

Rapport

Lid NLingenieurs
ISO-9001:2000 gecertificeerd

Betreft: Trillingniveaus vanwege Zeeuwse lijn te Goes
Opmerkingen bij TNO spoorbak rapport

Rapportnummer: VL 849-18-RA-001

Datum: 3 mei 2012

Ref.: MV/PB/Lvl/VL 849-18-RA-001

1. Inleiding

In verband met intensivering van het goederenvervoer over de Zeeuwse lijn sinds 2001 worden in Goes trillingreducerende maatregelen overwogen. Momenteel liggen twee hoofdopties voor, te weten een betonnen monolithische spoorbak en/of een permanente rijsnelheidsbeperking voor goederentreinen tot circa 40 km/h. Conform het rapport met nummer VL 849-12-RA-001 d.d. 8 december 2011 van Peutz bv is overigens de invloed van rijsnelheidshalvering beperkt.

In bovenstaand kader zijn in opdracht van de gemeente Goes en de provincie Zeeland diverse onderzoeken door Peutz uitgevoerd met betrekking tot een prognose van het effect van een spoorbak zoals weergegeven in:

- rapport met nummer VL 849-1-RA d.d. 30 september 2005, waarin een analyse wordt gegeven voor het invoegverlies van een V-polder en een betonnen bak constructie, op basis van gecombineerde 2D/3D FEM methodieken
- rapport met nummer VL 849-5-RA d.d. 29 augustus 2008, waarin een analyse wordt gegeven voor het invoegverlies van diverse trillingarme spoorconstructies, op basis van metingen of berekeningen (waaronder FEM)
- rapport met nummer VL 849-7-RA-001 d.d. 8 december 2011 van Peutz bv, waarin een analyse wordt gegeven voor het invoegverlies van een betonnen bak op maaiveld, op basis van geüpgrade (3D vs. 2D/3D) FEM methodieken

Gezien de complexiteit van FEM-rekenmodellen (en het resultaat qua invoegverlies van een factor 2 (à 3), hetgeen als een matige verbetering qua hinderbeleving kan worden gekwalificeerd), is door opdrachtgevers een parallel onderzoek uitgezet (second opinion) om meer zekerheid te verkrijgen over de potentie van een dergelijke maatregel c.q. spoorbak. Dit onderzoek zoals uitgevoerd door TNO is weergegeven in rapport met nummer TNO-060-DTM-2011-02597, d.d. 20 december 2011. Uitgangspunt daarbij is dat

Peutz bv
Paletsingel 2, Postbus 696
2700 AR **Zoetermeer**
Tel. (079) 347 03 47
Fax (079) 361 49 85
info@zoetermeer.peutz.nl

Lindenlaan 41, Molenhoek
Postbus 66, 6585 ZH **Mook**
Tel. (024) 357 07 07
Fax (024) 358 51 50
info@mook.peutz.nl

L. Springerlaan 37,
Postbus 7, 9700 AA **Groningen**
Tel. (050) 520 44 88
Fax (050) 526 31 78
info@groningen.peutz.nl

Montageweg 5,
6045 JA **Roermond**
Tel. (0475) 324 333
info@roermond.peutz.nl

www.peutz.nl

Peutz GmbH
Düsseldorf, Bonn, Berlin
info@peutz.de
www.peutz.de

Peutz SARL
Paris, Lyon
Info@peutz.fr
www.peutz.fr

Peutz bv
London
info@peutz.co.uk
www.peutz.co.uk

Daidalos Peutz bvba
Leuven
Info@daidalospeutz.be
www.daidalospeutz.be

Köhler Peutz Geveltechniek bv
Zoetermeer
Info@gevel.com
www.gevel.com

Opdrachten worden aanvaard en
uitgevoerd volgens De Nieuwe
Regeling 2005

BTW identificatienummer
NL004933837B01
KvK: 12026033

van dezelfde configuratie wordt uitgegaan als in het Peutz rapport 2011 (betonnen bak op maaiveld), om de gehanteerde rekenmethodieken te valideren.

In opdracht van de gemeente Goes wordt in voorliggend document ingegaan op de analyse van TNO en hoe die zich verhoudt tot die van Peutz (2011). Daarbij wordt de indeling van het document van TNO gevolgd. Daar waar in voorliggend rapport aan de TNO analyse wordt gerefereerd, wordt voor een nadere plaatsaanduiding in de TNO rapportage de indicatie x/y gebruikt, waarbij:

- x = pagina nummer
- y = indicatie van de hoogte op die pagina, op een schaal van 1 tot 5 (1 = boven, 3 = midden, 5 = onder)

2. Opmerkingen bij TNO spoorbak rapport

1/3: opdrachtgever

Afdeling **Openbare** Ruimte

3/2: reductiefactor verdiepte bak

In geen van de Peutz rapporten (2005/2008) is sprake van een factor 2,8 voor een verdiepte bak. Globaal is sprake van een factor 2 à 3 (2005) en 2,5 (2008).

3/2: onderzoek bak op maaiveld

Een **later (2008)** onderzoek van Peutz van een bak op maaiveld

3/5 t/m 10.1: valproef

Verslag wordt gedaan van een valproef die verder geheel niet in de prognose van het effect van de spoorbak wordt toegepast. Onduidelijk is wat de meerwaarde van een dergelijke meting is. De voor goederentrein passages maatgevende octaafband met middenfrequentie 8 Hz ligt buiten het frequentiebereik zoals gehanteerd bij de valproef. De verslaglegging daarvan beslaat een onevenredig deel van het rapport. Vanwege de onduidelijke meerwaarde wordt in voorliggend document niet ingegaan op de technisch-inhoudelijke aspecten van de valproef.

Bij het opstarten van de second opinion is door TNO aangegeven dat een omvangrijk meetprogramma noodzakelijk was om de prognose voor de bak op te stellen. In voorliggend rapport is daar in feite niets van terug te vinden. Praktisch alles is gebaseerd op ervaringsgegevens van elders (behoudens bodemprofiel). Achteraf wordt als stelpost (al dan niet correct) nog een correctie voor gemeten frequentieverdelingen in woningen toegepast. Van de gedetailleerde gemeten responsies per woningvloer wordt geen gebruik gemaakt. Niet wordt waargemaakt dat een omvangrijk meetprogramma (najaar 2010) aan trillingen vanwege goederentreinen benodigd was. Die metingen waren overigens wel nuttig voor de beoordeling van snelheidsbeperkende maatregelen, welke vraagstelling later in het onderzoekstraject ontstaan is.

6/2: meetlocatie

Breitnerstraat (2x, in kaders).

13/4: verwijzing dwarsdoorsnede

De verwijzing onder [2] lijkt niet correct. Het gaat om een tekening van het Ingenieursbureau Gemeente Goes van 8 oktober 2010.

14/3: betonsterkte

In een eerder stadium is uitvoerig ingegaan op de problematiek inzake de te hanteren betonsterkte (20 mei 2010 te Goes, Jan Gijsbers van TNO, gescheurde/ongescheurde betonsterkte, al dan niet voorgespannen) van de beoogde spoorbak. Tijdens de bespreking van 8 september 2010 te Goes is door TNO aangegeven dat een waarde van $3E10 \text{ N/m}^2$ een realistische waarde is. Deze waarde is ook in de Peutz onderzoeken (2005, 2008 en 2011) gehanteerd. Verder is dit uitgangspunt voor het vergelijkende onderzoek qua rekenmethodieken vastgelegd in rapport met nummer VL 849-6-RA d.d. 24 september 2010, hoofdstuk 17. Tenslotte is dit aspect benadrukt tijdens de bespreking van 15 augustus te Delft. Dan is onduidelijk waarom door TNO desalniettemin een betonsterkte van $2E10 \text{ N/m}^2$ wordt gehanteerd. Hierdoor is geen zuivere vergelijking tussen de rekenmethodieken mogelijk.

14/5: relatie tussen conuswaarde en E-modulus

Tekstueel wordt een factor 16 genoemd, kwantitatief in de tabel een factor 18 (18/1, 36/2, 144/8). Peutz hanteert inderdaad een factor 20. De door TNO gehanteerde bodem is daardoor 20% slapper ($k = 4 \text{ kN/mm/m}^2$) dan Peutz ($k = 5 \text{ kN/mm/m}^2$).

17/3: bronmodel Peutz

TNO stelt dat Peutz alleen aslastpassages modelleert. De Peutz benadering is echter in essentie een overdrachtsbenadering. De overdracht is gedefinieerd als responsie / excitatie. Het invoegverlies is de ratio van de overdracht met en zonder bak. Uitgangspunt is dat daarbij de excitatiekracht niet wijzigt. Er worden geen uitspraken gedaan wat het onderliggende bronmechanisme bij die excitatiekracht is. In die zin wordt ook spooroneffenheid meegenomen, voor zover de excitatiekracht daarvan door introductie van de bak niet wijzigt.

17/4: aslastpassages alleen op korte afstand dominant

De Peutz benadering tendeeft meer georiënteerd te zijn op aslastpassages dan spooroneffenheid als bronmechanisme, omdat immers krachten vanwege aslastpassages evident onafhankelijk zijn van de introductie van de spoorbak.

TNO stelt dat uit de praktijk blijkt dat ook bij goederentreinen alleen dicht bij de baan (binnen zeg 10 meter, terwijl hier de eerste woningen op circa 20 meter staan) aslastpassages dominant zijn bij de optredende krachten en versnellingen. Dat is een uiterst curieus (en tendentiekus) statement, onduidelijk is hoe uit trillingmetingen nabij een

spoorlijn zou kunnen blijken of trillingen primair worden veroorzaakt door aslastpassages dan wel door spooroneffenheid (de mate van spooroneffenheid is veelal ook niet bekend, zelfs in onderhavige situatie wordt teruggegrepen op gegevens van elders c.q. Nijverdal). Een dergelijk belangwekkende waarneming zou ongetwijfeld in de vakliteratuur gedocumenteerd en gemotiveerd zijn. Helaas geeft TNO geen verwijzing naar onderbouwend onderzoek en/of publicaties.

Ook is van belang is de waarneming (weliswaar in het spoor) dat bij de passage van zware wielstellen de rails/biels orde grootte centimeters in de ballast wordt geduwd, terwijl de spooroneffenheid orde grootte millimeters is.

Verder wordt opgemerkt dat op basis van omvangrijke trillingen vs. rijnsnelheid analyses in Goes is vastgesteld dat trillingen vanwege goederentrein passages relatief onafhankelijk van de rijnsnelheid zijn. Dat wijst dan op een bronmechanisme dat relatief onafhankelijk van de rijnsnelheid is, zoals aslastpassages.

17/5: krachtverandering door spoorbak

In kwantitatieve zin kan spooroneffenheid in feite alleen een rol van betekenis spelen wanneer de kracht die het kost om het afgeveerde wielstel van de trein over de oneffenheid te bewegen (veel) groter is of wordt (met bak) dan de kracht die het vergt om de ondergrond (rail/ballast/bak/bodem) daar dan iets verder in te drukken. In een globale afschatting is echter de kracht die benodigd is voor het wegduwen van een spooroneffenheid naar boven (wegduwen wielstel) orde grootte 100 keer kleiner dan voor het wegduwen van diezelfde spooroneffenheid naar beneden naar de ondergrond, uitgaande van o.a. de admittantie van de ondergrond die TNO geeft.

Gelet op bovenstaande is het evident dat het wielstel, ten koste van een beperkte kracht die verder onafhankelijk is van de eigenschappen van de onderbouw, over de oneffenheid rolt.

De trein rijdend over spooroneffenheden is in feite een krachtbron via de opgedrongen verplaatsing vanwege spooroneffenheid in combinatie met de veerstijfheid en de massa van het wielstel.

18/4: toelichting tuning

Figuur 13

19/5: kleuring door woningen

TNO hanteert een correctie achteraf, na de TRINT/FEM som die leidt tot (relatieve) trillingniveaus in de bodem op diverse afstanden, in de vorm van een frequentieweging van 10 dB in de 8 Hz octaafband (5,6 tot 11,2 Hz) en 5 dB in 16 Hz octaafband (11,2 tot 22,3 Hz), met daarbij als toelichting dat dit de versterkende invloed van woningen betreft.

Uit de metingen blijkt zeer duidelijk dat het trillingniveau in de woningen (vloermidden e.d.) voor de 8 en 16 Hz octaven vrijwel gelijk is aan het trillingniveau in het fundament (referentiepunten). Er is daar dus geen versterking door woningspecifieke resonanties. Woningsspecifieke resonanties manifesteren zich juist in de 32 Hz octaafband, zie o.a. rapport met nummer VL 849-10-RA-001 d.d. 7 februari 2011, figuur 6, 8 en 10.

Ook de overgang van bodem naar woningfundament rechtvaardigt geenszins de door TNO gehanteerde versterking, zie o.a. rapport met nummer VL 849-2-RA d.d. 16 januari 2007, figuur II.8.

In het krachtspectrum in figuur 16 van TNO is al het dominante excitatiegebied rond 6 à 7 Hz te zien, dit is een eigenschap van het trein/rail/ballast/bak/bodem systeem en niet van de woningen.

In de bespreking van 15 augustus te Delft is er door Peutz op gewezen, en naar ons gevoel door TNO onderkend, dat de gehanteerde correctie c.q. frequentieweging onjuist is.

Per saldo legt TNO ten onrechte, door een onjuiste frequentieweging, in de bepaling van de reductiefactor een extreme nadruk op relatief lage frequenties c.q. op met name het 8 Hz octaaf, waardoor een vertekend beeld c.q. te lage reductiefactoren ontstaan.

20/4: krachtverdubbeling

Door TNO wordt aangegeven dat sprake is van een krachtverdubbeling door de introductie van de spoorbak, omdat dan door de grotere stijfheid van de ondergrond een grotere kracht nodig is om dezelfde spooroneffenheid te nivelleren.

Als dit al zo zou zijn (zie 17/4, 17/5) dan zou een oplossing kunnen zijn een zodanige mat onder de ballast (in de bak) toe te passen, dat de trein c.q. het bronmechanisme geen verschil ziet met de uitgangssituatie zonder bak. De stijfheid van de oorspronkelijke aarden baan wordt dan gesimuleerd door een mat in de bak.

21/2: totale kracht

De totale kracht, cumulatief over het frequentiegebied, in figuur 16 bedraagt meer dan $1E8 \text{ N} = 100.000 \text{ kN}$. De zwaartekracht voor een trein met 5 bakken à 2 assen à 200 kN aslast is 2.000 kN. Deze getallen lijken niet in verhouding (factor 50) en daarmee de aangegeven kracht in figuur 16 buiten proportie.

21/3: rijnsnelheidseffect

De door TNO toegepaste benadering leidt tot een sterk rijnsnelheidsafhankelijke (in het gebied 60 à 80 km/uur) trillingsterkte zonder bak op de meest relevante afstand van 20 m, te weten een verhouding van een factor $1,7/1,1 = 1,5$.

In de praktijk is juist vastgesteld d.m.v. langdurige trillingmetingen en rijnsnelheidsmetingen dat er bij 60 à 80 km/uur vrijwel geen rijnsnelheidseffect is. In die zin is het door TNO gehanteerde bronmechanisme dan kennelijk niet maatgevend.

22/2: reductiefactor

Een reductiefactor voor goederentreinen op de meest relevante afstand van 20 m van een factor 1,4 ($\pm 0,4$) wordt gegeven.

In tabel 3 op de vorige pagina bedraagt die reductiefactor echter 1,6/1,5/1,6 voor en rijnsnelheid van 40/60/80 km/uur. Dat is gemiddeld 1,6. Daarna volgt een beschouwing inzake variatiestudies en onzekerheden, die tezamen leiden tot een bandbreedte van een

factor 1,3. Toegepast op een reductiefactor van 1,6 is die bandbreedte dan $1,3 \times 1,6 - 1,6 = 0,5$. Aldus resulteert $1,6 \pm 0,5$ in plaats van $1,4 \pm 0,4$.

3. Trend uit opmerkingen bij TNO spoorbak rapport

Resumerend wordt verwacht dat, vanwege de diverse in hoofdstuk 2 genoemde opmerkingen, de TNO analyse het effect van de spoorbak enigszins onderschat:

- lage betonsterkte (14/3)
- nadruk op verplaatsingsbron/spooroneffenheid vs. krachtbron/aslastpassages (17/4, 17/5, 20/4, 21/2, 21/3)
- correctie voor woning responsie (19/5)
- generalisatie tabel 3 (22/2)

4. Vergelijking met Peutz (2011)

In de vergelijking met Peutz (2011) wordt ingezoomd op de resultaten op 20 m, omdat de meest ongunstige woningen aan de zuidkant zijn gelegen, met kortere afstand tot het dichtstbijzijnde spoor (smallere weg) van 20 m, en meer relatief zware goederentrein passages op het zuidelijke spoor richting oosten c.q. afvoer van de haven van Vlissingen:

- TNO: reductiefactor $1,4 \pm 0,4$
- Peutz (2011) reductiefactor 1,9

Overigens zijn de resultaten van Peutz vrij indifferent voor de afstand tot het spoor.

Als voor het uiteindelijke effect van de spoorbak de gemiddelde reductiefactor van beide onderzoeken zou worden gehanteerd, bedraagt die een factor 1,6.

Wanneer, in een tentatieve verrekening van de onderschatting door TNO zoals samengevat in hoofdstuk 3, deze onderschatting gelijk wordt gesteld aan de bandbreedte naar boven zoals TNO die aangeeft (+ 0,4), resulteert voor de TNO benadering een reductiefactor van $1,4 + 0,4 = 1,8$. In een dergelijke benadering ondersteunt de second opinion van TNO de door Peutz (2011) aangegeven kwantificering met een reductiefactor van 1,9.

5. Voortgang

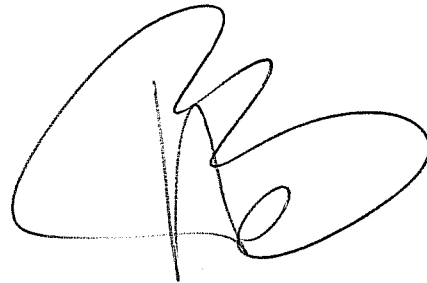
Vooralsnog wordt uitgegaan, ook inclusief second opinion en bijbehorende voorliggende opmerkingen daarbij, van een reductiefactor van circa 2 voor de spoorbak. Conform het Peutz (2011) rapport, onderaan pagina 21, kan dit echter slechts als een matige verbetering qua hinder worden gekwalificeerd (doelstelling was 3).

Dit betekent dat ampele overwegingen met betrekking tot de doelmatigheid (kosten vs. baten) aan de orde zijn, met meebeschuwing van de second opinion in nog sterkere mate dan op basis van de Peutz (2011) analyse.

Gezien de ervaringen het afgelopen jaar is er weinig perspectief op nadere afstemming van technisch-inhoudelijke kwesties, ook al omdat TNO niet genegen is tot een open discussie daarover, i.e. de verschillen tussen Peutz en TNO zijn vooralsnog persistent. Vanuit dat dilemma kan via het spoor van directe trillingmetingen aan trillingarme spoorconstructies de potentie van de voorgestane spoorbak nader worden afgebakend, in de vorm van:

- metingen elders bij min of meer vergelijkbare constructie, vergelijk rapport Peutz (2008) bijlage I: Gooiboog, maar dan bij voorkeur een locatie waar geen paalfundering is toegepast
- metingen ter plaatse in Goes met een vereenvoudigde bak of betonplaat (enkelspoor) over een deeltraject, als "pilot", toe te passen constructie bijvoorbeeld conform Peutz (2008) rapport bijlage III: Sinzheim, ter illustratie nogmaals als bijlage bij voorliggend rapport toegevoegd

Mook,



Dit rapport bestaat uit:

7 pagina's,

1 bijlage.

Aboveground Low Vibration Emission Ballasted Track with Concrete Trough

Frank Müller-Boruttau¹, Volker Rosenthal², Norbert Breitsamter¹

¹ imb-dynamik, D-82266 Inning, Germany, Email: imb-dynamik@t-online.de

² Grötz GmbH & Co. KG, D-76571 Gaggenau, Germany, Email: volker.rosenthal@groetz.de

Introduction

Measures for the mitigation of vibration emission from aboveground railway traffic are urgently needed. A newly developed type of aboveground ballasted track fulfills this demand. The German track building company Grötz GmbH developed a new track form: SYSTEME GRÖTZ BSO/MK, an unreinforced concrete trough supports and contains a standard ballasted track on a ballast mat. The trough confines the ballast. Thus an extremely stable ballast bed is achieved, resulting in a very smooth, high quality track with low emission and next to zero maintenance costs.

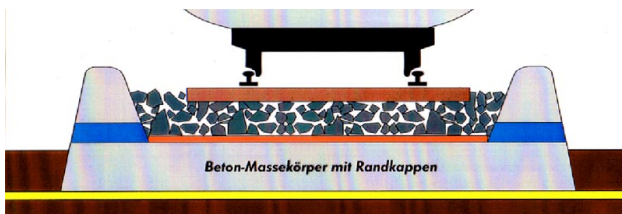


Figure 1: Sketch of SYSTEME GRÖTZ BSO/MK, ballast resting on ballast mat

SYSTEME GRÖTZ BSO/MK insertion loss effects – Theory

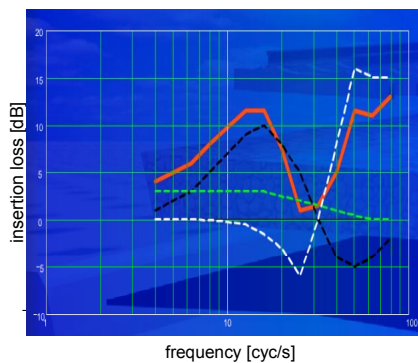


Figure 2: Insertion loss typically achievable with SYSTEME GRÖTZ BSO/MK (orange); component effects: ballast mat and mass of trough (white), bending stiffness of trough (black), good and stable track quality (green)

Only with the combination of all these factors an insertion loss can be achieved that is showing no negative values.

Pilot Project Baden-Baden Station

A 300 m section of SYSTEME GRÖTZ BSO/MK has been installed in 1997. Since then this section was completely

maintenance free. Measurements performed by imb-dynamik could show:

- The insertion losses predicted were achieved in reality. Certain corrections for the simulation could be derived.
- Vibrations emission of this section did not increase over a period of five years, which is an extraordinary finding for a ballasted track. Track quality was virtually unchanged during this period and is similar to slab track.

The Sinzheim Project

DB is actually realising their new Rhine Valley Line Karlsruhe-Basel. Two new tracks are added. In Sinzheim next to Baden-Baden the new line approaches the village of Sinzheim, where some 200 houses were affected. Since only a small increase of vibration immission could be tolerated, an aboveground low vibration emission ballasted track was required. (No requirements were fixed for secondary airborne noise since the agreement with the residents was agreed upon in 1994.)

Insertion loss requirements Sinzheim

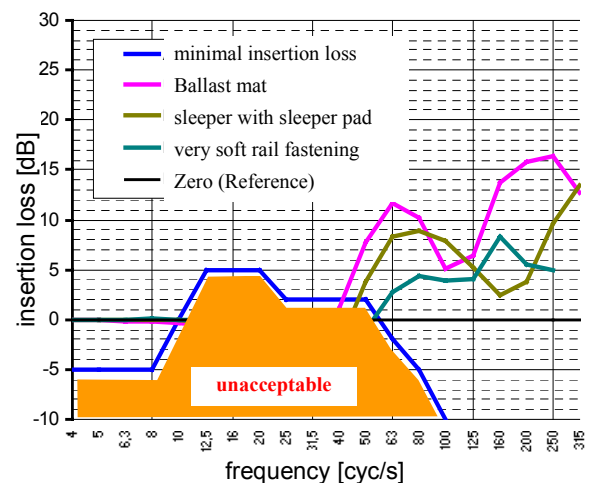


Figure 3: Insertion loss required in Sinzheim (blue); typical insertion losses achievable with ballast mat (magenta), sleeper pad (gold), very soft rail fastening (turquoise); shaded region: off limits. Insertion loss always given against standard ballasted track with usual degradation

The insertion loss required for Sinzheim (figure 3) is very demanding: No negative values are accepted within the 10 to 50 cyc/s range due to wooden and concrete ceilings structures in the neighborhood. An overall insertion loss of 4,5 dB in the frequency range 4 – 100 cyc/s was to be met as well.

Usual measures largely consisting of the insertion of elastic elements only – like ballast mats or very resilient fastenings – do not suffice as shown in figure 3. A combined effort of some effects is necessary (cf. figure 2).

The task was further complicated due to strongly varying subsoil conditions, which affected the very important subgrade stiffnesses. These effects had to be taken into account in the forecast simulations.

Sinzheim insertion loss prediction and results

All forecast calculations have been performed with the imbdynamik train-track simulation iSi, variant iSi-Grötz. The working principles of the model are given in figure 4.

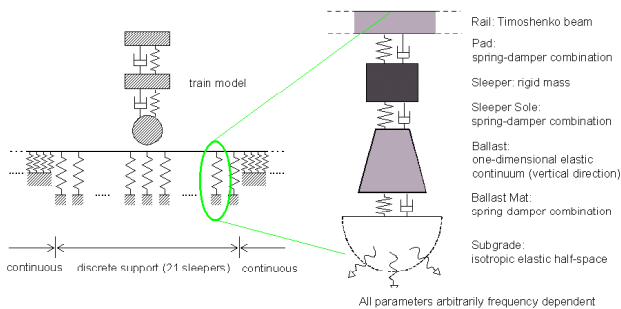


Figure 4: Block diagram imbdynamik train-track simulation iSi, ballasted track

For Sinzheim a ballast mat type Clouth 4015 with stiffness of 0,15 N/mm³ was selected. Figure 5 shows the insertion loss forecast for this mat.

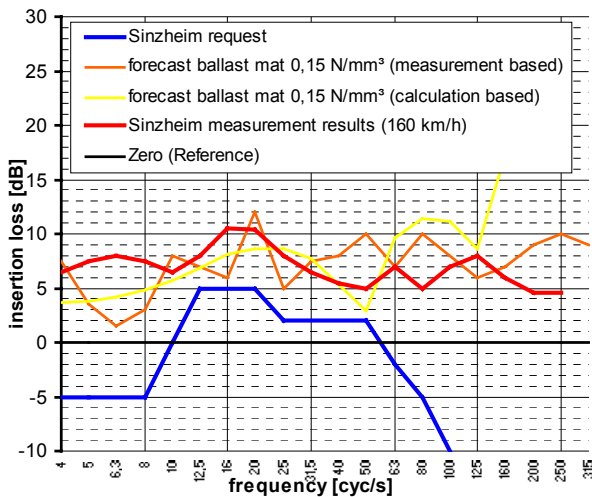


Figure 5: A comparison of SYSTEME GRÖTZ BSO/MK insertion loss forecasts with Sinzheim requirements and measurement results

The new track is not yet under full service, speed limit is now 160 km/h compared to the final 250 km/h. However first measurement campaigns have already been performed to check the insertion losses achieved.

Figure 5 contains the average insertion losses achieved, averaged over all subsoil conditions investigated. For all cross sections under test the Sinzheim requirement was fully met.

Table 1 gives some one-figure data for different situations.

situation	average	wooden floor	concret. floor	floating floors
	4-100 cyc/s	12,5-20 cyc/s	25-40 cyc/s	50-80 cyc/s
requirement Sinzheim insertion loss	+ 4,5 dB -40%	+ 5 dB -44%	+ 2 dB -21%	- 2,5 dB -25%
insertion loss GRÖTZ BSO/MK	+ 7,5 dB -58%	+ 10 dB -68%	+ 7 dB -55%	+ 6 dB -50%

Table 1: Comparison of requirements and results (insertion loss against conventional ballasted track) in dB and %

With the Sinzheim measurement results a wide data base now exists for further and even more precise forecasts.

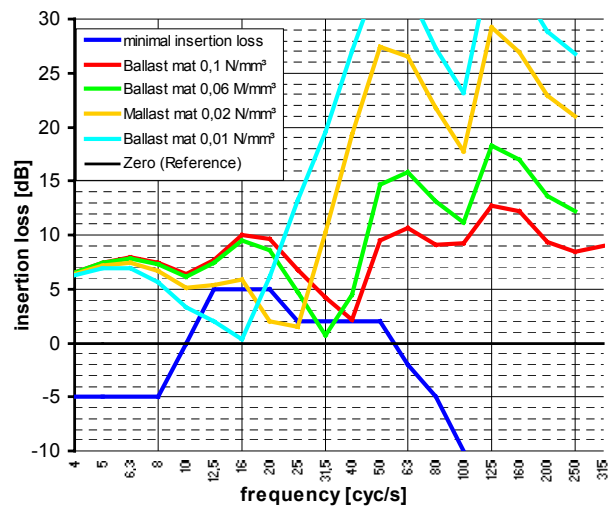


Figure 6: Insertion loss performance for various ballast mats, based on Sinzheim results

With the new superstructure SYSTEME GRÖTZ BSO/MK there exist a track which

- can be tailored exactly according to the local needs
- achieves very high and warranted insertion losses
- is virtually maintenance free
- has passed all tests demanded by german railroad authorities.

Literature

- (1) www.imb-dynamik.de.
- (2) Müller-Boruttau, Frank H.; Rosenthal, Volker; Breit-samter, Norbert: So trägt das Schotterbett Lasten ab - Messungen in situ am Oberbau SYSTEME GRÖTZ BSO/MK. ETR, march 2001