

Uithoflijn

Inventarisatie Trillingseffecten Uithof

Een dynamisch onderzoek

22 november 2013- Versie 2.0

Uithoflijn; Inventarisatie trillingseffecten Uithof

Een dynamisch onderzoek

	Naam	Paraaf	Datum
Opgesteld door	Gardien W.		
Controle door	Herke Stuit		
Vrijgave door	Rudolf van Aken		

Inhoudsopgave

1	Inleiding	5
1.1	Achtergrond van dit rapport	5
1.1.1.	<i>Effect verstoring trillingsgevoelige apparatuur</i>	5
1.2	Doel van het onderzoek	6
1.3	Algemeen onderzoekskader	6
1.4	Opzet van het onderzoek	6
1.5	Toegepaste kaders en uitgangspunten	7
1.5.1.	<i>Hinder voor personen</i>	7
1.5.2.	<i>Gevoelige apparatuur</i>	7
1.5.3.	<i>Computer-apparatuur</i>	7
2	Situatiebeschrijving	8
2.1	Onderzoeksgebied	8
2.2	Referentiesituatie	8
2.2.1.	<i>Weggebruik</i>	8
2.2.2.	<i>Snelheden</i>	9
2.3	Plansituatie	9
2.3.1.	<i>Uitgangspunten</i>	9
2.3.2.	<i>Weggebruik</i>	9
2.3.3.	<i>Snelheden</i>	10
2.3.4.	<i>Spoorligging</i>	10
2.3.5.	<i>Overgangen</i>	10
2.3.6.	<i>Bovenbouw-constructie</i>	11
2.3.7.	<i>Baanconstructie</i>	11
3	Toetsingskader	12
3.1.1.	<i>SBR trillingsrichtlijn deel B (hinder voor personen in gebouwen)</i>	12
3.1.2.	<i>Uitgangspunten toetsingswaarden</i>	13
3.1.3.	<i>Interpretatie toetsingswaarden</i>	14
3.2	VC-curven	14
3.2.1.	<i>Computer-apparatuur</i>	17
4	Trillingsmodel	18
4.1.1.	<i>Bepaling trillingssterkte als functie van afstand</i>	18
4.1.2.	<i>Tramverkeer op funderingsniveau</i>	18
4.1.3.	<i>Effect glad spoor tramverkeer</i>	19
4.1.4.	<i>Effect snelheid tramverkeer</i>	19
4.1.5.	<i>busverkeer maaiveld</i>	19
4.1.6.	<i>Reductie van maaiveld naar fundering bij busverkeer</i>	20
4.1.7.	<i>Effect snelheid busverkeer</i>	20
4.1.8.	<i>Effect vloeren</i>	20
4.1.9.	<i>Toegepast prognosemodel</i>	20
4.1.10.	<i>Betrouwbaarheid trillingsprognose</i>	21
4.2	Trillingsmodel ten behoeve van VC-contouren	22
5	Resultaten	24
5.1	Verstoring van apparatuur	24
5.1.1.	<i>Resultaten uit eerder onderzoek</i>	24

5.1.2. Verstoring apparatuur, VC-curven	24
5.2 SBR-B contouren	24
5.3 Resultaten bestemmingen	25
5.4 Resultaten computerapparatuur	25
5.5 Effect boogverruiming CBOI	26
6 Nader onderzoek overschrijdingslocatie	27
7 Conclusies	28
Colofon	29
Bijlage I Tracé Uithoflijn	
Bijlage II VC-curve contouren	
Bijlage III SBR-B contouren	
Bijlage IV resultaten beoordelingspunten	

1 Inleiding

1.1 Achtergrond van dit rapport

De nieuw aan te leggen tramlijn naar de Uithof gaat in de Uithof langs verschillende gebouwen. In de gebouwen bevinden zich personen die mogelijk hinder ondervinden van trillingen door het tramverkeer. Verder bevindt zich op een aantal locaties trillingsgevoelige apparatuur die mogelijk verstoord raakt door trillingen van de tram.

1.1.1. Effect verstoring trillingsgevoelige apparatuur

Het effect van de Uithoflijn op trillingsgevoelige apparatuur is beschouwd in een separaat onderzoek. Dit onderzoek is onderverdeeld in 6 fasen, die de producten in Tabel 1-1 hebben opgeleverd.

Tabel 1-1 Uitgevoerde onderzoeken ten behoeve van effecten trillingsgevoelige apparatuur

fase 1	inventarisatie van gevoelige apparatuur	H.G. Stuit, <i>Inventarisatie trillingsgevoelige apparatuur in De Uithof te Utrecht In het kader van de HOV-trambaan</i> , Movares Nederland B.V., Kenmerk BO-HS-090021642 - Versie 2.2, Utrecht, 3 december 2009
fase 2	valproefmetingen	W.N. Oskam en W. Gardien, <i>Trillingsonderzoek in de Uithof, Resultaat valproefmetingen</i> , Movares Nederland B.V., Kenmerk GEO-WO-100040045 – Versie 1.0, Utrecht, 24 februari 2011
fase 3	evt. extra valproefmetingen	niet uitgevoerd
fase 4	simulaties trillingen tramverkeer	W. Gardien, <i>Trillingsonderzoek HOV tram in de Uithof, Resultaat fase 4, simulaties</i> , Movares Nederland B.V., Kenmerk D83-WAR-KA-1100084 - Versie 1.0, 27 april 2011
fase 5	validatie simulaties trillingen tramverkeer	Pieter Boon en Wybo Gardien, <i>Validatieonderzoek t.b.v. HOV om de Zuid, Trillingen op de Uithof</i> , Movares Nederland B.V., Kenmerk GEO-PB-110019167 - Versie 1.0, 7 november 2012 Wybo Gardien, <i>Memo Quick scan invloed snelheid tram</i> , Kenmerk MNO-WG-11L81160022, 9 december 2011
fase 6	onderzoek naar maatregelen	ir. W.N. Oskam, <i>memo Trillingsmaatregelen HOV</i> , kenmerk GEO-WO-110019664, 23 september 2011 Wybo Gardien, <i>Uithoflijn, verstoring van apparatuur door trillingen, Trillingsreducerende maatregelen, fase 6</i> , Movares Nederland B.V., Kenmerk MNO-WG-12L81160019 - Versie 1.0, 8 november 2012

In 2009 heeft een inventarisatie plaatsgevonden van in De Uithof aanwezige trillingsgevoelige apparatuur (fase 1). Deze opgave is door belanghebbende partijen verricht en geïnventariseerd door Movares. De inventarisatie vormde de basis voor een aantal vervolgonderzoeken, waaronder valproefmetingen (fase 2) en modelberekeningen (fase 4) om de toekomstige trillingssterkte te prognosticeren. De modelberekeningen zijn gevalideerd middels metingen aan een vergelijkbare tramlijn, de sneltramlijn Utrecht – Nieuwegein/IJsselstein (fase 5). Verder is in een quick scan beschouwd wat de gevolgen zijn van een verhoging van de tramsnelheid naar 50

km/uur tussen de halten AZU en het WKZ. Op basis van de geprognosticeerde trillingsniveaus ten opzichte van de opgegeven immunitetswaarden, heeft daarna een inventarisatie van trillingsreducerende maatregelen plaatsgevonden (fase 6), en is het effect van de maatregelen gekwantificeerd met modelberekeningen. Op basis van deze onderzoeken heeft de POUHL met de betrokkenen op de Uithof afgesproken dat de volgende maatregelen worden genomen bij de baan:

- Embedded Rail;
- Glad spoor.

Het is mogelijk dat deze maatregelen niet overal tot voldoende trillingsreductie leiden om verstoring ten gevolge van de exploitatie van de Uithoflijn te voorkomen. De POUHL heeft met de betrokkenen op de Uithof afgesproken dat bij deze locaties maatregelen worden genomen ter plaatse van de verstoorde apparatuur. Op basis van metingen in de huidige situatie en tijdens de testfase van de Uithoflijn, zal worden bepaald welke locaties hiervoor in aanmerking komen.

Naast de bovengenoemde onderzoeken ten behoeve van de bekende gevoelige apparatuur in de Uithof, worden in dit rapport ook algemeen toepasbare contouren voor VC-curven bepaald. Deze contouren geven globaal aan vanaf welke afstand tot de trambaan een bepaalde categorie van trillingsgevoelige apparatuur kan worden geplaatst.

1.2 Doel van het onderzoek

Het doel van dit onderzoek is het in kaart brengen van de trillingseffecten van de nieuw aan te leggen tramlijn in de Uithof, ten behoeve van de ruimtelijke onderbouwing van het bestemmingsplan van de Uithoflijn in de Uithof.

1.3 Algemeen onderzoekskader

Het onderzoeksgebied voor het trillingsonderzoek betreft het tracédeel door de Uithof vanaf de Sorbonnelaan tot en met het opstelterrein nabij de P+R parkeerplaats. Het gaat om het gedeelte van km 6,53 tot km 9,07.

1.4 Opzet van het onderzoek

Ten behoeve van het trillingsonderzoek wordt een getrapte onderzoeks aanpak gehanteerd die uit meerdere stappen bestaat. De stappen gaan van globaal naar gedetailleerd, waarbij in elke stap de nauwkeurigheid groter wordt voor locaties met een grote kans op trillingshinder. Na elke stap in het onderzoek wordt nader onderzoek verricht op die locaties waar de kans op trillingshinder ten gevolge van tramverkeer aanwezig is, de zogenaamde zeefmethode.

De volgende stappen worden achtereenvolgens doorlopen:

1. Inventarisatie van locaties waar mogelijk trillingshinder kan optreden;
2. Knelpunteninventarisatie aan de hand van indicatieve metingen en empirische prognoses, verwerkt in een nauwkeurig trillingsmodel;
3. Trillingsmetingen en nauwkeurige trillingsprognoses voor mogelijke probleemlocaties;
4. Ontwerpen van trillingsmaatregelen en afweging van varianten.

De stappen worden nader toegelicht in hoofdstuk 3.

Wat betreft de trillingsgevoelige apparatuur zijn bovenstaande 4 stappen reeds doorlopen en gerapporteerd (zie paragraaf 1.1.1). Aanvullend is in dit rapport voor de

gevoelige apparatuur nog een fase 1 onderzoek opgenomen met contouren van VC-curven.

Wat betreft de trillingshinder voor personen, die in dit rapport staat beschreven, gaat het hier om een stap 1 onderzoek. Hierbij wordt echter wel gebruik gemaakt van de metingen en prognoses die reeds zijn uitgevoerd ten behoeve van de trillingsgevoelige apparatuur.

1.5 Toegepaste kaders en uitgangspunten

1.5.1. Hinder voor personen

Momenteel zijn er nog geen wettelijke normen vastgesteld voor trillingshinder ten gevolge van (tram)verkeer. Wel zijn er de SBR-richtlijnen die grenswaarden en streefwaarden bevatten met betrekking tot trillingsniveaus.

Tot op heden zijn de richtlijnen nog niet vastgelegd in wetgeving, maar de richtlijnen worden veelvuldig toegepast. In gevallen waarbij uiteindelijk de rechter werd ingeschakeld speelde de richtlijn van SBR vaak een belangrijke rol. Ook de Raad van State baseert zich bij zijn oordeelsvorming deels op de richtlijnen ten aanzien van trillingen.

Ten aanzien van hinder voor personen in gebouwen wordt SBR richtlijn Deel B toegepast (Hinder voor personen in gebouwen).

1.5.2. Gevoelige apparatuur

Voor de apparatuur die verstoord kan raken wordt in eerste instantie gebruik gemaakt van de door de leveranciers geleverde trillingseisen. Indien die niet beschikbaar zijn wordt met de gebruikers van de apparatuur afgestemd aan welke trillingseisen de apparatuur dient te voldoen.

Voor apparatuur waarvan geen specificaties zijn gegeven, of voor apparatuur die mogelijk in de toekomst geplaatst worden, worden de VC-curven veelvuldig toegepast. Deze curven geven voor klassen van trillingsgevoelige apparatuur de trillingsniveaus waarbij ze nog goed functioneren. Uit de VC contouren valt globaal af te lezen waar een bepaald trillingsgevoelig apparaat nog geplaatst kan worden.

Gevoelige apparatuur kan aanmerkelijk eerder door trillingen verstoord raken dan dat personen er hinder van ondervinden. De maatregelen die nodig zijn om verstoring bij de gevoelige apparatuur te voorkomen of verminderen, zijn daarom leidend. De trillingseffecten die in dit rapport staan beschreven, gelden voor de voorgenomen maatregelen ten behoeve van de trillingsgevoelige apparatuur in de Uithof.

1.5.3. Computerapparatuur

De meeste computerapparatuur is relatief ongevoelig voor trillingen. Alleen als de tram of bus zeer dicht langs een gebouw met computerapparatuur rijdt, is er kans op verstoring. Bij computerapparatuur is het van belang dat door de leveranciers aangeleverde trillingseisen worden gehanteerd. De waarden die bijvoorbeeld in de SBR-C richtlijn (gevoelige apparatuur) staan, stammen nog uit de tijd dat computerapparatuur gevoelig was voor trillingen, en zijn niet meer van toepassing op moderne computerapparatuur.

2 Situatiebeschrijving

Dit hoofdstuk beschrijft de referentiesituatie en de toekomstige situatie in de Uithof. De uitgangspunten zijn gebaseerd op het uitgangspuntendocument¹.

2.1 Onderzoeksgebied

Het onderzoeksgebied betreft het tracé van de Uithoflijn, met aan weerszijden een strook van 100 meter breed waar zich gebouwen kunnen bevinden waarin personen mogelijk verstoord raken door trillingen. Buiten deze afstand is trillingshinder voor personen ten gevolge van verkeer over de Uithoflijn niet te verwachten.

De trillingsgevoelige apparatuur is tot op circa 300 meter afstand van het tracé beschouwd omdat apparatuur aanmerkelijk gevoeliger voor trillingen kan zijn dan personen. In paragraaf 1.1.1 staan de rapportages vermeld waarin het effect van verstoring van apparatuur door trillingen is beschreven.

2.2 Referentiesituatie

Deze paragraaf bevat een beschrijving van de referentiesituatie in de Uithof. Als referentiesituatie wordt situatie van 2014, vóór aanvang van de werkzaamheden ten behoeve van de *Uithoflijn*, aangehouden. Voor de beoordeling van trillingshinder wordt aan deze situatie gerefereerd.

2.2.1. Weggebruik

Het weggebruik in de huidige situatie is gebaseerd op de cijfers in bijlage 1 uit het uitgangspuntendocument. Het tracé van de toekomstige tramverbinding gaat voor het grootste deel over de huidige busbaan door de Uithof. Het afgeleide weggebruik over de huidige busbaan is weergegeven in Tabel 2-1. Alleen het effect van bussen wordt beschouwd in de huidige situatie. Verkeer van taxi's en ambulances over de busbanen leidt tot verwaarloosbaar kleine trillingen ten opzichte van de trillingen veroorzaakt door bussen.

Tabel 2-1 Bussen per uur, 2 richtingen samen (werkdaggemiddelde)

	07:00- 19:00 bus	19:00- 23:00 bus	23:00- 07:00 bus
deel a Padualaan	56.9	8.0	2.0
deel b Weg tot de wetenschap	49.7	6.0	1.0
deel c Heidelberglaan (Padualaan - AZU)	106.6	14.0	3.0
deel d Heidelberglaan AZU-WKZ	45.4	8.0	1.5
deel e Heidelberglaan WKZ-Universiteitsweg	19.8	0.0	0.0

¹ Uitgangspunten ruimtelijke onderbouwing bestemmingsplan, Uithoflijn in "De Uithof" 15 juli 2013- Versie 2.0`

2.2.2. Snelheden

In de huidige situatie gelden op de wegen in het onderzoeksgebied de volgende snelheden:

	snelheid [km/uur]
deel a Padualaan	30
deel b Weg tot de wetenschap	50
deel c Heidelberglaan (Padualaan - AZU)	30
deel d Heidelberglaan AZU-WKZ	50
deel e Heidelberglaan WKZ-Universiteitsweg	50

2.3 Plansituatie

Deze paragraaf bevat een beschrijving van de plansituatie in de Uithof. Als plansituatie wordt de spoorligging zoals beschreven in het Definitief Ontwerp van de Uithoflijn gehanteerd. Tekeningen van de spoorligging zijn opgenomen in Bijlage I.

2.3.1. Uitgangspunten

Voor de beschrijving van de plansituatie is gebruik gemaakt van de in Tabel 2-2 weergegeven documenten.

Tabel 2-2 Gebruikte documenten voor plansituatie

- [1] Tekening Uithoflijn Definitief Ontwerp, ITC Utrecht, Situatietekening RFO, Tekeningnummer WP0-BNS-201-018 t/m WP0-BNS-201-024

Ten opzichte van de referentiesituatie zijn in de plansituatie de volgende zaken gewijzigd:

1. Vanaf de kruising met de Sorbonnelaan tot aan de splitsing met de Padualaan wordt de huidige busbaan vervangen door een trambaan;
2. Vanaf de splitsing met de Padualaan tot en met de Halte WKZ wordt de huidige busbaan vervangen door een betonnen busbaan met ingegoten spoor, waar ook bussen over rijden;
3. Bij de halte AZU volgen de tramsporen en de busbaan een nieuw tracé, waarbij de sporen circa 20 meter uit elkaar liggen. De keerlus voor bussen bij het AZU verdwijnt. De tramsporen buitenom de halte worden als rheda-city green uitgevoerd
4. Tussen de halte AZU en de halte WKZ is het nieuwe tracé in oostelijke richting verschoven, maximaal circa 15 meter ten opzichte van de huidige busbaan. Deze verschuiving wordt ook wel de boogverruiming om het CBOI gebouw genoemd.;
5. Vanaf de halte WKZ tot het eindpunt is er een vrije trambaan, die de Universiteitsweg kruist in een onderdoorgang;
6. Bij de Halte WKZ wijzigt de keerlus voor bussen;
7. Vanaf de halte WKZ tot aan de Universiteitsweg volgen de bussen een nieuw tracé, met busbanen aan weersijden van de tramlijn;
8. De intensiteit van het busverkeer wijzigt;
9. Er gaan trams rijden over de Uithoflijn.

2.3.2. Weggebruik

Het weggebruik in de plansituatie is gebaseerd op de cijfers in bijlage 1 en 2 van het uitgangspuntendocument. De intensiteiten van het tramverkeer zijn aangepast voor het trillingsonderzoek. Dat wil zeggen dat de intensiteiten zijn aangepast naar werkdaggemiddelde trampassages. Een trampassage kan uit meerdere tramstellen

bestaan. Alle trams volgen het gehele Uithoflijntracé door de Uithof, vanaf de Sorbonnelaan tot aan het opstel terrein bij de P+R parkeerplaats. Buslijn 12 verdwijnt, waardoor er in de toekomst tussen de Sorbonnelaan en de Padualaan geen bussen meer rijden over de Weg tot de Wetenschap. Verder is de halte AZU in de toekomst geen eindpunt meer voor bussen, en rijden alle bussen door tot aan de halte WKZ. Het toekomstige weggebruik is weergegeven in Tabel 2-3. Alleen het effect van bussen en trams wordt beschouwd. Verkeer van taxi's en ambulances over de busbanen leidt tot verwaarloosbaar kleine trillingen ten opzichte van de trillingen veroorzaakt door bussen en trams.

Tabel 2-3 Bussen en trams per uur, 2 richtingen samen (werkdaggemiddelde)

	07:00- 19:00 bus	19:00- 23:00 bus	23:00- 07:00 bus	07:00- 19:00 tram	19:00- 23:00 tram	23:00- 07:00 tram
deel a Padualaan	64.4	8.0	3.0	0.0	0.0	0.0
deel b Weg tot de wetenschap	0.0	0.0	0.0	32.0	8.0	1.25
deel c Heidelberglaan (Padualaan - AZU)	64.4	8.0	3.0	32.0	8.0	1.25
deel d Heidelberglaan AZU-WKZ	47.9	8.0	1.5	32.0	8.0	1.25
deel e Heidelberglaan WKZ- Universiteitsweg	21.3	0.0	0.0	32.0	8.0	1.25
deel f WKZ- eindpunt opstel terrein P+R	0.0	0.0	0.0	32.0	8.0	1.25

2.3.3. Snelheden

In de toekomstige situatie gelden op de wegen in het onderzoeksgebied de volgende snelheden, waarbij is uitgegaan van de ontwerpsnelheid:

	snelheid [km/uur]
deel a Padualaan	30
deel b Weg tot de wetenschap	50
deel c Heidelberglaan (Padualaan - AZU)	30
deel d Heidelberglaan AZU-WKZ	50
deel e Heidelberglaan WKZ-Universiteitsweg	50
deel f WKZ- eindpunt opstel terrein P+R	50

2.3.4. Spoorligging

In de Uithof wordt als maatregel ten behoeve van gevoelige apparatuur uitgegaan van "Glad spoor". In de trillingsprognose wordt hiervoor gerekend met FRA klasse 6.

2.3.5. Overgangen

Bij overgangen van bijvoorbeeld kunstwerken naar de op staal gefundeerde trambaan kunnen na verloop van tijd zettingsverschillen ontstaan. Hierdoor ontstaat er ter plaatse van het kunstwerk een hobbel in het tracé, en wordt mogelijk niet meer voldaan aan de spoorliggingseis. De modelberekeningen gaan uit van perfecte overgangen, waarbij ten alle tijden aan de spoorliggingseis wordt voldaan.

2.3.6. *Bovenbouw-constructie*

In de trillingsberekeningen is uitgegaan van een ingegoten spoorconstructie met de volgende eigenschappen per rail:

Type rail	Ri59 R13	
Massa	58.14	kg/m
Traagheidsmoment	3.21E-05	m ⁴
Beddingsstijfheid	4.00E+07	N/m/m
Demping (belast)	1.24E+04	Ns/m/m

Tussen de Sorbonnelaan aan Halte Padualaan wordt het spoor als Rheda-city green uitgevoerd, waarbij op de betonplaat een afwerklaag van teelaarde plaatsvindt. Het Opstelterrein achter de P+R wordt uitgevoerd in Ballastbed.

2.3.7. *Baanconstructie*

Het uitgangspunt voor de baanconstructie is een betonplaat met een dikte van 50 cm. De betonkwaliteit waar vanuit is gegaan, is B65.

3 Toetsingskader

Verkeer zoals buspassages, trampassages, treinverkeer en bouwwerkzaamheden kunnen aanleiding geven tot trillingen in gebouwen. Deze trillingen kunnen op hun beurt leiden tot schade of hinder. Stichting Bouwresearch (SBR) heeft richtlijnen opgesteld, die criteria geven voor het meten en beoordelen van de trillingssterkte.

Tot op heden zijn de richtlijnen nog niet vastgelegd in wetgeving, maar de richtlijnen worden veelvuldig toegepast. In gevallen waarbij uiteindelijk de rechter werd ingeschakeld speelde de richtlijn van SBR vaak een belangrijke rol. Ook de Raad van State baseert zich bij zijn oordeelsvorming deels op de richtlijnen ten aanzien van trillingen.

De SBR Richtlijn bestaat uit 3 delen:

- Deel A: Schade aan gebouwen
- Deel B: Hinder voor personen in gebouwen
- Deel C: Verstoring van apparatuur

In dit hoofdstuk wordt het relevante toetsingskader van SBR-richtlijnen voor dit project toegelicht. Verkeerstrillingen leiden normaal gesproken niet tot schade aan gebouwen, en de gevoelige apparatuur in de Uithof wordt apart beoordeeld. Het gaat hier om personen in gebouwen die mogelijk hinder hebben van trillingen. De toegepaste en maatgevende richtlijn is daarom SBR trillingsrichtlijn deel B.

In de Uithof bevindt zich gevoelige apparatuur in de nabijheid van de toekomstige trambaan. In de SBR-C richtlijn staat dat de trillingsspecificaties opgegeven door de fabrikant van apparatuur de voorkeur hebben. Zo veel mogelijk is dit ook gedaan in de reeds uitgevoerde onderzoeken die staan beschreven in paragraaf 1.1.1. Voor algemeen toepasbare toetsingswaarden gaat dit onderzoek uit van de VC-curven.

3.1.1. SBR trillingsrichtlijn deel B (hinder voor personen in gebouwen)

De SBR trillingsrichtlijn deel B wordt gebruikt om de toetsingswaarden ten aanzien van de trillingssterkte te bepalen.

Bij de richtlijn zijn er 3 verschillende toetsingswaarden gedefinieerd. De drie toetsingswaarden hebben de volgende betekenis:

toetsingswaarde	betekenis
A1	Onderste streefwaarde voor de trillingssterkte $V_{\max}$
A2	Bovenste streefwaarde voor de trillingssterkte $V_{\max}$
A3	Streefwaarde voor de trillingssterkte over de beoordingsperiode V_{per} . De V_{per} wordt groter naarmate de trilling vaker per uur optreedt.

3.1.2. Uitgangspunten toetsingswaarden

In onderstaand tabel staan de uitgangspunten voor dit onderzoek, nodig voor het bepalen van de streefwaarden.

item	indeling	motivatie
gebouwfunctie	Gezondheidsfunctie, Wonen, Kantoor, Bijeenkomsten en Kritische werkruimte	In de Uithof komt uiteenlopend gebruik van gebouwen voor
trillingsvorm	Herhaald voorkomende trillingen, gedurende lange tijd	busverkeer en tramverkeer valt onder herhaald voorkomende trillingen
oude, gewijzigde of nieuwe situatie	gewijzigd	De Uithoflijn volgt de bestaande busbaan

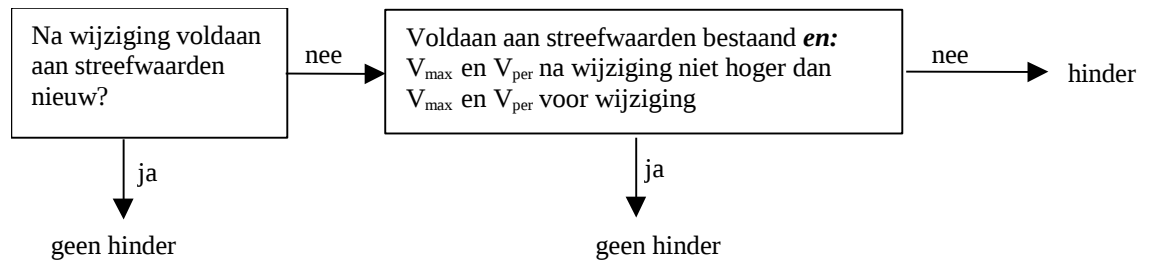
In de Uithof is sprake van een gewijzigde situatie. In dat geval zijn naast de streefwaarden voor nieuwe situaties, ook de streefwaarden voor bestaande situaties van belang.

toetsingswaarden nieuwe situatie, herhaald voorkomende trillingen						
gebouwfunctie	dag en avond			nacht		
	A1	A2	A3	A1	A2	A3
1. Gezondheidszorg	0.1	0.4	0.05	0.1	0.2	0.05
2. Wonen	0.1	0.4	0.05	0.1	0.2	0.05
3. Kantoor	0.15	0.6	0.07	0.15	0.6	0.07
4. Bijeenkomsten	0.15	0.6	0.07	0.15	0.6	0.07
5. Kritische werkruimte	0.1	0.1	-	0.1	0.1	-

toetsingswaarden bestaande situatie, herhaald voorkomende trillingen						
gebouwfunctie	dag en avond			nacht		
	A1	A2	A3	A1	A2	A3
1. Gezondheidszorg	0.2	0.8	0.1	0.2	0.4	0.1
2. Wonen	0.2	0.8	0.1	0.2	0.4	0.1
3. Kantoor	0.3	1.2	0.15	0.3	1.2	0.15
4. Bijeenkomsten	0.3	1.2	0.15	0.3	1.2	0.15
5. Kritische werkruimte	0.1	0.1	-	0.1	0.1	-

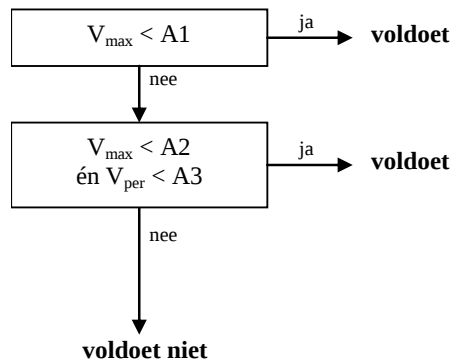
Merk op: een streefwaarde van 0.4 betekent dat de streefwaarde < 0.45 .

Bij een gewijzigde situatie wordt in eerste instantie getoetst aan de streefwaarden voor nieuwe situaties. Indien hieraan niet wordt voldaan mag er worden getoetst aan de streefwaarden voor bestaande situaties mits de trillingssterkte na de wijziging niet hoger is dan voor de wijziging. In onderstaand schema is geïllustreerd hoe de richtlijn werkt in het geval van een gewijzigde situatie.



3.1.3. Interpretatie toetsingswaarden

Voor het beoordelen van de gemeten $v_{\text{eff,max}}$ moet onderstaand schema worden doorlopen. Wanneer de gemeten waarden lager uitvalt dan A1, voldoet de locatie. Wanneer dit niet het geval is, kan via een tweede mogelijkheid de locatie alsnog voldoen. De gemeten V_{max} moet dan lager zijn dan A2, waarbij tevens de gemeten V_{per} lager is dan de opgegeven A3 waarde. De interpretatie staat schematische weergegeven in figuur 4-1.

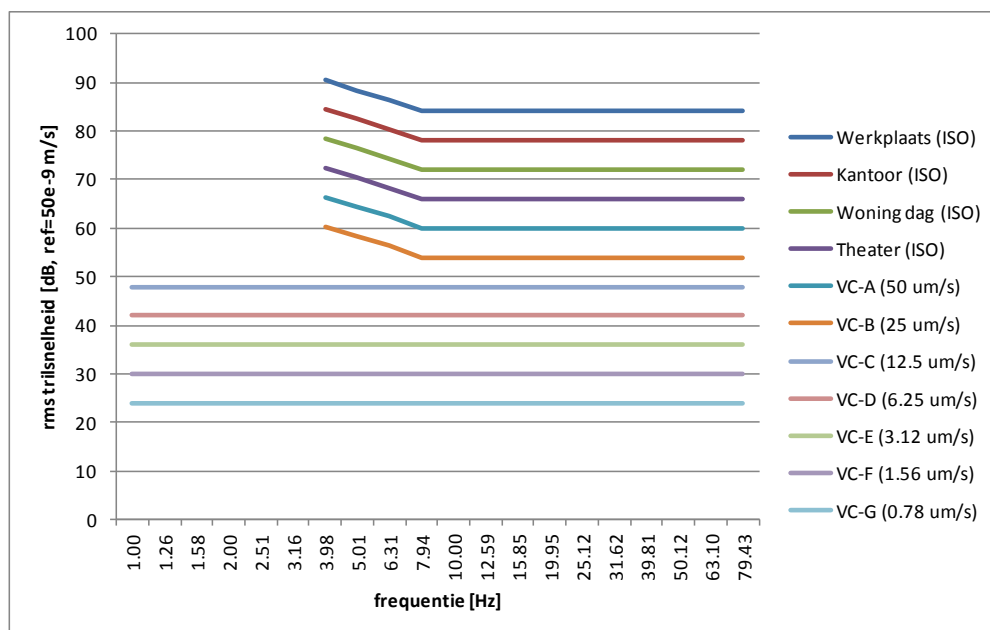


Figuur 4-1 Stroomschema interpretatie toetsingswaarden A1, A2 en A3

3.2 VC-curven

Indien er geen apparaat-specifieke trillingseisen beschikbaar zijn, dan kunnen er algemeen toepasbare trillingscriteria gehanteerd worden. Voor gevoelige apparatuur worden in dat geval vaak de VC-curven gebruikt. De curven zijn in de jaren '80 ontwikkeld door C. Gordon, en in de loop der jaren aangepast en uitgebreid aan de hand van ontwikkelingen in gevoelige apparatuur². In Figuur 3-1 staan de VC-curven uitgedrukt in de dB-schaal die in dit onderzoek wordt aangehouden. In Tabel 3-1 staat beschreven welk type apparatuur nog toegepast kan worden bij een bepaalde VC-curve (overgenomen en vertaald uit ¹)

² Hal Amick, Michael Gendreau en Colin Gordon, *Evolving criteria for research facilities: I - Vibration*, Proceedings of SPIE Conference 5933: Buildings for Nanoscale Research and Beyond, 2005



Figuur 3-1 algemeen toepasbare VC-curven

Tabel 3-1 Omschrijving VC-curven³⁴⁵

	Amplitude ($\mu\text{m/s}$)	Detail grootte μm	Omschrijving
Werkplaats (ISO)	800		Duidelijk voelbare trillingen. Toepasbaar voor werkplaatsen en niet-gevoelige locaties.
Kantoor (ISO)	400		Voelbare trillingen. Toepasbaar voor kantoren en niet-gevoelige locaties.
Woning dag (ISO)	200	75	Nauwelijks voelbare trillingen. Toepasbaar voor locaties waar mensen slapen. Meestal voldoende voor computerapparatuur, ziekenhuiskamers, halfgeleider probe test apparatuur, microscopen <40x
Theater (ISO)	100	25	Niet voelbare trillingen. Geschikt voor operatieruimten, microscopen <100x en andere apparatuur met een lage gevoeligheid
VC-A	50	8	Microscopen <400x, microbalansen, optische balansen, proximity en projectie aligners, etc
VC-B	25	3	Inspectie en lithografie apparatuur (inclusief steppers) tot 3 μm lijndikte
VC-C	12.5	1-3	Standaard microscopen tot 1000x, lithografie en inspectie apparatuur (inclusief weinig gevoelige elektronenmicroscopen) tot 1 μm detailgrootte, TFT-LCD steppers/scanner processen
VC-D	6.25	0.1-0.3	Gevoelige apparatuur inclusief veel elektronenmicroscopen (SEM en TEM) en E-beam systemen
VC-E	3.12	<0.1	Moeilijk haalbaar niveau. Voldoende voor de meest gevoelige systemen, inclusief lange afstand laser-based, kleine doel systemen, E-beam lithografie systemen op nanometer schaal, en andere systemen die een buitengewone dynamische stabiliteit vereisen
VC-F	1.56		Toepasbaar voor extreem rustige onderzoeksruimten; zeer moeilijk te bereiken niveau, vooral in cleanrooms. Niet aanbevolen als design criterium, alleen voor evaluatie.
VC-G	0.78		Toepasbaar voor extreem rustige onderzoeksruimten; zeer moeilijk te bereiken niveau, vooral in cleanrooms. Niet aanbevolen als design criterium, alleen voor evaluatie.

³ Gemeten in 1/3 octaafbanden in het frequentiegebied van 8-80 Hz (VC-A en VC-B) of 1-80 Hz (VC-C tot VC-G)

⁴ De detailgrootte refereert naar de lijndikte bij de fabricage van microelectronica, de deeltjes (cel)grootte bij medische en farmaceutisch onderzoek etc. Niet relevant voor imaging met probe technologieën, AFM's en nanotechnologie

⁵ De informatie in deze tabel is alleen een richtlijn. Bij plaatsing van apparatuur wordt aanbevolen een deskundige in te schakelen.

3.2.1. *Computer- apparatuur*

Voor computerapparatuur wordt uitgegaan van door leveranciers geleverde specificaties tijdens de gebruikstoestand. Dit kan gedefinieerd zijn als bijvoorbeeld een maximale momentane waarde van de versnelling, een maximale PSD (power spectral density) waarde of een maximale rms-waarde (root mean square).

4 Trillingsmodel

Om het trillingsniveau afkomstig van trams en bussen over Uithoflijn te bepalen, is gebruik gemaakt van een aantal trillingsmetingen en trillingsprognoses die reeds zijn uitgevoerd ten behoeve van de Uithoflijn. Het gaat om metingen op de volgende prognoses en metingen:

1. Trillingsprognoses tramverkeer voor diverse locaties met gevoelige apparatuur in de Uithof;
2. Trillingsprognoses Uithoflijn ter bepaling van effect glad spoor op trillingen tramverkeer;
3. Trillingsprognoses ter bepaling effect snelheidsverhoging van 30 naar 50 km/uur Uithoflijn;
4. Trillingsmetingen maaiveld langs bestaande busbaan in de Uithof;
5. Valproefmetingen Uithof, met meetpunten op maaiveld en op funderingsniveau ter bepaling effect fundatie.

4.1.1. Bepaling trillingssterkte als functie van afstand

De relatie tussen de afstand tot de busbaan en het trillingsniveau wordt bepaald met de Barkan vergelijking, die de afname van het trillingsniveau met de afstand beschrijft. De Barkan vergelijking heeft de volgende vorm:



The diagram shows the Barkan equation:
$$V_{eff}(r) = V_0 \cdot e^{-\alpha \left(\frac{r}{r_0} \right)^n}$$
 with a small sketch of a tram on a track to the right.

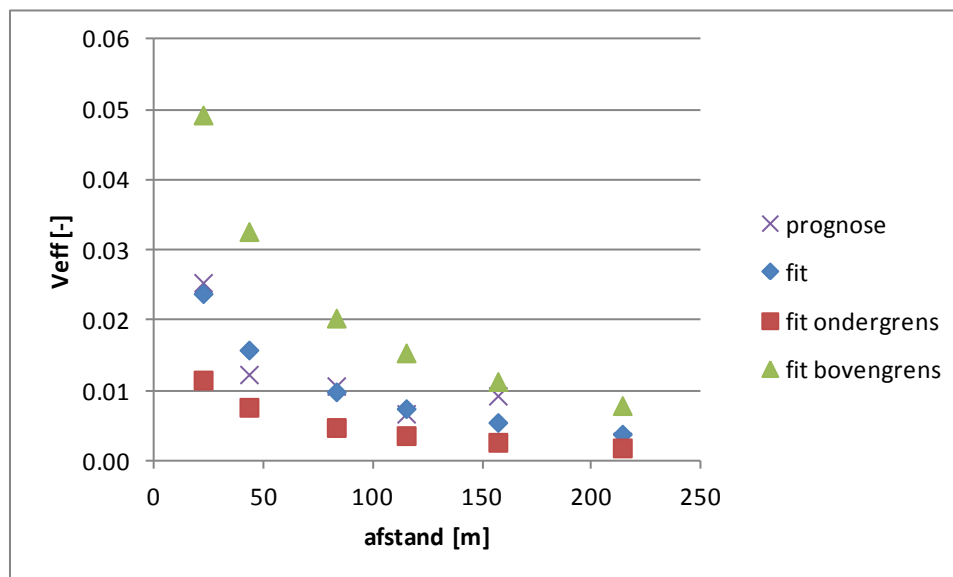
waarin:

$V_{eff}(r)$	de verwachtingswaarde van de effectieve trilsnelheid op afstand r
r	de afstand tot de busbaan
r_0	de referentieafstand, in dit geval 15 meter
n	parameter die de geometrische spreiding beschrijft
α	parameter die de demping in de bodem beschrijft

In de Barkan vergelijking is de referentieafstand r_0 steeds gelijk. Per gebouw verschilt wel de rekenafstand r tot de busbaan en de weg.

4.1.2. Tramverkeer op funderingsniveau

In het trillingsonderzoek naar het verstoringseffect bij gevoelige apparatuur, is voor een aantal locaties het trillingsniveau voorspeld bij een rijdende tram. Deze prognoses zijn gebaseerd op een combinatie van valproefmetingen ter plaatse van de gevoelige apparatuur, en simulaties.



Figuur 4-1 Voorspelde referentie verwachtingswaarde trillingsniveau op fundering voor tram met 30 km/uur, uitgaande van ongunstige spoorligging (FRA 2)

Op basis van deze prognose worden voor het funderingsniveau de volgende Barkanparameters aangehouden:

	$V_{eff}(r_0)$	r_0	n	α
Tram Uithoflijn, funderingsniveau	0.0296	15	0.5	0.0036

4.1.3. Effect glad spoor tramverkeer

In het onderzoek naar trillingsreducerende maatregelen ten behoeve van gevoelige apparatuur, is het effect van een gladder spoor als maatregel beschouwd. Indien er spoor met een zeer goede ligging (FRA klasse 6) wordt toegepast in plaats van de referentie spoorligging (FRA klasse 2), dan reduceert de waarde V_{eff} op verschillende locaties met gemiddeld 50%. In de trillingsprognose wordt een reductie met een factor 2 gehanteerd ten opzichte van de referentie verwachtingswaarde.

4.1.4. Effect snelheid tramverkeer

De referentie trillingsprognose gaat uit van een tramsnelheid van 30 km/uur. Voor een aantal locaties met gevoelige apparatuur in de Uithof is met het prognosemodel voor de gevoelige apparatuur berekend wat het effect is indien de tramsnelheid wordt verhoogd van 30 naar 50 km/uur. Gemiddeld leidde dit tot een 71% hoger trillingsniveau. Deze toename komt ongeveer overeen met de toename die te verwachten is bij een lineair verband tussen de tramsnelheid en het trillingsniveau (67% toename). Het verband tussen de tramsnelheid en het trillingsniveau wordt in de prognose lineair verondersteld. Er wordt gerekend met 2 tramsnelheden: 30 km/uur en 50 km/uur.

4.1.5. busverkeer maaiveld

In 2008 zijn in de Uithof trillingsmetingen op maaiveld uitgevoerd op 2 locaties:

- Langs de Weg tot de Wetenschap tussen het Wentgebouw en het Kruytgebouw;
- Bij de bushalte AZU.

Op basis van deze metingen worden op maaiveldniveau de volgende Barkanparameters aangehouden voor de verwachtingswaarde van een buspassage:

	$V_{eff}(r_0)$	r_0	n	α
Bus Uithoflijn, 50 km/uur	0.08	15	0.5	0.0036

4.1.6. Reductie van maaiveld naar fundering bij busverkeer

De trillingsmetingen van de bussen in de Uithof zijn uitgevoerd op maaiveld. Voor een prognose van het niveau op funderingsniveau is de verhouding tussen het trillingsniveau op de fundering, en het trillingsniveau op maaiveld nodig. Deze verhouding wordt bepaald aan de hand van resultaten van de valproefmetingen die in 2010 op diverse locaties in de Uithof zijn uitgevoerd ten behoeve van de gevoelige apparatuur. Bij deze metingen bevonden zich zowel een meetpunten op maaiveld, als meetpunten op funderingsniveau. Gemiddeld was het trillingsniveau op de fundering 1/3 van het trillingsniveau op maaiveld bij een gelijke afstand tot het valgewicht. Voor het trillingsniveau op de fundering wordt hiertoe het trillingsniveau van de bus op maaiveld vermenigvuldigd met 1/3.

4.1.7. Effect snelheid busverkeer

Het trillingsniveau wordt in de prognose evenredig verondersteld met de rijnsnelheid van de bussen. De prognose gaat standaard uit van een snelheid van 50 km/uur. Voor wegen met een snelheid van 30 km/uur wordt het trillingsniveau met een factor 0.6 (30/50) vermenigvuldigd. Er wordt gerekend met 2 tramsnelheden: 30 km/uur en 50 km/uur.

4.1.8. Effect vloeren

In de Uithof is in de meeste gevallen sprake van stijve vloeren van beton, en zijn ook de gebouwen meestal uitgevoerd met een betonnen draagconstructie. Voor een aantal locaties in de Uithof is ook het trillingsniveau op verdiepingsvloeren bepaald. In vergelijking met het trillingsniveau op funderingsniveau is het trillingsniveau op de verdiepingsvloeren gemiddeld een factor 2 hoger. Voor de versterking van het trillingsniveau van de fundering naar de vloer wordt uitgegaan van een factor 2.

4.1.9. Toegepast prognosemodel

Op basis van de factoren vermeld in de voorgaande paragrafen, kunnen de Barkan parameters worden vastgesteld voor tramverkeer en busverkeer, ter plaatse van de verdiepingsvloeren. Dankzij de toepassing van het “gladde spoor”, is de verwachting dat een tram ongeveer even veel trillingen veroorzaakt als een bus.

Tabel 4-1 Toegepaste Barkanparameters voor trillingsprognose Uithof (verwachtingswaarde)

	$V_{eff}(r_0)$	r_0	n	α
Tram Uithoflijn, 30 km/uur, glad spoor, verdiepingsvloer	0.0296	15	0.5	0.0036
Tram Uithoflijn, 50 km/uur, glad spoor, verdiepingsvloer	0.0493	15	0.5	0.0036
Bus Uithoflijn, 30 km/uur, verdiepingsvloer	0.032	15	0.5	0.0036
Bus Uithoflijn, 50 km/uur, verdiepingsvloer	0.053	15	0.5	0.0036

4.1.10. Betrouwbaarheid trillingsprognose

In elke trillingsprognose zit een bepaalde onzekerheid. De betrouwbaarheid hangt onder meer af van modelonzekerheden en onzekerheden wat betreft de invoer. Onzekerheden in de invoer bestaan onder meer uit de bodemeigenschappen, de eigenschappen van de busbaan, de eigenschappen van de gebouwen, de eigenschappen van de bussen en conditie van de busbaan.

In dit onderzoek worden de onzekerheden gekwantificeerd met spreidingsfactoren. Een spreidingsfactor geeft aan hoeveel hoger de bovengrens (95%-waarde) is dan de verwachtingswaarde. De 95%-waarde is de waarde die met een kans van 95% niet wordt overschreden. Een spreidingsfactor van 0.1 betekent bijvoorbeeld dat de bovengrens 10% hoger is dan de verwachtingswaarde. Hierbij wordt uitgegaan van een lognormale kansverdeling. Verschillende spreidingsfactoren kunnen als volgt (energetisch) gesommeerd worden om tot een totale spreidingsfactor te komen.

$$\text{factortotaal}^2 = \text{facotr1}^2 + \text{facotr2}^2 + \text{facotr3}^2$$

In Tabel 4-2 staan de gehanteerde spreidingsfactoren in dit onderzoek. De spreidingsfactoren zijn gebaseerd op expert judgement (o.a. ervaringen met variatie in meetresultaten en trillingsprognoses). De totale spreidingsfactor in dit onderzoek is 1.7, wat leidt een bovengrenswaarde die 170% hoger is dan de verwachtingswaarde. De spreidingsfactor wordt zowel voor het tramverkeer als voor het busverkeer aangehouden.

Tabel 4-2 spreidingsfactoren gebaseerd op expert judgement

onderdeel	factoren	spreiding
Bron	model	0.2
	wielonrondheid	0.4
	spooroneffenheid	0.3
	bodemeigenschappen	1
	trameigenschappen	0.5
	tramsnelheid	0.5
Overdracht	valgewicht	0
	keuze meetpunten	0.2
	keuze bronlocatie	0.2
	gevoeligheid	
	belastingfunctie	0.2
Gebouw	vertaling maaiveld naar vloer	1
	meting	0
totaal		1.7

4.2 Trillingsmodel ten behoeve van VC-contouren

Voor de bepaling van de VC-contouren is een aangepast trillingsmodel gebruikt. Voor verschillende locaties in de Uithof waar trillingsprognoses met behulp van valproefmetingen zijn uitgevoerd, is de verhouding tussen de hoogste tertsbandwaarde en de waarde V_{eff} bepaald. Hieruit komt gemiddeld de volgende relatie naar voren voor de hoogste tertsbandwaarde:

$$tertsbandwaarde = 250 * V_{eff} [\mu m/s]$$

De bijbehorende spreidingsfactor voor de verhouding tussen de tussen de hoogste tertsbandwaarde en de waarde V_{eff} bedraagt 1. Dit leidt tot een totale spreidingsfactor van 2. Zoals weergegeven in Tabel 4-3.

Tabel 4-3 spreidingsfactoren gebaseerd op expert judgement

onderdeel		spreiding
Tabel 4-2	totaal	1.7
verhouding	Terts/Veff	1
totaal		2.0

5 Resultaten

5.1 Verstoring van apparatuur

5.1.1. Resultaten uit eerder onderzoek

Als maatregel om verstoring van gevoelige apparatuur te voorkomen of beperken zullen er strenge eisen aan de bovenbouwconstructie en baanconstructie gesteld worden. Desondanks is het mogelijk dat bij een aantal locaties nog verstoring van apparatuur optreedt als de Uithoflijn in bedrijf is. Het gaat om de volgende locaties:

Tabel 5-1 Locaties waar mogelijk maatregelen bij de apparatuur nodig is, op basis van huidige stand van zaken wat betreft immuniteitsniveaus

		Maatregelen bij apparatuur nodig	
		worst case, geen maatregelen spoor	glad spoor
Kruidgebouw west 5e en 6e verdieping	Elektronenmicroscopen	X	X
	Ultramicrotomen	X	X
Bloemberggebouw, grote hal, kleine hal	NMR spectrometers	X	X
AZU H2	Elektronenmicroscopen	X	X
	Ultramicrotomen	X	
AZU vleugel Q00, E00, CBOI	MRI	X	
WKZ vleugel KC	microscopen	X	

Op basis van metingen in de huidige situatie en tijdens de testfase van de Uithoflijn, zal worden bepaald bij welke van bovenstaande locaties daadwerkelijk maatregelen nodig zijn. Hiertoe stelt de POUHL in overleg met de Universiteit Utrecht een criterium vast op basis waarvan wordt besloten of maatregelen gehonoreerd worden.

5.1.2. Verstoring apparatuur, VC-curven

In Bijlage II staan de contouren van de VC-curven geprojecteerd op een luchtfoto van de Uithof. De contouren geven indicatief aan vanaf welke afstand een bepaalde categorie apparatuur geplaatst kan worden zonder dat er verstoring van trillingen te verwachten is. De contouren zijn gegeven tot op ruim 200 meter van de trambaan. Op begane grondniveau kan op deze afstand naar verwachting apparatuur uit de klasse VC-E geplaatst worden. Op verdiepningsniveau is op 200 meter van de trambaan plaatsing van apparatuur uit de klasse VC-D mogelijk.

In de contourplots zijn alleen trillingen ten gevolge van busverkeer en tramverkeer opgenomen. In de Uithof zullen ook trillingen van overige bronnen aanwezig zijn zoals verkeer op overige wegen in de Uithof, verkeer over de snelwegen, liften in gebouwen, klimaatbehandeling in gebouwen, voetstappen van personen in gebouwen etc. Verder zijn de trillingen in een gebouw sterk afhankelijk van de locatiekenmerken zoals de eigenschappen van de bodem en het gebouw. Bij plaatsing van gevoelige apparatuur dient elke locatie daarom door een deskundige te worden beschouwd.

5.2 SBR-B contouren

In Bijlage III zijn de SBR-B contouren tot op 100 meter afstand opgenomen voor verschillende gebouwfuncties:

1. Overschrijding kantoor, ook van toepassing voor onderwijs en bijeenkomst
2. Overschrijding wonen, ook van toepassing voor gezondheidszorg

3. Overschrijding kritische werkruimte

De overschrijdingen van de SBR-B streefwaarden blijven beperkt tot maximaal 20 meter afstand van het tracé. De afstand van de contouren tot het tracé is het grootst op locaties waar 50 km/uur gereden wordt. Hiervan is sprake op de Weg tot de Wetenschap, en op de Heidelberglaan vanaf de Halte AZU tot aan het eindpunt bij het P+R terrein. Verder valt op dat de contouren voor de gebouwfunctie "kantoor" en de gebouwfunctie "wonen" dicht bij elkaar liggen. Dit komt omdat vanwege de hoge verkeersintensiteit de streefwaarde A3 voor V_{per} in de dagperiode maatgevend is. De streefwaarden A3 voor de gebouwfunctie "kantoor" en "wonen" liggen dicht bij elkaar, respectievelijk 0.07 en 0.05.

5.3 Resultaten bestemmingen

In Bijlage IV staan de resultaten van de bestemmingen in de Uithof die beoordeeld zijn. De tabel bevat de volgende items:

ID	ID overeenkomend met kaarten Bijlage I
Naam	Naam gebouw
Adres	Adres gebouw
gebruiksfunctie	gebruiksfunctie
SBR-B categorie	1: Kritische werkruimte 2: Wonen en gezondheidszorg 3: Kantoor, onderwijs en bijeenkomst
x	Rijksdriehoeks X coördinaat [m]
y	Rijksdriehoeks Y coördinaat [m]
V_{nul}	V_{max} huidige situatie
V_{per} nul dag	V_{per} dagperiode huidige situatie
V_{per} nul avond	V_{per} avondperiode huidige situatie
V_{per} nul nacht	V_{per} nachtperiode huidige situatie
V_{eind}	V_{max} toekomstige situatie
V_{per} eind dag	V_{per} dagperiode toekomstige situatie
V_{per} eind avond	V_{per} avondperiode toekomstige situatie
V_{per} eind nacht	V_{per} nachtperiode toekomstige situatie
SBR-B streefwaarden	SBR-B beoordeling

Het grootste deel van de bestemmingen voldoet aan de SBR-B streefwaarden. Alleen bij de volgende locatie treden overschrijdingen op:

- UMCU AZU vleugel L, beoordeeld als gezondheidszorg.

Deze locatie ligt dicht bij de trambaan, op het gedeelte met een ontwerpsnelheid van 50 km/uur. Deze locaties komt in aanmerking voor een nader onderzoek (stap 3 en 4 in paragraaf 1.4) met meer nauwkeurige prognoses, en eventueel een beschouwing van maatregelen.

5.4 Resultaten computerapparatuur

Ten aanzien van verstoring van computerapparatuur door trillingen is er één kritische locatie waar nader onderzoek is verricht⁶. Het betreft het rekencentrum van het AZU, dat is gevestigd in de energiecentrale van het AZU. Uit de resultaten van dit onderzoek volgt dat er geen verstoring van de computerapparatuur te verwachten is.

⁶ ITC-rapport D79-WGA-KA-1300013 "Uithoflijn Trillingen in rekencentrum AZU", versie 1.0, 21 november 2013

5.5 Effect boogverruiming CBOI

De boogverruiming om het CBOI gebouw heeft ten aanzien van het aspect trillingen geen grote gevolgen. Met de boogverruiming blijven dezelfde locaties ten aanzien van trillingsgevoelige apparatuur in beeld, en ten aanzien van hinder voor personen treedt een beperkt positief effect op doordat de trambaan verder van enkele gebouwen tussen de halte AZU en de halte WKZ af komt te liggen.

6 Nader onderzoek overschrijdingslocatie

Uit het fase 1 onderzoek naar trillingshinder voor personen in gebouwen is 1 knelpuntlocatie naar voren gekomen:

- UMCU AZU vleugel L, beoordeeld als gezondheidszorg.

Volgens het stappenplan in paragraaf 1.4 is de volgende stap in dat geval fase 2 (Knelpunteninventarisatie aan de hand van indicatieve metingen). Het gaat hier om slechts 1 locatie, en daarom is er in plaats van een indicatieve meting (op maaiveld), direct een trillingsmeting in het betreffende gebouw uitgevoerd. De meting, en tevens een prognose voor de toekomstige situatie staat beschreven in het meetrapport⁷.

Uit de prognose van het meetrapport blijkt het huidige gemeten trillingsniveau gedomineerd wordt door de thans aanwezige voegovergang van asfalt naar beton. In de toekomst is deze voegovergang er niet meer, want in de omgeving van de meetlocatie wordt de gehele busbaan als een betonnen baan uitgevoerd. De daarbij te verwachten trillingsniveaus zijn dan:

Tabel 2 Aangepaste prognose trillingsniveau UMCU AZU vleugel L

$V_{\max, \text{dag, avond, nacht}}$	0.19
$V_{\text{per, dag}}$	0.04
$V_{\text{per, avond}}$	0.02
$V_{\text{per, nacht}}$	0.01

Deze waarden voldoen aan de streefwaarden voor nieuwe situaties.

⁷ ITC-rapport D79-WGA-KA-1300014 “Trillingsonderzoek Academisch Ziekenhuis Utrecht, Vleugel-L Trillingen tengevolge van busverkeer”, versie 1.0, 21 november 2013

7 Conclusies

De verstoring van trillingsgevoelige apparatuur wordt onderzocht in een separaat onderzoek. Op basis van dit onderzoek heeft de POUHL gekozen voor een bovenbouwconstructie met ingegoten spoor en een zeer goede spoorligging. Voor zover er dan nog maatregelen nodig zijn, dan worden deze getroffen bij de gevoelige apparatuur zelf. De volgende locaties zijn hiervoor in beeld:

- Kruytgebouw west, 5e en 6e verdieping;
- Bloembergengebouw
- AZU, vleugel H2
- AZU, vleugel Q00, E00 en CBOI-gebouw
- WKZ vleugel KC

Voor toekomstige plaatsing van apparatuur zijn de indicatieve trillingscontouren voor de VC-curven een hulpmiddel. Hieruit blijkt dat op begane grondniveau op circa 200 meter van de trambaan apparatuur uit de klasse VC-E geplaatst kan worden en op verdiepingvloeren apparatuur uit de klasse VC-D.

Ook verstoring van computerapparatuur door trillingen afkomstig van de Uithoflijn is onderzocht. Uit het onderzoek volgt dat er geen verstoring van computerapparatuur te verwachten is.

Ten aanzien van de hinder voor personen in gebouwen volgen uit de trillingsprognoses de volgende conclusies:

- Door de toepassing van glad spoor blijft het maximale trillingsniveau van een trampassage ongeveer gelijk aan het maximale trillingsniveau van een buspassage;
- De hinder voor personen in de Uithof blijft beperkt tot een zone van circa 20 meter vanaf het tracé van de Uithoflijn;
- De hoogste trillingsniveaus komen voor op de gedeelten met een maximumsnelheid van 50 km/uur;
- Overschrijdingen van de SBR-B streefwaarden worden niet verwacht.

Verder heeft de boogverruiming om het CBOI gebouw geen wezenlijke verandering voor trillingen ten opzichte van het tracé over de huidige busbaan.

Colofon

Opdrachtgever Project Organisatie Uithoflijn
Martijn Donders

Uitgave ITC Utrecht B.V.

Divisie Ruimte, Mobiliteit en Infra
Afdeling Infrastructuur: Kunstwerken en Wegen

Daalseplein 100
Postbus 2855
3500 GW Utrecht

Telefoon 030 265 3304

Ondertekenaar Rudolf van Aken
Projectmanager

Projectnummer IN160695

Opgesteld door Wybo Gardien

© 2013, Movares Nederland B.V.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand of openbaar gemaakt in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Movares Nederland B.V.

Bijlage I Trace Uithoflijn

Deze bijlage bevat het tracé van de Uithoflijn, en de huidige en toekomstige bustracés.



Legenda

Bestemmingen — tramsporen

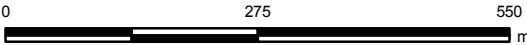


Postbus 2855
3500 GW Utrecht
Tel.: 030-2653670

Uithoflijn trillingen

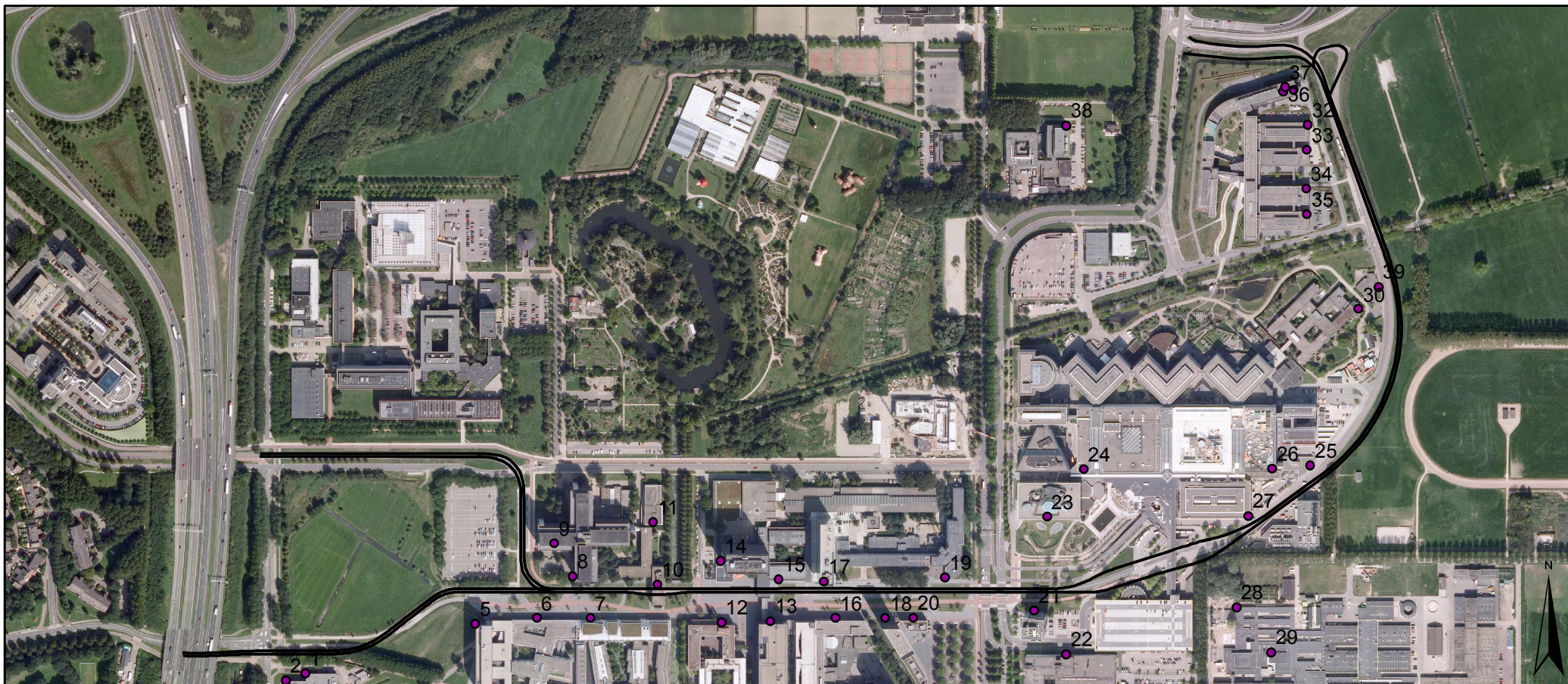
tramsporen

Auteur	W. Gardien	Datum	26-9-2013
Bedrijfsonderdeel	RM-IS-WAG	Formaat	A4 liggend (breed)
Geografische Informatie Systemen	Schaal	1 : 8266.6	



Status	Vrijgave
--------	----------

Doc.nr.



Legenda

Bestemmingen bustrace_toekomst



Movares

Postbus 2855
3500 GW Utrecht
Tel.: 030-2653670

Uithoflijn trillingen

toekomstig bustrace

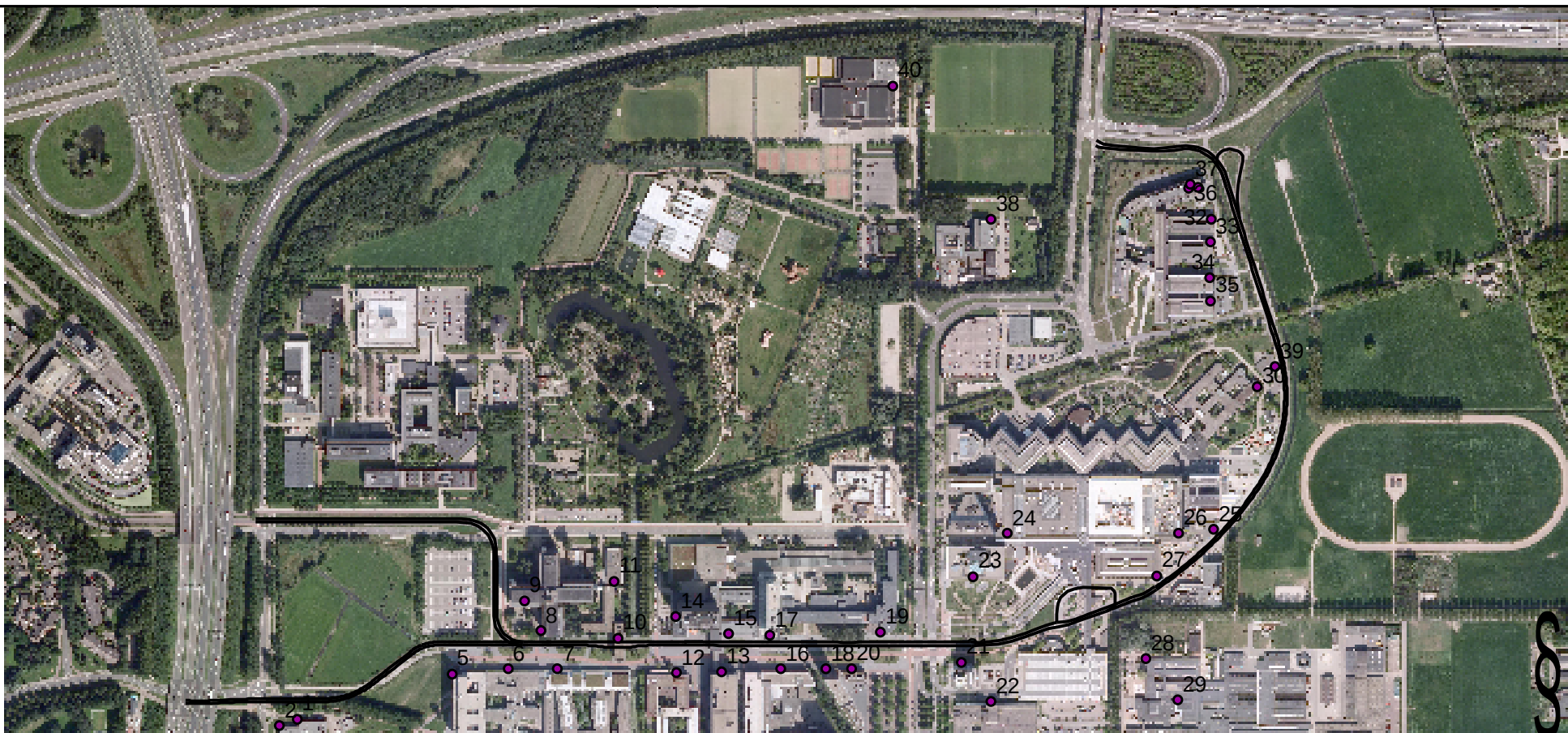
Auteur	W. Gardien	Datum	26-9-2013
Bedrijfsonderdeel	RM-IS-WAG	Formaat	A4 liggend (breed)
Geografische Informatie Systemen	Schaal	1 : 7038.4	

0 230 460
m

Status

Vrijgave

Doc.nr.



Legenda

Bestemmingen bustrace_huidig



Movares

Postbus 2855
3500 GW Utrecht
Tel.: 030-2653670

Uithoflijn trillingen

huidig bustrace

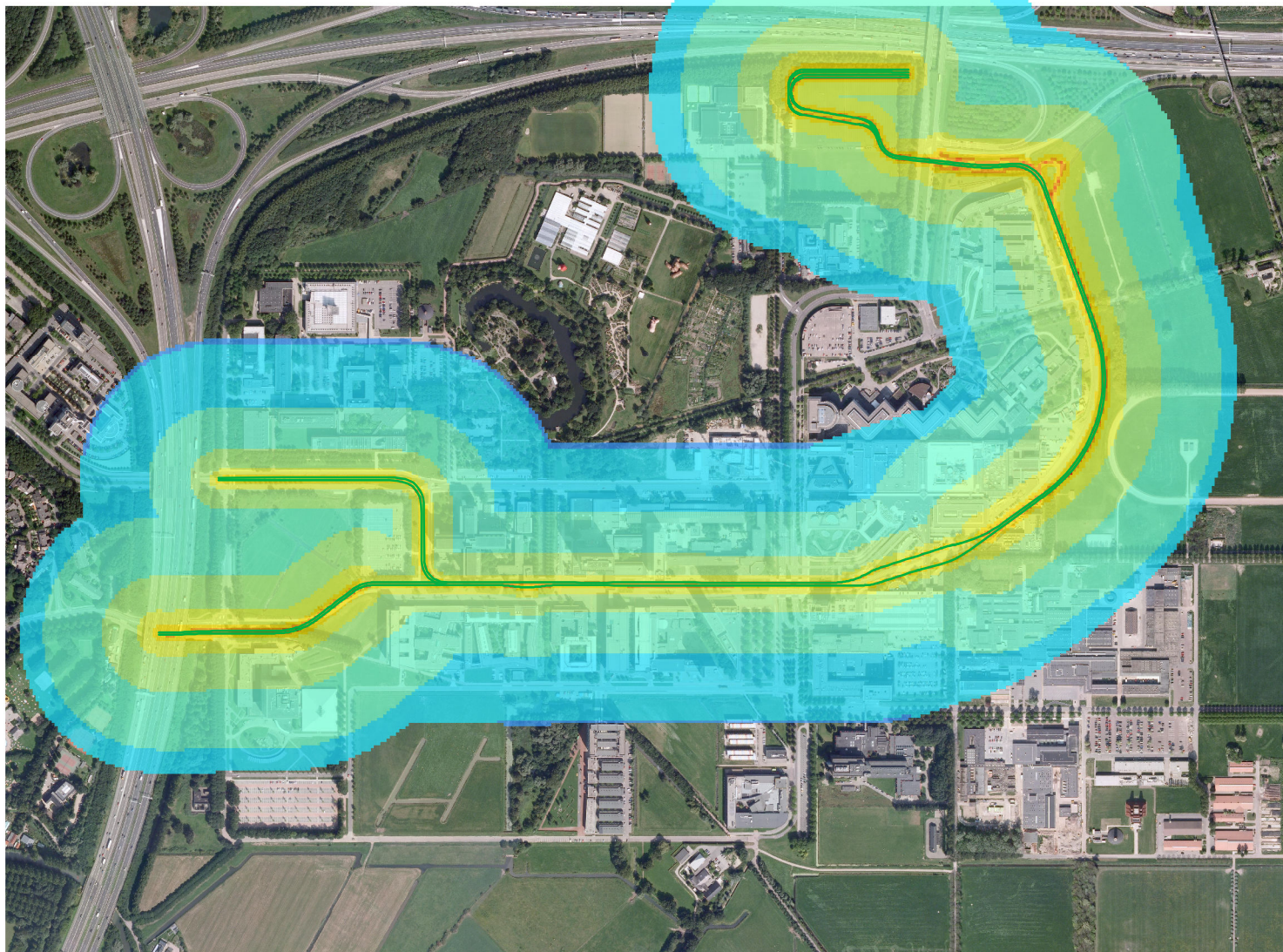
Auteur	W. Gardien	Datum	16-11-2012
Bedrijfsonderdeel	IN-B&B-MN&O	Formaat	A4 liggend (breed)
Geografische Informatie Systemen	Schaal	1 : 8257.2	

0 275 550 m

Status	Vrijgave
--------	----------

Doc.nr.

Bijlage II VC-curve contouren



Legenda

VC-contouren verdieping

- VC-G
- VC-F
- VC-E
- VC-D
- VC-C
- VC-B
- VC-A
- Theater (ISO)
- Woning dag (ISO)
- Kantoor (ISO)
- Werkplaats (ISO)



Movares

Postbus 2855
3500 GW Utrecht
Tel.: 030-2653670

Uithoflijn trillingen

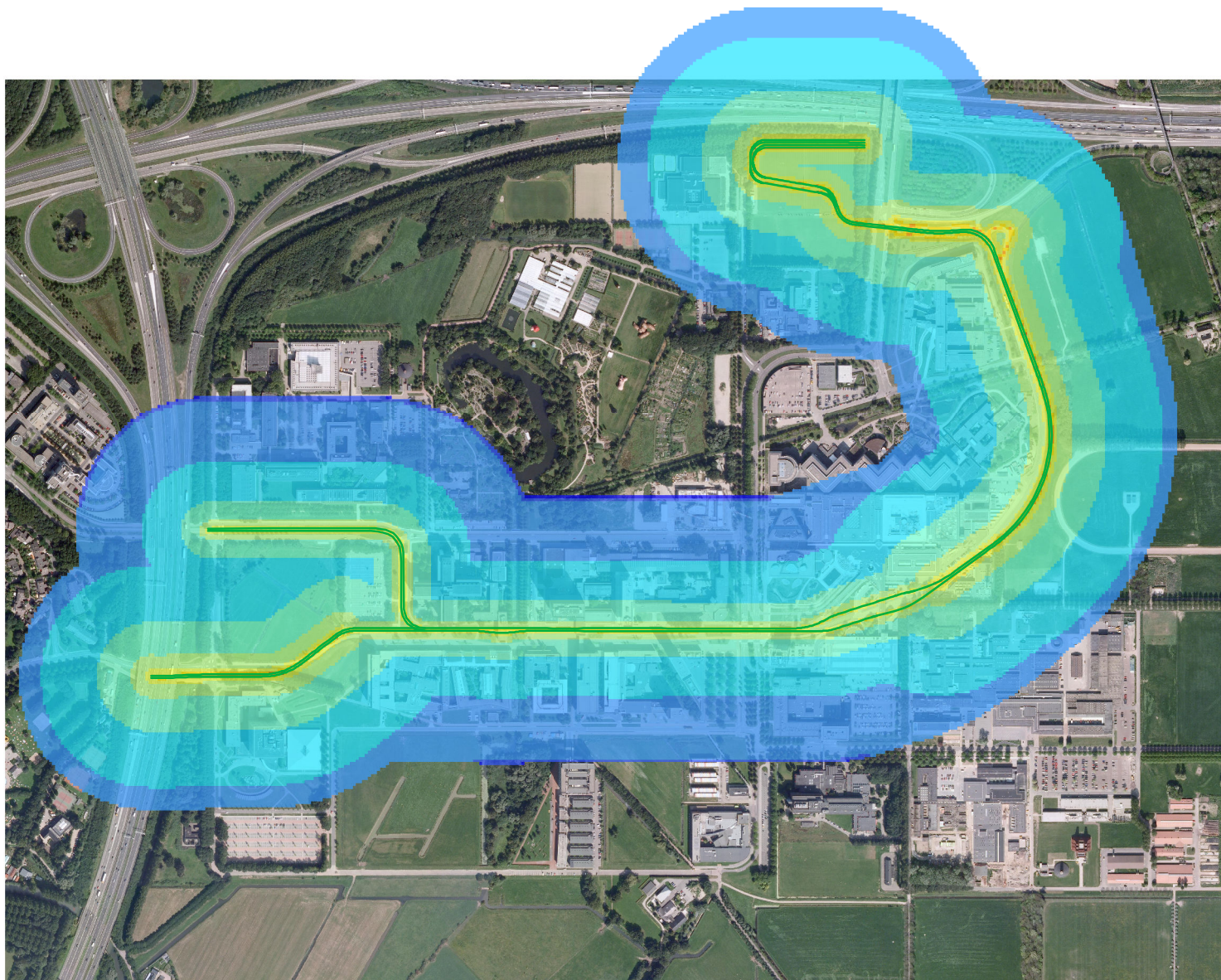
VC-contouren verdieping

Auteur	W. Gardien	Datum	26-9-2013
Bedrijfsonderdeel	RM-IS-WAG	Formaat	A4 liggend
Geografische Informatie Systemen		Schaal	1 : 10431

0 310 620
m

Status Vrijgave

Doc.nr.



Legenda

VC-contouren begane grond

- VC-G
- VC-F
- VC-E
- VC-D
- VC-C
- VC-B
- VC-A
- Theater (ISO)
- Woning dag (ISO)
- Kantoor (ISO)
- Werkplaats (ISO)



Movares

Postbus 2855
3500 GW Utrecht
Tel.: 030-2653670

Uithoflijn trillingen

VC-contouren begane grond

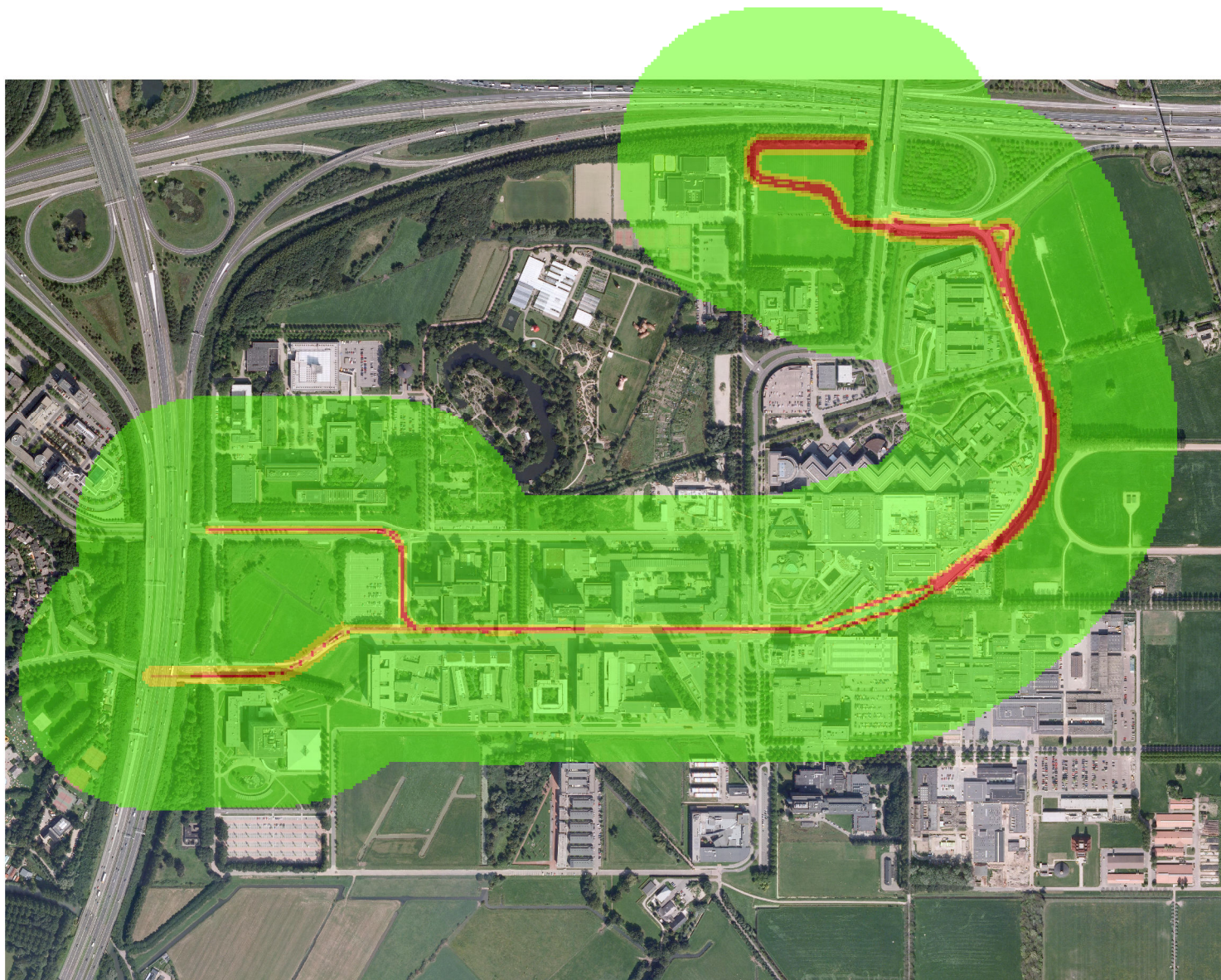
Auteur	W. Gardien	Datum	26-9-2013
Bedrijfsonderdeel	RM-IS-WAG	Formaat	A4 liggend
Geografische Informatie Systemen		Schaal	1 : 10431

0 310 620 m

Status Vrijgave

Doc.nr.

Bijlage III SBR-B contouren



Legenda

- Overschrijding kantoor
- Overschrijding wonen
- Overschrijding kritische werkruimte
- Geen overschrijding



Movares

Postbus 2855
3500 GW Utrecht
Tel.: 030-2653670

Uithoflijn trillingen

SBR-B beoordeling

Auteur	W. Gardien	Datum	26-9-2013
Bedrijfsonderdeel	RM-IS-WAG	Formaat	A4 liggend
Geografische Informatie Systemen		Schaal	1 : 10431

0 310 620
m

Status

Vrijgave

Doc.nr.

Bijlage IV resultaten beoordelingspunten

Id	Naam	Adres	gebruiksfunctie	SBR-B Categorie	Verdieping	apparatuur	x	y	x	y	V nul	Vper nul dag	Vper nul avond	Vper nul nacht	V eind	Vper eind dag	Vper eind avond	Vper eind nacht	SBR-B streefwaarden	
1	F.A.F.C. Wentgebouw / Farmacie	Sorbonnelaan 16	Onderwijs	3	2	0	139717	455095	139717	455095	0.11	0.02	0.01	0	0.11	0.02	0.01	0	voldoet	
2	F.A.F.C. Wentgebouw	Sorbonnelaan 16	Onderwijs	3	2	0	139693	455086	139693	455086	0.09	0.01	0.01	0	0.09	0.01	0	0	voldoet	
3	F.A.F.C. Wentgebouw / Biologie	Sorbonnelaan 16	Onderwijs	3	2	0	139689	455046	139689	455046	0.05	0	0	0	0.05	0	0	0	voldoet	
4	F.A.F.C. Wentgebouw	Sorbonnelaan 16	Onderwijs	3	8	0	139726	455047	139726	455047	0.05	0	0	0	0.05	0	0	0	voldoet	
5	HU Faculteit Educatie	Padualaan 97	Onderwijs	3	9	0	139926	455156	139926	455156	0.07	0.01	0	0	0.07	0.01	0	0	voldoet	
6	HU Faculteit Communicatie en Journalistiek	Padualaan 99	Onderwijs	3	3	0	140001	455163	140001	455163	0.06	0	0	0	0.06	0	0	0	voldoet	
7	HU Faculteit Economie & Management	Padualaan 101	Onderwijs	3	3	0	140068	455163	140068	455163	0.06	0	0	0	0.06	0	0	0	voldoet	
8	H.R. Kruytgebouw	Padualaan 8	Onderwijs/ Kantoor	3	9	0	140045	455214	140045	455214	0.09	0.02	0.01	0	0.09	0.02	0.01	0	voldoet	
9	H.R. Kruytgebouw / 5,6 EM	Padualaan 8	Gevoelige werkruimte	1	9	1	140023	455255	140023	455255	0.05	0	0	0	0.05	0	0	0	voldoet	
10	Centrumgebouw Noord	Padualaan 14	Onderwijs/ Kantoor	3	4	0	140149	455204	140149	455204	0.17	0.05	0.02	0.01	0.17	0.05	0.02	0.01	voldoet	
11	Nicolaas Bloemberggebouw	Padualaan 8	Gevoelige werkruimte	1	2	1	140144	455281	140144	455281	0.03	0	0	0	0.03	0	0	0	voldoet	
12	Martinus J. Langeveldgebouw	Heidelberglaan 1	Onderwijs/ Kantoor	3	3	0	140228	455158	140228	455158	0.05	0	0	0	0.05	0	0	0	voldoet	
13	Universiteitsbibliotheek	Heidelberglaan 3	Onderwijs/ Kantoor	3	3	0	140289	455159	140289	455159	0.05	0	0	0	0.05	0	0	0	voldoet	
14	Willem C. Van Unnikgebouw	Heidelberglaan 2	Onderwijs/ Kantoor	3	22	0	140227	455233	140227	455233	0.05	0	0	0	0.05	0	0	0	voldoet	
15	Willem C. Van Unnikgebouw	Heidelberglaan 2	Onderwijs/ Kantoor	3	2	0	140298	455211	140298	455211	0.1	0.02	0.01	0	0.1	0.02	0.01	0.01	voldoet	
16	HU Faculteit Maatschappij en Recht	Heidelberglaan 7	Onderwijs	3	4	0	140368	455163	140368	455163	0.06	0	0	0	0.06	0	0	0	voldoet	
17	Studentenwoningen Casa Confetti (377)	Leuvenplein	woonfunctie	2	20	0	140354	455208	140354	455208	0.12	0.03	0.01	0.01	0.12	0.03	0.01	0.01	voldoet	
18	Studentenwoningen De Bisschoppen	Salamancapad	woonfunctie	2	20	0	140429	455163	140429	455163	0.06	0	0	0	0.06	0	0	0	voldoet	
19	Bestuursgebouw	Heidelberglaan 8	Onderwijs / Kantoor	3	5	0	140503	455213	140503	455213	0.09	0.02	0.01	0	0.09	0.02	0.01	0	voldoet	
20	Studentenwoningen laagbouw	Salamancapad	woonfunctie	2	4	0	140464	455163	140464	455163	0.06	0	0	0	0.06	0	0	0	voldoet	
21	Matthias Geunsgebouw	Bolognalaan 2-48	Kantoor	3	13	0	140612	455172	140612	455172	0.07	0.01	0.01	0	0.07	0.01	0	0	voldoet	
22	Nieuw Gildestein	Bolognalaan 50	Onderzoek / Onderw	3	4	1	140652	455119	140652	455119	0.03	0	0	0	0.03	0	0	0	voldoet	
23	UMCU A.A. Hijmans van den Berghgebouw	Universiteitsweg 98	Onderwijs / Kantoor	3	5	0	140628	455287	140628	455287	0.03	0	0	0	0.03	0	0	0	voldoet	
24	UMCU AZU H3	Heidelberglaan 100	Onderzoek	1	5	0	140673	455346	140673	455346	0.02	0	0	0	0.02	0	0	0	voldoet	
25	UMCU AZU Q00	Heidelberglaan 100	Onderz / Ziekenhuis	1	3	1	140952	455351	140952	455351	0.19	0.05	0.02	0.01	0.14	0.04	0.02	0.01	voldoet	
26	UMCU AZU E00	Heidelberglaan 100	Onderz / Ziekenhuis	1	3	1	140905	455346	140905	455346	0.08	0.01	0.01	0	0.08	0.01	0.01	0	voldoet	
27	UMCU AZU L	Heidelberglaan 100	Ziekenhuis	2	3	0	140875	455288	140875	455288	0.17	0.04	0.02	0.01	0.19	0.06	0.03	0.02	voldoet niet	
28	Prof. dr. H. Jakobgebouw 108	Yalelaan 108	Onderzoek / Onderw	1	1	0	140861	455177	140861	455177	0.04	0	0	0	0.04	0	0	0	voldoet	
29	Prof. dr. H. Jakobgebouw 108 Operatiemicroscop	Yalelaan 108	Onderzoek	1	2	1	140903	455121	140903	455121	0.03	0	0	0	0.03	0	0	0	voldoet	
30	UMCU AZU A	Heidelberglaan 100	Ziekenhuis	2	2	0	141011	455543	141011	455543	0.09	0.01	0.01	0	0.07	0.01	0	0	voldoet	
31	UMCU WKZ KC	Lundlaan 6	Onderzoek / Ziekenh	1	5	1	140931	455812	140931	455812	0.08	0.01	0	0	0.09	0.02	0.01	0	voldoet	
32	UMCU WKZ KF	Lundlaan 6	Onderzoek / Ziekenh	1	3	1	140948	455769	140948	455769	0.09	0.01	0.01	0	0.09	0.02	0.01	0	voldoet	
33	UMCU WKZ KG	Lundlaan 6	Onderzoek / Ziekenh	1	3	1	140947	455738	140947	455738	0.08	0.01	0	0	0.07	0.01	0	0	voldoet	
34	UMCU WKZ KH	Lundlaan 6	Onderzoek / Ziekenh	1	3	1	140947	455691	140947	455691	0.06	0.01	0	0	0.06	0.01	0	0	voldoet	
35	UMCU WKZ KJ	Lundlaan 6	Onderzoek / Ziekenh	1	3	1	140947	455659	140947	455659	0.06	0	0	0	0.05	0	0	0	voldoet	
36	UMCU WKZ KC 01	Lundlaan 6	Onderzoek / Ziekenh	1	5	1	140918	455810	140918	455810	0.07	0	0	0	0.08	0.01	0	0	voldoet	
37	UMCU WKZ KC 03	Lundlaan 6	Onderzoek / Ziekenh	1	5	1	140920	455816	140920	455816	0.07	0.01	0	0	0.09	0.02	0.01	0	voldoet	
38	CBS	Uppsalaalaa 8	Onderzoek	1	3	1	140652	455768	140652	455768	0.01	0	0	0	0.03	0	0	0	voldoet	
39	Nieuwbouw Fritz Redlschool	Heidelberglaan 100	Onderwijs	3	1	0	141035	455570	141035	455570	0.2	0.05	0.02	0.01	0.13	0.04	0.01	0.01	voldoet	
40	Sportcentrum Olympos	Uppsalaalaa 3	Recreatie	3	1	0	140520	455949	140520	455949	0.01	0	0	0	0.07	0.01	0	0	voldoet	