van dagelijks toezicht NoordZuidlijn te Amsterdam' en de meetdata is afkomstig van MOBONZ WebGIS. De analyse is terug te vinden in bijlage 10.7. Tevens zijn de deformaties visueel weergegeven in figuur 4.15.

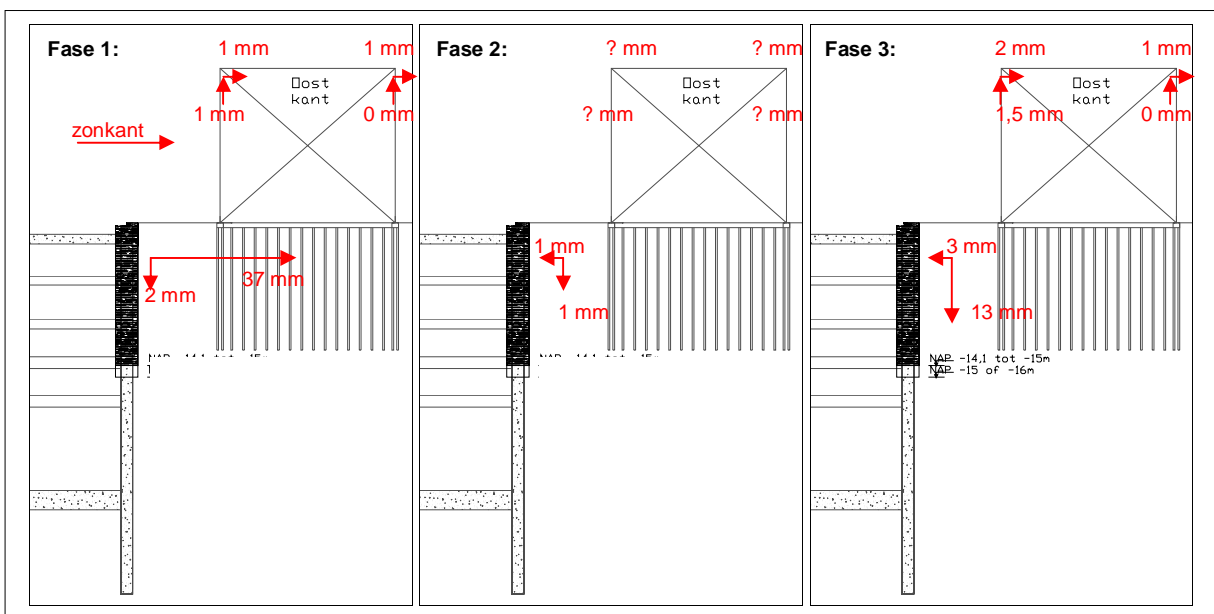


Figuur 4.15; Gemeten deformaties als gevolg van het boren n.a.v. één boorpaal. Het betreft de deformaties ter plaatse van de Kalfsvesteege maar zijn representatief voor alle meetraaien t.p.v. Rokin. De meetinstrumenten op de belending geven niet te analyseren (kleine) deformaties. Tevens is aangegeven wat voor (grond)materiaal men tijdens het leegboren van de stalen casings tegen is gekomen op de diverse diepten (data afkomstig van 'productierapporten boorpalen' van Franki). De groene bouwmuren geven de belending aan de noordzijde van de stegen weer. De zwarte bouwmuren geven de belending aan de zuidzijde van de stegen weer. De aangegeven hoogte van de belending is niet representatief voor de werkelijkheid. De zwarte stippellijn geeft het paalpuntniveau en daarmee de funderingsafdracht van de belendingen weer.

Zoals omschreven is één paal tijdens installeren, per uur geanalyseerd. De analyse van paalnummer 10 ter plaatse van de Kalfsvelsteeg die in bijlage 10.7 uitgewerkt is, maakt onderscheid in drie fasen. De drie fasen zijn:

1. Fase 1: Plaatsen van de casing tot NAP -15 m, grond uitgeboord tot NAP -9 m (14 juli '03, 14:00 uur tot 14 juli '03, 18:00 uur);
2. Fase 2: Consolidatie (14 juli '03, 18:00 uur tot 15 juli '03, 7:00 uur);
3. Fase 3: Tot NAP -15 m uitgeboord, na stilstand 2 m grondwater uit casing gepompt, Softmix gestort en draaiend trekken casing (15 juli '03, 7:00 uur tot 15 juli '03, 14:00 uur).

De informatie van de uitvoering is afkomstig uit diverse 'uitvoeringsdagboeken' van Franki. Aan de hand van deze drie fasen is nagegaan wat de oorzaken van de deformaties zijn, zie Figuur 4.16 voor een visuele weergave van de deformaties.



Figuur 4.16; Visuele weergave van diverse fasen tijdens het installeren van één boorpaal met de bijbehorende belending- en gronddeformaties.

Fase 1 is uitgevoerd door eerst de casing op diepte te brengen waarna de grond uitgeboord is met behulp van een avegaar. Als gevolg hiervan is dat het inbrengen van de casing een grondverdringende bouwactiviteit is geworden (dikte casing & plugwerking in de casing). Als de grond gelijktijdig met het inbrengen van de casing verwijderd zou worden, was de bouwactiviteit een grondverwijderende bouwactiviteit geweest. Een bijkomend nadeel van deze uitvoeringswijze is dat obstakels in de grond ter plaatse van de casing niet gelijktijdig verwijderd worden tijdens het indrukken van de casing maar dieper de grond ingedrukt worden.

Conclusies per fase

Ondanks de zeer korte tijdsperiode (enkele uren) is een analyse van de meetdata tijdens de bouwactiviteit voorbereid opgesteld. Een dergelijke analyse was in § 4.3 echter niet mogelijk vanwege de relatief kleine deformaties in het invloedsgebied.

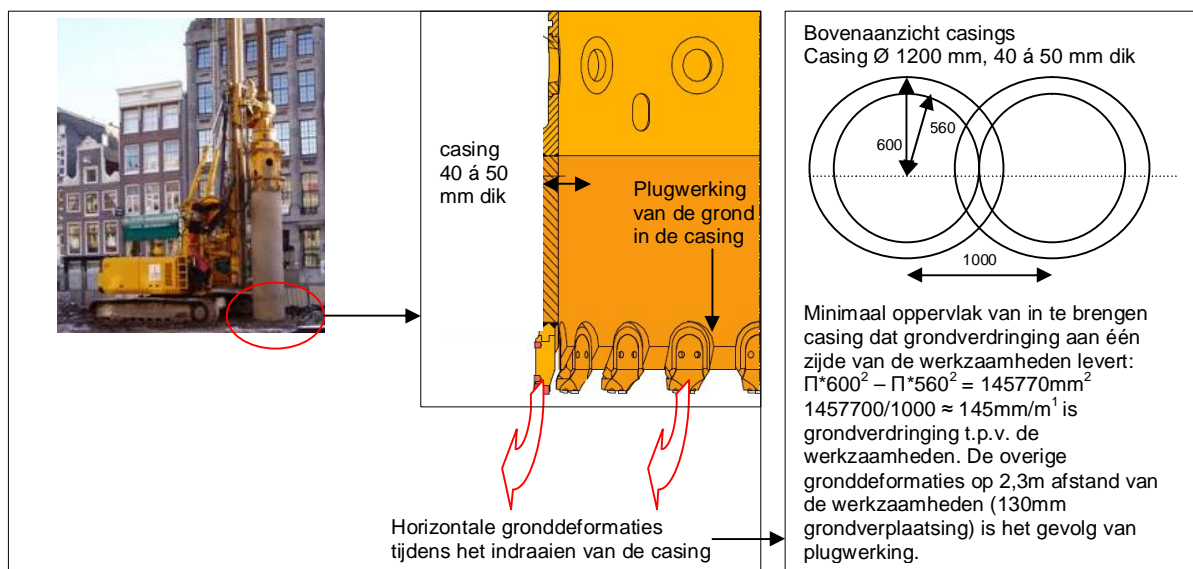
Helaas zijn de waargenomen deformaties niet te verifiëren met op voorhand opgestelde berekeningen. Dit omdat op voorhand niet voorzien was de bouwactiviteit voorbereid uit te voeren. Daarnaast zijn er geen rekenmethode voor voorbereiden.

Tijdens fase 1 treedt er 37 mm horizontale gronddeformatie op waarbij de grond van de werkzaamheden af beweegt. De deformatie is toe te schrijven aan het in de grond brengen van de stalen casing (zie Figuur 4.17):

- De casing heeft een dikte van 40 á 50 mm. De casing verdringt de grond tijdens het indraaien;
- Plugwerking van grond in de casing. De plugwerking genereert grondverdringing tijdens het indraaien van de casing.

De deformaties die optreden in fase 2 zijn toe te schrijven aan het feit dat er water in de casing stroomt. Uit de 'dagrapporten van dagelijks toezicht NoordZuidlijn te Amsterdam' valt op te maken dat de stalen casings ter plaatse van de onderlinge aansluitingen niet waterdicht zijn. Grondwater kan de casing instromen met als gevolg gronddeformaties tijdens een periode dat er geen werkzaamheden plaats vinden. Door steunvloeistof in de casings aan te brengen zijn deze deformaties in de toekomst te voorkomen.

Fase 3 resulteert in 13 mm verticale zakking. Deze zakking is toe te schrijven aan de activiteit 'uitdraaien van de casing'. Tijdens het uitdraaien van de casing ontstaat er een open ruimte van 40 á 50 mm. Deze ruimte wordt opgevuld met Softmix en omringende grond met als gevolg gronddeformaties.

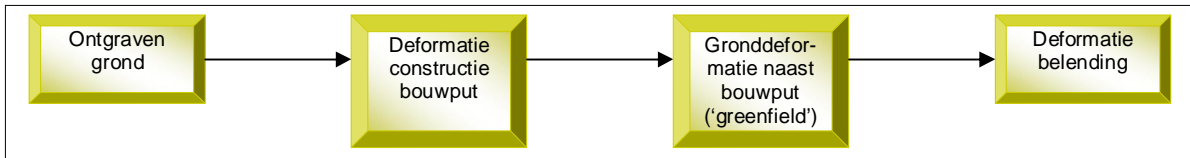


Figuur 4.17; Visuele weergave van de oorzaken van de horizontale gronddeformaties die optreden tijdens het inbrengen van de stalen casing (foto afkomstig uit dagrapporten dagelijks toezicht NoordZuidlijn).

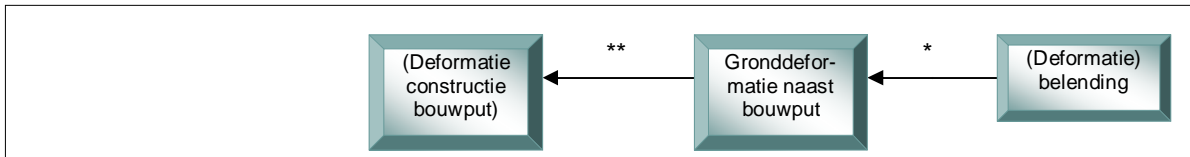
5 Conclusies & aanbeveling

Op voorhand van dit onderzoek is een werkplan met een hoofdvraag opgesteld:

Is de omgeving van invloed op het grondvervormingsgedrag, zowel horizontale- als verticale grondvervormingen van het grondmassief, naast aan te leggen bouwputten?



Figuur 5.1; Stroomschema wat leidt tot de deformaties van belending.



Figuur 5.2; Stroomschema met de vraag of belending(deformaties) de grond- * en bouwputdeformaties ** beïnvloeden.

Tijdens dit onderzoek is getracht deze vragen op te lossen. Tevens zijn gaandeweg dit onderzoek interessante bevindingen geconstateerd van één specifieke bouwactiviteit namelijk; voorbereiden. Zowel de conclusies & aanbevelingen van de hoofdvraag als die van de bouwactiviteit voorbereiden, worden in dit afsluitende hoofdstuk gepresenteerd.

5.1 Grondvervormingsgedrag

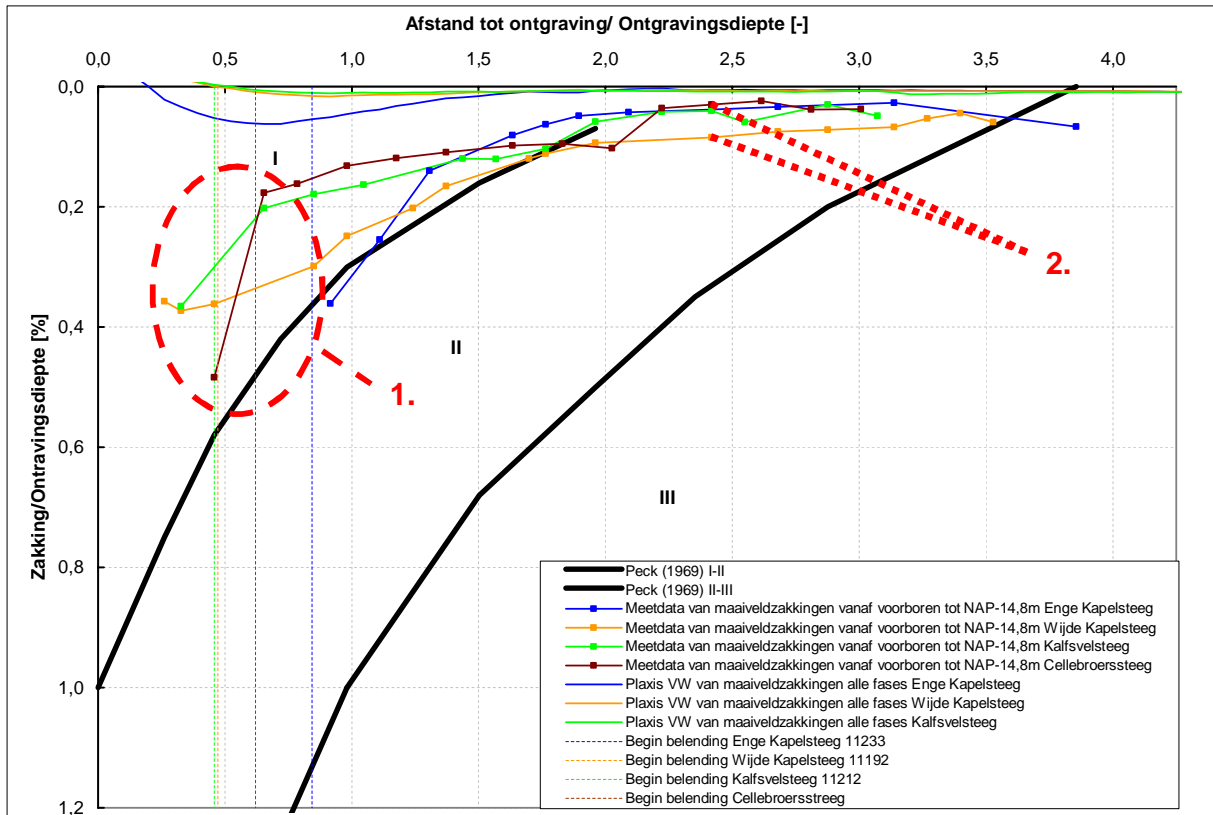
Dit onderzoek is gericht op de meetdata afkomstig van station Rokin, één van de drie diepe ondergrondse bouwputten van de NoordZuidlijn te Amsterdam. Aan de hand van de meetdata en de bestaande literatuur is getracht de hoofdvraag van dit onderzoek te beantwoorden.

5.1.1 Conclusies

Conclusies die volgen n.a.v. onderzoek op de hoofdvraag:

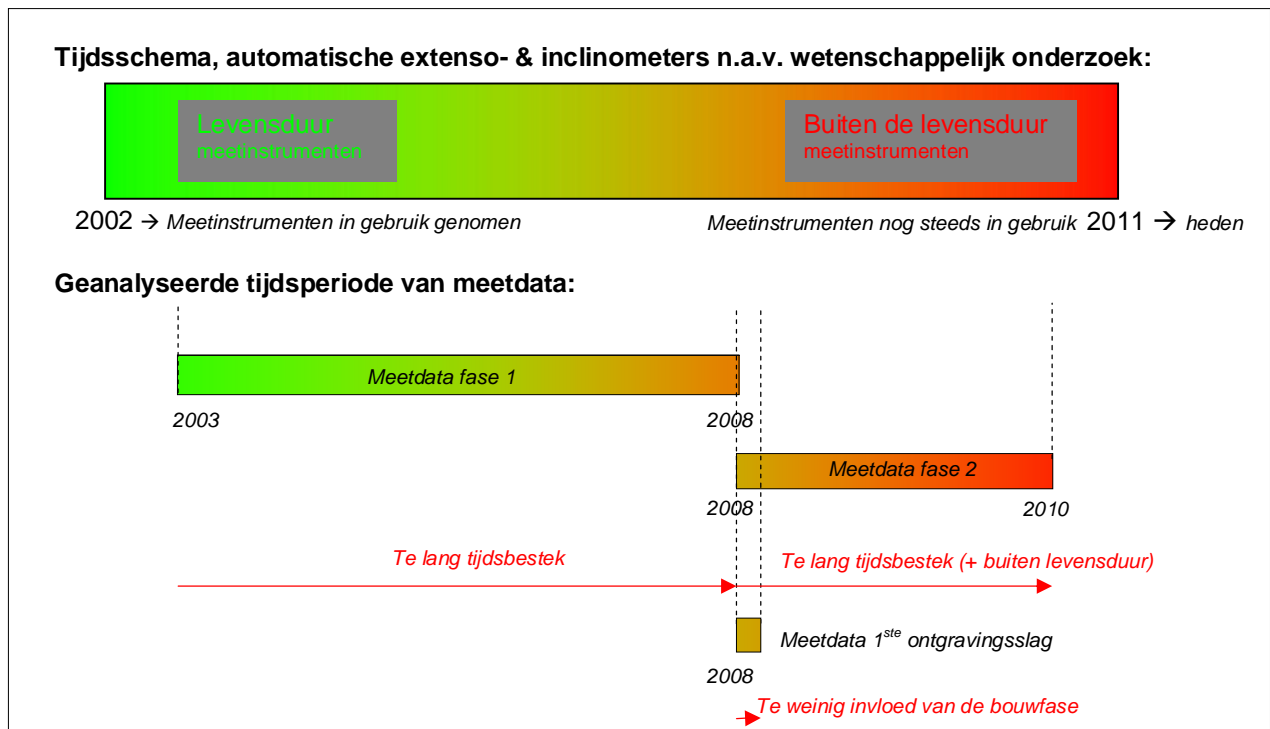
- *Omgevingsfactoren beïnvloeden grondvervormingsgedrag:*

Naar aanleiding van de maaiveldmetingen, die verricht zijn met de handmatige maaiveldmeetinstrumenten bij station Rokin, is te concluderen dat panden wel degelijk invloed uitoefenen op het grondvervormingsgedrag naast aan te leggen bouwputten (zie * van figuur 5.2 en figuur 5.3 voor een bevestiging). De rode omkadering van punt 1 in figuur 5.3 laat zien dat er een ander gronddeformatiepatroon optreedt tussen de bouwput en de belending en ter plaatse van de belending zelf. De rode omkadering van punt 2 geeft een indicatie van het verschil van breedte tussen de geanalyseerde stegen;



Figuur 5.3; Meetdata van de maaiveldzakkingen (na de bouwactiviteit voorbereiden t/m ontgraving NAP -14,8 m) en de verwachtingswaarde van maaiveldzakkingen van projectgebonden Plaxis berekeningen (t/m ontgraving NAP -14,8m) in de grafiek van Peck (1969). De Punten 1 en 2 laten een ander beeld zien dan de verwachting, dit n.a.v. omgevingsbeïnvloeding.

- *In de praktijk blijkt het lastig om kwalitatief voldoende meetgegevens te verkrijgen:*
 Helaas zijn de maaiveldmetingen niet te verifiëren met de aanwezige automatische extenso- en inclinometers. Deze meetinstrumenten hebben daar namelijk niet goed genoeg voor gefunctioneerd. Dit blijkt na een analyse van de extenso- en inclinometerdata die in het invloedsgebied van station Rokin geplaatst zijn. De extensometinstrumenten leveren 50% onbetrouwbare of geen data en de inclinometrinstrumenten leveren 40% onbetrouwbare of geen data over hetgeen is geanalyseerd voor dit onderzoek (onbetrouwbaar betekent in dezen; interpolatie tussen eerste en laatste betrouwbare meting, tijdsperioden van onbetrouwbare data variëren). De onbruikbaarheid van de data is het gevolg van de te analyseren tijdsperiode.
 De bruikbaarheid van de meetdata is afhankelijk van de levensduur en het tijdsbestek van de monitoring van de monitoringsperiode. De levensduur is in dit geval pas na afloop van een bouwproject bekend en daarmee ook de duur van de te analyseren fasen (zie Figuur 5.4). De informatie van het monitoringssysteem dat bij de NoordZuidlijn toegepast wordt, is naar aanleiding van dit onderzoek bekend. Deze informatie is voor gelijkwaardige monitoringsprojecten in de toekomst vanaf nu dus beschikbaar;
- *Er zijn geen meetdata van diepwanddeformaties beschikbaar:*
 Data van diepwanddeformaties zijn niet beschikbaar, daarom valt niet naar te gaan of verschillende gronddeformatiepatronen (met of zonder 'omgevingsbeïnvloeding') diverse gevolgen hebben op de deformaties van de bouwput zelf (zie ** van Figuur 5.2).



Figuur 5.4; Schematische weergave van tijdschema t.a.v. interpretatie van automatische meetinstrumenten.

5.1.2 Aanbevelingen

Aanbevelingen naar aanleiding van de hoofdvraag:

- *Analyseren meetdata van station Ceintuurbaan of Vijzelgracht.*
De maaiveldmeetdata van de maaiveldmeetinstrumenten van station Rokin kunnen niet geverifieerd worden met meetdata van extenso- en inclinomeetinstrumenten. Bij de aanleg van de NoordZuidlijn zijn meerdere stations, ter plaatse van Ceintuurbaan en Vijzelgracht, gerealiseerd. Ter plaatse van deze stations gelden dezelfde specifieke eigenschappen zoals die gelden voor station Rokin. De vrijgekomen (maaiveldmeet)data van Ceintuurbaan en of van Vijzelgracht leveren wellicht aanvullende informatie ten aanzien van de 'omgevingsbeïnvloeding';
- *Kennis monitoringssysteem bij nieuwe projecten gebruiken.*
Er is kennis vergaard bij het te analyseren tijdsbestek van een meetfase en de levensduur van dergelijke meetsystemen. Aanbevolen wordt om de kennis van het monitoringssysteem dat bij station Rokin in dit onderzoek verworven is, te benutten bij monitoringssystemen van 'nieuwe' projecten.

Ondanks een aantal open deuren kan naar aanleiding van dit onderzoek het volgende gesteld worden:

Dit wetenschappelijke onderzoek heeft specifieke eisen opgelegd ten aanzien van de meetdata die geproduceerd wordt. Ten opzichte van alle andere ondergrondse projecten in de wereld was destijds en mogelijk nu nog, het monitoringssysteem van de NoordZuidlijn het meest geavanceerde systeem ooit. Zowel belendingen, als de grond en de bouwput zelf worden continue (automatisch) gemonitord. Echter is de bandbreedte van onnauwkeurigheid van de extenso- en inclinomeetinstrumenten groter dan op voorhand van het project werd aangenomen. Het is daarom de vraag of wetenschappelijke onderzoeken zoals deze uit te voeren zijn in te realiseren projecten met de huidige kennis van techniek (Remote Sensing kan in de toekomst wellicht ook uitkomst bieden). Voor dergelijk onderzoek zijn laboratoriumonderzoeken wellicht een betere optie.

5.2 Voorboren

Ter plaatse van het diepwandtracé bij station Rokin waren op voorhand van het project obstakels in de ondergrond aanwezig. In eerste instantie was het de bedoeling deze obstakels te verwijderen met damwandkuipen van 4 m * 10 m. Vanwege problemen met het trekken van de damwanden zijn zo goed als alle ondergrondse obstakels uiteindelijk verwijderd door middel van de bouwactiviteit voorboren. Tijdens de bouwactiviteit wordt een stalen casing (Ø 1,2 m) de grond ingedraaid, met een avegaar wordt de grond droog uit de casing geboord, de casing wordt gevuld met Softmix en wordt al draaiend getrokken.

De meetdata leveren opzienbarende bevindingen in het grondvervormingspatroon in de nabijheid van deze bouwactiviteit. De bevindingen zijn in dit onderzoek gepresenteerd.

5.2.1 Conclusies

Conclusies ten aanzien van de bouwactiviteit voorboren:

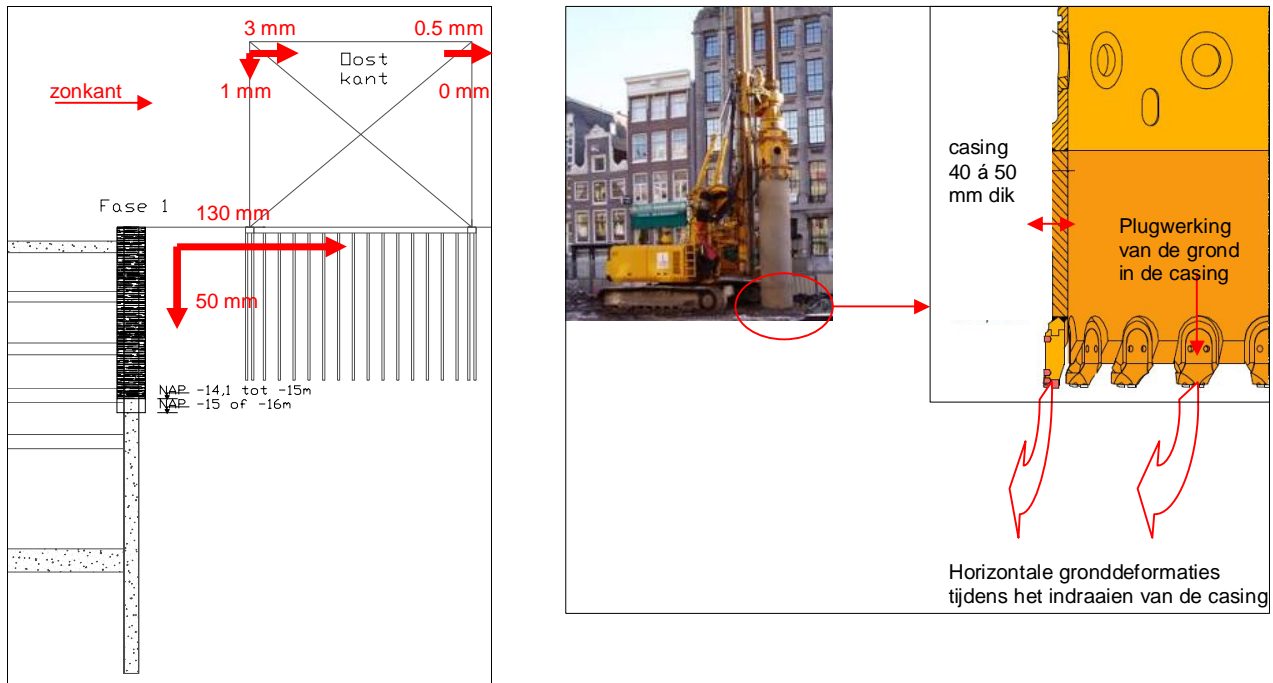
- *Ondergrondse obstakels verwijderen d.m.v. voorboren, heeft bij station Rokin beduidend betere gevolgen voor de belending opgeleverd i.p.v. de obstakels te verwijderen met behulp van damwandkuipen.*

De bouwactiviteit voorboren resulteert in 2 mm minder belending zakking van de voorgevel dan wanneer de obstakels verwijderd worden met behulp van bouwkuipen. Tevens beweegt de voorgevel van de belending tijdens het voorboren niet naar de werkzaamheden toe maar vervormt deze juist één millimeter van de werkzaamheden af. Wanneer de horizontale deformaties van de twee bouwfases met elkaar vergeleken wordt, kan vast gesteld worden dat er een verschil van 5 mm horizontale deformatie is (zie tabel 5.1).

Verwijderen obstakels d.m.v.	Z deformatie [mm]	X deformatie [mm]
Vorboren (t.p.v. Rokin 105)	- 2	+ 1
Bouwkuipen (t.p.v. Rokin 117)	- 4	- 4

Tabel 5.1; Belendingdeformaties n.a.v. twee verschillende bouwactiviteiten. Een positieve x richting betekent deformaties van de werkzaamheden af. De belendingdeformaties n.a.v. voorboren zijn representatief voor alle belendingen naast de bouwput van Rokin.

- *Een grondmassief dat opgespannen wordt veroorzaakt minder belendingdeformaties dan een grondmassief dat ontspannen wordt.*
Naar aanleiding van de meetdata kan geconcludeerd worden dat een ontspanning van de grond naast de werkzaamheden meer invloed op de belending uitoefent (bouwactiviteit m.b.v. bouwkuipen) dan wanneer grond opgespannen wordt (bouwactiviteit m.b.v. voorboren).
- *De bouwactiviteit voorboren is niet uitgevoerd zoals op voorhand verwacht.*
Het was de bedoeling dat de grond gelijktijdig met het indraaien van de stalen casing uitgeboord zou worden. Echter is eerst de casing op diepte gebracht en daarna is de grond pas uit de casing verwijderd. Dit resulteert in (zie figuur 5.5):
 - o *Horizontale gronddeformaties met een deformatierichting van de werkzaamheden af (maximaal ± 130 mm vervorming).*
De gemeten gronddeformaties op enkele meters afstand van de bouwactiviteiten zijn te wijten aan de dikte van de te gebruiken stalen casings (40 á 50 mm dik) en aan de plugwerking van de grond in de casings (zie figuur 5.5 voor een visualisatie van de oorzaken);
 - o *Neerwaartse verticale gronddeformaties van maximaal ± 50 mm.*
De gemeten deformaties zijn het gevolg van de te verwijderen stalen casings. Tijdens het verwijderen van de casing ontstaat er een loze ruimte die opgevuld wordt met het omringende grondmassief.



Figuur 5.5; Schematische weergave van grond- en belendingdeformaties n.a.v. de totale bouwfase voorbereiden. Tevens zijn de oorzaken van de horizontale gronddeformaties visueel weergegeven (foto afkomstig uit dagrapporten dagelijks toezicht NoordZuidlijn).

5.2.2 Aanbevelingen

Aanbevelingen ten aanzien van de bouwactiviteit voorbereiden:

- *Bouwactiviteiten voorbereiden zoals bij Rokin uitgevoerd levert relatief grote deformaties..*
De bouwactiviteit voorbereiden veroorzaakt deformaties in de grond die zorgwekkend zijn (horizontale deformaties van ± 130 mm van de werkzaamheden af en verticale zakkingen van ± 50 mm). Bij toekomstige projecten moet men bewust zijn van deze gevolgen;
- *De gevolgen van op- en ontspanningsfenomenen van het grondmassief nader onderzoeken.*
Bij station Rokin hebben de gronddeformaties van het voorbereiden niet geresulteerd in negatieve invloeden op de belending. Er zijn projecten denkbaar waar dit wel het geval kan zijn. Nader onderzoek van de verschillen tussen op- en ontspanning van het grondmassief en de gevolgen daarvan kan uitsluitsel geven wanneer een verplaatsend grondmassief negatieve gevolgen heeft op de belending.

Begrippenlijst

Begrip	Omschrijving
Avegaar	Een schroefblad dat een grondgevulde stalen casings leeg kan boren.
Basis monitoring	Monitoren van meetinstrumenten voor aanvang van de werkzaamheden om zakkingen t.g.v. seizoensinvloeden en werkzaamheden van derden. te constateren.
Berlinerwand	Een kerende grondconstructie van H-balken met daartussen houten planken.
Bouwput	Een bouwput is een ontgraving (omgrensd door verticale wanden) t.b.v. een constructie in de ondergrond.
Close out monitoring	Monitoren van meetinstrumenten nadat de bouw van het station gereed is om eventuele zettingseffecten te constateren.
EEM	Eindige-Elementen-Modellen.
Extensometer	Meetinstrument dat de verticale gronddeformatie op een bepaalde diepte in de grond meet.
Freatisch vlak	De grondwaterstand is het niveau waarop de waterspiegel zich bevindt bij een ontgraving.
GIS	Geografisch Informatie Systeem.
Green field deformatie	Een grondzakingspatroon dat optreedt in een grondmassief naast een bouwput die gerealiseerd wordt in het open veld.
Inclinometer	Meetinstrument dat de horizontale gronddeformatie op een bepaalde diepte in de grond meet.
Invoedsgebied	Omgeving waar gronddeformaties groter dan 1 mm worden voorspeld naar aanleiding van werkzaamheden.
Maaiveldmeter	Meetinstrument dat de verticale gronddeformatie ter plaatse van het maaiveld meet.
NoordZuidlijn	Deels ondergrondse metroverbinding van Noord Amsterdam naar Zuid Amsterdam.
Omgeving	Het invloedsgebied dat aan de buitenzijde van de bouwput grenst.
Plaxis	Computer programma voor Eindige-Elementen-Modellen.
Proces monitoring	Monitoren van meetinstrumenten tijdens de werkzaamheden om zakkingen n.a.v. werkzaamheden te constateren.
Remote Sensing	Het verkrijgen van meetdata d.m.v. beelden op afstand. De beelden worden verkregen door elektromagnetische energie die door 'objecten' uitgezonden worden.
Softmix	Softmix is een mengsel van cement, vliegas, zand en water.
Souterrain	Een verdieping van een huis half in de grond, een halve kelder.
Stalen casing	Stalen buis die gebruikt wordt tijdens de bouwactiviteit voorboren.
MOBONZ WebGIS	Meetdata wordt gearhiveerd en men kan iedere meetsensor opvragen aan de hand van een unieke code. MOBONZ WebGIS is een ontwikkeling van Witteveen+Bos.

Bronvermelding

Literatuurlijst

	Titel	Auteur	Rapport nr.	ISBN nr.
I	A study of wall and ground movements due to deep excavations in soft soil based on worldwide experience	Ch. Moormann, H.R. Moormann	Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground (2002)	2-9510416-3-2
II	Actualisering stijghoogten GBR	S.F. Frankenmolen, R. de Nijs, F.J. Kaalberg	L204-21-05-150 2007	
III	Advanced modeling to support innovative developments in tunneling for Amsterdam North/Southline	F.J. Kaalberg		
IV	Amsterdam Noord/Zuidlijn: Use of Background Monitoring Data Prior to Construction Commencement	D. Cook, R. de Nijs, S.F. Frankenmolen	2007	
V	Analyse gebouwresponsie Rokin	M. Korff, A. Balder, H. Netzel	1001007-021-GEO-0008 2010	
VI	Analyse Noord/Zuidlijn monitoringsdata	S.F. Frankenmolen	Aug. 2006	
VII	Combined extensometer-inclinometer system	Soldata/ Grondmij	(scanmonitoring2.pdf)	
VIII	Combined inclinometer/ extensometer system, Boart Longyear	Interfels		
IX	Richtlijn meten en monitoren van bouwputten voor kwaliteits- en risicomanagement		CUR 223. 2010	978-90-376-0517-4
X	Dagrapporten t.a.v. voorbereiden: <ul style="list-style-type: none"> - Productierapporten vrij boren obstakels MAX Bögl - Weekrapporten MAX Bögl - Uitvoerdersdagboeken Franki Grondtechnieken - Dagrapporten Franki Grondtechnieken - Dagrapporten Dagelijks toezicht NoordZuidlijn 			
XI	Database for Retaining Wall and Ground Movements due to Deep Excavations	M. Long	Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering. Mart 2001	
XII	Dataset Rokin Station, F531	M. Korff, T. van der Linden, A. Coumiotis Moreira Peixoto	1001307-005-GEO-0005 Draft versie 20 April 2010	
XIII	Deep Excavation and Tunneling in Soft Ground.	R.B. Peck	State of-the-art report, blz. 225-280 (1969)	
XIV	Gedrag bouwputten NZL, F531	M. Korff	1001307-004-GEO-0002 COB 2009	

	Titel	Auteur	Rapport nr.	ISBN nr.
XV	Foundation Engineering and Underground Constructions CT5330	A.F. van Tol	Maart 2006	
XVI	Funderingstechnieken CT2330	A.F. van Tol	Maart 2006	
XVII	Funderingstechnieken, uitvoeringstechnieken	A.F. van Tol/ H.J. Everts		90-71301-42-7
XVIII	Grote diameter geboorde casing palen	E de Jong	Geotechniek december 2008	
XIX	Ground performance and building response due to tunneling	J.B. Burland, R.J. Mair, J.R. Standing	2004	
XX	Lateral Support Systems and Underpinning	D.T. Goldberg, W.E. Jaworski, M.D. Gordon	April 1976	FHWA-RD-75-129
XXI	Meetboutennet Amsterdam (NAP-hoogtemerken)	C.A.G. Hogenes	Project (12)11.460 1998	
XXII	Monitoring of the North/South Metroline in Amsterdam	H. Netzel, F.J. Kaalberg		
XXIII	Numerical Damage Risk Assessment Studies on Masonary Structures due to TBM-Tunneling in Amsterdam	H. Netzel, F.J. Kaalberg	Proc. GeoEng2000, Nov 19-24, Melbourne, Australia 2000	
XXIV	Onderzoek naar de verwachten zettingschade bij de aanleg van de Noord/Zuidlijn in Amsterdam, Diana studies, fase 1.	TNO	1995	
XXV	Construction induced movements of in situ walls	Clough & O'Rourke	Proc. ASCE Specialty Conference Cornell ASCE Geo special Publication 25, blz. 439-470, 1990	
XXVI	Rapportage gebouwresponsie station Rokin (na fase 3 / 4)	R.P. Roggeveld, F.J. Kaalberg	Versie: concept 02 d.d. 29 oktober 2009	
XXVII	Richtlijnen voor paalfunderingen, ontwerp en uitvoering van op druk belaste palen ingebracht met grondverdringing 149	Stichting bouwresearch	Rotterdam 1986	
XXVIII	Robotic Total Stations and Remote Data Capture: Challenges in Construction	D. Cook	Geotechnical News, December 2006	
XXIX	SBR, A 4000 Uitvoeringstechnische aspecten			
XXX	Soil, buildings and foundations in Amsterdam	M. Korff	1001307-005-GEO-0002 Draft versie 13-11-2009	
XXXI	Station Rokin Monitoringssommen, PLAXIS berekeningen	K. de Jong, Projectbureau Noord/Zuidlijn	6E5145/R020/902394/Rott 2008	
XXXII	Voorspellingen van wandverplaatsingen en maaiveldzettingen ontstaan door ontgravingen	D.J.J. van Dijk	Feb. 2003	

Web sites

	Adres	Firma/ instantie
01.	http://webgis.mobonz.nl	Archief t.b.v. meetdata NoordZuidlijn
02.	www.bma.amsterdam.nl	Bureau Monumenten & Archeologie
03.	www.noordzuidlijn.amsterdam.nl	Projectbureau NoordZuidlijn Amsterdam
04.	www.spoorzonedelft.nl	Projectbureau Spoorzone Delft
05.	www.sisgeo.com/pdf/schede/S400_EN.pdf	Folder van inclinometer
06.	www.slopeindicator.com/pdf/course%20material/data%20reduction.pdf	Folder van inclinometer
07.	www.soldatagroup.com	Informatie t.a.v. totalstations