



**Actieve zettingscompensatie met het Soilfrac®-procédé (compensation-grouting) tijdens de tunnelbouw onder het Centraal Station in Antwerpen**

### Scope

It is planned to further develop the railway sections Brussels–Antwerp–Amsterdam, which requires further development of the railway station in Antwerp in order to allow regular and high-speed trains to pass the station. For this purpose the historical terminus station has to be under-tunnelled. In order to avoid possible damage due to settlement, the Soilfrac method is applied for permanent settlement balancing during the tunnel construction phases. It is therefore possible that, – after pre-stabilization and sufficient pre-stressing of the soil – stabilizing and lifting of certain structures can be controlled whilst constructing the tunnel.

### En résumé

Dans le cadre de la transformation de la ligne de chemin de fer Bruxelles–Anvers–Amsterdam, une adaptation de la gare d’Anvers pour le passage de trains à grande vitesse était nécessaire. On a donc réalisé un tunnel sous la gare terminus d’époque. Afin de diminuer l’effet des tassements pendant la phase d’exécution de la galerie, on a utilisé le procédé Soilfrac pour la compensation simultanée des tassements. On s’est assuré que, après les travaux préliminaires, et un pré-contrainte suffisante du terrain, les soulèvements contrôlés de l’ouvrage pourraient ultérieurement être réalisés sans dommage.

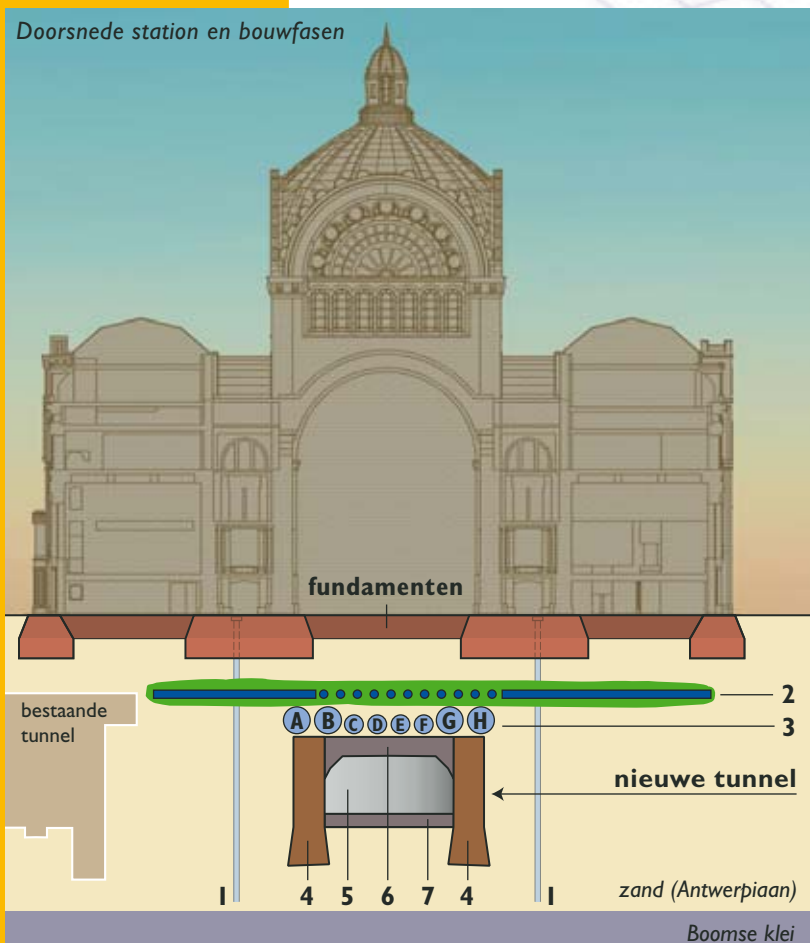


Geplande uitbreiding station Antwerpen



Tekening: Eurostation, Brussel

Doorsnede station en bouwfasen



## Projectomschrijving

Sinds 1999 worden er onder het Centraal Station in Antwerpen tunnelbouw- en beschermingswerkzaamheden verricht. Het bijna 70 meter hoge stationscomplex werd in de jaren 1899–1905 als kopstation gebouwd. De Belgische spoorwegmaatschappij NMBS is momenteel bezig met de aanleg van een hogesnelheidslijn van Brussel via Antwerpen naar Amsterdam. Door de bouw van een tunnel onder het station kunnen met name de hogesnelheidstreinen maar ook andere treinen hier voortaan doorrijden.

De tunnel wordt gebouwd volgens de beproefde „Belgische methode”. Dit betekent dat er vanuit de buitenste buizen van het aangebrachte buizendak met de hand ca. 15 meter diepe beschoeide sleuven zijn uitgegraven. Hiertoe werd de grondwaterstand ca. 15 meter verlaagd. Vervolgens vond de verdere uitgraving van de tunnel plaats en werd het definitieve tunneldak aangebracht.

## Taakstelling

Uit zettingsberekeningen en opgedane ervaringen bleek dat de totale zetting voor alle bouwfasen 60 tot 120 mm zou bedragen. Vervormingen in deze orde van grootte met grote hoekverdraaiingen hebben aanzienlijke schade aan het betreffende bouwwerk tot gevolg. De zwaarbelaste fundamente in de buurt van de torenkolommen met een funderingsdruk  $>800 \text{ kN/m}^2$  maakten het uitwerken van een technisch verantwoord bewakings- en beschermingsconcept nog extra moeilijk. Om schade door vervormingen te voorkomen, werd het Soilfrac<sup>®</sup>-procédé toegepast, zodat zettingen tijdens de verschillende fasen continu gecompenseerd konden worden. Daardoor werd gewaarborgd dat het stationsgebouw tijdens de tunnelbouw gericht opgeheven kon worden. De maximaal toelaatbare en dus niet-kritische zettingen werden begrensd tot 5 mm bij een hoekverdraaiing van 1:2000.

1 bronnen voor verlaging van grondwater

2 Soilfrac<sup>®</sup>-boringen en -injecties

3 buizendak (Ø 2,5–3,0 m)

4 beschoeide sleuven

5 uitgraving

6 tunneldak

7 tunnelvloer

# Het Soilfrac®-procédé...



Uitvoering van de Soilfrac®-boringen

## Boorwerkzaamheden

De maximaal 45 meter lange, horizontale Soilfrac®-boringen werden vooraf vanuit werkschachten uitgevoerd.

De boor- en injectiewerkzaamheden werden uitgevoerd in een vastgepakt zandpakket dat zich uitstrekt tot 20 meter diepte. Hieronder volgt de „Boomse klei“.

Vanwege de vele ondergrondse obstakels, zoals fundamente, houten damwanden en bemalingsbronnen, waarvan de exacte locatie niet altijd bekend was, moest de boornauwkeurigheid in alle richtingen <1% bedragen.

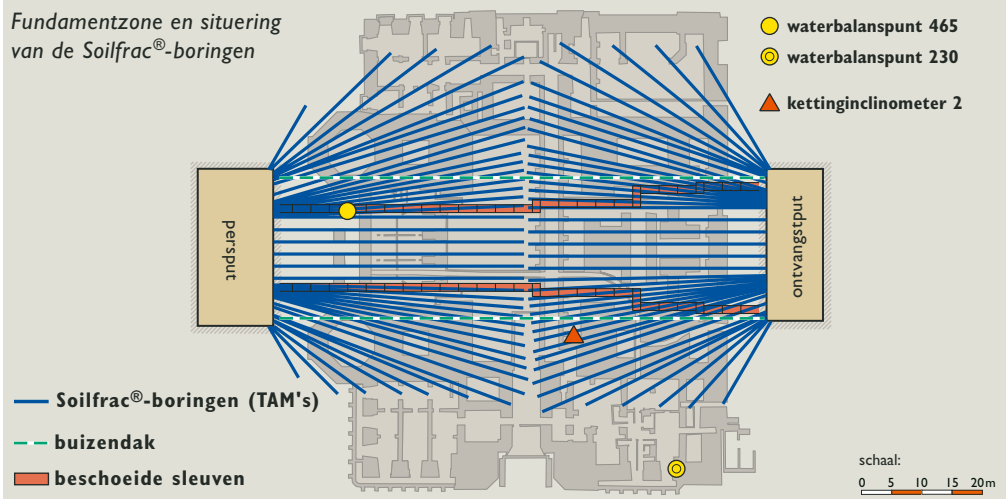
## Voorinjectionies

Na het aanbrengen van de injectielanzen werd er begonnen met de stabilisatie en voorinjectionie van de fundamente zone.

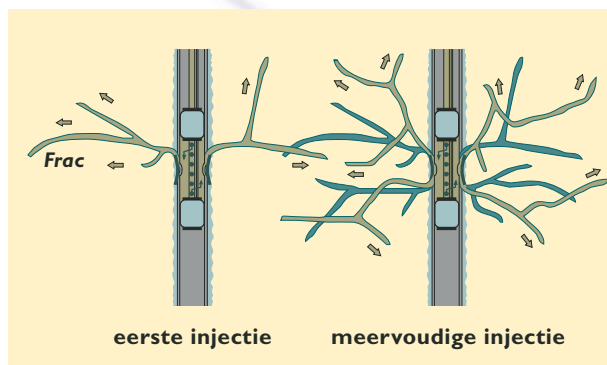
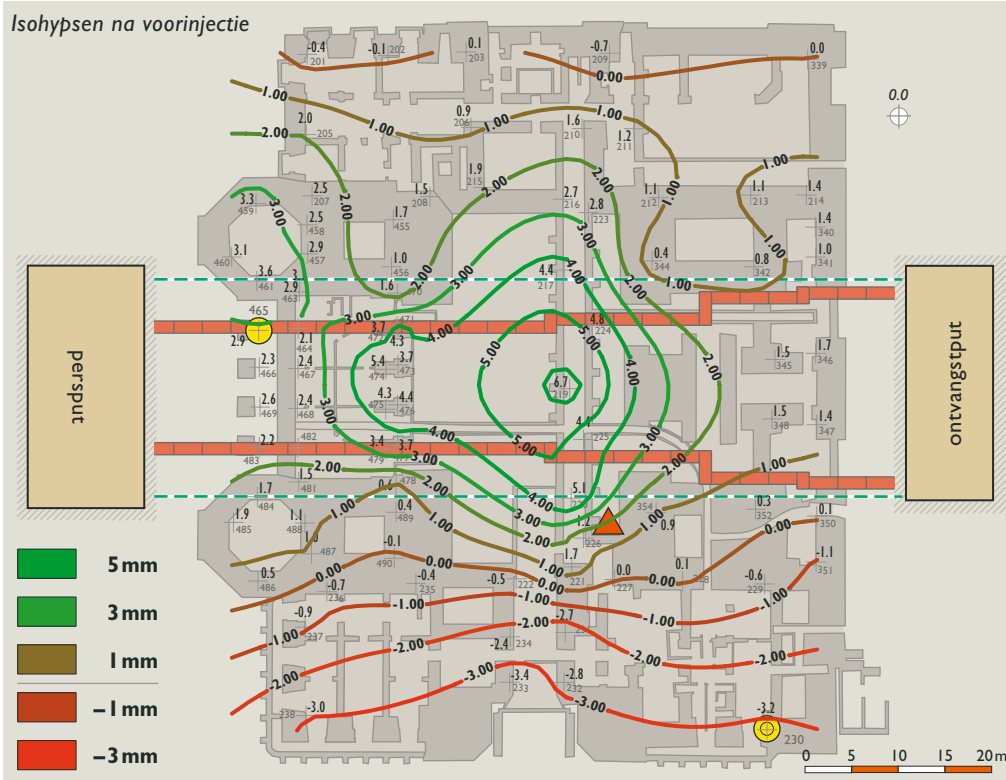
De voorinjectionie werd in een aantal fasen uitgevoerd en na een contactheffing van 2 tot 5 mm beëindigd. In totaal vonden er in dit stadium enkele duizenden injecties plaats.

Buiten de injectiezone ontstonden er door het dalen van de grondwaterstand zettingen van maximaal 3 mm.

Fundamentzone en situering van de Soilfrac®-boringen



Isohypsena voorinjectionie



## Soilfrac®-principe

Het Soilfrac®-procédé wordt door Keller Grundbau al enkele tientallen jaren onder andere met succes toegepast om de zettingen die zich bij tunnelbouwwerkzaamheden voordoen, te minimaliseren en verzakkingen van gebouwen ongedaan te maken. Bij dit procédé worden er via eerder aangebrachte injectielanzen (TAM's) packers in de bodem gebracht, waarna het vooraf bepaalde injectievolume via de afzonderlijke injectieopeningen wordt ingespoten. Hierdoor ontstaan scheuren (fracs) in het grondmassief. Dit proces wordt in een aantal opeenvolgende fasen herhaald, zodat optredende zettingen na voltooiing van de voorinjectionie en opspanning van de bodem op ieder gewenst moment gericht opgeheven kunnen worden.

# Meting en bewaking...



Installatie van een scheurmeter

## Meetsystemen

Om de hoogteveranderingen en vervormingen te kunnen bewaken, werden er voor aanvang van de werkzaamheden acht verschillende meetssystemen geïnstalleerd. Deze meet-systemen werden uitgerust met uiterst gevoelige sensoren.

De meetgegevens werden tijdens de bouwactiviteiten computergestuurd geregistreerd, bewaakt en geanalyseerd.

De gebruikte meetsystemen waren de volgende:

	punten
hoogtemeting:	
• druk en temperatuursensoren waterbalans	93
• extensometer	18
• meetpunten nauwkeurigheidswaterpassing	114
verschuivingsmeting:	
• automatische en optisch leesbare scheurmeter	67
hellingsmeting:	
• automatische verticale kettinginclinometer	68
• automatische horizontale kettinginclinometer	120
<b>total aantal meetpunten</b>	<b>480</b>



Druksensor waterbalans

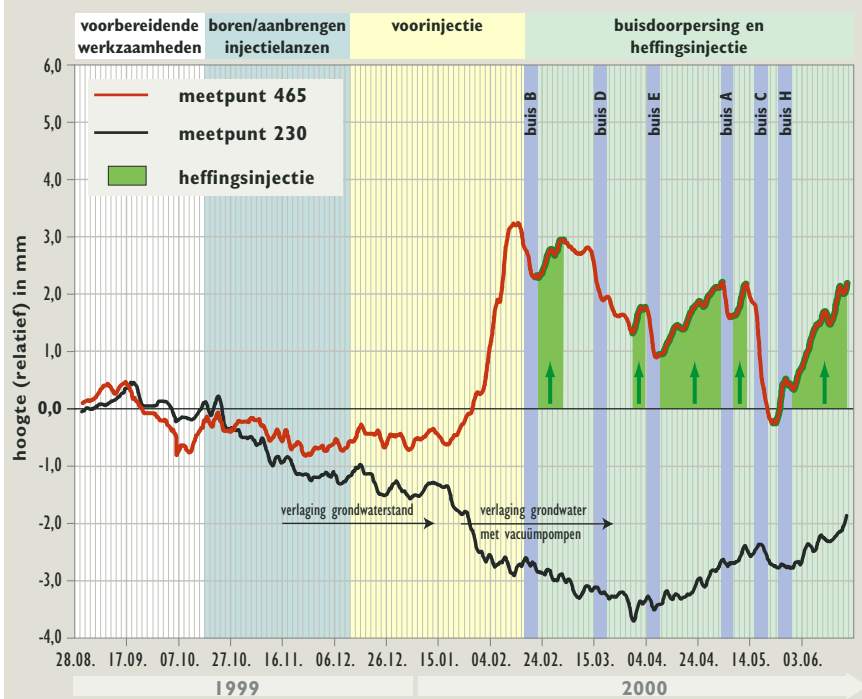
Voor het bewaken van de hoogteveranderingen werd er gebruik gemaakt van een automatisch waterbalanssysteem. Bij dit systeem worden niveauperanderingen niet geregistreerd met verplaatsingssensoren, maar met uiterst nauwkeurige druksensoren (systeem GeTec).

Ondanks de buitengewoon moeilijke omstandigheden bedroeg de nauwkeurigheid van het waterbalanssysteem bij permanent gebruik <math><0,3\text{ mm}</math>.



druksensoren in het gebouw

Hoogteverloop van een aantal geselecteerde meetpunten (waterbalanssysteem)

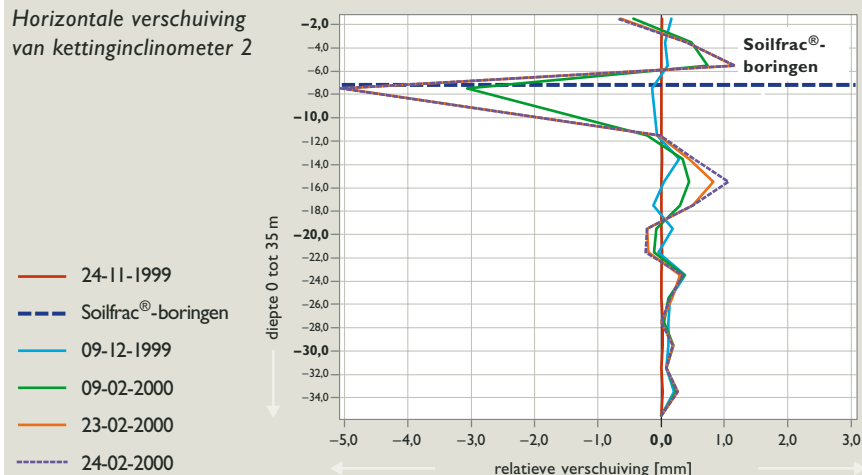


Ter controle van de zijdelingse tunnelvervormingen werden er verticale kettinginclinometers gebruikt. Deze werden aangebracht tot op een diepte van 35 meter met een sensorafstand van 2 meter.



Installatie van een verticale kettinginclinometer

Horizontale verschuiving van kettinginclinometer 2



# Buisdoorpersing en actieve zettingscompensatie ...



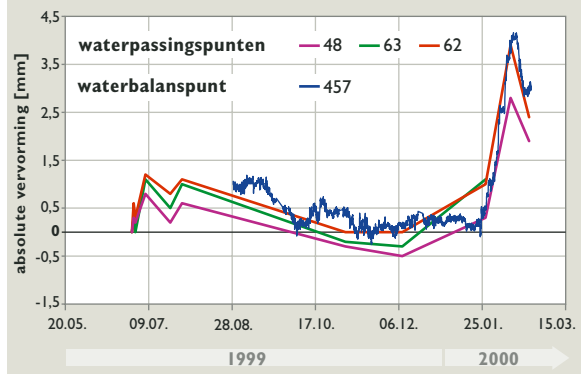
## Buisdoorpersing en heffingsinjecties

Na het voorinjecteren konden de acht buizen met een diameter van 2,5 tot 3,0 m zonder problemen worden doorgeperst. De maximale zetting bedroeg hierbij 4,0 mm.

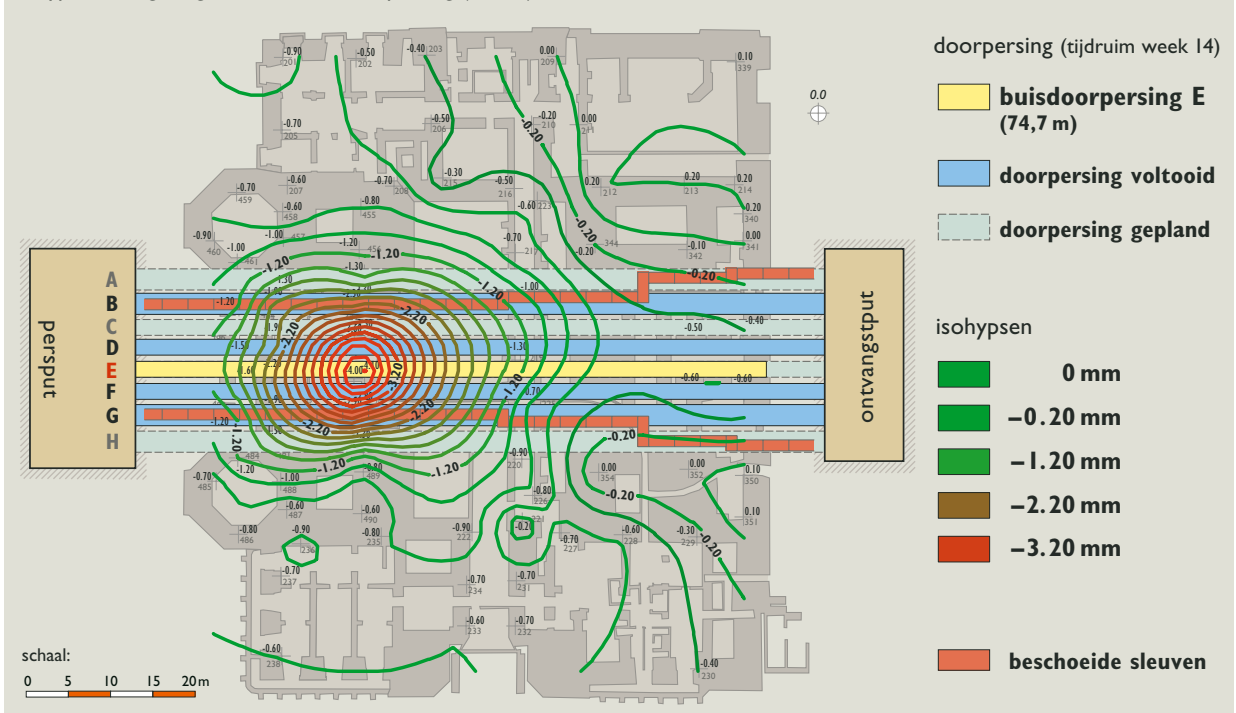
Na iedere doorpersing werd de bodem geïnjecteerd. Zo werden de ontspannen zones onmiddellijk gestabiliseerd en de fundamenteën weer op hun oorspronkelijke hoogte gebracht.

Vergelijkende metingen tussen waterbalans- en nauwkeurigheidswaterpassingspunten bevestigden de zettingen en heffingen. Maar demonstrenen ook de hogere meetfrequentie en grotere nauwkeurigheid van het waterbalanssysteem.

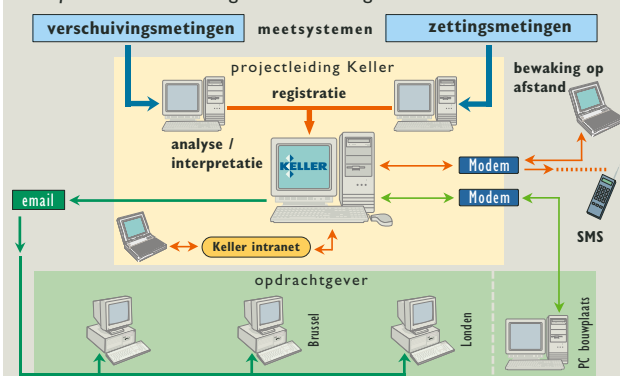
Vergelijkende hoogtemetingen tussen waterbalanssysteem en nauwkeurigheidswaterpassing



Isohyphen ten gevolge van een buisdoorpersing (buis E)



Principe van de bewaking van de metingen



Na het doorpersen van de buizen A en H werd er begonnen met het „handmatig“ uitgraven van de bijna 15 meter diepe beschoeide sleuven, in lamellen van ca. 3,5 m.

Alle meetsystemen werden tijdens de injectie- en graafwerkzaamheden online bewaakt, zodat er op ieder gewenst moment gerichte compensatie-injecties uitgevoerd konden worden.

In aanvulling hierop werden kritische meetwaarden als SMS-bericht per mobiele telefoon doorgegeven, waardoor de situatie permanent bewaakt werd en er zo nodig snel ingegrepen kon worden.

**Principaal**  
 NMBS (Belgische spoorwegen),  
 Koningin Astridplein 27 · B-2018 Antwerpen

**Opdrachtgever**  
 TV A.C.S. Tunnel (CEI Construct · MBG ·  
 Jan De Nul · Votquenne · Smet Tunnelling),  
 Excelsiorlaan 16 · B-1930 Zaventem

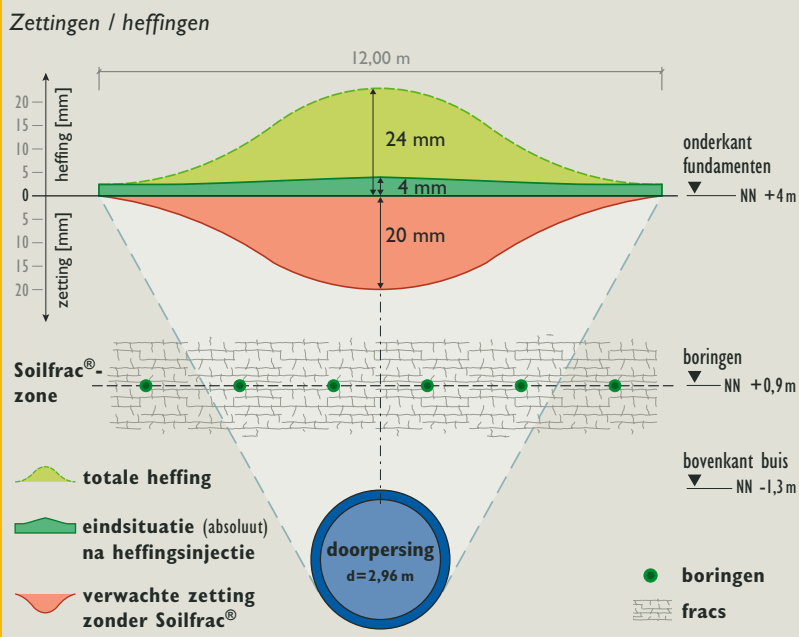
**Ingenieursbureau**  
 Eurostation, Brogniezstraat 54 · B-1070 Brussel

**Adviesbureau**  
 Seco, Aarlenstraat 53 · B-1040 Brussel

**Werkzaamheden**

- boringen ca. 3.500 m
- injecties ca. 530 m<sup>3</sup>

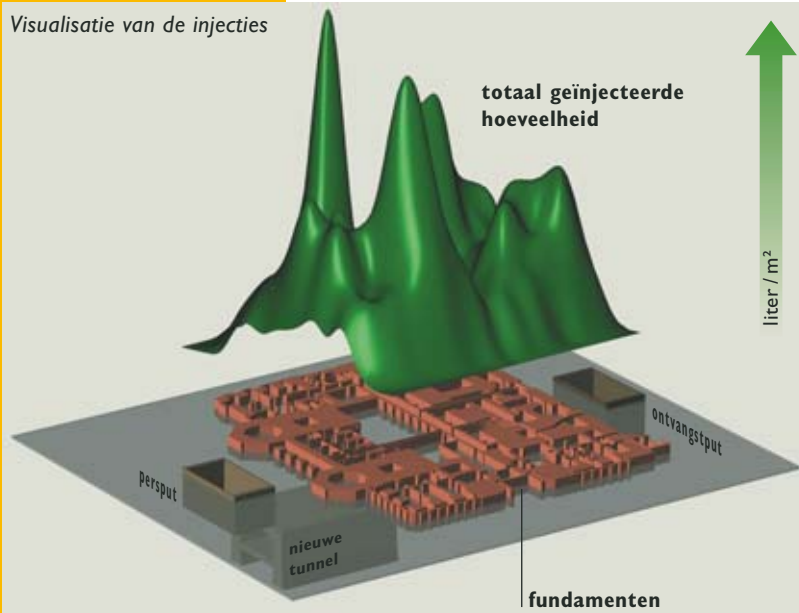
**Uitvoering**  
 augustus 1999 tot ca. april 2001



Op grond van de ervaringen bij het aanbrengen van het buizendak werd een totale zetting van 20 mm verwacht. De toepassing van het Soilfrac®-procédé had tot doel de zettingen zo snel mogelijk te compenseren om overschrijding van de grenswaarden te voorkomen.

Tijdens het doorpersen van de verschillende buizen en het maken van de beschoeide sleuven werd door middel van een groot aantal injecties een totale zettingscompensatie van maximaal 24 mm gerealiseerd.

Toen deze bouwfase was voltooid en er geen nazettingen meer optraden, resulteerde een overcompensatie van ongeveer 4 mm ten opzichte van het uitgangsniveau. Kritische vervormingen hebben zich op geen enkel moment voorgedaan.



Tot het moment waarop de beschreven activiteiten werden afgerond, werd er in totaal enkele duizenden keren geïnjecteerd. Alle injectiegegevens werden opgeslagen op gegevensdragers en regelmatig geanalyseerd. De verdeling van de voor de zettingscompensatie vereiste injectiehoeveelheden toont duidelijke lokale verschillen. In de omgeving van de zwaarbelaste hoofdfundamenteen moesten er veel grotere hoeveelheden worden geïnjecteerd dan elders.

Dankzij de hoge kwaliteit en het secuur schoonmaken van de injectielanzen kon er overal een groot aantal malen worden geïnjecteerd. Enkele openingen zijn inmiddels 50 tot 60 maal gebruikt.

Door de toepassing van het Soilfrac®-procédé en het gebruik van grootschalige bewakingssystemen is het gelukt de tunnelwerkzaamheden zonder problemen en zonder schade aan het bouwwerk uit te voeren.

**Keller Grundbau GmbH**  
 hoofkantoor en divisie buitenland  
 Kaiserleistr. 44 · D-63067 Offenbach  
 tel. +49-(0) 69-80 51 0 · fax +49-(0) 69-80 51 2 44  
 Internet www.KellerGrundbau.com

Berlijn · Bochum · Bremen · Dorfmark · Garching ·  
 Leipzig · Maintal · Renchen · Wenen

**Uitvoerende vestiging**  
**Bereik West**  
 Mausegatt 45-47 · D-44866 Bochum  
 tel. +49-(0) 23 27-804 0 · fax +49-(0) 23 27-804 31

**Nederlandse vestiging**  
**Keller Funderingstechnieken B.V.**  
 Europaan 16 · NL-2408 BG Alphen a/d Rijn  
 tel. +31-(0) 172-47 17 98 · fax +31-(0) 172-47 18 04