

## Evaluatie resultaten Innotrack

dr.ir. P. Hölscher  
dr.ir. P. Meijers

1001069-017

**Titel**

Evaluatie resultaten Innotrack

**Opdrachtgever**Delft Cluster  
ProRail  
Deltares**Project**

1001069-017

**Kenmerk**1001069-017-GEO-0007-  
sr**Pagina's**

16

**Trefwoorden**

Spoorwegen, ballast, overgangsconstructies

**Samenvatting**




In het kader van het 6<sup>de</sup> Europese onderzoeksprogramma is het Innotrack onderzoek uitgevoerd naar kosteneffectieve oplossingen voor spoorwegen. Vanuit Nederland zijn TU Delft en ProRail betrokken bij dit project. De resultaten van het Innotrack onderzoek zijn globaal beoordeeld op bruikbaarheid voor het Delft Clusteronderzoek naar Overgangsconstructies en Wissels.

Er bleken twee onderzoeken relevant voor het lopende onderzoek:

- Eén onderzoek specifiek voor een overgangssituatie zijn uitgevoerd op km 173 bij Montagut op de lijn Zaragoza-Barcelona.
- Eén onderzoek naar de verdichtbaarheid en het verdichtingsgedrag van ballastmateriaal.

**Referenties**

-

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
01	nov. 2009	dr.ir. P. Hölscher		ir. J. Brinkman		ing. M. Hutteman	

**Status**

definitief

## Inhoud

<b>Lijst van Tabellen</b>	<b>i</b>
<b>1 Inleiding</b>	<b>1</b>
<b>2 Korte samenvatting rapporten INNOTRACK</b>	<b>3</b>
2.1 Inleiding	3
2.2 Samenvatting rapporten	3
2.3 Evaluatie bruikbaarheid voor lopende onderzoek	5
<b>3 Samenvatting onderzoek en bevindingen RTZ Montagut</b>	<b>7</b>
3.1 Inleiding	7
3.2 Bevindingen Innotrack-onderzoek	7
3.3 Beoordeling	8
3.4 Evaluatie voor het lopende onderzoek	8
<b>4 Beoordeling laboratoriumproeven op ballastmateriaal</b>	<b>11</b>
4.1 Inleiding	11
4.2 Beschrijving proevenprogramma	11
4.3 Bevindingen onderzoek	12
4.4 Consequenties voor lopende onderzoek	13
<b>5 Conclusies</b>	<b>15</b>

## Lijst van Tabellen

Tabel 3.1	Overzicht stijfheidsmetingen Montagut bovenste deel: metingen voor de renovatie; onderste deel: metingen na de renovatie	7
Tabel 4.1	Vervorming in twee proeven zonder geotextiel	13

## 1 Inleiding

In het kader van het 6<sup>de</sup> Europese onderzoeksprogramma is het Innotrack onderzoek uitgevoerd. Door verschillende Europese belanghebbenden is gemeenschappelijk onderzoek gedaan naar kosteneffectieve oplossingen voor spoorwegen. De nadruk lag op innovatieve oplossingen die met een beperkte investering de onderhoudskosten kunnen reduceren. Vanuit Nederland zijn TU Delft en Prorail betrokken bij dit project.

De resultaten van het Innotrack onderzoek zijn globaal beoordeeld op bruikbaarheid voor dit project. Hoofdstuk 2 vat de bevindingen samen en evalueert de bruikbaarheid van de resultaten van dit onderzoek.

Er bleken twee onderzoeken relevant voor het lopende onderzoek:

- Eén onderzoek specifiek voor een overgangssituatie zijn uitgevoerd op km 173 bij Montagut op de lijn Zaragosa-Barcelona. Dit onderzoek wordt in Hoofdstuk 3 geëvalueerd.
- Eén onderzoek naar de verdichtbaarheid en het verdichtingsgedrag van ballastmateriaal. Dit onderzoek wordt in Hoofdstuk 4 geëvalueerd.

Ten slotte vat Hoofdstuk 5 de belangrijkste conclusies en consequenties voor het lopende onderzoek samen.



## 2 Korte samenvatting rapporten INNOTRACK

### 2.1 Inleiding

Door ProRail is aan Deltares een serie rapporten vanuit het EU onderzoeksproject Innotrack beschikbaar gesteld.

In dit Hoofdstuk wordt een overzicht gegeven van de beschikbaar gestelde rapporten, en per rapport een korte samenvatting en beoordeling gegeven. De focus ligt hierbij op de situatie bij een overgangsconstructie.

### 2.2 Samenvatting rapporten

- D2.1.1 – In-situ measurement preliminary database, based on information management framework, revision: draft, submission date: 2008-04-17.

Dit rapport beschrijft de structuur van een database om binnen het project meetgegevens uit te wisselen. Voor overgangsconstructies bevat het geen relevante informatie:

- D2.1.2, Adapted 'Portancemetre' for track structure stiffness measurement on existing tracks, revisions: final 4, submission date: 2007-05-30.

Dit rapport beschrijft de zogenaamde 'portancemetre' methode. Dit is een apparaat om de stijfheid van wegen te meten. In het kader van INNOTRACK is de methode aangepast voor gebruik op spoorwegen. Het rapport beschrijft het ontwerp. Ten tijde van het schrijven van dit rapport was het nieuwe apparaat nog niet gebouwd. Onduidelijk is of dat in het kader van INNOTRACK uiteindelijk wel is gebeurd.

De gepresenteerde curven van de stijfheid als functie van frequentie, belastingamplitude en droog/nat zijn van de ondergrond verdienen mogelijk enige nadere analyse. De gepresenteerde resultaten suggereren dat de stijfheid bij een verzadigd baanlichaam ongeveer de helft is van die van een droog baanlichaam. Ook suggereren de resultaten dat de stijfheid afneemt bij toename van de frequentie:

- D2-1-12 GL, Modelling of track subgrade, part 1: final report on the modeling of poor quality sites, part 2: variability accounting in track numerical modeling, no date.

Dit rapport is in feite een samenvatting van rapport D2.1.16:

- D2.1.15: Non-destructive geophysical methods, revision: draft 1, submission date: 2009-09-09

Dit rapport presenteert de resultaten van uitgevoerde geofysische metingen op 7 locaties in Europa. De gebruikte meetmethoden zijn: seismic methods, gravity measurements en resistivity tomography. Het ons beschikbaar gestelde exemplaar bevat niet de bijlagen met de meetresultaten. Voor overgangsconstructies bevat dit rapport geen relevante informatie:

- D2.1.16: Final report on the modeling of poor quality sites, Revision: final 1, submission date: 2009-07-15.

Dit rapport beschrijft de resultaten van modelproeven om de indrukking van ballast bij wisselende belasting te bepalen. De proeven zijn nagerekend met een EEM berekening. Ontwerpgrafieken, gebaseerd op de resultaten van EEM berekeningen, voor de dikte van de subballast laag om te voldoen aan een gestelde stijfheidseis worden gegeven. Een uitgebreidere bespreking van dit rapport wordt gegeven in Hoofdstuk 4:

- D2.2.1: State of the art report on soil improvement methods and experience, Revision 3, submission date: 2008-02-13.

Het rapport geeft een overzicht van een groot aantal bestaande technieken om het gedrag van de aarden baan te verbeteren. Voor een overgangsconstructie bevat het geen relevante informatie:

- D2.2.4: Description of SP2 investigated sites and reference sites for LCC, final version, submission date: 2009-01-12.

Een beschrijving van een aantal mogelijke meetlocaties wordt gegeven. Meetlocaties met overgangsconstructies zijn:

- Montagut (Spanje): snelheidsbeperking tot 10 km/hr.
- Lleida, Borges Blanques (Spanje): geen problemen met de overgangsconstructie.

Rapport D2.2.7 bevat meer informatie over de constructie bij Montagut.

De overgangsconstructie bij Lleida bestaat globaal uit een zand-cement (suelo-cement) driehoek tegen het viaduct met daarnaast een trapeziumvormig lichaam met als omschrijving QS3 of OS3 (de tekening in het rapport is op dit punt niet scherp genoeg, ook wordt niet aangegeven wat dit voor type materiaal is). Deze constructie kan als voorbeeld dienen van een overgangsconstructie die goed functioneert.

Verder bevat het rapport geen relevante informatie over overgangsconstructies:

- D2.2.5: Subgrade reinforcement with columns, part 1 Vertical columns, part 2 Inclined columns, revision: draft, submission date: 2009-06-03.

Dit rapport beschrijft de toepassing van verticale en schuine kolommen op twee locaties. In een bijlage bij het rapport wordt een uitgebreide samenvatting gegeven van literatuur gegevens van de toepassing van deep mixing op andere locaties. Tevens wordt aandacht besteed aan de uitvoering. In het rapport wordt geen aandacht besteed aan overgangsconstructies.

De beschreven techniek is een optie voor verbetering van het baanlichaam:

- D2.2.6 GL – Guideline for subgrade reinforcement with geosynthetics, part 1: enhancement of track using under-ballast geosynthetics, no date.

Dit rapport is te beschouwen als een samenvatting van rapport D2.2.9:

- D2.2.6 GL – Guideline for subgrade reinforcement with geosynthetics, part 2: improvement study of transition zone on conventional line, no date.



De aanpassing van een specifieke overgangsconstructie (Montagut in Spanje) wordt beschreven. Dit document is in feite een samenvatting van D2.2.7.

De naam 'guideline' van het document is misleidend:

- D2.2.7 – Improvement study of transition zone on conventional line, submission date: 2009-07-03, revision draft.

Dit document beschrijft de aanpassing van een overgangsconstructie bij Montagut in detail. Dit rapport kan relevante informatie en ervaringen bevatten voor ons onderzoek. Daarom wordt dit rapport uitgebreider besproken in Hoofdstuk 3:

- D2.2.8 GL – Guideline for subgrade reinforcement with columns, part 1 vertical columns, part 2 Inclined columns, no date.

Dit rapport bevat een aantal aanwijzingen voor de uitvoering van verticale en schuine kolommen bij een spoorbaan:

- D2.2.9 – Subgrade reinforcement with geosynthetics, submission date: 2009-07-13, revision: final1.

Gepresenteerd worden laboratorium testen op een systeem van een (halve) dwarsdrager op een baanlichaam. Het baanlichaam is versterkt met een of twee geotextielen. Het systeem is zowel statisch als cyclisch belast (tot 250.000 wisselingen). De proevenserie is een uitbreiding van de proeven beschreven in D2.1.16. Dit rapport wordt uitgebreider beschreven in Hoofdstuk 4.

Naast bovengenoemde rapporten is van het project "sustainable bridges" is het volgende document beschikbaar gesteld:

- D6.2.1 Appendix A, Strengthening methods for the subsoil in transition zones at existing railway bridges, revision date: 2006-09-30.

Dit rapport geeft een overzicht van een aantal methoden van grondverbetering om zetting bij een spoorbaan te voorkomen genoemd. Per methode worden de voor- en nadelen kort beschreven. Dit overzicht is nuttig voor het ontwerp van een aarden baan, maar bevat geen specifieke informatie voor het ontwerp van een overgangsconstructie.

### **2.3 Evaluatie bruikbaarheid voor lopende onderzoek**

De meeste rapporten zijn gericht op de aarden baan.

Eén rapport is specifiek gericht op een overgangsconstructie. Dit rapport wordt in Hoofdstuk 3 uitgebreider besproken.

Een serie rapporten over verdichting van ballast kan indirect van nut zijn bij het beschouwen van de situatie bij een overgangsconstructie. Daarom worden deze rapporten nader besproken in Hoofdstuk 4.



### 3 Samenvatting onderzoek en bevindingen RTZ Montagut

#### 3.1 Inleiding

Het onderzoek is uitgevoerd op de overgangen bij een betonnen onderdoorgang van 8 x 8 m. Het spoor ligt op een ophoging van ruim 8 m. De bovenste 4 m is klei met stukjes kool, de onderste 4 m is een mengsel van zand en zandige klei. De ondergrond tot 16 m is zandige klei. Het spoor is ballast spoor UIC 54 op duoblok dwarsdragers. De baanvaknelheid is 160 km/h, maar voorafgaand aan het onderzoek gereduceerd tot 10 km/h wegens de zeer slechte spoorligging.

#### 3.2 Bevindingen Innotrack-onderzoek

De volgende metingen zijn gerapporteerd:

- Het lange termijn vervormingsgedrag van het baanlichaam, 10 m vanaf het kunstwerk. Na één maand is de verticale verplaatsing 0.5 – 1.0 mm. De horizontale verplaatsing is in beide richtingen ongeveer tweemaal zo groot.
- Het lange termijn liggingsgedrag van het spoor. In twee maanden is de zakking ongeveer 1 mm t.o.v. het kunstwerk.
- Een snelle meting met indrukkingen en (dynamische) as lasten. Deze meting is voor en na de renovatie uitgevoerd. De gerapporteerde stijfheden zijn 20 - 45 KN/mm voor, en 50 – 110 KN/mm na de renovatie.

De renovatie is uitgevoerd door het spoor en de onderbouw te verwijderen tot - 2 m onder B.S. Het spoor is over 76 m opnieuw gelegd op een beter materiaal: een goed gegradeerd fijn grind (D50 = 10,5 mm) met geotextiel wapening. De ballast is vernieuwd, het spoor is terugggelegd op mono-blok betonnen dwarsdragers. Tevens is de onderdoorgang waterdicht gemaakt.

Tabel 3.1 vat de stijfheidsmetingen voor en na de renovatie samen, waarbij punten op vergelijkbare afstand (tot het hart van de onderdoorgang) in eenzelfde kolom opgenomen zijn. De onderdoorgang is 8 m breed, zodat punt S1N2 juist op de rand van het kunstwerk ligt. Per regel wordt voor de rijnsnelheid de bepaalde stijfheid gegeven.

<b>Meetpunt</b>	<b>S2</b>				<b>S1</b>	<b>S3</b>
<b>Afstand [m]</b>	<b>0</b>				<b>12</b>	<b>49</b>
stapvoets	20				25-35	40
<b>Meetpunt</b>	<b>S0</b>	<b>S1N1</b>	<b>S1N2</b>	<b>S1N3</b>	<b>S2</b>	<b>S3</b>
<b>Afstand [m]</b>	<b>0</b>	<b>1.8-2.4</b>	<b>3.6-4.2</b>	<b>4.8-5.4</b>	<b>10</b>	<b>45</b>
stapvoets	-	105	50	35	-	
40 km/u	92	-		-	105	90
150/160 km/h	86	120	81	58	85	85

Tabel 3.1 Overzicht stijfheidsmetingen Montagut  
bovenste deel: metingen voor de renovatie; onderste deel: metingen na de renovatie

Het beeld van de snelheidsafhankelijkheid van de stijfheid na de renovatie is niet duidelijk. Boven het kunstwerk en op de vrije baan wordt duidelijk geen snelheidsafhankelijkheid geconstateerd, op de overgang (punten S1N2 en S1N3) lijkt dit wel het geval: een toename in de orde van 50 %.

In alle punten zien we een verhoging van de stijfheid na de renovatie, maar in de overgangszone lijkt deze het kleinst.

### 3.3 Beoordeling

De rapportage geeft geen informatie over de spoorligging. De foto's geven aan dat er t.p.v. van het kunstwerk een hobbel in het spoor zit. Bij een zakking van het spoor t.o.v. de duiker van 1 mm / 2 maanden zal vroeg of laat onderhoud nodig zijn.

Het baanlichaam zakte 0.5 à 1.0 mm / maand, wat redelijk overeenkomt met de zakking van het spoor.

De horizontale vervorming is in beide richtingen (evenwijdig aan en loodrecht op het spoor) tweemaal zo groot. Dat kan in langsrichting eigenlijk niet, zodat de lange termijn vervormingmeting niet erg betrouwbaar lijkt. De opgegeven nauwkeurigheid door de fabrikant (40 µm/m) is praktisch niet haalbaar, zodra er een zandkorrel tussen het meet apparaat en de buis zit is de nauwkeurigheid weg. Praktisch is de gemeten waarde binnen het betrouwbaarheidsinterval, identiek aan de situatie in Gouda Goverwelle.

De gemeten stijfheden voor de renovatie zijn laag: 20 kN/mm boven het kunstwerk, 25 – 40 kN/mm op de vrije baan. Het verschijnsel blinde vering wordt niet benoemd en ook niet gemeten. De indruk bestaat dat de blinde vering de meting overheerst.

Wel opvallend is het feit dat hier boven het kunstwerk de laagste stijfheid gemeten werd, terwijl wij in Goverwelle juist boven de duiker de hoogste stijfheid gemeten hebben. Mogelijk hangt dit samen met het feit dat er gedurende langere tijd geen onderhoud gepleegd is of met de grootte van de overspanning.

Het doel van de grondverbetering en de geotextielen wordt niet expliciet genoemd. Hierover kunnen nog wel de volgende opmerkingen gemaakt worden:

- De suggestie wordt gewekt dat de waterdoorlatendheid van het oorspronkelijk aanwezige materiaal (kleiig) te gering is. Dan is het aanbrengen van een meer doorlatend materiaal de aangewezen oplossing.
- De constatering dat het laatste meetpunt (op 45 m vanaf het kunstwerk) ook de stijfheidsverbetering na renovatie te zien geeft, terwijl dit punt buiten de renovatie valt, is feitelijk vreemd. Mogelijk is daar wel onderhoud verricht, wat de toename van de stijfheid kan verklaren.

Er wordt niet met een meting aangetoond in hoeverre het lange termijn gedrag verbeterd is. Ook wordt niet aangegeven welke bijdrage de verschillende verbeteringen geleverd hebben aan het verbeterde gedrag.

Opvallend detail is nog wel dat op deze overgangsconstructie, klaarblijkelijk zonder stootplaat, een zeer strikte snelheidsbeperking ingesteld was.

### 3.4 Evaluatie voor het lopende onderzoek

De indruk bestaat dat de zakking van het spoor naast het kunstwerk bestaat uit uitdijning van het baanlichaam en zakking ondergrond. Het eerste fenomeen (de uitdijning) zal mogelijk beperkt worden door het geotextiel.

De afwatering wordt verbeterd door de klei te vervangen door grind, wat zeker positief zal zijn. Mogelijk moeten in de overgangszone hogere eisen gesteld worden aan de doorlatendheid van het materiaal en de grondwaterstand.

Hierbij wordt nog de volgende aantekening gemaakt. In de Nederlandse situatie (zoals in Gouda Goverwelle) kan grote neerslag voor problemen zorgen. De neerslag op de constructie en de overgangszone zal voor het grootste deel afstromen in een richting evenwijdig aan het spoor. Als de stootplaten (vrijwel) tegen elkaar liggen zal de afstroming tussen de platen door beperkt worden, zodat bij de voet van de plaat een behoorlijke grondwaterstroming kan optreden, wat lokaal tot een verzadigde zone kan leiden. Juist rondom de voet van de plaat, waar dit juist niet wenselijk is. Dit risico pleit ervoor de platen niet zonder meer tegen elkaar aan te leggen, maar in dat geval te voorzien van één of andere drainage mogelijkheid (bijvoorbeeld een drainage buis bij de voet van de plaat).

De uitgevoerde acties sluiten redelijk aan bij onze bevindingen. Het begrip blinde vering is hier niet beschouwd, terwijl die het gedrag van het spoor in belangrijke mate bepaalt. Wij zien verder geen aanknopingspunten of suggesties voor ons onderzoek.



## 4 Beoordeling laboratoriumproeven op ballastmateriaal

### 4.1 Inleiding

Er zijn vier Innotrack rapporten waarin laboratorium proeven worden beschreven voor verdichting van ballast materiaal onder dwarsliggers. Deze rapporten hebben de nummers D2.1.16, D2.2.9, D2.1.12GL en D2.2.6GL. Het laatste twee rapporten zijn te beschouwen als een samenvatting van de andere twee rapporten. De bevindingen van deze rapporten vullen de resultaten van de literatuurstudie aan en zijn bruikbaar bij het beoordelen van mechanismen bij verdichting ballastmateriaal. Daarom zullen ze hier uitgebreider worden besproken.

In de genoemde rapporten worden ook een serie EEM berekeningen gepresenteerd. Hiermee zijn ontwerpgrafieken opgesteld. Deze vullen het lopende DC onderzoek niet aan en worden hier niet verder besproken.

### 4.2 Beschrijving proevenprogramma

De proeven zijn uitgevoerd in een modelbak met afmetingen 2\*1\*0,8 m. Uit de foto's in de rapporten maken wij op dat de wand van de bak bestaat uit gestapelde houten balken in een metalen frame. In de bak is een baanlichaam opgebouwd. De opbouw hiervan was, van onderen naar boven:

- Een laag rubber, ter simulatie van de ondergrond.
- Zand (2 cm).
- Een laag subballast.
- Een laag verdicht ballast.
- Een halve dwarsligger.

Er zijn twee series proeven uitgevoerd. De eerste serie proeven was gericht op het effect van laagdikte en ondersleeper pad. Bij deze proeven zijn de volgende parameters gevarieerd:

- Belasting amplitude, de grootte correspondeert met aslasten van: 22,5 ton, 25 ton en 27,5 ton.
- Dikte baanlichaam.
- Wel of geen ondersleeper pad.
- Statische en cyclische belasting.

De dwarsligger is verticaal belast met een hydraulische vijzel. Bij de cyclische proeven was de belastingfrequentie 3 Hz.

De tweede serie proeven was gericht op het effect van een geotextiel. Hierbij zijn de volgende parameters gevarieerd:

- Wel of geen geotextiel tussen ballast en subballast en tussen subballast en ondergrond.
- Type geotextiel.
- Statische en cyclische belasting.

De geotextielen zijn horizontaal gelegd en lopen door tot buiten de modelbak. De geotextielen zijn buiten de modelbak voorgespannen met een stalen profiel. Voor zover uit de beschikbare beschrijvingen valt op te maken is dit een constante voorspanning.

De gebruikte opstelling is een gebruikelijke opstelling voor dit type proeven.

De opstelling heeft een breedte van 1 m. Dit is meer dan de standaard afstand tussen dwarsliggers en komt ongeveer overeen met de breedte waarover een statische belasting vanuit de dwarsdrager zich, bij de gebruikte hoogte van het baanlichaam van 0,5 à 0,8 m zich spreidt.

In de proeven is het effect van rotatie van de hoofdspinningen niet meegenomen.

In de serie proeven waarmee het effect van een geotextiel op het indrukingsgedrag wordt bepaald zijn, voordat met de eigenlijke metingen werd begonnen, 50 belastingwisselingen uitgevoerd. In deze fase treedt een blijvende vervorming op van orde 2 mm.

In de rapportage van de eerste serie proeven, waarin vooral het effect van laagdikte en ondersleeper pad, wordt nagegaan, wordt hiervan geen melding gemaakt.

#### 4.3 Bevindingen onderzoek

Uit de gepresenteerde testresultaten laten zich de volgende observaties af leiden:

- Bij toename van de dikte van de ballastlaag neemt de indrukking van de spoorstaaf licht af.
- Bij gebruik van een ondersleeper pad neemt de elastische indrukking van de spoorstaaf aanzienlijk toe (in de gebruikte opstelling van ongeveer 0,7 mm naar 5,3 mm).
- Bij de cyclische proeven neemt de totale blijvende vervorming in de tijd toe, de elastische indrukking neemt licht af in de tijd, het grootste deel van de blijvende vervorming komt uit de ballast laag, ongeveer 5% komt uit de subballast (door het gebruik van rubber voor de modellering van de ondergrond zal in de proefopstelling geen blijvende vervorming van de ondergrond optreden).
- Het gebruik van een ondersleeper pad geeft een grote afname van de blijvende vervorming af (tot 40 à 50%).
- Het geotextiel heeft in de uitgevoerde proeven slechts een beperkte invloed op het gedrag, het belangrijkste verschil is een kleine toename van de elastische vervorming en een toename van de blijvende vervorming, deze toename wordt toegeschreven aan 'incomplete track bed consolidation'.

Bij de tweede serie proeven is, als referentie, ook een proef uitgevoerd zonder geotextiel. Vergelijking van de resultaten in deze proef met een vergelijkbare proef uit de eerste serie levert interessante verschillen op. In de volgende tabel worden deze twee proeven vergeleken.



Proefnummer	B25/SB20/E30	B35/SB20/E10
Proefserie	1	2
Precycling	nee	ja
Dikte ballast [m]	0,25	0,35
Dikte subballast [m]	0,20	0,20
Dikte rubber [mm]	48	92
Stijfheid rubber [MPa]	30	10
Elastische indrukking ballast	0,56	0,86
Blijvende indrukking ballast	7,47	3,56
Elastische indrukking subballast	0,40	0,58
Blijvende indrukking subballast	0,39	0,72

Tabel 4.1 Vervorming in twee proeven zonder geotextiel

Bij B35/SB20/E10 is de elastische vervorming groter dan bij B25/SB20/E30. Dit kan zijn oorzaak vinden in de grotere dikte van de ballast en de grotere indrukking van de rubber laag. Ook de elastische indrukking van de subballast is groter, wat een indicatie is voor het effect van de rubber laag.

De plastische (blijvende) vervorming in de tabel is aanzienlijk kleiner bij proef E10 dan bij proef E30. Gedeeltelijk wordt dit veroorzaakt doordat bij deze proef voorafgaand aan de eigenlijke proef al 50 belastingwisselingen zijn toegepast. De opgetreden plastische vervorming in deze fase is 2 mm. Toch blijft er een opmerkelijk verschil (7.47 mm vs. 5,56 mm). Een hypothese is dat door de slappere ondergrond bij de tweede serie er sprake is van een slechter "klankbord" waardoor de verdichting minder optimaal is. De zetting van de subballast geeft voor de plastische vervorming echter een omgekeerd beeld. De verdichting in deze laag is in beide proeven gering.

De gemeten verschillen zijn niet direct verklaarbaar. In de beschikbare INNOTRACK rapporten wordt de hier gemaakte vergelijking niet uitgevoerd en de verschillen dus ook niet verklaard. De conclusie is dat schijnbaar ogenschijnlijk kleine veranderingen in de proefopzet een grote invloed op de verdichting kunnen hebben. Hierbij moet wel aangetekend worden dat er te weinig proeven herhaald zijn, zodat niet bekend is wat de herhaalbaarheid van de proefresultaten is. Mogelijk vallen de waargenomen variaties binnen de grenzen van herhaalbaarheid.

#### 4.4 Consequenties voor lopende onderzoek

De proeven bevestigen het uit ander onderzoek bekende beeld dat verdichting door wisselende belasting in het begin snel gaat. De meeste verdichting treedt al op bij de eerste 100 wisselingen. Het gebruik van een ondersleeper pad lijkt een effectieve manier om de optredende blijvende vervorming te beperken, dit geeft wel een toename van de elastische vervorming bij treinpassage. De gepresenteerde resultaten geven aan dat gebruik van een ondersleeper pad een optie is die bij overgangsconstructies aandacht verdient als een mogelijke maatregel om het lange termijn gedrag te verbeteren.

De proeven geven aan dat de verdichting door wisselende belasting grotendeels optreedt in de ballastlaag en dat de bijdrage vanuit de subballast en ondergrond beperkt is.

De gepresenteerde proefresultaten suggereren dat een geotextiel geen positief maar wel een beperkt negatief effect heeft op de elastische en plastische indrukking. Deze bevinding is in tegenspraak met de praktijkervaringen met een geotextiel. Naar onze mening wordt dit

veroorzaakt door de wijze waarop het geotextiel in de proefopstelling is meegenomen. De resultaten kunnen daarom niet worden gebruikt als argument om het gebruik van een geotextiel als middel om het gedrag van een baanlichaam te verbeteren af te wijzen.

## 5 Conclusies

De meeste rapporten van Innotrack hebben betrekking op de baanopbouw op de vrije baan. Daardoor is het nut voor het lopende onderzoek beperkt.

Wel relevant zijn de onderzoeken aan de overgangsconstructie in Montagut en het onderzoek naar ballast verdichting.

In Montagut wordt het begrip blinde vering verwaarloosd. Dat verbaast. De aangebrachte verbeteringen worden niet geëvalueerd. De bruikbaarheid van dit onderzoek is erg beperkt.

Het ballast onderzoek geeft aan dat het gebruik van zogenaamde ondersleeper pads de verdichting in de ballast sterk beperkt. Als maatregel om de verdichting na onderhoud te beperken is dit een optie die mede in beschouwing moet worden genomen.