

**Onderzoek busstation 'Hart van Zuid'  
te Rotterdam**

Bevindingen trilling predictie van busverkeer

Opdrachtgever  
Ballast Nedam  
Kenmerk  
R058853aa.00001.jke  
Versie  
03\_001  
Datum  
15 juli 2015  
Auteur  
J. (Jan) Keijzer

## Inhoudsopgave

<b>1</b>	<b>Inleiding</b> .....	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Situatie</b> .....	<b>4</b>
2.1	De achtergronden .....	4
2.2	Het onderzoek.....	4
2.2.1	Overzicht te onderzoeken varianten .....	4
<b>3</b>	<b>Aanpak van het onderzoek</b> .....	<b>5</b>
3.1	Voorgenomen aanpak berekeningen.....	5
3.1.1	Toetsing van de resultaten.....	5
<b>4</b>	<b>Berekeningen</b> .....	<b>6</b>
4.1	De wijze van berekenen.....	6
4.1.1	presentatie en toetsing trilling schade aan gebouwen.....	6
4.1.2	Presentatie en toetsing trilling hinder.....	7
4.1.3	Bespreking bevindingen trillinghinder voor personen .....	7
<b>5</b>	<b>Bespreking resultaten en samenvatting</b> .....	<b>8</b>
5.1.1	Bevindingen van het aspect trillingschade.....	8
5.1.2	Bevindingen van het aspect trillinghinder voor personen .....	8

## Bijlagen

- Bijlage I Verschillende scenario's  
 Bijlage II Normering trillingen

## 1 Inleiding

Het Hart van Zuid te Rotterdam ondergaat komende decennia een kwalitatieve metamorfose. Een onderdeel van deze veranderingen is het busstation, dit zal worden gewijzigd. Op welke manier precies is nog niet helemaal helder. Hier is een aantal varianten voor ontwikkeld, die vervolgens ook gevolgen hebben voor de wijziging van busroutes.

Als aanvulling op het ontwerp-MER en ontwerpbestemmingsplan dient er een trillingpredictie-onderzoek te worden gemaakt. Door Ballast Nedam is aan LBP|SIGHT gevraagd een onderzoek te verrichten naar de trillingen die door de verschillende scenario's naar de omgeving toe kunnen worden veroorzaakt.

## 2 Situatie

### 2.1 De achtergronden

Het Hart van Zuid ondergaat komende periode een ingrijpende verandering. De Gooilandsingel wordt de verbindende, autoluwe schakel binnen het Hart van Zuid, die het nieuwe Plein op Zuid met Ahoy verbindt. Aan het Plein op Zuid verrijst een nieuw kunstenpand, bestaand uit een bibliotheek en theater. Het nieuwe 50 meter zwembad wordt ingepast in het voormalige deelgemeentekantoor. Bovendien wordt er fors geïnvesteerd in het aanwezige talent op Zuid en krijgt het gebied betere en gebruiksvriendelijkere verbindingen. De hallen van Ahoy worden vernieuwd en er komt een nieuwe muziekhal, congrescentrum, hotel en bioscoop. In mei t/m medio juni 2015 heeft dit project al ter visie gelegen voor zienswijzen.

### 2.2 Het onderzoek

Dit predictietrilling-onderzoek is nodig ter beantwoording van de vraag in hoeverre de gewijzigde busroutes, die voorgesteld zijn in het MER voor Hart van Zuid, aanvaardbaar zijn wat betreft trillingen op de Zuiderterrasflat. Voor het project is een MER opgesteld, alsmede een bestemmingsplan. In het MER is een aantal varianten onderzocht voor de busbanen. Aangegeven is dat de volgende acht varianten onderzocht dienen te worden. Zie onderstaand overzicht en bijlage II voor uitgebreide info over deze varianten.

#### 2.2.1 Overzicht te onderzoeken varianten

1. Huidige situatie
2. Basis en ambitie
3. Optimalisatievariant 1
4. Sub varianten patio A
5. Sub varianten patio B
6. Sub varianten maaiveld A
7. Sub varianten maaiveld B
8. Sub varianten maaiveld C

## **3 Aanpak van het onderzoek**

### **3.1 Voorgenomen aanpak berekeningen**

De predictie zal worden gedaan aan de hand van de gegevens die beschikbaar zijn op basis van praktijkgegevens die eerder verzameld zijn in onze database vanuit andere onderzoeken. Berekeningen vanuit bovengenoemde database geeft voldoende betrouwbaarheid voor een indicatieve beoordeling van de situatie. Vanzelfsprekend zou informatie over de trillingen die ter plaatse gemeten wordt extra en meer zekere informatie kunnen bieden.

#### **3.1.1 Toetsing van de resultaten**

Aan de hand van de bekende gegevens worden berekeningen gedaan en wordt een analyse gedaan naar de trillingen die kunnen ontstaan in de genoemde verschillende situaties. De gevonden trillingen worden getoetst aan de trillingrichtlijnen SBR-A (schade aan bouwwerken) en SBR-B (hinder voor personen bij woningen door trillingen). In de huidige situatie vindt er al busverkeer op de betreffende locatie plaats.

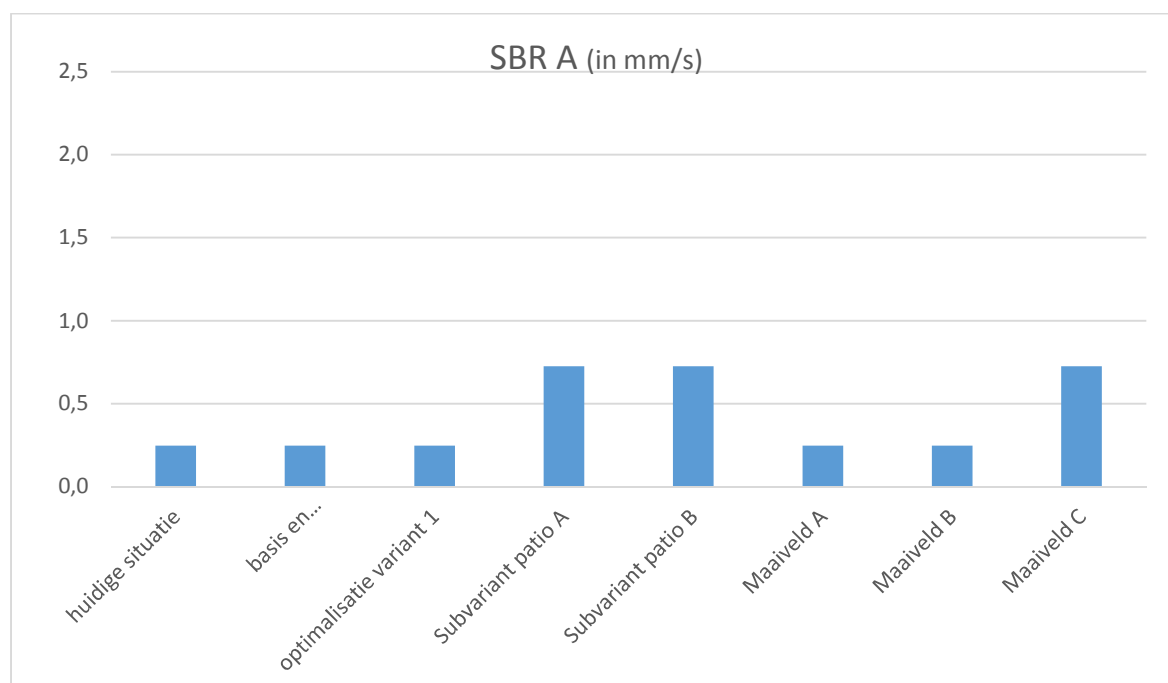
## 4 Berekeningen

### 4.1 De wijze van berekenen

Aan de hand van de schets matige route-aanduidingen van de verschillende voorgestelde varianten zijn overdrachtsberekeningen uitgevoerd. Daarbij zijn we uitgegaan dat de verschillende busroutes via het maaiveldniveau langs de berekeningspunten gaan. De aanpak is dat naar elke gevel c.q. achterliggende vloerdeel van de Zuiderterrasflat gerekend zal worden wat de trilling belasting is. Dat wil dus zeggen dat vanaf de meest kritische bus route naar de Noord gevel, Oost gevel, Zuid gevel en West gevel, het trilling niveau berekend zal worden en wel separaat voor de vertrekkende en de aankomende bussen. Deze berekening wordt gedaan naar het appartement niveau van de Zuiderterrasflat waarbij rekening wordt gehouden met een asfalt baan met een geringe ongelijke structuur zoals bij optimale dilatatie overgangen. Gerekend wordt naar de toetsingswaarde zoals die gebruikt wordt in de SBR A met betrekking tot gebouwschade. Voor wat betreft het aspect hinder wordt gerekend naar de grenswaarde die geldt en genoemd wordt in de SBR B. De samenvatting van de berekeningen vindt plaats in de volgende figuren.

#### 4.1.1 presentatie en toetsing trilling schade aan gebouwen.

In het diagram hierna worden de resultaten gegeven van de maximale trilling snelheid van elke variant met het oog op trilling schade aan gebouwen. De in de normering genoemde grenswaarde in deze situatie is 2,08, daar wordt ruimschoots aan voldaan. Berekeningen zijn gedaan met het oog op zorgvuldigheid. Het is zeer onwaarschijnlijk dat er ten gevolge van busverkeer in deze situatie schade aan het gebouw zou kunnen ontstaan.

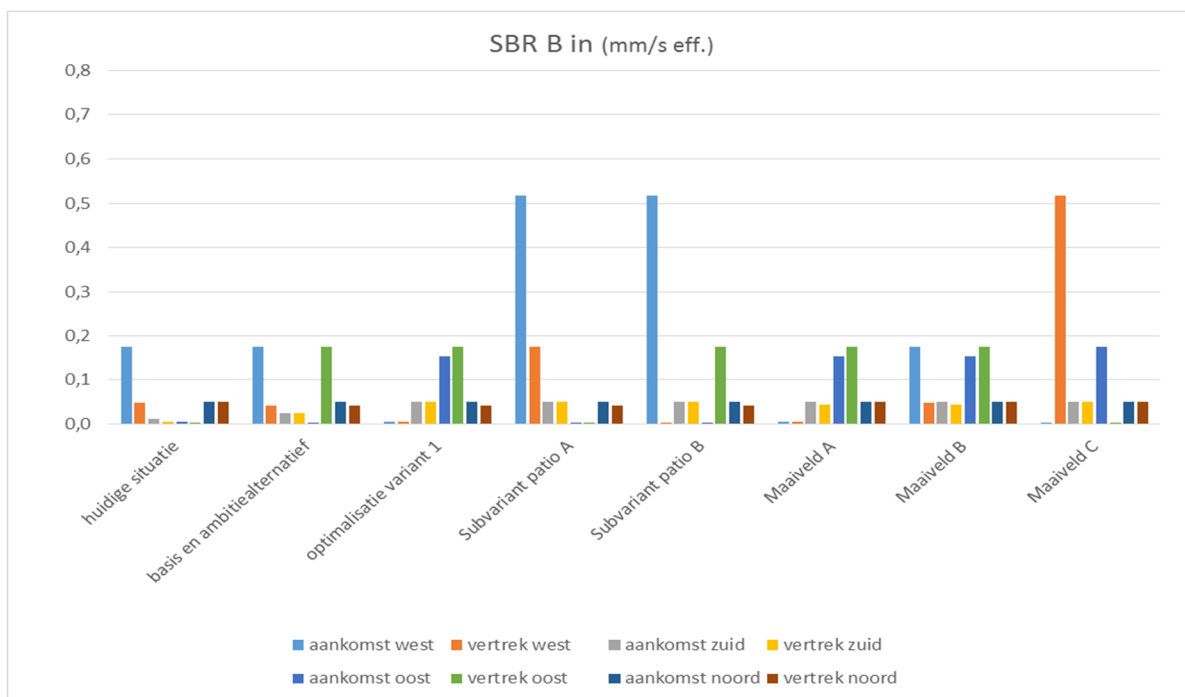


**Figuur 4.1**

Berekende trillingen met het oog op het fenomeen schade aan gebouwen.

## 4.1.2 Presentatie en toetsing trilling hinder

In het diagram hierna worden de resultaten gegeven van de berekende varianten met het oog op trillinghinder. De in de normering genoemde grenswaarde voor een bestaande situatie is 0,2.



**Figuur 4.2**

Berekende trillingen met het oog op het fenomeen trillinghinder voor personen in woningen.

## 4.1.3 Bespreking bevindingen trillinghinder voor personen

Voorgenoemd diagram met betrekking tot trillinghinder spreekt voor zich. In de huidige bestaande situatie en in vier varianten, wordt voldaan aan de streefwaarde voor trillingen. Er zijn drie situaties die mogelijk meer hinder kunnen veroorzaken. Bij de realisatie van de busbaan dienen maatregelen getroffen te worden die de trillingen verminderen, dat is bij subvariant Patio A en subvariant patio B. Dit kan bijvoorbeeld door het aanbrengen van laterale isolatie bij de fundering van de poeren. Bij de variant maaiveld C kan bijvoorbeeld bij de fundering van de Zuiderterrasflat laterale isolatie worden aangebracht. Na het treffen van maatregelen kan aan de SBR streefwaarden voldaan worden.

## 5 Bespreking resultaten en samenvatting

Als aanvulling op het ontwerp-MER en ontwerpbestemmingsplan is dit trillingpredictie-onderzoek gedaan waarin de verschillende mogelijke scenario's naar de omgeving toe worden berekend. Daarbij is de bestaande situatie beschouwd en zeven varianten van de mogelijke nieuwe situatie. Onderzocht is welke trillingen er in de Zuiderterrasflat kunnen ontstaan ten gevolge van de verschillende routevarianten van en naar het busstation. Door de gekozen systematiek hebben de verkregen uitkomsten de status van indicatief.

### 5.1.1 Bevindingen van het aspect trillingschade

Indien er gekeken wordt naar het aspect schade, is het zeer onwaarschijnlijk dat er ten gevolge van het busverkeer in deze situatie schade zou kunnen ontstaan, de kans op schade kan worden uitgesloten.

### 5.1.2 Bevindingen van het aspect trillinghinder voor personen

Indien gekeken wordt naar het aspect trillinghinder wordt in de huidige bestaande situatie en in vier varianten voldaan aan de streefwaarde voor trillingen. In drie situaties kunnen er bij de bouw maatregelen getroffen worden, waardoor ook voldaan kan worden aan de streefwaarden.

LBP|SIGHT BV



J. (Jan) Keijzer

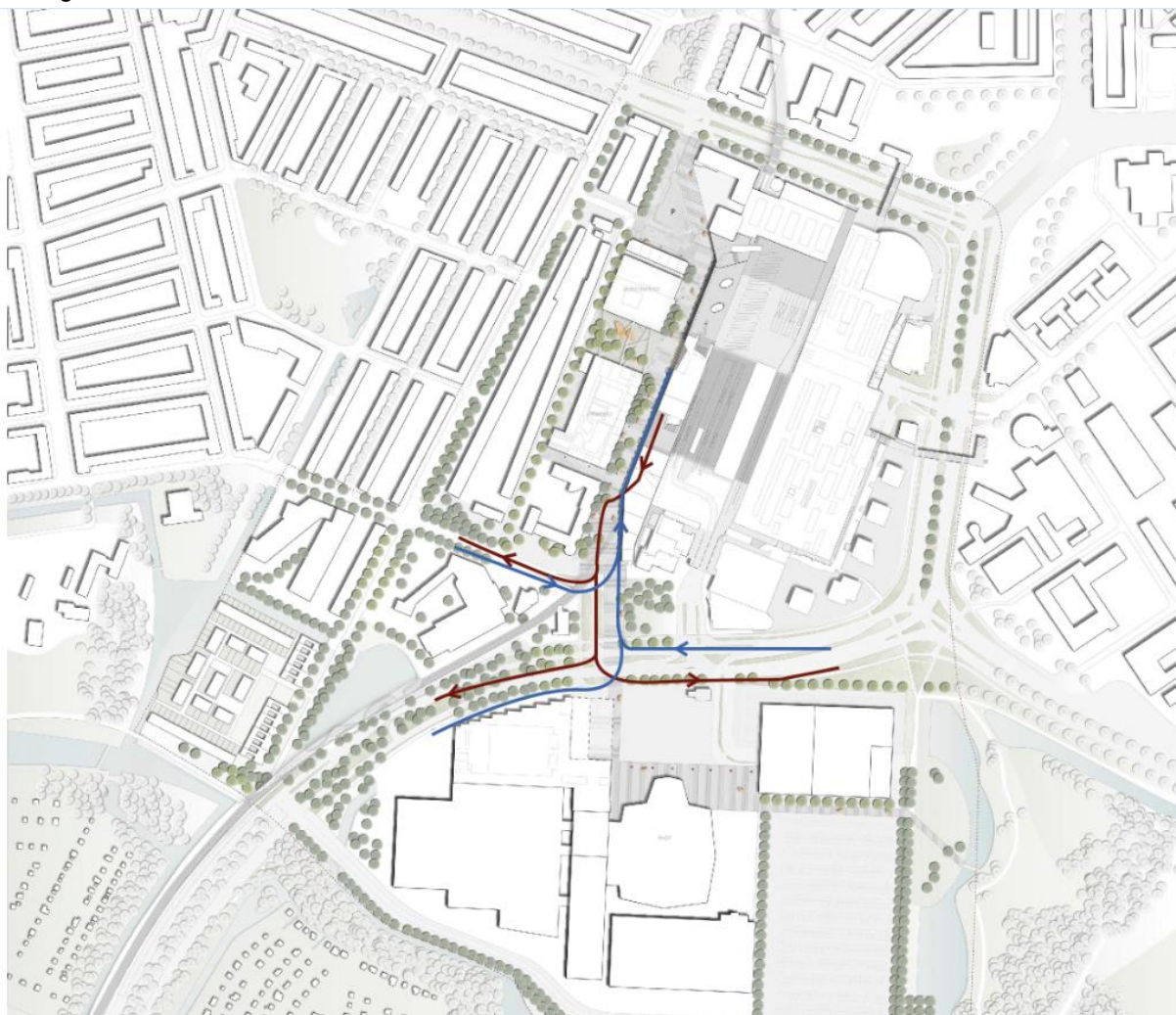


**Bijlage I**

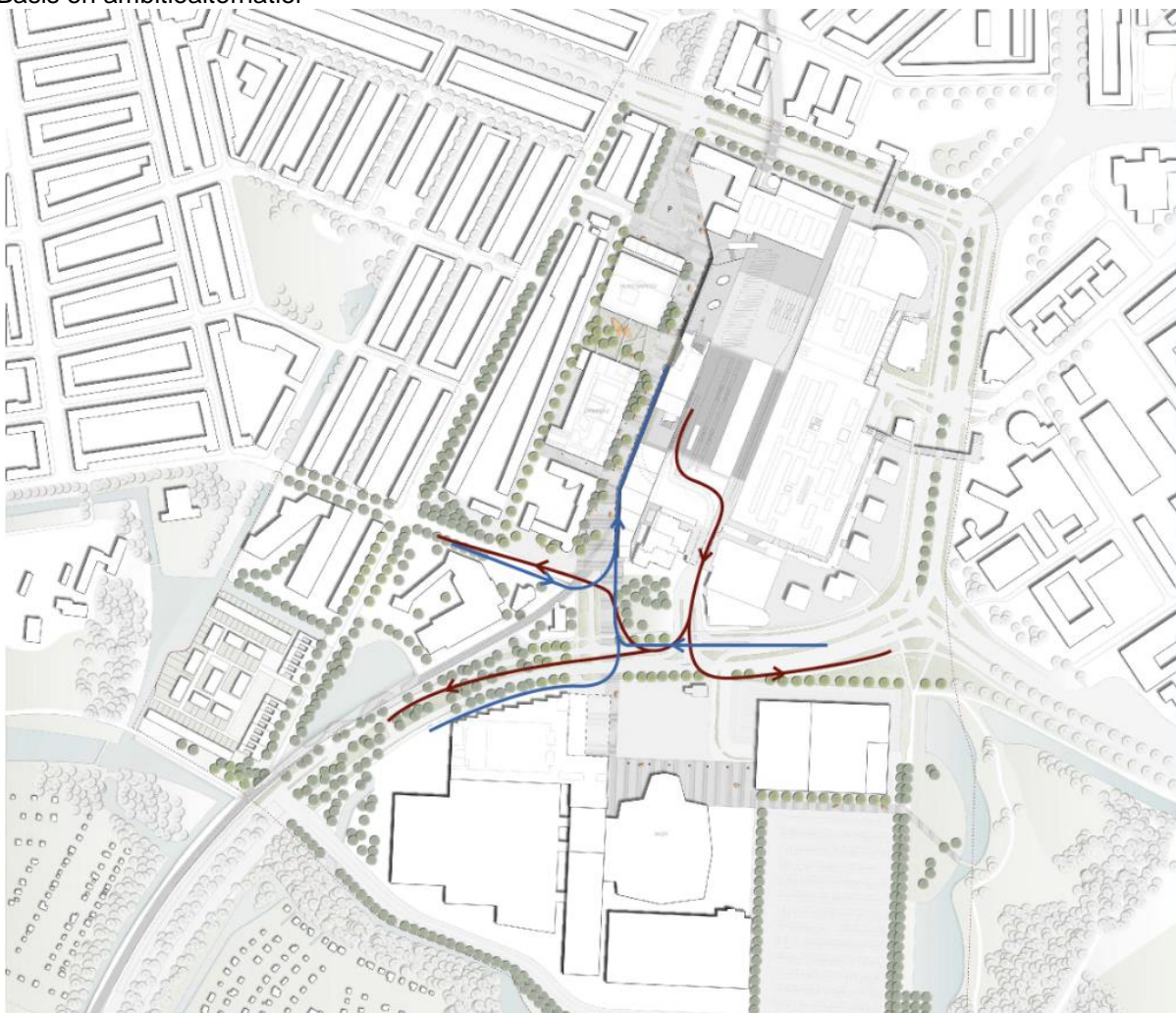
Verschillende scenario's

In het MER is een aantal varianten onderzocht voor de busbanen:

Huidige situatie

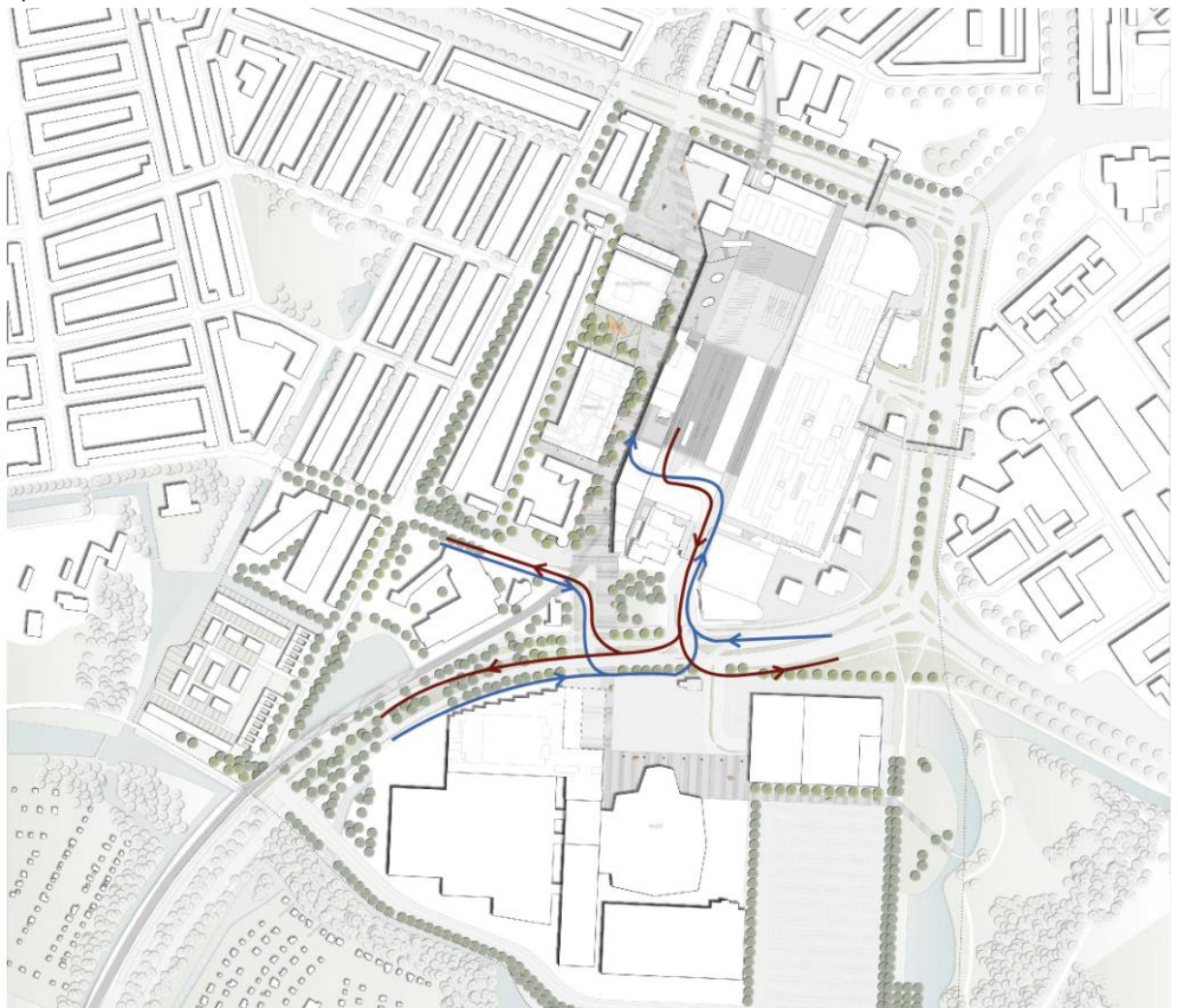


## Basis en ambitiealternatief





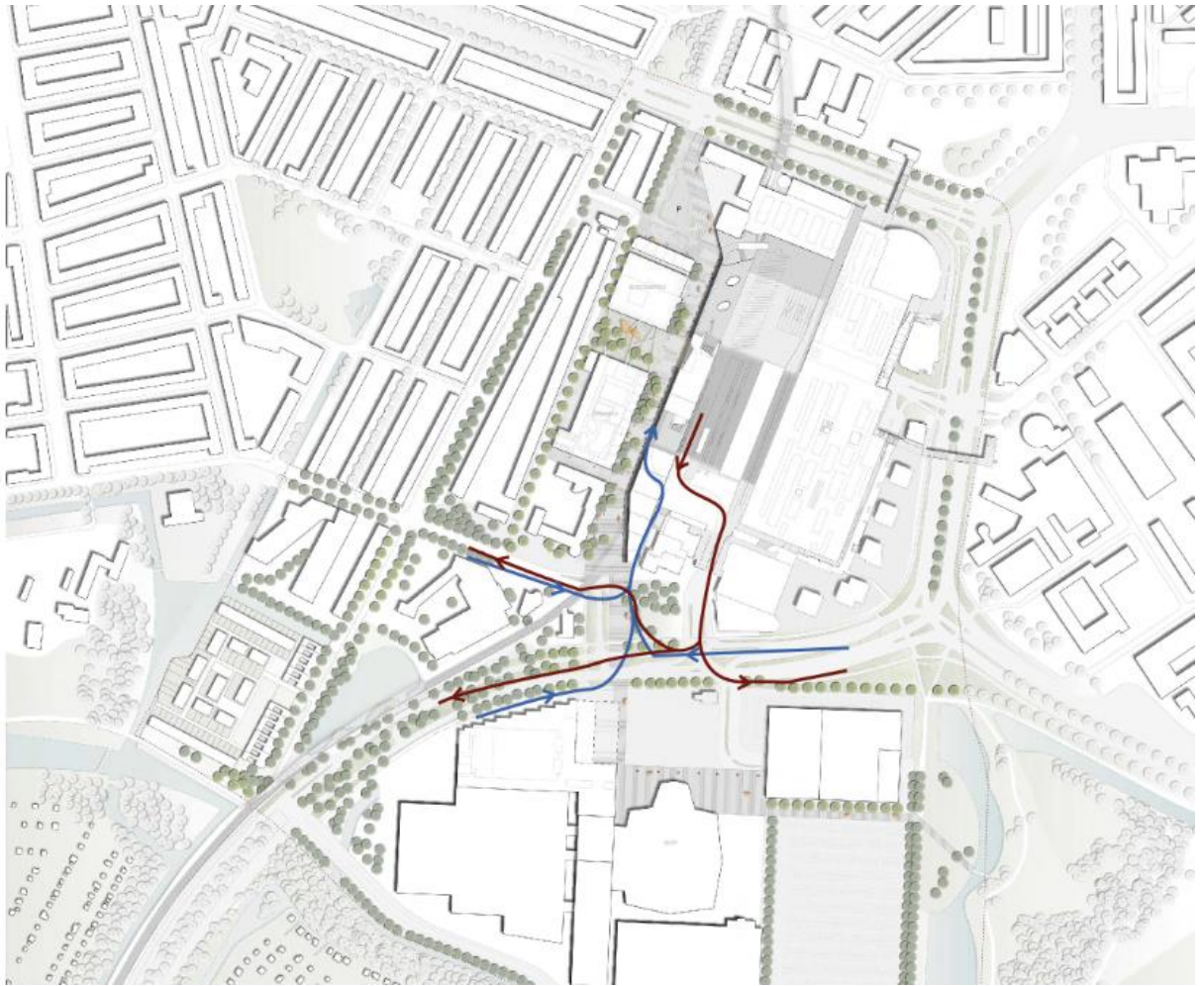
Optimalisatievariant 1



Subvarianten patio. A

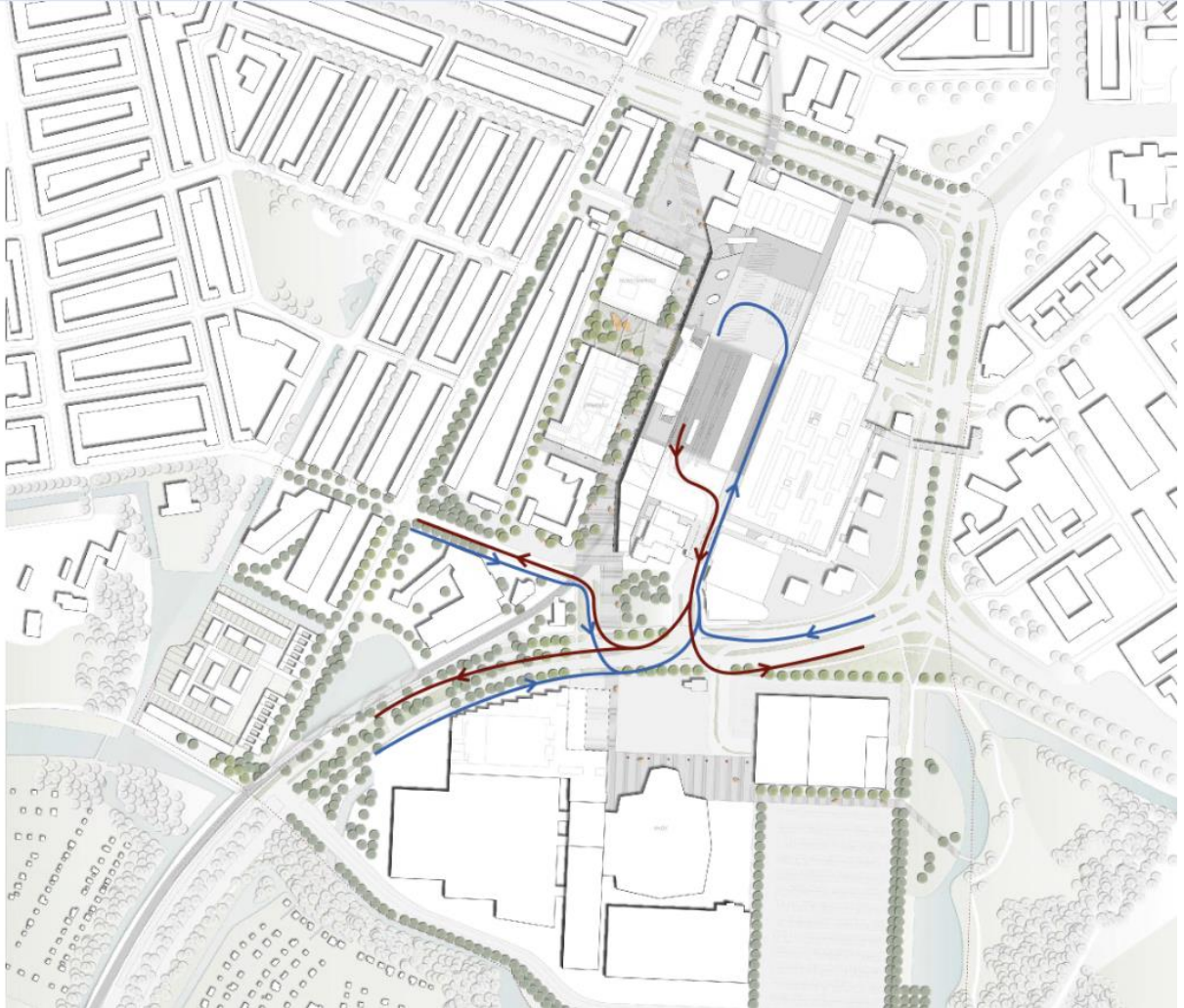


Subvarianten patio. B

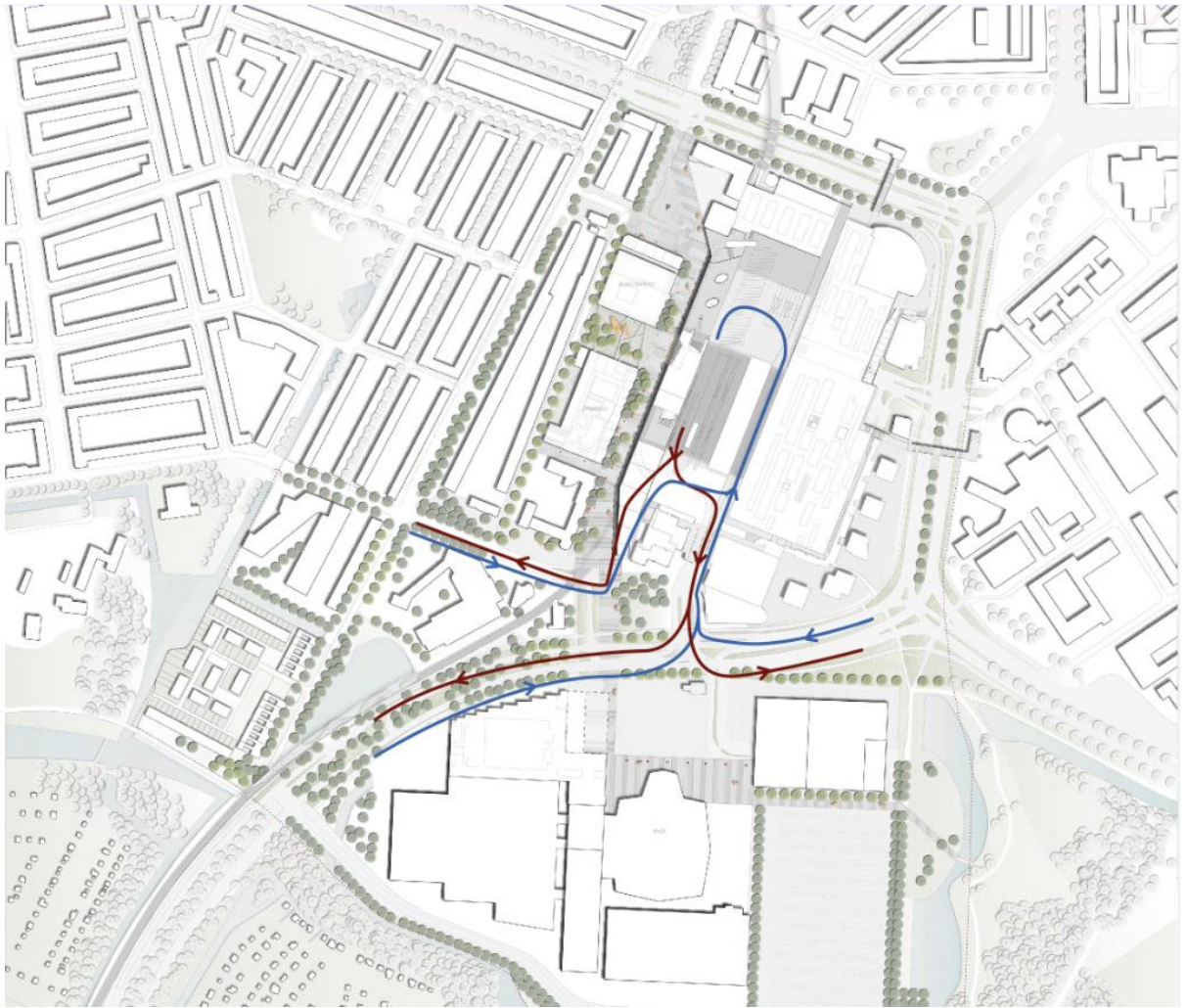




Subvarianten maaiveld  
Maaiveld A

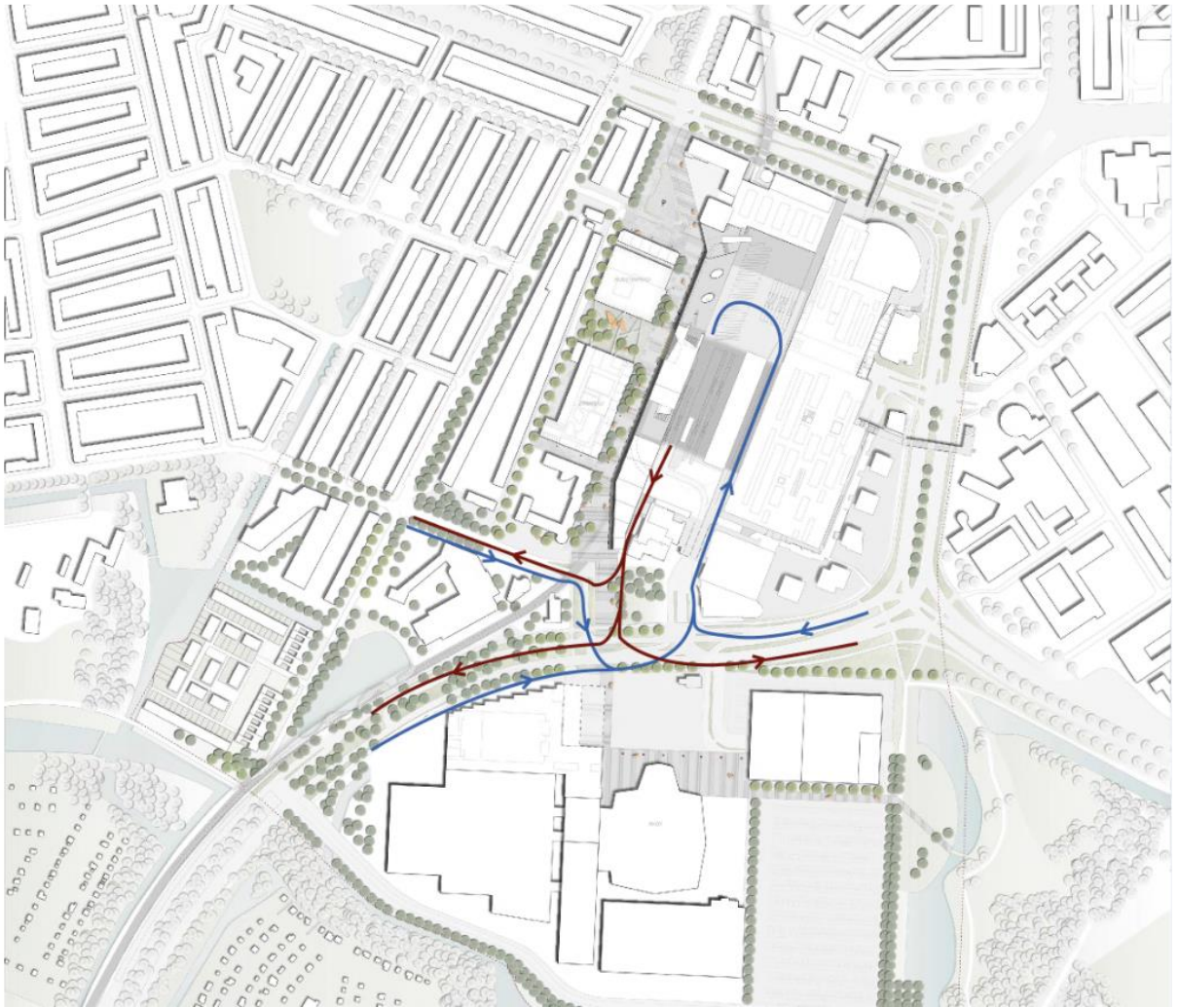


Maaiveld B





Maaveld C



**Bijlage II**  
Normering trillingen

## Normering trillingen

### Eisen ten aanzien van toelaatbare trillingen

In de omgeving kunnen eisen worden gesteld aan de toelaatbare trillingen. Deze eisen moeten garanderen dat er geen schade zal optreden en dat de hinder beperkt blijft. Onderscheid zal gemaakt moeten worden in de eisen van toelaatbaarheid gesteld aan de gebouwen, de apparatuur en aan mensen. In Nederland bestaan op dit moment nog geen wettelijke regelingen en normen die grenswaarden met een beoordelingssysteem voor trillingen geven. Sinds 1993 zijn de zogenaamde SBR-richtlijnen gepubliceerd die inmiddels algemeen aanvaard zijn. Deze richtlijnen gaan over hinder en schade aan gebouwen en over storing aan apparatuur. De laatste herziening van deze richtlijnen is van augustus 2002.

Voor uitgebreide informatie wordt ook naar de SBR-richtlijnen verwezen:

- SBR-richtlijn A Schade aan gebouwen (door trillingen);
- SBR-richtlijn B Hinder voor personen in gebouwen (door trillingen);
- SBR-richtlijn C Storing aan apparatuur (door trillingen).

De SBR-richtlijnen betreffen alle drie meet- en beoordelingsrichtlijnen.

### Richtlijn-A 'Schade aan gebouwen (door trillingen)'

Vooralsnog vinden wij dat hetgeen waarvan tot nu toe is uitgegaan opgevat moet worden als herhaald voorkomende kortdurende trillingen. Deze bevindingen vallen binnen de systematiek van SBR-A. Bij de indeling van gebouwen in categorieën I, II en III betekent dit voor de toelaatbare trillingniveaus op de fundatie en andere onderdelen van de constructie, de volgende rekenwaarde van de grenswaarden op basis van het uitvoeren van uitgebreide trillingmetingen.

**Tabel IV.1**

Herhaald voorkomende trillingen

Frequentie in Hz	Begane grondniveau draagconstructie				Op de hoogste verdieping en onderdelen van draagconstructie		
	Maximale trillingsnelheid in mm/s.						
	Categorie				Categorie		
	I	II	III	Zettingen	I	II	III
Alle frequenties					27	10	<b>5,3</b>
0 - 10	13,3	3,3	<b>2,0</b>	16			
20	16,7	5	2,8	8			
30	20,0	6,7	3,7	5,3			
40	23,3	10	4,5	4,0			
80	30,7	12	6,1	<b>2,0</b>			

Let wel: de voorgegeven rekenwaarden zijn gebaseerd op het uitvoeren van uitgebreide trillingmetingen. In het geval gekozen wordt voor indicatieve of beperkte metingen, dienen de volgende partiële veiligheidsfactoren  $\gamma_v$  daarop in rekening te worden gebracht.

**Tabel IV.2**

Partiële veiligheidsfactoren  $\gamma_v$

Type meting	$\gamma_v$
Indicatief	1,6
Beperkt	1,4
Uitgebreid	1

### Indeling gebouwen in categorie

Binnen de systematiek van SBR-A dienen gebouwen, voor wat betreft trillinggevoeligheid, ingedeeld te worden in categorieën. Er zijn drie categorieën. De gebouwen kunnen ingedeeld worden in categorieën I, II en III. Uit de inspectie tijdens de metingen blijkt dat de beschouwde appartementen rond de vorige eeuwwisseling zijn gebouwd. Deze kunnen worden ingedeeld in categorie II van de SBR-B richtlijn.

### Resumé toelaatbare trillingen met betrekking schade

Uitgaande van het bovengenoemde bepalen wij in lijn met de meet- en beoordelingsrichtlijn de volgende beoordelingsgrens: op basis van de ingezette indicatieve “berekeningen” dient met een veiligheidsfactor van 1,6 rekening gehouden te worden. Vastgesteld wordt (uit de metingen) dat bij de passages dikwijls rond de 10 Hz in woningen ontstaat. Dan wordt een grenswaarde van de draagconstructie van 3,3 mm/s, gedeeld door 1,6. Voor de veiligheid is 2,06 mm/s gehanteerd.

## Richtlijn-B 'Hinder voor personen in gebouwen'

### Hinder ten gevolge van trillingen

Ter beoordeling van mogelijk optredende hinder worden trillingmetingen verricht en getoetst aan de streefwaarden in SBR-Richtlijn B: 'Hinder voor personen in gebouwen; Meet- en beoordelingsrichtlijn'. Deze eisen betreffen in de onderhavige situatie herhaald voorkomende trillingen gedurende lange tijd, in bestaande situatie en bij de functie wonen.

**Tabel IV.3**

Eisen binnen gebouwen, functie wonen. Streefwaarden voor herhaald voorkomende trillingen

Periode	bestaande situatie		
	Dag- en avondperiode	$A_1 = 0,2$	$A_2 = 0,8$
Nachtperiode	$A_1 = 0,2$	$A_2 = 0,4$	$A_3 = 0,1$

$A_1$  : streefwaarde voor de maximale waarde van de effectieve trillingsnelheid  $V_{max}$  [mm/s]

$A_2$  : hoogste streefwaarde voor de maximale waarde van de effectieve trillingsnelheid  $V_{max}$  [mm/s]

$A_3$  : streefwaarde voor het kwadratisch gemiddelde van de maxima van de effectieve waarde van de trillingsnelheid  $V_{per}$  [mm/s]

Voor wat betreft de streefwaarde zijn er twee criteria waar we in dit geval van uit dienen te gaan. Dat is enerzijds de dag- en avondperiode, waarbij de  $V_{per}$  een belangrijke rol speelt omdat er veel busverkeer is. Anderzijds is er de nachtperiode, waarbij de  $V_{per}$  niet meer van belang is omdat er in de nachtperiode relatief weinig bussen rijden. Uit eerdere onderzoeken blijkt dat de frequentie van busverkeer nabij een busstation zodanig is dat de  $V_{per}$  ( $A_3$ ) waarde vergelijkbaar is met de  $A_1$  waarde. Om die reden wordt er uitgegaan van een streefwaarde  $A_1$  van 0,2, die bepalend is en geldt voor een bestaande situatie.

**Tabel IV.4**

Resumé te volgen stappen bij de beoordeling van hinder

$V_{tmax}$ Of $V_{per}$ :	Beoordeling
$V_{max} < A_1$ (< 0,2 tijdens dag, avond en nacht)	Geen overschrijding van de streefwaarden; geen beoordeling van $v_{per}$ noodzakelijk.
$V_{max} < A_2$ (< 0,8 tijdens dag en avond) $V_{max} < A_2$ (< 0,4 tijdens nacht (23-07 uur))	Mogelijke overschrijding van de streefwaarden; aanvullende beoordeling aan $v_{per}$ .
$V_{per} < A_3$ (< 0,1 tijdens dag, avond en nacht)	Geen overschrijding van de streefwaarden.

## **Meetmethode hinder in relatie tot de meetmethode voor schade**

Opgemerkt wordt dat voor de schade- en hinderbeoordeling op een andere wijze met de trilling-niveaus wordt omgegaan. Voor de hinderbeoordeling wordt naar de werkelijk optredende effectieve trillingsnelheden  $V_{\max}$  gekeken. Daarbij vindt ook nog een tijdmiddeling plaats.

Voor de schadebeoordeling wordt naar de maximale trillingsnelheden gekeken  $V_{\text{top}}$ . Dit leidt ertoe dat trillingsnelheden verschillend zijn met betrekking tot genoemde criteria.

NB: het theoretische verschil bij een volkomen stationair signaal (bepaald op dezelfde positie) bedraagt een factor 1,4. Bij tijdfluctuaties in het signaal wordt dit verschil groter.

Daarnaast zijn de meet en berekeningsposities die dienen te worden gekozen voor de bepaling van hinder anders dan die gekozen moeten worden voor de bepaling van schade. De hindermeting dient plaats te vinden binnen de woning op de vloer daar waar de meeste hinder te verwachten is of wordt ondervonden. Het meetpunt voor schade wordt voornamelijk geplaatst op fundatieniveau van een gebouw. Uit praktijkervaringen weten we dat er een opslinging tussen deze twee posities is van 1,5 tot 5 dB in vergelijkbare situaties. In de beoordeling gaan we voorlopig uit van een opslinging van een factor 2,5.

Zie voor een uitgebreide toelichting op de grenswaarde en toegepaste systematiek de genoemde normering.