

## Ontwikkeling Nijmegen Noord - Koudenhoek Noord

*datum* 4 mei 2023  
*vestiging* Arnhem  
*uw kenmerk* -  
*ons kenmerk* M.2023.0363.00.N001  
*2e lezer/secr.* JBY/PZW

*project* Gemeente Nijmegen - Koudenhoek Noord  
*betreft* Trillingsonderzoek  
*versie* 001  
*auteur* ing. R.G. (Reinoud) Fennema  
*contactpersoon* ing. R.G. (Reinoud) Fennema  
*e-mail/telefoon* rfe@dgm.nl/088 346 76 33

## Trillingsonderzoek Koudenhoek Noord

### 1. Inleiding

De gemeente Nijmegen ontwikkelt woningbouw in Nijmegen-Noord, het stadsdeel ten noorden van de Waal. Dit stadsdeel rondom de dorpen Lent en Oosterhout wordt doorsneden door de spoorlijn Arnhem - Nijmegen, een belangrijke railverbinding met intensief reizigersvervoer en ook goederenvervoer. Spoorverkeer brengt een risico op trillingshinder voor aanwonenden met zich mee en de gemeente Nijmegen wil dit uit oogpunt van goede ruimtelijke ordening laten onderzoeken. Het onderzoeken van mogelijke hinder door spoorverkeer is tegenwoordig ook gebruikelijk en na het verschijnen van de door het ministerie van I&W uitgegeven “Handreiking Nieuwbouw en Spoortrillingen” in 2019, meestal ook opgenomen in gemeentelijke bouwregels.

Op het spoor rond Nijmegen Centraal is een tracébesluit (TB) van kracht, het in april 2022 definitief geworden tracébesluit “PHS Nijmegen en westentree”. Dit programma omvat diverse spooraanpassingen op Nijmegen Centraal, met de bedoeling om de doorstroming van treinen te bevorderen. Onderdeel hierin is het verhogen van de rijsnelheden van treinen, met name op het spoor ten noorden van het Centraal Station en op het spoordeel in Nijmegen-Noord. Het verhogen van de rijsnelheid heeft in de regel een negatief effect op de trillingsopwekking. DGMR heeft de gevolgen hiervan in mei 2022 al in grote lijnen in beeld gebracht<sup>1</sup>. In deze notitie wordt rekening houdend met de gevolgen van deze snelheidsverhoging een trillingsprognose gegeven voor het bouwplan Koudenhoek Noord.

Het nu voorliggende onderzoek maakt gebruik van eerder door DGMR verricht trillingsonderzoek<sup>2</sup> op de kavel van Koudenhoek Noord. Deze metingen uitgevoerd in het jaar 2017 geven nog steeds een goed beeld van de trillingsopwekking door reizigerstreinen en goederentreinen, omdat het zwaardere intercity- en goederenmaterieel niet ingrijpend anders is evenals de bodemsituatie en de ligging van het spoor op een verhoogd baanlichaam. Er zijn daarom geen hernieuwde metingen gedaan. Wel is hierop de uit het PHS Nijmegen voortvloeiende snelheidsverhoging doorgevoerd. De invloed van deze snelheidsverhoging op de trillingsopwekking wordt in hoofdstuk 4 behandeld.

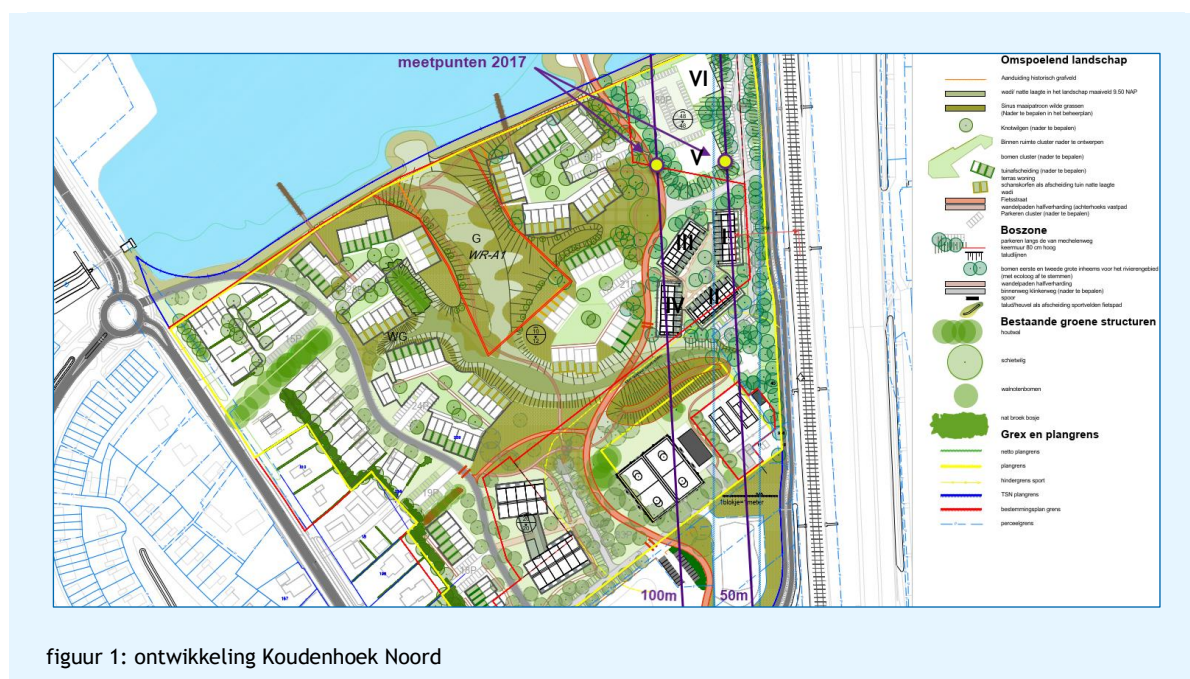
<sup>1</sup> DGMR-rapport M.2021.1176.00.N001 - Trillingsgevolgen PHS Nijmegen (herziene trillingscontouren), 20 mei 2022

<sup>2</sup> DGMR-rapport M.2016.1475.00.R001 - Nijmegen Noord, Trillingsonderzoek Lent, 5 april 2017

## 2. Situatie

Dit onderzoek gaat over het bouwplan Koudenhoek Noord, het geel omlinjende gebied in figuur 1. In deze figuur zijn ook de eerdere meetpunten uit het trillingsonderzoek uit 2017 aangegeven, op respectievelijk 50 m en 100 m afstand van het spoor. Een afstand van 100 m wordt doorgaans aangehouden voor het doen van trillingsonderzoek, mits er vooraf geen aanleidingen zijn om deze contour ruimer te kiezen. Daar is in dit plan geen aanleiding toe.

Binnen 100 m afstand tot het spoor vallen vier blokken grondgebonden woningen (rijwoningen) en twee appartementengebouwen. De rijwoningen krijgen een hoogte tot maximaal 12 m en de appartementengebouwen tot 48 m. De kleinste afstand tot het spoor bedraagt voor de rijwoningen 47 m en voor de (hoek van de) appartementen gebouwen 50 m.



figuur 1: ontwikkeling Koudenhoek Noord

## 3. Toetsingskader

Het ministerie van I&W heeft in het jaar 2019 de “Handreiking Nieuwbouw en Spoortrillingen” uitgegeven, die in dit rapport wordt aangehouden. In deze handreiking wordt de SBR-B richtlijn “Trillingshinder voor personen in gebouwen” geadviseerd als toetsingskader voor trillingen. In deze richtlijn zijn de in tabel 1 weergegeven streefwaarden opgenomen voor nieuwbouw.

**tabel 1: SBR-B - Streefwaarden continu en herhaald voorkomende trillingen, nieuwe situaties**

| Gebouwfunctie | Dag en avond |     |      | Nacht |     |      |
|---------------|--------------|-----|------|-------|-----|------|
|               | A1           | A2  | A3   | A1    | A2  | A3   |
| Wonen         | 0,1          | 0,4 | 0,05 | 0,1   | 0,2 | 0,05 |

A1 = onderste streefwaarde voor de trillingssterkte  $V_{max}$ ; A2 = bovenste streefwaarde voor de trillingssterkte  $V_{max}$

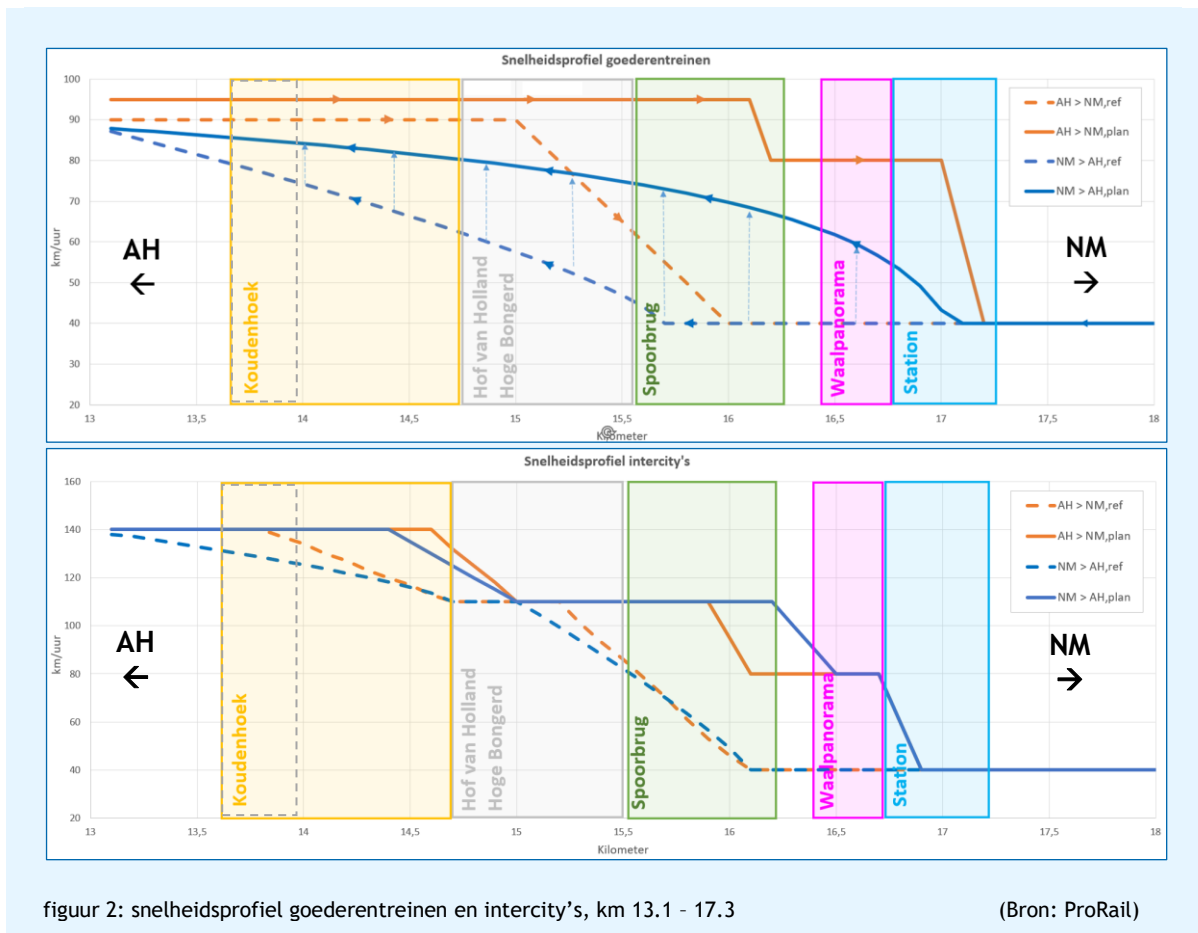
A3 = streefwaarde voor de gemiddeld effectieve waarde over de beoordelingsperiode  $V_{per}$ , indien  $A1 < V_{max} < A2$

Nieuwe woonbebouwing, nabij weg of spoorlijn, voldoet aan de SBR-B als de maximale effectieve trillingssterkte  $V_{max}$  kleiner is dan 0,2 (nacht) en de gemiddelde trillingssterkte  $V_{per}$  niet hoger is dan 0,05. Als  $V_{max}$  kleiner is dan 0,1, komt de toetsing van de  $V_{per}$  te vervallen. Voor de toetsing worden meet- en prognosewaarden afgerond op het aantal decimalen van de streefwaarde.

## 4. Gevolgen invoering PHS Nijmegen

### 4.1 Verhoging rijnsnelheid

Ter bevordering van de doorstroming op station Nijmegen worden de rijnsnelheden van treinen ten noorden van station Nijmegen verhoogd. In figuur 2 zijn de snelheidsprofielen van goederentreinen en intercity's in de plansituatie (na snelheidsverhoging) en referentiesituatie te zien. De profielen van het lichtere sprintermaterieel, dat stopt op station Lent, worden niet getoond. Van de reizigerstreinen zijn de intercity's qua trillingen maatgevend.



Uit figuur 2 zijn de volgende snelheidswijzigingen voor het project Koudenhoek Noord af te leiden:

- Zuidwaartse goederentreinen (afremmend) 0 tot 5 km/u harder
- Noordwaartse goederentreinen (optrekkend) 5 tot 10 km/u harder
- Zuidwaartse intercity's (afremmend) 0 tot 5 km/u harder
- Noordwaartse intercity's (optrekkend) 10 tot 15 km/u harder

De snelheidswijziging voor alle zuidwaartse treinen is dus minimaal. Voor de noordwaartse treinen is de snelheidstoename gemiddeld ongeveer 10 km/u.

## 4.2 Invloed rijsnelheid

Het verband tussen rijsnelheid en trillingsopwekking is afhankelijk van vele factoren, waaronder: de afstand tot het spoor, de bodemsamenstelling, het type materieel en het snelheidsbereik waarbinnen de verandering optreedt. In notitie M.2021.1176.00.N001 van 20 mei 2022 is ingegaan op deze snelheidsrelatie en zijn op basis van meerdere onderzoeken de volgende relaties afgeleid:

- Reizigerstreinen  $V_{\text{plan}} = (S_{\text{plan}}/S_{\text{ref}})^{1,0} * V_{\text{ref}}$
- Goederentreinen  $V_{\text{plan}} = (S_{\text{plan}}/S_{\text{ref}})^{0,8} * V_{\text{ref}}$

Hierin stellen  $V_{\text{plan}}$  en  $V_{\text{ref}}$  de effectieve trillingssterkte in de plan- en referentiesituatie voor en  $S_{\text{plan}}$  en  $S_{\text{ref}}$  de van toepassing zijnde rijsnelheden. De trillingstoename als functie van de rijsnelheid kent bij reizigerstreinen dus een iets steiler verloop als bij goederentreinen. Voor reizigerstreinen is de trillingsafname evenredig met de rijsnelheid. Ofwel als de rijsnelheid een factor twee toeneemt, neemt de trillingssterkte ook met een factor twee toe. Deze relatie geldt slechts over een beperkt snelheidsbereik van globaal 60 tot 120 km/u. Daaronder en daarboven wijkt het verloop mogelijk wat af.

## 5. Prognose

De trillingsprognoses zijn gebaseerd op de in 2017 gedane metingen op de kavel. Hieruit blijkt dat de zuidwaartse goederentreinen, op het dichtst bij de kavel gelegen spoor, maatgevend zijn voor de prognoses. Ter hoogte van het plan Koudenhoek Noord rijden deze zuidwaartse goederentreinen ongeveer 95 km/u, 5 km/u meer dan ten tijde van de trillingsmetingen. De trillingsopwekking van deze goederentreinen neemt hierdoor maar met ongeveer 0,5 dB toe.

Zuidwaartse reizigerstreinen rijden ter hoogte van de voorliggende woonbebouwing met dezelfde snelheid van 140 km/u. Het verschil qua rijsnelheid met het verleden ontstaat pas ter hoogte van de wat zuidelijker gelegen sportvoorzieningen en is voor dit onderzoek dus niet van belang.

In de prognoses wordt het gemiddelde trillingsspectrum van de zwaarste goederentreinen (top-5) als uitgangspunt genomen. Hierop is de hiervoor beschreven correctie van 0,5 dB voor de beperkte snelheidstoename toegepast.

In tabel 2 is voor de gebouwclusters binnen 100 m afstand van het spoor een prognose gegeven van de maximale trillingssterkte  $V_{\text{max}}$  en de gemiddelde trillingssterkte  $V_{\text{per}}$ . De bijbehorende prognosebladen zijn opgenomen in bijlage 2. In de prognoses is uitgegaan van relatief stijve woningvloeren met een laagste buig-eigenfrequentie van 12 Hz. Vloeren met een lagere buig-eigenfrequentie worden meer in trilling gebracht tijdens treinpassages en voldoen mogelijk niet aan de trillingseisen.

**tabel 2: trillingsprognose  $V_{\text{max}}$  en  $V_{\text{per}}$  - Koudenhoek Noord**

| Gebouwtype                             | Bouwlagen | Afstand spoor | $V_{\text{max}}$ | $V_{\text{per}}$ |
|----------------------------------------|-----------|---------------|------------------|------------------|
| Grondgebonden (rij)woningen, blok I+II | 3-4       | 47 m          | 0,26             | 0,01             |
| Grondgebonden (rij)woningen, blok III  |           | 70 m          | 0,20             | 0,01             |
| Grondgebonden (rij)woningen, blok IV   |           | 90 m          | 0,15             | 0,00             |
| Appartementen                          | 12-15     | 50 m          | 0,12             | 0,00             |

Uit tabel 2 blijkt dat in de twee blokken rijwoningen het dichtst bij het spoor (47 m) er mogelijk trillingssterkten  $V_{\text{max}}$  optreden tot 0,26. Waarden kleiner dan 0,25 zouden met de gebruikelijke afronding voor de toetsing voldoen aan de SBR-B.

Trillingssterkten hoger dan 0,2 zijn slechts bij een fractie van de goederentreinen te verwachten en alleen als het gebouwcasco een lichte trillingsversterking ondergaat ten opzichte van de bodem.

Dit verschijnsel laat zich moeilijk voorspellen, maar is in gevallen waar trillingen tot hinder leiden vaak een onderliggende oorzaak. Afgaand op de trillingsmetingen (uit 2017) zijn er maar drie tot vijf treinen per week met een mogelijk hogere trillingssterkte dan 0,2, waarvan er hooguit één à twee rijden in de nachtperiode, waarvoor de strenge streefwaarde van 0,2 geldt. Afgevraagd moet worden in hoeverre dit dan nog te beoordelen als ‘herhaald voorkomende trillingen’ gedurende langere tijd, waarop het toetsingskader van toepassing is. Dan leidt in de praktijk ook niet iedere trein tot resonantie van een woningcasco, maar is dit sterk afhankelijk van de rijsnelheid. Het optreden van trillingssterkten hoger dan 0,2 is dan ook als incidenteel te beschouwen. Met uitzondering van de vijf bovenbeschreven goederentreinen, voldoen nagenoeg alle goederentreinen en met zekerheid alle reizigerstreinen aan de streefwaarde van 0,2 in de nachtperiode.

De twee blokken rijwoningen in de tweede lijn vanaf het spoor staan op afstanden van 70 m en 90 m. Op deze afstanden wordt onvoorwaardelijk voldaan aan de SBR-B en dat geldt ook voor de twee appartementengebouwen op minimaal 50 m afstand van het spoor. In deze gebouwen zijn geen trillingen ( $V_{\max}$ ) hoger dan 0,12 te verwachten.

### Trillingscontouren

De in tabel 2 gegeven prognoseresultaten voor specifieke afstanden tot het spoor kunnen ook worden omgerekend naar trillingscontouren voor de twee voorliggende gebouwtypen. In tabel 3 zijn de berekende contourafstanden weergegeven, gebaseerd op de maatgevende goederentrein. De trillingscontouren  $V_{\max} = 0,1$  en  $V_{\max} = 0,2$  worden ook grafisch weergegeven in bijlage 1.

**tabel 3: trillingscontouren Koudenhoek Noord (rijsnelheid goederentreinen 95 km/u)**

| Contourafstand   | Voelbare treinen p/u* | Laagbouw (3-4 lagen) | Appartementen (12-15 lagen) |
|------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------------|
| $V_{\max}$       | 0,1                   | 0,01                 | 130 m                       |
|                  | 0,2                   | 0,1                  | 68 m                        |
|                  | 0,4                   | 2                    | 25 m                        |
| $V_{\text{per}}$ | 0,05                  | 6                    | 15 m                        |
|                  |                       |                      | <10 m                       |

\* Het gemiddeld aantal voelbare passages per uur op de betreffende contourafstand

## 6. Conclusies en aanbevelingen

Van de vier blokken grondgebonden woningen in het plan Koudenhoek Noord staan er twee (I en II) op een minimum afstand van 47 m van het spoor. Op deze afstand kan incidenteel een enkele trein de streefwaarde van 0,2 uit de SBR-B voor de nachtperiode zeer licht overschrijden. Dit treedt alleen op als het gebouwcasco wat in resonantie raakt op het funderingssysteem, maar dit fenomeen laat zich op voorhand moeilijk voorspellen omdat dit ook sterk afhangt van de momentane rijsnelheid van treinen. Afgaand op de gemeten verdelingsfunctie qua trillingssterkte (metingen 2017), zijn er hooguit vijf treinen per week waarbij in potentie trillingssterkten hoger dan 0,2 zouden kunnen optreden, waarvan er gemiddeld maar één of twee rijden in de nachtperiode. Het voorkomen van trillingssterkten hoger dan de streefwaarde (nachtperiode) is dan ook eerder ‘incidenteel’ te noemen dan ‘herhaald voorkomend’, waarvoor het toetsingskader geldt. Verder is de overschrijding zo minimaal, dat dit tot de conclusie leidt dat een goed woon- en leefmilieu hier niet in het geding is.

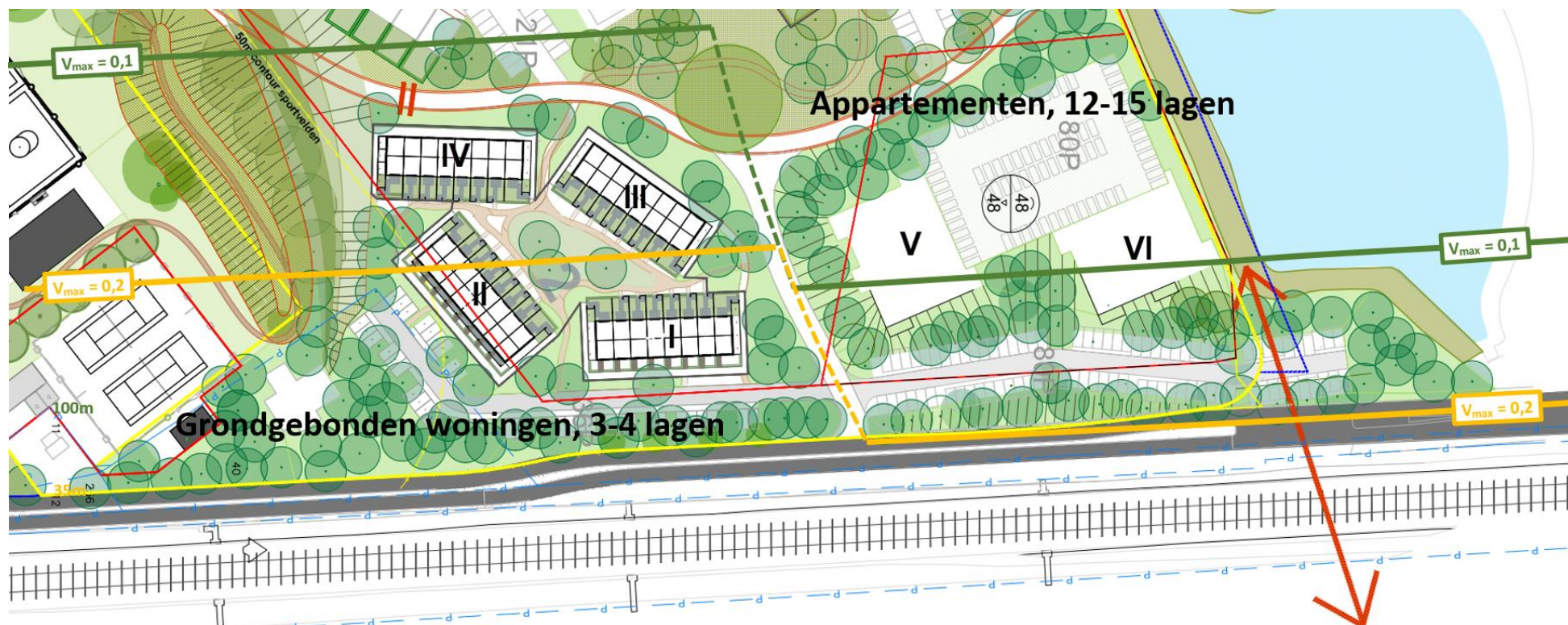
In de twee blokken rijwoningen (III en IV) in de tweede lijn vanaf het spoor, op een afstand van tenminste 70 m van het spoor, wordt onvoorwaardelijk voldaan aan de SBR-B en dat is ook het geval voor de twee hoge appartementengebouwen (12-15 lagen) die op minstens 50 m afstand van het spoor staan.

De prognoses gaan ervan uit dat er relatief stijve woningvloeren worden toegepast in de grondgebonden woningen, met als kenmerk een laagste buig-eigenfrequentie van 12,5 Hz. Voor de hoge appartementengebouwen wordt aanbevolen om een laagste eigenfrequentie van 10 Hz aan te houden.

W.J. (Wim) Wigerink  
DGMR Industrie, Verkeer en Milieu B.V.

## Bijlage 1

|             |                    |
|-------------|--------------------|
| Titel       | Trillingscontouren |
| Omvang      | 1                  |
| Toelichting | Koudenhoek Noord   |



Trillingscontouren Koudenhoek Noord

## Bijlage 2

|             |                    |
|-------------|--------------------|
| Titel       | Trillingsprognoses |
| Omvang      | 1                  |
| Toelichting | Koudenhoek Noord   |

## Trillingsprognose railverkeer

project Koudenhoeck Noord  
 gebouwtipe Rijwoningen (3-4 lagen)  
 gebouwfstand (tot spoor) 47 m

bronspectrum  
 vormfactor  $C_F$   
 referentieafstand

Mp3 - 25/2/2017 01:35, Goederentrein  
 0,47  
 50 m  
 (verhouding  $V_{rms}/V_{toe}$ )

passages per uur  
 peiljaar  
 rijsnelheid  
 referentie snelheid

0,116 (voelbaar  $V_{eff} > 0,1$ )  
 2019  
 95 km/u  
 90 km/u

Z

## Bodemtrillingen

| 1/3-octaf               | 1    | 1,25 | 1,6  | 2    | 2,5  | 3,15 | 4    | 5    | 6,3  | 8    | 10   | 12,5 | 16   | 20   | 25   | 31,5 | 40   | 50   | 63   | 80   | 100  | 125  | 160 | 200 | som  |
|-------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|------|
| bronspectrum (rms, gem) | 50   | 52   | 53   | 55   | 58   | 60   | 62   | 89   | 102  | 99   | 85   | 81   | 81   | 81   | 86   | 74   | 68   | 65   | 69   | 65   | 62   | 58   |     |     | 104  |
| spreiding               | 3,0  | 3,0  | 3,0  | 3,0  | 3,0  | 3,0  | 3,0  | 3,0  | 3,0  | 3,0  | 3,0  | 3,0  | 3,0  | 3,0  | 3,0  | 3,0  | 3,0  | 3,0  | 3,0  | 3,0  | 3,0  | 3,0  |     |     | 107  |
| bronspectrum (rms, max) | 53   | 55   | 56   | 58   | 61   | 63   | 65   | 92   | 105  | 102  | 88   | 84   | 84   | 84   | 89   | 77   | 71   | 68   | 72   | 68   | 65   | 61   |     |     | 107  |
| snelheidscorrectie      | 0,4  | 0,4  | 0,4  | 0,4  | 0,4  | 0,4  | 0,4  | 0,4  | 0,4  | 0,4  | 0,4  | 0,4  | 0,4  | 0,4  | 0,4  | 0,4  | 0,4  | 0,4  | 0,4  | 0,4  | 0,4  | 0,4  |     |     | 107  |
| afstandscorrectie       | 0,4  | 0,4  | 0,3  | 0,3  | 0,3  | 0,3  | 0,3  | 0,3  | 0,3  | 0,3  | 0,3  | 0,3  | 0,3  | 0,3  | 0,3  | 0,3  | 0,3  | 0,3  | 0,3  | 0,3  | 0,3  | 0,3  |     |     | 107  |
| $L_w$ [dB]              | 54   | 56   | 57   | 59   | 62   | 64   | 66   | 93   | 106  | 102  | 89   | 85   | 84   | 85   | 89   | 78   | 72   | 69   | 74   | 70   | 67   | 63   |     |     | 108  |
| $V_{rms}$ [mm/s]        | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,04 | 0,19 | 0,13 | 0,03 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,03 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |     |     | 0,24 |
|                         |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |     | 0,52 |

## SBR-A / Gebouwschade

| Stijf punt fundatie | gebouwtipe: Grondgebonden woningen (3-4 lagen) |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |       |       |       |       |           |      |
|---------------------|------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------|------|
| $H_{v,1}$ [dB]      | -2,6                                           | -2,5 | -2,3 | -2,1 | -1,8 | -1,3 | -0,4 | 0,8  | 1,7  | -0,6 | -2,7 | -3,4 | -4,3 | -5,5 | -7,0 | -9,0 | -12,0 | -14,0 | -14,0 | -14,0 | -14,0 | -14,0     |      |
| $L_w$ [dB]          | 51                                             | 53   | 54   | 57   | 60   | 62   | 65   | 94   | 107  | 102  | 86   | 81   | 80   | 79   | 82   | 69   | 60    | 55    | 60    | 56    | 53    | 49        | 109  |
| $v_{rms}$ [mm/s]    | 0,00                                           | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,05 | 0,24 | 0,12 | 0,02 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,00 | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00      | 0,27 |
|                     |                                                |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |       |       |       |       | $v_{top}$ | 0,58 |

SBR-C / Verstoring van apparatuur ( $v_{rms}$ )

| Begane grond   | vloertype: |      | vloertype 3 |      | (f0 = 10-20 Hz) |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----------------|------------|------|-------------|------|-----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Hv, vloer      | 0,0        | 0,0  | 0,1         | 0,3  | 0,4             | 0,7  | 0,9  | 1,2  | 1,7  | 2,7  | 4,6  | 6,8  | 8,0  | 7,6  | 7,0  | 6,4  | 5,8  | 5,1  | 4,1  | 3,2  | 2,3  | 1,6  |      |
| Lw [dB]        | 51         | 53   | 54          | 57   | 60              | 63   | 66   | 95   | 109  | 104  | 91   | 88   | 88   | 87   | 89   | 75   | 65   | 60   | 64   | 59   | 55   | 50   | 111  |
| Vrms [mm/s]    | 0,00       | 0,00 | 0,00        | 0,00 | 0,00            | 0,00 | 0,00 | 0,05 | 0,29 | 0,17 | 0,03 | 0,03 | 0,02 | 0,02 | 0,03 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,34 |
|                |            |      |             |      |                 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | Vtop |      |      | 0,72 |
| 1e verdieping  | vloertype: |      | vloertype 3 |      | (f0 = 10-20 Hz) |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Hv,3 [dB]      | 0,0        | 0,0  | 0,0         | 0,0  | 0,0             | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | -0,2 | -0,5 | -0,7 | -0,9 | -1,1 | -1,4 | -1,6 | -1,8 | -2,0 | -2,3 | -2,3 |      |
| Hv, vloer [dB] | 0,0        | 0,0  | 0,1         | 0,3  | 0,4             | 0,7  | 0,9  | 1,2  | 1,7  | 2,7  | 4,6  | 6,8  | 8,0  | 7,6  | 7,0  | 6,4  | 5,8  | 5,1  | 4,1  | 3,2  | 2,3  | 1,6  |      |
| Lw [dB]        | 51         | 53   | 54          | 57   | 60              | 63   | 66   | 95   | 109  | 104  | 91   | 88   | 87   | 86   | 89   | 74   | 64   | 59   | 62   | 57   | 53   | 48   | 111  |
| Vrms [mm/s]    | 0,00       | 0,00 | 0,00        | 0,00 | 0,00            | 0,00 | 0,00 | 0,05 | 0,29 | 0,17 | 0,03 | 0,03 | 0,02 | 0,02 | 0,03 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,34 |
|                |            |      |             |      |                 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | Vtop |      |      | 0,72 |
| 3e verdieping  | vloertype: |      | vloertype 3 |      | (f0 = 10-20 Hz) |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Hv,3 [dB]      | 0,0        | 0,0  | 0,0         | 0,0  | 0,0             | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | -0,7 | -1,4 | -2,1 | -2,7 | -3,4 | -4,1 | -4,7 | -5,4 | -6,1 | -6,8 | -6,8 |      |
| Hv, vloer [dB] | 0,0        | 0,0  | 0,1         | 0,3  | 0,4             | 0,7  | 0,9  | 1,2  | 1,7  | 2,7  | 4,6  | 6,8  | 8,0  | 7,6  | 7,0  | 6,4  | 5,8  | 5,1  | 4,1  | 3,2  | 2,3  | 1,6  |      |
| Lw [dB]        | 51         | 53   | 54          | 57   | 60              | 63   | 66   | 95   | 109  | 104  | 91   | 88   | 87   | 85   | 87   | 72   | 61   | 56   | 58   | 53   | 48   | 43   | 111  |
| Vrms [mm/s]    | 0,00       | 0,00 | 0,00        | 0,00 | 0,00            | 0,00 | 0,00 | 0,05 | 0,29 | 0,17 | 0,03 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,34 |
|                |            |      |             |      |                 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | Vtop |      |      | 0,72 |

SBR-B / Hinder voor personen ( $v_{eff}$ )

| Begane grond                | gebouwtipe: Grondgebonden woningen (3-4 lagen) |       |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |
|-----------------------------|------------------------------------------------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| SBR-weging                  | -15,1                                          | -13,2 | -11,2 | -9,5 | -7,8 | -6,1 | -4,7 | -3,5 | -2,5 | -1,7 | -1,2 | -0,8 | -0,5 | -0,3 | -0,2 | -0,1 | -0,1 | -0,1 | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,0   |
| L <sub>w</sub> [dB]         | 36                                             | 40    | 43    | 47   | 53   | 57   | 62   | 91   | 107  | 103  | 89   | 87   | 87   | 87   | 89   | 75   | 65   | 60   | 64   | 59   | 55   | 50    |
| V <sub>eff,max</sub> [mm/s] | 0,00                                           | 0,00  | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,04 | 0,21 | 0,14 | 0,03 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,03 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00  |
|                             | V <sub>per</sub> *                             |       |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 0,007 |
| 1e verdieping               |                                                |       |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |
| L <sub>w</sub> [dB]         | 36                                             | 40    | 43    | 47   | 53   | 57   | 62   | 91   | 107  | 103  | 89   | 87   | 87   | 86   | 88   | 74   | 64   | 59   | 62   | 57   | 53   | 48    |
| V <sub>eff,max</sub> [mm/s] | 0,00                                           | 0,00  | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,04 | 0,21 | 0,14 | 0,03 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,03 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00  |
|                             | V <sub>per</sub> *                             |       |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 0,007 |
| 3e verdieping               |                                                |       |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |
| L <sub>w</sub> [dB]         | 36                                             | 40    | 43    | 47   | 53   | 57   | 62   | 91   | 107  | 103  | 89   | 87   | 86   | 85   | 87   | 72   | 61   | 56   | 58   | 53   | 48   | 43    |
| V <sub>eff,max</sub> [mm/s] | 0,00                                           | 0,00  | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,04 | 0,21 | 0,14 | 0,03 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00  |
|                             | V <sub>per</sub> *                             |       |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 0,006 |

## Koudenhoeck Noord - Grondgebonden woningen 3-4 lagen

## Trillingsprognose railverkeer

project Koudenhoeck Noord  
 gebouwtipe Appartementen (12-15 hoog)  
 gebouwfstand (tot spoor) 50 m

bronspectrum  
 vormfactor  $C_F$   
 referentieafstand

Mp3 - 25/2/2017 01:35, Goederentrein  
 0,47  
 50 m  
 (verhouding  $V_{rms}/V_{toe}$ )

passages per uur  
 peiljaar  
 rijsnelheid  
 referentie snelheid

0 (voelbaar  $V_{eff} > 0,1$ )  
 2019  
 95 km/u  
 90 km/u

Z

## Bodemtrillingen

| 1/3-octaf               | 1    | 1,25 | 1,6  | 2    | 2,5  | 3,15 | 4    | 5    | 6,3  | 8    | 10   | 12,5 | 16   | 20   | 25   | 31,5 | 40   | 50   | 63   | 80   | 100  | 125  | 160 | 200 | som  |
|-------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|------|
| bronspectrum (rms, gem) | 50   | 52   | 53   | 55   | 58   | 60   | 62   | 89   | 102  | 99   | 85   | 81   | 81   | 81   | 86   | 74   | 68   | 65   | 69   | 65   | 62   | 58   |     |     | 104  |
| spreiding               | 3,0  | 3,0  | 3,0  | 3,0  | 3,0  | 3,0  | 3,0  | 3,0  | 3,0  | 3,0  | 3,0  | 3,0  | 3,0  | 3,0  | 3,0  | 3,0  | 3,0  | 3,0  | 3,0  | 3,0  | 3,0  | 3,0  |     |     | 107  |
| bronspectrum (rms, max) | 53   | 55   | 56   | 58   | 61   | 63   | 65   | 92   | 105  | 102  | 88   | 84   | 84   | 84   | 89   | 77   | 71   | 68   | 72   | 68   | 65   | 61   |     |     | 107  |
| snelheidscorrectie      | 0,4  | 0,4  | 0,4  | 0,4  | 0,4  | 0,4  | 0,4  | 0,4  | 0,4  | 0,4  | 0,4  | 0,4  | 0,4  | 0,4  | 0,4  | 0,4  | 0,4  | 0,4  | 0,4  | 0,4  | 0,4  |      |     | 107 |      |
| afstandscorrectie       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |     |      |
| L [dB]                  | 53   | 55   | 56   | 58   | 61   | 63   | 65   | 92   | 105  | 102  | 88   | 84   | 84   | 84   | 89   | 77   | 71   | 68   | 72   | 68   | 65   | 61   |     |     | 107  |
| Vrms [mm/s]             | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,04 | 0,19 | 0,12 | 0,03 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,03 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |     |     | 0,23 |
|                         |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |     | 0,50 |

## SBR-A / Gebouwschade

| Stijf punt fundatie | gebouwtipe: Hoogbouw |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |       |       |       |       |           |       |       |      |
|---------------------|----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------|-------|-------|------|
| $H_{v,1}$ [dB]      | -5,7                 | -5,6 | -5,3 | -4,9 | -4,2 | -3,2 | -1,9 | -2,0 | -5,9 | -6,0 | -6,0 | -7,0 | -8,0 | -12,0 | -14,0 | -16,0 | -17,0 | -18,0 | -20,0     | -20,0 | -20,0 |      |
| $L_w$ [dB]          | 48                   | 50   | 51   | 54   | 57   | 60   | 64   | 90   | 99   | 96   | 82   | 77   | 76   | 72    | 75    | 61    | 54    | 50    | 52        | 48    | 45    | 41   |
| $V_{rms}$ [mm/s]    | 0,00                 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,03 | 0,09 | 0,06 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,00  | 0,01  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00      | 0,00  | 0,00  | 0,00 |
|                     |                      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |       |       |       |       | $V_{top}$ |       |       | 0,25 |

SBR-C / Verstoring van apparatuur ( $v_{rms}$ )

| Begane grond              | vloertype: |      | vloertype 3 |      | (f <sub>0</sub> = 10-20 Hz) |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |       |       |      |      |      |                  |      |
|---------------------------|------------|------|-------------|------|-----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|------|------|------|------------------|------|
| H <sub>v,vloer</sub>      | 0,0        | 0,0  | 0,0         | 0,1  | 0,3                         | 0,4  | 0,7  | 0,9  | 1,2  | 1,7  | 2,7  | 4,6  | 6,8  | 8,0  | 7,6  | 7,0  | 6,4  | 5,8  | 5,1  | 4,1   | 3,2   | 2,3   | 1,6  |      |      |                  |      |
| L <sub>w</sub> [dB]       | 48         | 50   | 51          | 54   | 58                          | 61   | 64   | 92   | 101  | 99   | 87   | 84   | 84   | 80   | 82   | 68   | 60   | 56   | 56   | 52    | 48    | 43    |      | 104  |      |                  |      |
| V <sub>rms</sub> [mm/s]   | 0,00       | 0,00 | 0,00        | 0,00 | 0,00                        | 0,00 | 0,00 | 0,04 | 0,11 | 0,09 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,01 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00 | 0,15 | 0,32 |                  |      |
|                           |            |      |             |      |                             |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |       |       |      |      |      | V <sub>top</sub> | 0,32 |
| 6e verdieping             | vloertype: |      | vloertype 3 |      | (f <sub>0</sub> = 10-20 Hz) |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |       |       |      |      |      |                  |      |
| H <sub>v,3</sub> [dB]     | 0,0        | 0,0  | 0,0         | 0,0  | 0,0                         | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | -0,6 | -1,3 | -1,8 | -2,4 | -3,0 | -3,6 | -4,2 | -4,8 | -5,4  | -6,0  | -6,0  |      |      |      |                  |      |
| H <sub>v,vloer</sub> [dB] | 0,0        | 0,0  | 0,1         | 0,3  | 0,4                         | 0,7  | 0,9  | 1,2  | 1,7  | 2,7  | 4,6  | 6,8  | 8,0  | 7,6  | 7,0  | 6,4  | 5,8  | 5,1  | 4,1  | 3,2   | 2,3   | 1,6   |      |      |      |                  |      |
| L <sub>w</sub> [dB]       | 48         | 50   | 51          | 54   | 58                          | 61   | 64   | 92   | 101  | 99   | 87   | 84   | 83   | 78   | 80   | 65   | 56   | 51   | 52   | 46    | 42    | 37    |      | 104  |      |                  |      |
| V <sub>rms</sub> [mm/s]   | 0,00       | 0,00 | 0,00        | 0,00 | 0,00                        | 0,00 | 0,00 | 0,04 | 0,11 | 0,09 | 0,02 | 0,02 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,15 | 0,32 |      |                  |      |
|                           |            |      |             |      |                             |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |       |       |      |      |      | V <sub>top</sub> | 0,32 |
| 12e verdieping            | vloertype: |      | vloertype 3 |      | (f <sub>0</sub> = 10-20 Hz) |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |       |       |      |      |      |                  |      |
| H <sub>v,3</sub> [dB]     | 0,0        | 0,0  | 0,0         | 0,0  | 0,0                         | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | 0,0  | -0,1 | -1,2 | -2,5 | -3,7 | -4,8 | -6,0 | -7,3 | -8,4 | -9,6 | -10,9 | -12,0 | -12,0 |      |      |      |                  |      |
| H <sub>v,vloer</sub> [dB] | 0,0        | 0,0  | 0,1         | 0,3  | 0,4                         | 0,7  | 0,9  | 1,2  | 1,7  | 2,7  | 4,6  | 6,8  | 8,0  | 7,6  | 7,0  | 6,4  | 5,8  | 5,1  | 4,1  | 3,2   | 2,3   | 1,6   |      |      |      |                  |      |
| L <sub>w</sub> [dB]       | 48         | 50   | 51          | 54   | 58                          | 61   | 64   | 92   | 101  | 99   | 87   | 83   | 81   | 76   | 77   | 62   | 52   | 47   | 47   | 41    | 36    | 31    |      | 104  |      |                  |      |
| V <sub>rms</sub> [mm/s]   | 0,00       | 0,00 | 0,00        | 0,00 | 0,00                        | 0,00 | 0,00 | 0,04 | 0,11 | 0,09 | 0,02 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,15 | 0,32 |      |                  |      |
|                           |            |      |             |      |                             |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |       |       |      |      |      | V <sub>top</sub> | 0,32 |

SBR-B / Hinder voor personen ( $v_{eff}$ )

| Begane grond                |  | gebouwtipe: Hoogbouw          |       |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |      |
|-----------------------------|--|-------------------------------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|
| SBR-weging                  |  | -15,1                         | -13,2 | -11,2 | -9,5 | -7,8 | -6,1 | -4,7 | -3,5 | -2,5 | -1,7 | -1,2 | -0,8 | -0,5 | -0,3 | -0,2 | -0,1 | -0,1 | -0,1 | 0,0  | 0,0  | 0,0   | 0,0  |
| L <sub>w</sub> [dB]         |  | 33                            | 37    | 40    | 44   | 50   | 55   | 60   | 88   | 99   | 97   | 86   | 83   | 83   | 80   | 82   | 68   | 60   | 55   | 56   | 52   | 48    | 43   |
| V <sub>eff,max</sub> [mm/s] |  | 0,00                          | 0,00  | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,03 | 0,09 | 0,07 | 0,02 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00  | 0,00 |
|                             |  | V <sub>per</sub> <sup>*</sup> |       |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 0,001 |      |
| 6e verdieping               |  |                               |       |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |      |
| L <sub>w</sub> [dB]         |  | 33                            | 37    | 40    | 44   | 50   | 55   | 60   | 88   | 99   | 97   | 86   | 83   | 82   | 78   | 79   | 65   | 56   | 51   | 52   | 46   | 42    | 37   |
| V <sub>eff,max</sub> [mm/s] |  | 0,00                          | 0,00  | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,03 | 0,09 | 0,07 | 0,02 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00  | 0,00 |
|                             |  | V <sub>per</sub> <sup>*</sup> |       |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 0,001 |      |
| 12e verdieping              |  |                               |       |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |       |      |
| L <sub>w</sub> [dB]         |  | 33                            | 37    | 40    | 44   | 50   | 55   | 60   | 88   | 99   | 97   | 86   | 82   | 81   | 76   | 77   | 62   | 52   | 47   | 47   | 41   | 36    | 31   |
| V <sub>eff,max</sub> [mm/s] |  | 0,00                          | 0,00  | 0,00  | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,03 | 0,09 | 0,07 | 0,02 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00  | 0,00 |
|                             |  | V <sub>per</sub> <sup>*</sup> |       |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 0,001 |      |

## Koudenhoeck Noord - Appartementen 12-15 lagen