

D79-PBO-KA-1700088

23 juni 2017- Versie 1.0

Autorisatieblad

Snelheidsverhoging Hoogeveen

Trillingsonderzoek t.b.v. bestemmingsplan en vormvrije mer

	Naam	Paraaf	Datum
Opgesteld door	ir. P.M. Boon		
Gecontroleerd door	Gardien, W		
Vrijgegeven door	Driel, A van		

Samenvatting

In het kader van het *Programma Noord Nederland (PNN)*, bedoeld om de economische groei en bereikbaar van het noorden van Nederland te verbeteren, wordt het project *Snelheidsverhoging Hoogeveen* gerealiseerd. Binnen dit project wordt het spoor aangepast om een rijtijdwinst van 74 seconden en een betere overstap op regionale lijnen in Groningen te realiseren voor doorgaande intercity's. Hiervoor dient de snelheid bij Hoogeveen te worden verhoogd van 80 naar 140 km/h, en moeten de relatief krappe bogen bij Hoogeveen worden verruimd. Door deze wijzigingen in spoorgebruik, spoorligging en rijnsnelheid kunnen de trillingen in woningen in de nabijheid van het spoor toenemen.

Doel van dit onderzoek is om ten behoeve van een vormvrije mer-beoordeling en het bestemmingsplan vast te stellen of er sprake is van een toename van de trillingen tijdens de exploitatie- of bouwfase, en of dat leidt tot schade of hinder aan gebouwen, apparatuur of personen. Wanneer dat het geval is, worden maatregelen afgewogen om de (toename in) hinder te mitigeren.

Uit het onderzoek naar trillingshinder volgt dat:

- De trillingen nemen beperkt toe ten gevolge van het project, met name door de hogere rijnsnelheid van de treinen, in combinatie met het dichterbij komen van de sporen op een aantal locaties. De toename is echter niet voelbaar;
- Bij een aantal locaties is een afname van de trillingen zichtbaar, door het verwijderen van wissels of het verder weg komen te liggen van sporen. Dit is met name het geval voor woningen in de nabijheid van de Toldijk;
- Er zijn geen overschrijdingen van het beoordelingskader voor trillingshinder, de Bts. Het project leidt niet tot voelbare toenames in trillingshinder, en de trillingssterkte V_{max} en trillingsintensiteit V_{per} blijven onder de grenswaarden.

Het is daarom niet noodzakelijk om mitigerende maatregelen voor trillingshinder te overwegen voor dit project.

Uit het onderzoek naar trillingsschade volgt dat er geen kans op trillingsschade is tijdens de bouw- en exploitatiefase van het project.

Verder is in het onderzoek gekeken naar verstoring van trillingsgevoelige apparatuur. Alleen bij het Bethesdaziekenhuis is sprake van mogelijke verstoring van gevoelige apparatuur, zoals MRI-scanners en microscopen. De trillingen nemen hier slechts beperkt toe door het project (maximaal 20 procent), maar zijn nu naar verwachting ook al ruim hoger dan de eisen voor deze apparatuur. Het is echter mogelijk dat de niveaus in de huidige situatie nog net voldoen (bijvoorbeeld door lokale aanpassingen bij de apparatuur), en in de toekomstige situatie niet meer. Wij adviseren om voor dit gebouw nader onderzoek uit te voeren in de vorm van locatiebezoek en, indien nodig, metingen om de huidige situatie vast te leggen.

Begrippenlijst

Bts	Beleidsregel trillinghinder spoor, beoordelingsrichtlijn van de Staatssecretaris van Infrastructuur en Milieu ten aanzien van trillinghinder t.b.v. de vaststelling van Tracébesluiten voor de aanleg, wijziging of opnieuw in gebruik nemen van een landelijke spoorweg, d.d. 10 april 2012, Staatscourant. 2012, nr. 7532 en de bijbehorende wijzigingen van 24 maart 2014, Staatscourant. 2014, nr. 8251
SBR-richtlijn	Door de Stichting BouwResearch opgestelde richtlijn om trillingen te beoordelen. De richtlijn bestaat uit 3 delen: <ul style="list-style-type: none">• Deel A: schade aan gebouwen;• Deel B: hinder voor personen in gebouwen;• Deel C: verstoring van apparatuur.
Huidige situatie	Huidige situatie. In dit onderzoek wordt als jaartal 2015 gehanteerd, de meest recente nalevingsgegevens zijn namelijk afkomstig van dit jaartal.
Referentiesituatie	Huidige situatie plus autonome ontwikkelingen tot het jaar 2030
Plansituatie	Situatie die ontstaat na realisatie van het project, in het planjaar 2030.
VibraDyna	Een door Movares ontwikkeld trillingsmodel dat de trillingen van weg- en railverkeer berekent. In dit onderzoek is gebruik gemaakt van versie 1.5. Dit model is in het verleden al uitvoerig geverifieerd, zie ook Bijlage I.
V_{max}	Maximaal optredende trillingssterkte gedurende de meetperiode, bepaald conform de Bts. De trillingssterkte neemt niet toe bij een groter aantal treinen.
V_{per}	Trillingsintensiteit gedurende de dagperiode (7:00 tot 19:00), avondperiode (19:00 tot 23:00) of nachtperiode (23:00 tot 7:00). De trillingsintensiteit is te vergelijken met het tijdsgemiddelde van de trillingen, waarbij hoge trillingssterktes zwaarder meetellen dan lagere trillingssterktes. De trillingsintensiteit neemt toe bij een groter aantal treinen.
Q	Verhouding tussen de trillingssterkte in de plansituatie en de referentiesituatie.

Inhoudsopgave

Samenvatting	2
Begrippenlijst	3
1 Inleiding	6
1.1 Achtergrond van dit rapport	6
1.2 Doel van het onderzoek	6
1.3 Algemeen onderzoekskader	6
1.4 Toegepaste kaders en uitgangspunten	6
1.5 Leeswijzer	6
2 Situatiebeschrijving	7
2.1 Studiegebied	7
2.2 Referentiesituatie	7
2.2.1. <i>Huidige situatie</i>	7
2.2.2. <i>Autonome ontwikkelingen</i>	8
2.3 Plansituatie (na realisatie project)	8
2.3.1. <i>Uitgangspunten</i>	8
2.3.2. <i>Spoorgebruik</i>	8
2.3.3. <i>Treinsnelheid</i>	9
2.3.4. <i>Treinintensiteit</i>	9
2.3.5. <i>Cumulatie met overige trillingsbronnen</i>	10
3 Onderzoeksopzet	11
3.1 Onderzoek naar trillingsschade	11
3.2 Onderzoek naar trillingshinder	11
3.3 Onderzoek naar verstoring van apparatuur	12
4 Beoordelingskader trillingen	13
4.1 Beoordeling verstoring van gevoelige apparatuur	13
4.2 Beoordeling trillingshinder	13
4.3 Beoordeling trillingsschade	14
5 Trillingshinder	15
5.1 Inleiding	15
5.2 Resultaten berekeningen	15
5.2.1. <i>Huidige situatie</i>	15
5.2.2. <i>Plansituatie</i>	16
5.3 Vergelijking trillingscontouren	17
5.4 Aandachtslocaties	19
6 Verstoring van apparatuur	20
6.1 Inleiding	20
6.2 Beoordeling	20
7 Conclusies en aanbevelingen	22
Colofon	23

Bijlage I VibraDyna

Bijlage II **Beoordelingskader**

Bijlage III **Wijzigingen in sporenlay-out**

Bijlage IV **Resultaten bodemonderzoek en maaiveldmetingen**

Bijlage V **Resultaten trillingsonderzoek**

1 Inleiding

1.1 Achtergrond van dit rapport

In het kader van het *Programma Noord Nederland (PNN)*, bedoeld om de economische groei en bereikbaar van het noorden van Nederland te verbeteren, wordt het project *Snelheidsverhoging Hoogeveen* gerealiseerd. Binnen dit project wordt het spoor aangepast om een rijtijdwinst van 74 seconden en een betere overstap op regionale lijnen in Groningen te realiseren. Hiervoor dient de snelheid bij Hoogeveen te worden verhoogd van 80 naar 140 km/h, en moeten de relatief krappe bogen bij Hoogeveen worden verruimd.

Door deze wijzigingen in spoorgebruik, spoorligging en rijnsnelheid kunnen de trillingen in woningen in de nabijheid van het spoor toenemen.

1.2 Doel van het onderzoek

Doel van dit onderzoek is om ten behoeve van een vormvrije mer-beoordeling en het bestemmingsplan vast te stellen of er sprake is van een toename van de trillingen tijdens de exploitatie- of bouwphase, en of dat leidt tot schade of hinder aan gebouwen, apparatuur of personen. Wanneer dat het geval is, worden maatregelen afgewogen om de (toename in) hinder te mitigeren.

1.3 Algemeen onderzoekskader

Het projectgebied waarbinnen het project voor wijzigingen zorgt, ligt tussen km. 18.80 en km. 24.15. Buiten deze zone vinden geen wijzigingen aan de spoorligging plaats.

1.4 Toegepaste kaders en uitgangspunten

De SBR-richtlijn (deel A – trillingsschade aan gebouwen en deel C – verstoring van gevoelige apparatuur) vormen samen met de Bts (trillingshinder) het beoordelingskader in dit onderzoek.

1.5 Leeswijzer

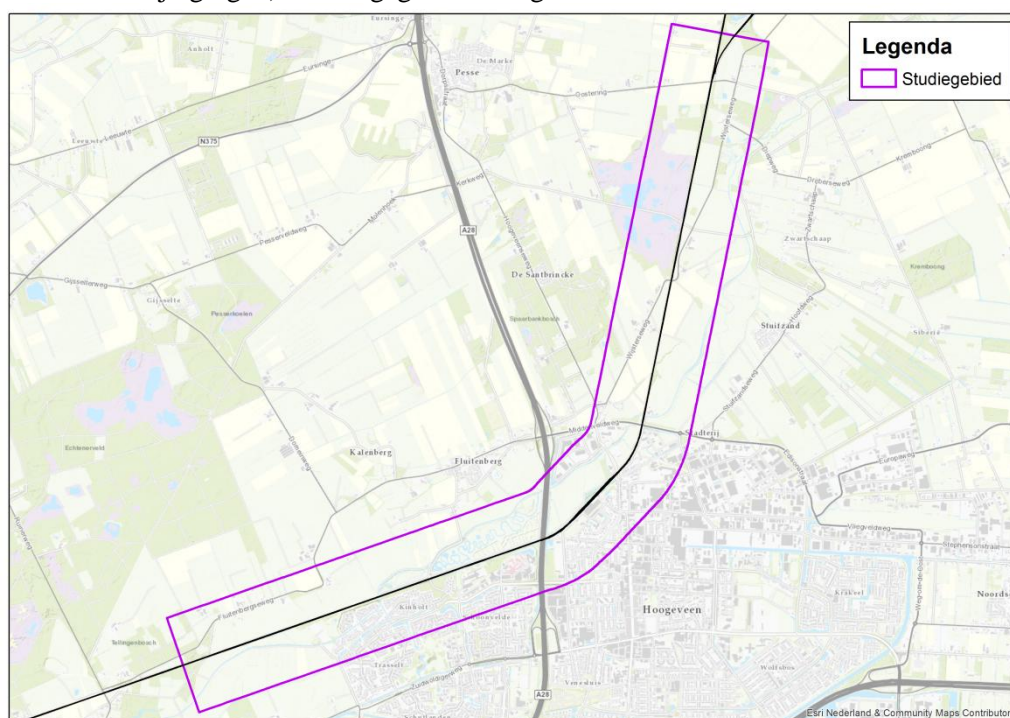
In hoofdstuk 2 is een situatiebeschrijving opgenomen, hoofdstuk 3 bevat een beschrijving van de onderzoeks aanpak, hoofdstuk 4 het beoordelingskader, hoofdstuk 5 de beoordeling van trillingsschade en hoofdstuk 6 de beoordeling van trillingshinder.

2 Situatiebeschrijving

In dit hoofdstuk wordt het studiegebied gedefinieerd, wordt een toelichting gegeven op de relevante wijzigingen in het studiegebied, en worden de kaders en uitgangspunten voor het onderzoek toegelicht.

2.1 Studiegebied

Het tracédeel waarop dit trillingsonderzoek betrekking heeft, is het gebied tussen km. 15.283 (iets voorbij de Hooimaatsdijk) tot km. 24.688 (iets voorbij de splitsing van het spoor naar VAM bij Wijster). Buiten deze zone vinden geen fysieke wijzigingen plaats, ook de invloed van de snelheidsverhoging vindt plaats binnen deze zone. Het studiegebied is groter dan het projectgebied, omdat snelheidwijzigingen als gevolg van het project zich verder uitstrekken. Buiten deze zone zorgt het project niet voor wijzigingen. Het voor dit onderzoek gehanteerde studiegebied (zone van 500 meter rondom de wijzigingen) is weergegeven in Figuur 2-1.



Figuur 2-1 Studiegebied trillingsonderzoek

2.2 Referentiesituatie

In deze paragraaf is een beschrijving van de referentiesituatie opgenomen. De referentiesituatie is de situatie waarin het project niet is gerealiseerd, en bestaat uit de huidige situatie, aangevuld met autonome ontwikkelingen die dus los staan van het project.

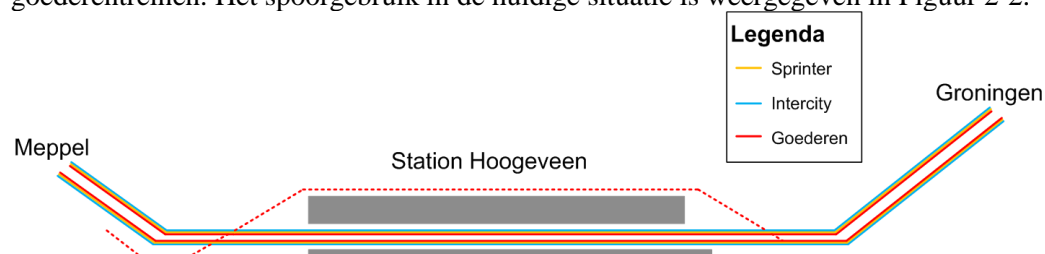
2.2.1. Huidige situatie

In de Bts worden de trillingen beoordeeld ten opzichte van de huidige situatie. Als huidige situatie geldt de spoorligging van 2015, vóór aanvang van de werkzaamheden ten behoeve van het project.

In de huidige situatie is station Hoogeveen een stopstation, intercity's remmen in verband met de krappe bogen af naar 80 km/h en versnellen dan weer naar 140 km/h. De snelheidsprofielen in de huidige situatie zijn gebaseerd op de nalevingsverslagen

van 2015. De in dit onderzoek gehanteerde maximale snelheden van reizigers- en goederentreinen zijn weergegeven in Figuur 2-4.

Station Hoogeveen kent een zij- en een eilandperron, met een wachtspoor voor goederentreinen. Het spoorgebruik in de huidige situatie is weergegeven in Figuur 2-2.



Figuur 2-2 Lijnvoeringsschema in huidige en referentiesituatie (onderbroken lijnen is bijsturing)

De treinaantallen per uur per richting zijn weergegeven in Tabel 2-1.

2.2.2. Autonome ontwikkelingen

In het studiegebied vinden een aantal wijzigingen plaats in bebouwing. Ten zuiden van station Hoogeveen worden nieuwe kantoren en woningen gebouwd, bovendien wordt station Hoogeveen aangepast in het kader van het project. Van beide projecten zijn de exacte woonvlakken en gebouwfmetingen nog niet volledig bekend, zodat een gedetailleerde berekening niet kan worden uitgevoerd. In dit onderzoek is daarom rekening gehouden met de maximale afmetingen en hoogtes, dit leidt tot een conservatieve (bovengrens) inschatting van de trillingen.

2.3 Plansituatie (na realisatie project)

Deze paragraaf bevat een beschrijving van de plansituatie die ontstaat na realisatie van het project. De belangrijkste wijzigingen zijn veranderingen in spoorligging, spoorgebruik en het verwijderen van een aantal wissels rond het station.

2.3.1. Uitgangspunten

Voor de plansituatie is in het trillingsonderzoek gebruik gemaakt van de tekeningen van het project *Snelheidsverhoging Hoogeveen*¹. Ten opzichte van de referentiesituatie zijn in de plansituatie de volgende zaken gewijzigd:

1. Sporenlay-out (en samenhangend ook het spoorgebruik). Het ontwerp voorziet in een reductie van het aantal sporen en de realisatie van een extra zijperron in plaats van het huidige middenperron. Een beschrijving van de wijzigingen in de sporenlay-out is opgenomen in Bijlage III;
2. Toename van de rijnsnelheid van goederentreinen (van 80 naar 95 km/h) en van doorgaande intercity's (van 80 naar 140 km/h);
3. Autonome groei van het aantal goederentreinen tot 2030. Dit is een autonoom effect, buiten het project om.

2.3.2. Spoorgebruik

Het spoorgebruik is weergegeven in Figuur 2-3.

¹ Tekeningen Snelheidsverhoging Hoogeveen, Movares, C30-AMO-AU-1700087, 21 februari 2017
D79-PBO-KA-1700088 / Proj.nr. RA003194 / Vrijgegeven / Versie 1.0 / 23 juni 2017
Divisie Ruimte, Mobiliteit en Infra/Afdeling Infrastructuur:Waterbouw, Geotechniek en Dynamica

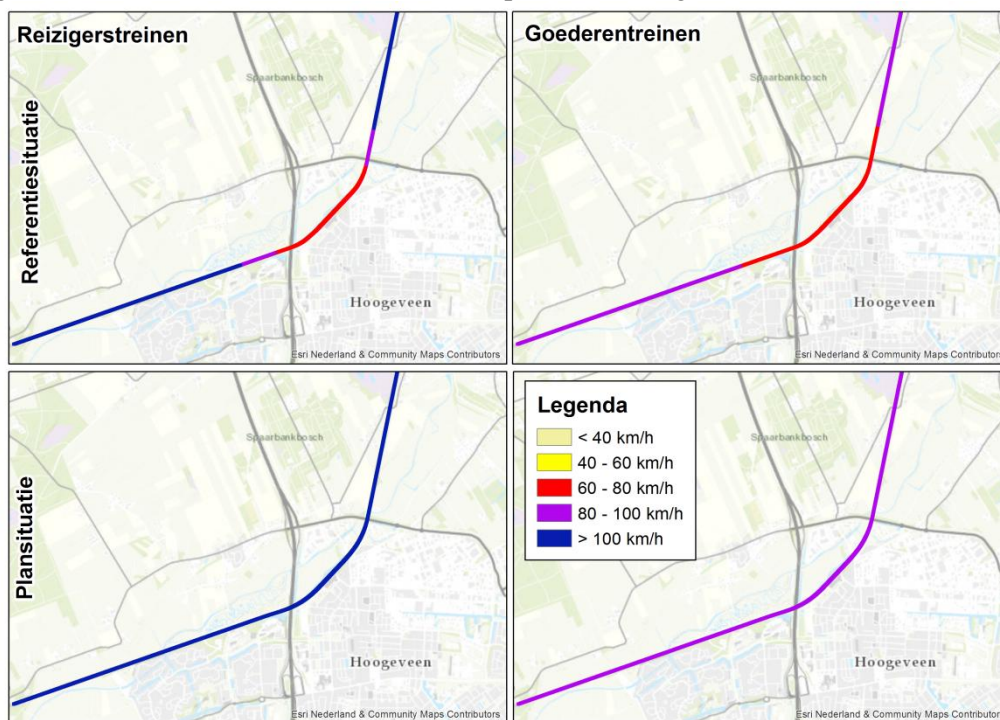


Figuur 2-3 Lijnvoeringschema in plansituatie

Het project leidt niet tot significante wijzigingen in taludgeometrie. Wel zijn op enkele locaties nieuwe of gewijzigde waterpartijen voorzien. De terrehoogte is gebaseerd op de hoogtekarten van het Algemeen Hoogtebestand Nederland (AHN2). Wijzigingen zijn gebaseerd op de tekeningen van het spoorontwerp.

2.3.3. Treinsnelheid

Voor de snelheidsprofielen worden de maximale te hanteren snelheden gebruikt, deze zijn bepaald aan de hand van de seinplaatsing en de aanzet- en remcurves van de diverse treintypes. Het project leidt tot snelheidsverhoging voor intercity's en goederentreinen, en in mindere mate voor sprinters, zie Figuur 2-4.



Figuur 2-4 Maximale snelheden voor reizigers- (links) en goederentreinen (rechts) in de huidige en referentie- (boven) en plansituatie (onder)

2.3.4. Treinintensiteit

De treinintensiteiten in 2015 en 2030 zijn weergegeven in Tabel 2-1. De treinaantallen zijn etmaalgemiddelden, afgeleid van jaarprognoses, en gebaseerd op de prognose voor de plansituatie. Het project leidt niet tot wijzigingen in treinaantallen, wel wordt een autonome groei van het aantal goederentreinen voorzien. De intensiteiten in de referentiesituatie zijn identiek aan die in de plansituatie.

Tabel 2-1 Treinaantallen per uur per richting

Treintype en verbinding	Dag (7:00 – 19:00)		Avond (19:00 – 23:00)		Nacht (23:00 – 7:00)	
	2015	2030	2015	2030	2015	2030
Intercity	1.98	1.98	1.75	1.75	0.43	0.43
Sprinter	1.98	1.98	1.75	1.75	0.30	0.30
Goederen	0.12	0.35	0.19	0.38	0.12	0.24

2.3.5. *Cumulatie met overige trillingsbronnen*

De cumulatie van de trillingen van treinverkeer met andere trillingsbronnen kan leiden tot hogere trillingen dan wanneer de verschillende trillingsbronnen afzonderlijk worden bekeken. In het studiegebied kan cumulatie optreden met zwaar wegverkeer, zoals bussen en vrachtverkeer. In de praktijk treedt cumulatie op wanneer aan onderstaande twee condities wordt voldaan:

1. Beide trillingsbronnen hebben vergelijkbare trillingssterktes. Dit betekent doorgaans dat de afstand tot beide trillingsbronnen vergelijkbaar moet zijn, maar ook dat het type trillingsbron vergelijkbaar moet zijn. De trillingspectra van bussen en vrachtwagens hebben andere karakteristieken dan treinen, zodat er gewoonlijk geen sprake zal zijn van significante versterking van de trillingen bij gelijktijdige passage;
2. Beide trillingsbronnen treden gelijktijdig op. In de praktijk betekent dit dat op het moment van een treinpassage ook een ander voertuig langskomt wat vergelijkbare trillingen veroorzaakt. Dit zal alleen optreden bij drukke vervoerslijnen, zoals buslijnen en intensief door vrachtverkeer gebruikte wegen.

In het studiegebied worden alle wegen parallel aan het spoor (en op korte afstand van het spoor) slechts beperkt door vracht- en busverkeer bereden. Verder gaat het in deze gevallen om wegen die niet vlak langs bebouwing lopen. Daarom wordt niet voldaan aan beide condities, er zal daarom geen significante cumulatie optreden.

3 Onderzoeksopzet

Dit trillingsonderzoek bestaat uit drie onderdelen:

- Onderzoek naar trillingsschade tijdens de realisatie- en exploitatiefase. Voor de realisatiefase wordt voor gebouwen in de nabijheid van bouwwerkzaamheden een beoordeling uitgevoerd op de SBR A-richtlijn. De kans op trillingsschade tijdens de exploitatiefase wordt eveneens beoordeeld op de SBR A-richtlijn;
- Onderzoek naar trillingshinder tijdens de exploitatiefase ten behoeve van het bestemmingsplan. In dit deel van het onderzoek worden alle gebouwen in een zone van 500 meter rond het spoor beoordeeld op het vigerende beoordelingskader, de Bts;
- Onderzoek naar verstoring van (trillings)gevoelige apparatuur tijdens de realisatie- en exploitatiefase. Voor beide fases wordt een analyse uitgevoerd naar de kans op verstoring van apparatuur in gebouwen in de nabijheid van het spoor (zone van minder dan 200 meter, daarbuiten zullen lokale trillingen van wegverkeer voor hogere trillingen zorgen).

In de volgende paragrafen wordt de gevolgde aanpak nader toegelicht.

3.1 Onderzoek naar trillingsschade

Gezien de hoogte van de trillingssnelheden van het treinverkeer in het studiegebied is schade aan gebouwen tijdens de exploitatiefase onwaarschijnlijk. De verwachte trillingen bij gebouwen zijn ruim lager dan de grenswaarden uit de SBR A-richtlijn.

Voor trillingsschade tijdens de bouwfase geldt dat er binnen het projectgebied geen bouwwerkzaamheden worden uitgevoerd die tot hoge trillingsniveaus leiden. Heien van palen en het intrillen van damwanden komen, op basis van het huidige ontwerp, niet voor. De fundatie van de nieuwe fietsbrug bij de A28 wordt op geboorde palen gerealiseerd, ook de nieuw te realiseren voetgangersbruggen worden op lichte constructies gerealiseerd. Deze, en overige bouwactiviteiten leiden niet tot overschrijdingen van de SBR A-richtlijn. Er is daarom geen kwantitatief onderzoek uitgevoerd naar trillingsschade ten gevolge van het project.

3.2 Onderzoek naar trillingshinder

Ten behoeve van het onderzoek naar trillingshinder is een onderzoek uitgevoerd met behulp van het rekenmodel *VibraDyna*² op basis van metingen in het studiegebied. Met dit model kan voor elk gebouw een uitspraak worden gedaan over de kans op het wel of niet overschrijden van de streefwaarden uit de Bts na realisatie van het project. Een beschrijving van het rekenmodel *VibraDyna* is opgenomen in Bijlage I, de gebruikte meetdata waarmee bijvoorbeeld de uitdemping van de trillingen met de afstand zijn bepaald, zijn opgenomen in Bijlage IV.

Om een goede predictie te maken van de trillingssituatie, heeft Movares het rekenmodel *VibraDyna* ontwikkeld op basis van een groot aantal metingen die in geheel Nederland zijn uitgevoerd, aangevuld met gegevens uit modelberekeningen. Met dit model wordt voor het gehele studiegebied de trillingssituatie in beeld gebracht op basis van locatiespecifieke metingen in Hoogeveen. Het model wordt toegepast op een zone van 500 meter aan weerszijden van de sporen. Op grotere afstand tot het

² *VibraDyna* is een door Movares ontwikkeld rekenmodel, gebaseerd op empirische formules, modelberekeningen en een groot aantal metingen, dat de trillingen van weg- en railverkeer berekent. In dit onderzoek is gebruik gemaakt van versie 1.5.

spoor is geen significante toename in trillingshinder te verwachten en zijn de trillingssterktes lager dan de streefwaarden uit de Bts. Trillingen zijn op dergelijke grote afstanden doorgaans niet voelbaar.

Met het model worden voor alle gebouwen in het studiegebied in de huidige, referentie- en plansituatie de trillingssterkte V_{max} en de trillingsintensiteit V_{per} bepaald. Door de rekenresultaten in de referentie- en plansituatie te beoordelen op de Bts, wordt zichtbaar voor welke locaties er een kans is op overschrijden van het beoordelingskader.

Voor locaties die op basis van de rekenresultaten niet voldoet aan de Bts worden maatregelen afgewogen op doelmatigheid.

Het onderzoek naar trillingshinder is beschreven in hoofdstuk 5.

3.3 Onderzoek naar versterking van apparatuur

Aan de hand van gegevens van de Kamer van Koophandel en van bedrijven is een onderzoek uitgevoerd naar de aanwezigheid van trillingsgevoelige apparatuur in de nabijheid van het spoor. Bedrijven waar, op basis van de gegevens van de Kamer van Koophandel of de eigen website, gevoelige apparatuur wordt verwacht, en waarvan op basis van de website en plattegronden niet kan worden vastgesteld welke apparatuur aanwezig is, worden gevisiteerd om vast te stellen of er sprake is van gevoelige apparatuur.

Het onderzoek naar versterking van apparatuur is beschreven in hoofdstuk 6.

4 Beoordelingskader trillingen

Treinverkeer, maar ook bouwwerkzaamheden en wegverkeer, kunnen aanleiding geven tot trillingen in gebouwen. Deze trillingen kunnen leiden tot verstoring van gevoelige apparatuur, hinder of schade. In dit trillingsonderzoek worden alle drie de aspecten van trillingen beschouwd. De gehanteerde beoordelingsmethodiek voor zowel verstoring van gevoelige apparatuur, trillingshinder als trillingsschade wordt in dit hoofdstuk nader toegelicht.

4.1 Beoordeling verstoring van gevoelige apparatuur

In het kader van dit onderzoek is een analyse uitgevoerd om vast te stellen of er mogelijk sprake is van verstoring van gevoelige apparatuur. Hiervoor is bepaald of er bedrijven aanwezig zijn die gebruik maken van gevoelige apparatuur in de nabijheid van het spoor. Uit een analyse blijkt dat alleen in ziekenhuis Bethesda in Hoogeveen sprake is van gevoelige apparatuur, zoals microscopen en MRI-apparatuur. Dergelijke apparatuur dient gewoonlijk te voldoen aan de VC-C curve³.

4.2 Beoordeling trillingshinder

Tot op heden zijn richtlijnen voor trillingshinder nog niet vastgelegd in wetgeving, zoals dat bijvoorbeeld voor geluidhinder wel het geval is. De minister van Infrastructuur en Milieu heeft in 2012 een *Beleidsregel trillinghinder spoor* (Bts) opgesteld, die een wijziging van en aanvulling op de eerder gebruikte SBR B-richtlijn is. In 2014 is een aangevulde versie van de Bts gepubliceerd. De Bts 2014 vult de SBR B-richtlijn met name aan op de volgende onderdelen:

1. De normstelling voor het al dan niet treffen van maatregelen. De Bts geeft aan wanneer maatregelen dienen te worden afgewogen ter mitigatie van de trillinghinder die zal ontstaan als gevolg van de aanleg of wijziging van een spoorweg;
2. Een introductie van een kosteneffectiviteitscriterium. In dit kosteneffectiviteitscriterium wordt uitsluitend gegeven of bepaalde maatregelen, gezien de kosten, effectiviteit, milieu- en maatschappelijke impact en de mate van trillingshinder voldoende kosteneffectief zijn. In het bestemmingsplan wordt een richtbedrag van € 47.000 per woning met overschrijdingen genoemd⁴. Voor kantoren wordt een bedrag van € 500 per werkplek aangehouden⁵;
3. De trillingssterkte V_{max} wordt bepaald over een meetperiode van tenminste 1 week. Het resultaat is het maximale niveau in een week, vergelijkbaar met de grootheid $V_{max,stat}$ van de SBR B-richtlijn. De meetmethode en de naverwerkingsmethode zijn gebaseerd op die van de SBR B-richtlijn, maar verder uitgebreid met het doel de reproduceerbaarheid van de metingen en berekeningen te vergroten. Deze methodiek is nauwkeurig beschreven in een memo van Level Acoustics⁶;
4. Introductie van een zogenaamde *R*-waarde, die een indicatie is van de reproduceerbaarheid van de meting. De *R*-waarde is uitgedrukt als een onzekerheidspercentage van de $V_{max, Bts}$. Gestreefd wordt naar een *R*-waarde van kleiner dan 10 procent;

³ Op basis van eerdere onderzoeken bij LUMC, VUMC en UMC

⁴ Dit bedrag is gebaseerd op een Maatschappelijke Kosten Baten Analyse (MKBA), een methodiek om de maatschappelijk gezien acceptabele kosten van een maatregel te bepalen. Deze MKBA is uitgevoerd door Witteveen+Bos, Royal Haskoning DHV en TNO, zie Tuijgrok, dr. ir. E.C.M., e.a., *Doelmatigheidsstoetsing Trillingsreducerende Maatregelen Spoor*, Witteveen+Bos, juni 2013, projectcode ut702-1-1

⁵ Hiervoor is het richtbedrag voor woningen gecorrigeerd voor bezettingsgraad, verblijfsduur, en verschillen tussen dag en nacht.

⁶ Koopman, A., LA.131001a.M04

5. Introductie van een zogenaamde Q -waarde, de verhouding tussen de trillingssterkte in de plan- en huidige situatie⁷. Bij metingen met een hoge R -waarde wordt deze Q -waarde gecorrigeerd voor de lagere reproduceerbaarheid.

Een andere belangrijke wijziging is het ontkoppelen van de beoordeling van de trillingssterkte V_{max} en de trillingsintensiteit V_{per} . Ongeacht de wijzigingen in trillingssterkte mag de trillingsintensiteit V_{per} niet toenemen boven de grenswaarde.

Trillingshinder wordt in dit onderzoek beoordeeld op de Bts, deze richtlijn sluit het meest aan bij de meest recente inzichten op het gebied van trillingshinder en bij de bestaande jurisprudentie. Een nadere omschrijving van het beoordelingskader is te vinden in Bijlage II.

4.3 Beoordeling trillingschade

De toetsing van trillingsschade vindt in Nederland vrijwel altijd plaats op basis van de SBR A-richtlijn, deze richtlijn beschrijft de meetmethodiek en toetsingscriteria voor trillingsschade. Ook van de SBR A-richtlijn is een omschrijving opgenomen in Bijlage II.

⁷ Voor nieuwbouwplannen bestaat er geen referentiesituatie, hier wordt beoordeeld op de Bts voor nieuwe situaties, zie ook Bijlage II.

5 Trillingshinder

5.1 Inleiding

In het onderzoek naar trillingshinder is de trillingssituatie in gebouwen bepaald met een modelberekening in *VibraDyna* aan de hand van maaiveldmetingen in het studiegebied, zie Bijlage IV. Er is een aantal factoren dat de trillingssterkte in een gebouw beïnvloedt. In het onderzoek worden de volgende gegevens meegenomen:

1. Treinverkeer: spoorligging, spoorgebruik, treintypes, rijnsnelheden, treinaantallen, type bovenbouwconstructie en oneffenheden in het spoor (wissels, kunstwerken);
2. Bodem: eigenschappen van de bodem, zoals de terreingeometrie en de bodemdemping, bepaald op basis van maaiveldmetingen;
3. Gebouwen: eigenschappen van de bebouwing, zoals bouwjaar, bouwhoogte, bouwstijl en afmetingen.

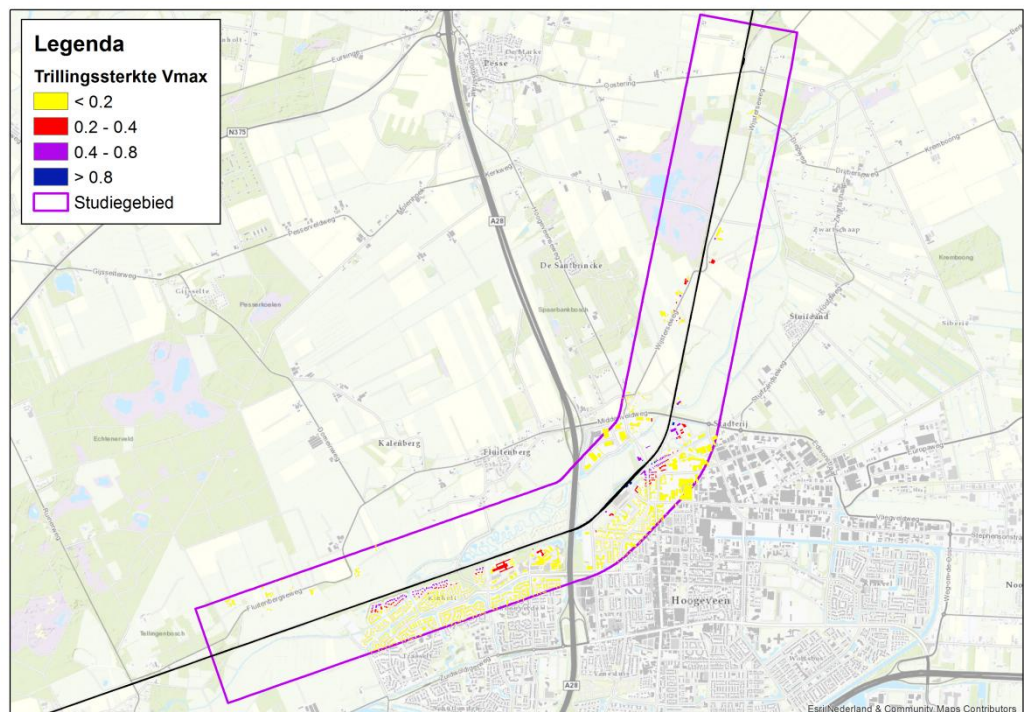
De berekening is frequentieafhankelijk uitgevoerd, hiermee wordt een zo nauwkeurig mogelijke predictie verkregen. Uit eerdere onderzoeken blijkt dat het model *VibraDyna* een betrouwbaarheid van 95 procent heeft, wat gebruikelijk is bij trillingsonderzoeken, zie Bijlage I. Dit betekent dat maximaal 5 procent van de gebouwen een hogere trillingssterkte of trillingsintensiteit kent dan het model aangeeft.

5.2 Resultaten berekeningen

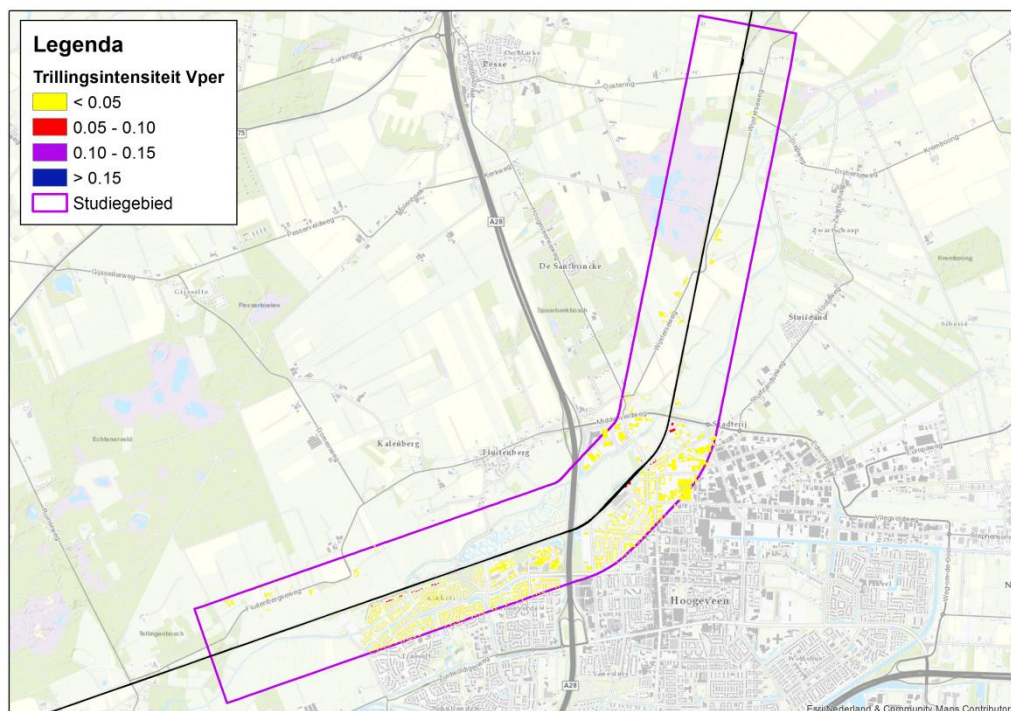
Met behulp van *VibraDyna* zijn voor alle gebouwen binnen 500 meter van de sporen de trillingssterkte V_{max} en de trillingsintensiteit V_{per} bepaald. De figuren zijn in meer detail weergegeven in Bijlage V.

5.2.1. Huidige situatie

De trillingssterkte (95 procent bovengrens) in de huidige situatie is weergegeven in Figuur 5-1, de trillingsintensiteit (eveneens 95 procent bovengrens) in Figuur 5-2.



Figuur 5-1 Trillingssterkte in gebouwen in huidige situatie (95 procent bovengrens)

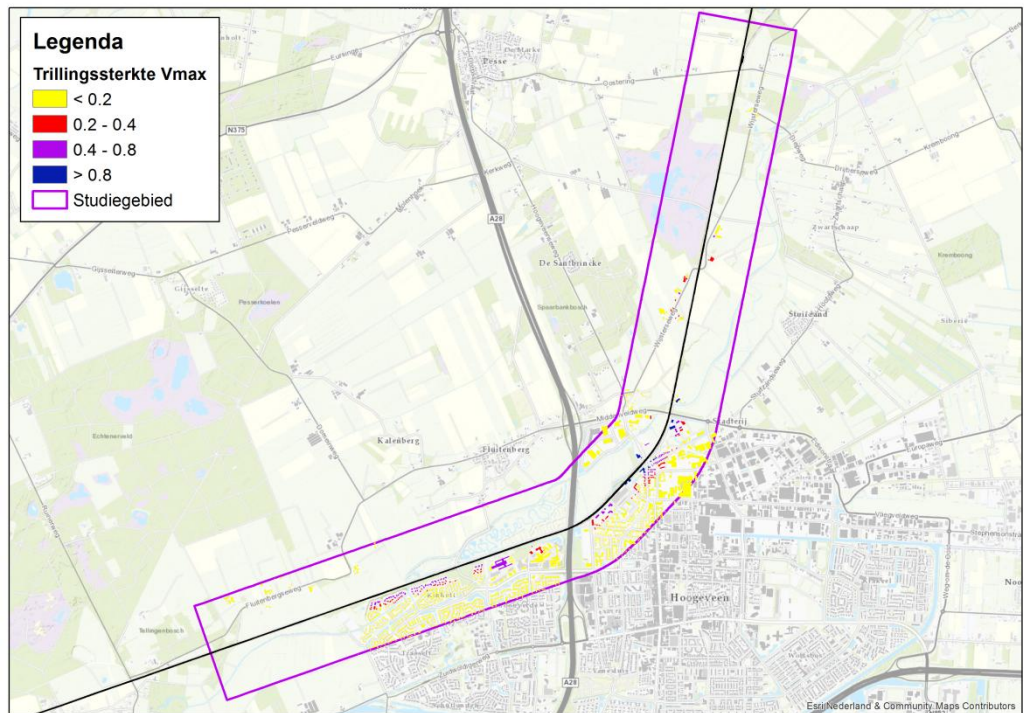


Figuur 5-2 Trillingsintensiteit in gebouwen in huidige situatie (95 procent bovengrens)

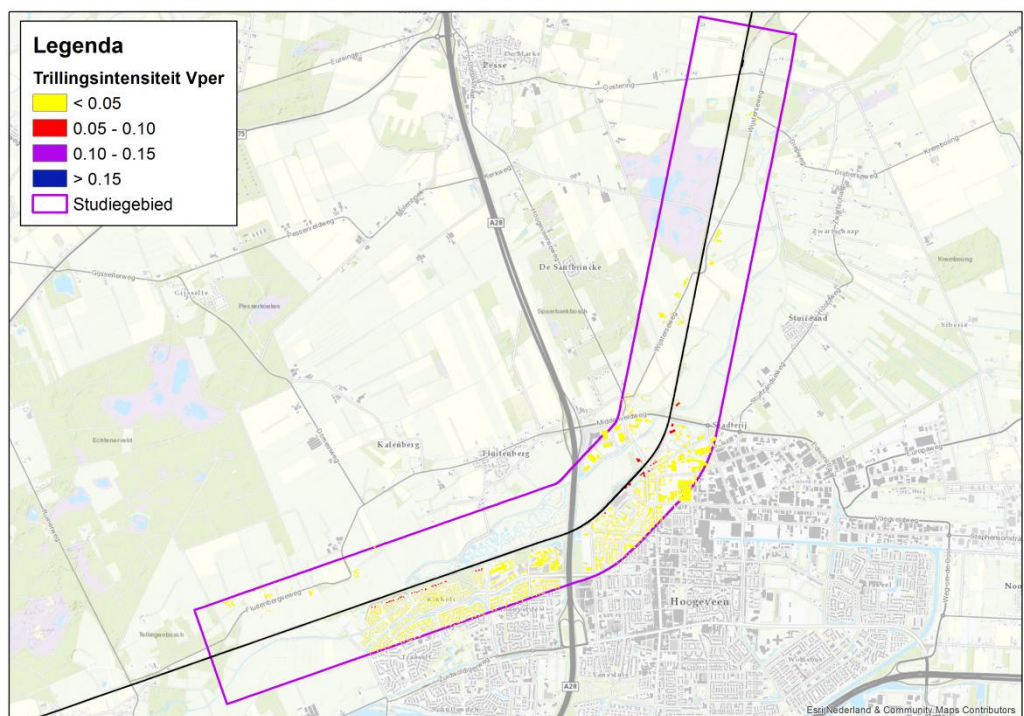
In de referentiesituatie neemt het aantal goederentreinen toe als gevolg van autonome ontwikkelingen. Dit leidt niet tot significante wijzigingen in de resultaten. De resultaten voor de referentiesituatie zijn daarom niet weergegeven in dit hoofdstuk.

5.2.2. Plansituatie

De trillingssterkte (95 procent bovengrens) in de plansituatie is weergegeven in Figuur 5-3, de trillingsintensiteit (eveneens 95 procent bovengrens) in Figuur 5-4.



Figuur 5-3 Trillingssterkte in gebouwen in plansituatie (95 procent bovengrens)



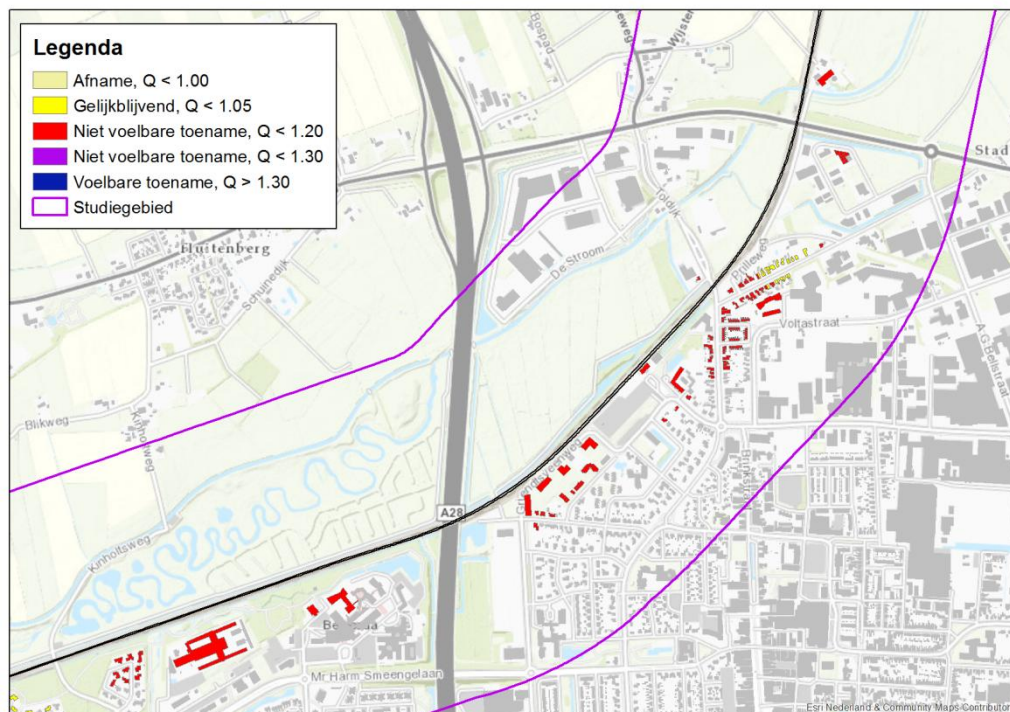
Figuur 5-4 Trillingsintensiteit in gebouwen in plansituatie (95 procent bovengrens)

De trillingsintensiteit V_{per} is in alle gebouwen lager dan de grenswaarde.

5.3 Vergelijking trillingscontouren

Voor de inventarisatie van aandachtslocaties worden de waarden van V_{max} in de huidige en plansituatie en de waarde van V_{per} in de plansituatie voor elk gebouw beoordeeld op

de Bts. Hiervoor wordt onder meer gekeken naar de toename in trillingssterkte, Q . De verwachtingswaarde van de toename Q is weergegeven in Figuur 5-5. De verwachte toename is overal lager dan 20 procent ($Q < 1.20$).



Figuur 5-5 Verwachte toename van de trillingssterkte, Q

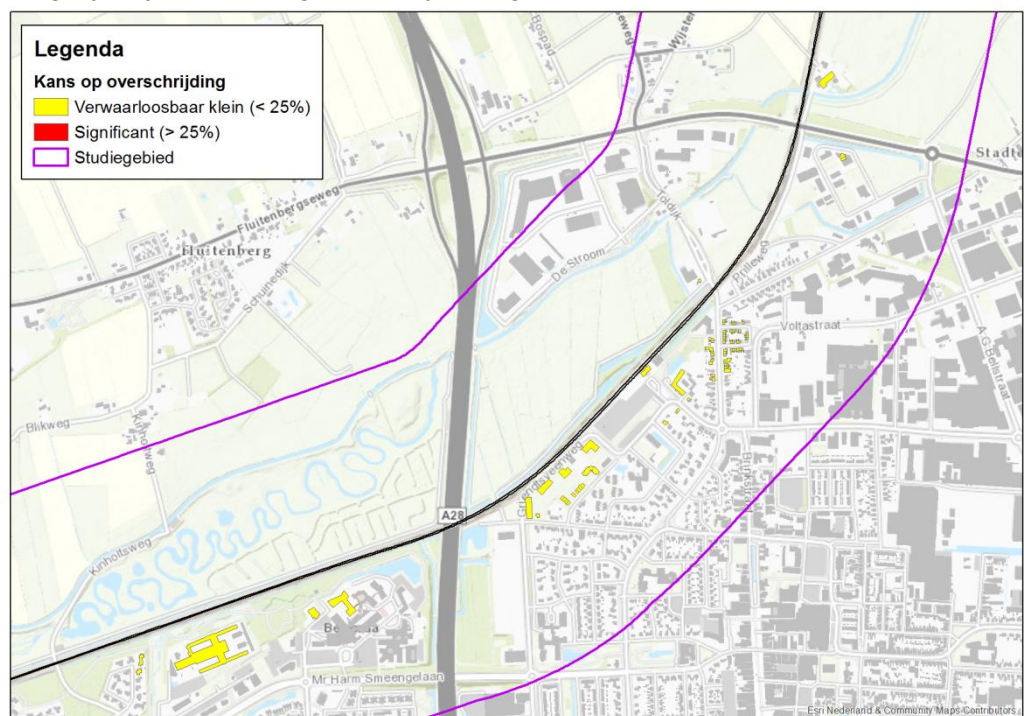
In dit onderzoek wordt, in lijn met eerdere onderzoeken, een kans op een overschrijding van maximaal 25 procent op de Q -waarde acceptabel geacht, om de volgende redenen:

- 100 procent zekerheid omtrent het wel of niet optreden van een overschrijding kan nooit worden bereikt. Het vergroten van de nauwkeurigheid van het voorliggende onderzoek kan bijvoorbeeld worden bereikt door metingen in woningen uit te voeren, maar ook na het uitvoeren daarvan kan volledige zekerheid niet worden verkregen, zo leert de ervaring bij andere, vergelijkbare projecten. De invloed van het verplaatsen van de sporen en het verwijderen van wissels kan vrij nauwkeurig worden bepaald. Het effect van de vernieuwing van het spoor en een verhoging van de rijnsnelheid is echter niet exact op voorhand vast te stellen, zodat er altijd een bepaalde mate van onzekerheid blijft in de berekeningen. Het effect van de snelheid is bijvoorbeeld afhankelijk van het type trein en de bodemopbouw, en daarom niet goed vooraf in te schatten. In dit onderzoek is een conservatieve (bovengrens) aanname gehanteerd voor de invloed van de snelheidsverhoging. De onzekerheid in het onderzoek kan verkleind worden door metingen in woningen uit te voeren, maar de invloed van de snelheid is ook dan nog niet vast te stellen. De impact van het uitvoeren van metingen in woningen is verder groot (impact op bewoners door overlast in hun woning), terwijl het uitvoeren van metingen in woningen bij dit onderzoek slechts beperkt informatie toevoegt
- De trillingssterkte V_{max} en de trillingsintensiteit V_{per} zijn bepaald met een betrouwbaarheid van 95 procent. De toename Q kent een grotere mate van onzekerheid (omdat zowel een berekening voor de huidige als de plansituatie is gemaakt, en deze met elkaar worden vergeleken). 25 procent is op basis van

eerdere onderzoeken een acceptabele kans. Uit voor- en nametingen bij andere projecten blijkt dat bij 25 procent overschrijdingskans niet ten onrechte locaties worden overgeslagen, noch locaties ten onrechte worden meegenomen in een eventuele maatregelafweging;

- De trillingen zijn in alle gebouwen ruim lager dan de grenswaarde ($V_{max} < 3.2$) waarbij maatregelen *moeten* worden getroffen.

Het resultaat van de beoordeling is weergegeven in Figuur 5-6. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen gebouwen met een verwaarloosbaar kleine kans op een overschrijding (geel gearceerd), en gebouwen waar een redelijke tot grote kans is op een overschrijding (rood gearceerd). Gebouwen met een afname van de trillingen of met gelijkblijvende trillingshinder zijn niet gearceerd.



Figuur 5-6 Beoordeling van trillingshinder

5.4 Aandachtslocaties

Uit de berekeningen kunnen onderstaande conclusies worden getrokken:

- De trillingen van goederentreinen zijn hoger dan die van reizigerstreinen, ook na realisatie van het project. Omdat goederentreinen maar beperkt harder kunnen rijden (van 80 naar 95 km/h) neemt de trillingssterkte ook maar beperkt toe. Er is daarom geen voelbare toename in trillingshinder. Ook in combinatie met het dichterbij komen van sporen ontstaan geen overschrijdingen van het beoordelingskader, de Bts;
- Bij een aantal locaties is een afname van de trillingen zichtbaar, door het verwijderen van wissels of het verder weg komen te liggen van sporen. Dit is met name het geval voor woningen in de nabijheid van de Toldijk;
- De trillingen dempen snel uit met de afstand door de slappe veenbodem. Hierdoor zijn trillingen alleen voelbaar in woningen dichtbij het spoor;

Op basis van bovenstaande afwegingen is het niet noodzakelijk om mitigerende maatregelen voor trillingshinder te overwegen voor dit project.

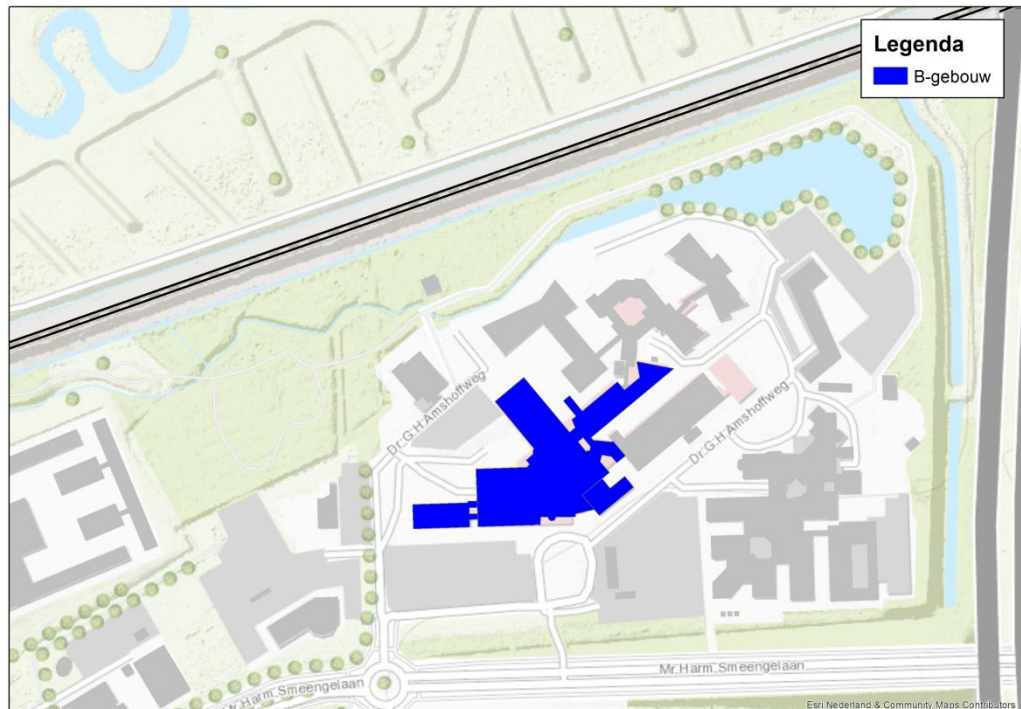
6 Verstoring van apparatuur

6.1 Inleiding

Op basis van gegevens van de Kamer van Koophandel zijn alle bedrijven in een zone van 200 meter rond het spoor in het studiegebied geanalyseerd. Uit deze analyse blijkt dat alleen in ziekenhuis Bethesda in Hoogeveen sprake is van gevoelige apparatuur. Omdat dit gebouw nabij het spoor ligt, is een nadere analyse uitgevoerd.

6.2 Beoordeling

Conform de website van het Bethesda-ziekenhuis heeft het ziekenhuis de beschikking over MRI-apparatuur (t.b.v. afdeling *radiologie*) en microscopen (meerdere afdelingen, onder meer *klinisch chemisch laboratorium*). Op basis van eerder onderzoek dient dergelijke apparatuur gewoonlijk te voldoen aan de VC-C curve⁸. Deze afdelingen zijn gevestigd in het B-gebouw, zie Figuur 6-1, op een minimale afstand van 130 meter tot het spoor.



Figuur 6-1 Ligging B-gebouw Bethesda-ziekenhuis

Op deze locatie wijzigen de sporen niet, de snelheid van de treinen gaat wel omhoog. Hierdoor nemen de trillingsniveaus met maximaal 20 procent toe. De in *VibraDyna* geprognosticeerde waarden voor het B-gebouw bedragen maximaal $145 \mu\text{m/s}$ tussen 8 en 20 Hz, waar conform de VC-C curve niveaus van $12.5 \mu\text{m/s}$ zijn toegestaan. Zowel in de huidige als in de toekomstige situatie zijn er dus ruime overschrijdingen van het beoordelingskader.

Het is echter mogelijk, door lokale aanpassingen in het gebouw of bij de apparatuur, dat de niveaus in de huidige situatie nog net voldoen, en in de toekomstige situatie niet meer. Overigens is het zo dat lokaal verkeer of activiteiten in het ziekenhuis mogelijk

⁸ Op basis van eerdere onderzoeken bij LUMC, VUMC en UMC

hogere trillingen veroorzaken, en de toename van de trillingen door het treinverkeer geen invloed zullen hebben op de exploitatie van de gevoelige apparatuur. Wij adviseren om voor dit gebouw nader onderzoek uit te voeren in de vorm van locatiebezoek en, indien nodig, metingen om de huidige situatie vast te leggen.

7 Conclusies en aanbevelingen

In voorliggend rapport is een onderzoek uitgevoerd naar trillingshinder en trillingsschade tijdens de realisatie- en exploitatiefase van het project *Snelheidsverhoging Hoogeveen*.

Uit het onderzoek naar trillingshinder volgt dat:

- De trillingen nemen beperkt toe ten gevolge van het project, met name door de hogere rijnsnelheid van de treinen, in combinatie met het dichterbij komen van de sporen op een aantal locaties. De toename is echter niet voelbaar;
- Bij een aantal locaties is een afname van de trillingen zichtbaar, door het verwijderen van wissels of het verder weg komen te liggen van sporen. Dit is met name het geval voor woningen in de nabijheid van de Toldijk;
- Er zijn geen overschrijdingen van het beoordelingskader voor trillingshinder, de Bts. Het project leidt niet tot voelbare toenames in trillingshinder, en de trillingssterkte V_{max} en trillingsintensiteit V_{per} blijven onder de grenswaarden.

Het is daarom niet noodzakelijk om mitigerende maatregelen voor trillingshinder te overwegen voor dit project.

Uit het onderzoek naar trillingsschade volgt dat er geen kans op trillingsschade is tijdens de bouw- en exploitatiefase van het project.

Verder is in het onderzoek gekeken naar verstoring van trillingsgevoelige apparatuur. Alleen bij het Bethesdaziekenhuis is mogelijk sprake van verstoring van gevoelige apparatuur, zoals MRI-scanners en microscopen. De trillingen nemen hier slechts beperkt toe door het project (maximaal 20 procent), maar zijn nu naar verwachting ook al ruim hoger dan de eisen voor deze apparatuur. Het is echter mogelijk dat de niveaus in de huidige situatie nog net voldoen (bijvoorbeeld door lokale aanpassingen bij de apparatuur), en in de toekomstige situatie niet meer. Wij adviseren om voor dit gebouw nader onderzoek uit te voeren in de vorm van locatiebezoek en, indien nodig, metingen om de huidige situatie vast te leggen.

Colofon

Opdrachtgever ProRail B.V.
M. Poos

Uitgave Movares Nederland B.V.

Divisie Ruimte, Mobiliteit en Infra
Afdeling Infrastructuur: Waterbouw, Geotechniek en Dynamica

Daalse Kwint G 3.00
Postbus 2855
3500 GW Utrecht

Telefoon 030-2655322

Ondertekenaar ir. P.M. Boon
Adviseur

Projectnummer RA003194

Kenmerk D79-PBO-KA-1700088

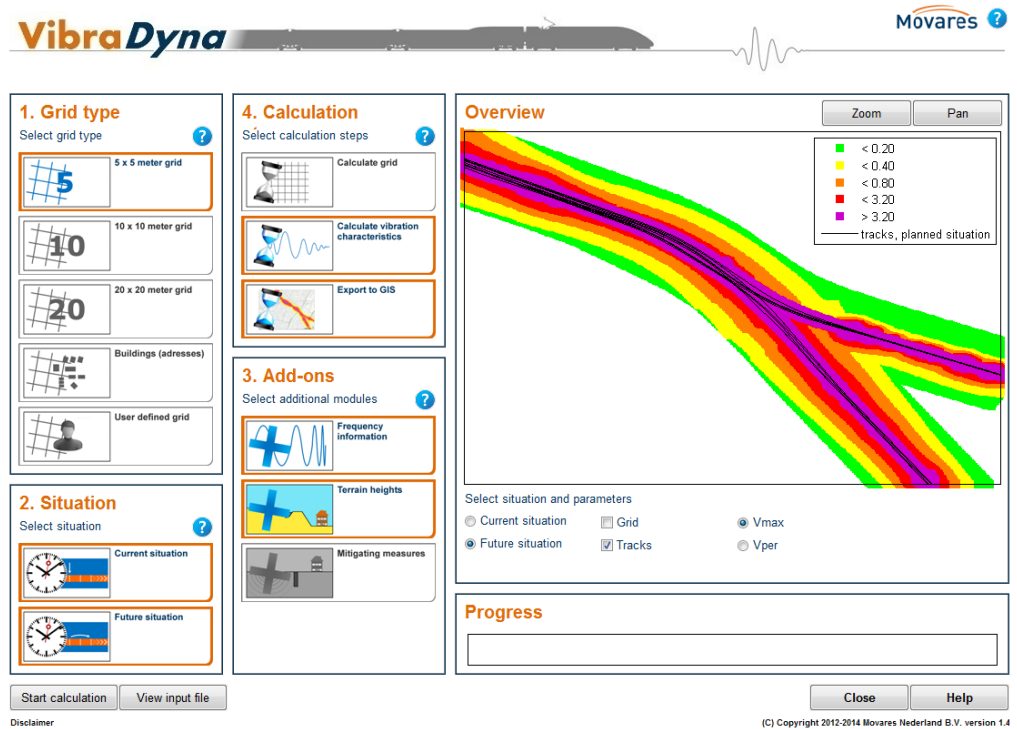
Opgesteld door ir. P.M. Boon

© 2017, 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 VibraDyna

In dit onderzoek is gebruik gemaakt van VibraDyna, een door Movares ontwikkeld trillingsmodel dat met behulp van een database en door de gebruiker geselecteerde specifieke gegevens de trillingssituatie berekend ten gevolge van rail- of wegverkeer, zie Figuur I-1.



Figuur I-1 VibraDyna

In het huidige onderzoek is gebruik gemaakt van een nauwkeurige, frequentieafhankelijke berekening op basis van metingen in VibraDyna. VibraDyna kent ook de mogelijkheid om een snelle, globale berekening uit te voeren met een lagere nauwkeurigheid. Deze berekening kan dan gebruikt worden om te bepalen waar metingen ten behoeve van een nauwkeuriger model noodzakelijk zijn. Dit globale model is niet gebruikt in het voorliggende onderzoek gezien het relatief beperkte studiegebied.

Beide types modellen worden hieronder nader toegelicht:

1. Een snelle, globale berekening op basis van expert judgment voor stap 1 van het trillingsonderzoek;
2. Een nauwkeurige berekening op basis van metingen. Dit type onderzoek is gebruikt in de tweede stap van het trillingsonderzoek.

Beide types modellen worden hieronder nader toegelicht.

I.1 Globale berekening op basis van expert judgment

De berekeningen in VibraDyna kunnen aanzienlijk worden versneld en versimpeld door alleen gebruik te maken van de database van het model. Deze database bevat

gegevens over de grondopbouw, trillingssterktes, invloed van wissels en kunstwerken en talloze andere aspecten, en is opgebouwd op basis van jarenlange ervaring met metingen langs spoorlijnen en wegen. Alle aannames in het model zijn worst-case (conservatief).

1.1.1 In- en uitvoer

Gebruikers kunnen de volgende parameters variëren:

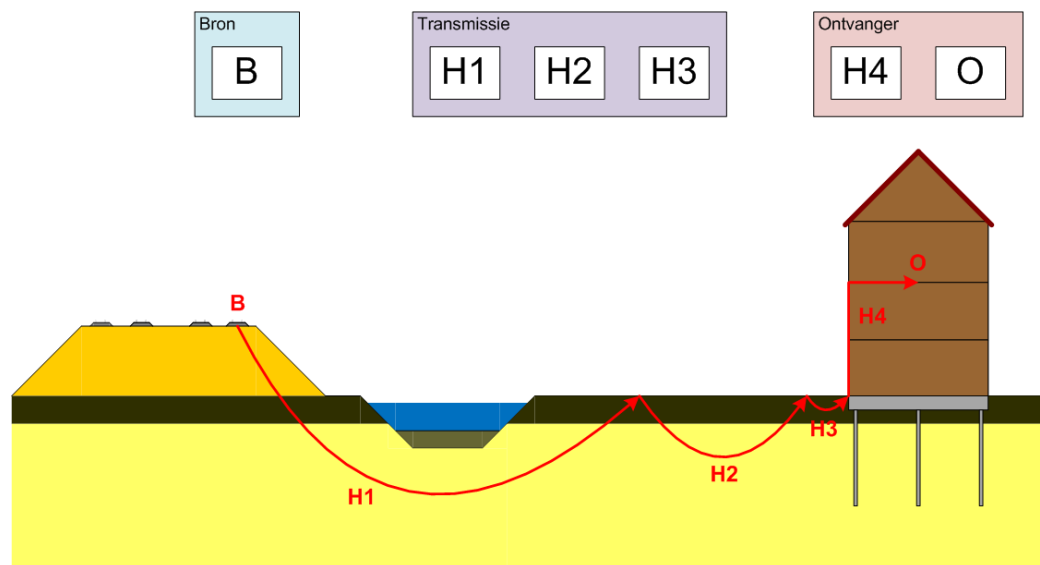
1. Afstand tussen gebouw en spoor;
2. Bodemtype (zand, veen, klei, etc.). Deze gegevens zijn op hoofdlijnen uit archieven beschikbaar;
3. Voertuigtypes;
4. Voertuigsnelheden;
5. Voertuigintensiteiten in dag-, avond- en nachtperiode;
6. Wissels en kunstwerken.

Output van het model is de trillingssterkte en trillingsintensiteit op de door de gebruiker opgegeven locatie(s). Resultaten kunnen worden gevisualiseerd in bijvoorbeeld een GIS-applicatie.

1.1.2 Bron, transmissie en ontvanger

VibraDyna is gebaseerd op de Barkanvergelijking, een empirische vergelijking die de prolongatie van trillingsgolven door de bodem beschrijft. Uit onderzoek blijkt dat deze empirische relatie goed bruikbaar is om de afname van trillingen met de afstand tot een trillingsbron te beschrijven.

In de overdracht van trillingen van bron naar ontvanger wordt onderscheid gemaakt tussen de bron, de transmissie (of overdracht) en de ontvanger. Een voorbeeld van een dwarsdoorsnede van een gebied langs het spoor is weergegeven in Figuur I-2. Bron, transmissie en ontvanger zijn daarin aangegeven.



Figuur I-2 Transmissie van trillingen

In de globale berekening worden alle parameters niet-frequentieafhankelijk beschouwd.

1.1.3 Database

Er is een aantal bronparameters dat de trillingssterkte beïnvloedt, deze bronparameters kunnen worden onderscheiden in twee categorieën:

1. Treinafhankelijke parameters, zoals treinsnelheid, aslast, afvering en wielruwheid. Deze parameters worden deels ingegeven door de gebruikers, en zijn deels opgenomen in de database van *VibraDyna*;
2. Baanparameters, zoals oneffenheden in de baan, zetting van de baan en de aanwezigheid van wissels en kunstwerken. Deze parameters zijn opgenomen in de database van *VibraDyna*.

Parameters uit categorie 1 worden meegenomen door onderscheid te maken tussen verschillende treintypes en door het introduceren van een variatie op de betrouwbaarheid. Parameters uit categorie 2 worden meegenomen als afzonderlijke trillingsbronnen.

1.1.4 Berekening

Met behulp van de relaties tussen de treintypes en de Barkanvergelijking wordt de trillingssterkte V_{max} per treintype bepaald in de referentie- en plansituatie.

De trillingsintensiteit V_{per} wordt berekend met behulp van de maximale uurintensiteit van de verschillende treintypes. Dit resulteert in een conservatieve inschatting van V_{per} , aangezien niet alle maximale uurintensiteiten in dezelfde periode (dag, avond of nacht) optreden.

1.2 Nauwkeurige berekening op basis van metingen

Voor veel onderzoeken is een grotere precisie van het onderzoek gewenst dan een bepaling op basis van expert judgment, zodat posities van aandachtslocaties beter inzichtelijk kunnen worden gemaakt. In dat geval kan een nauwkeuriger berekening worden uitgevoerd met *VibraDyna*, waarbij gebruik wordt gemaakt van metingen. Deze metingen worden door de gebruiker zelf uitgevoerd en als invoer in het model gestopt.

De volgende meetresultaten kunnen worden ingevoerd in het model:

- Trillingsmetingen aan voertuigpassages op maaiveld loodrecht op het spoor of de weg, om de bronsterkte van de verschillende passerende voertuigen te bepalen;
- Valproeven om de afnamecurve van de lokale bodem vast te stellen (de bodemeigenschappen).

Ten opzichte van de globale berekening wordt deze nauwkeuriger berekening frequentieafhankelijk uitgevoerd. Daarnaast wordt rekening gehouden met lokale variaties in taludgeometrie, bodem- en baanopbouw. Daardoor heeft dit type model een grotere betrouwbaarheid.

1.2.1 Frequentieafhankelijkheid

In het nauwkeurige model wordt gerekend met zogenaamde tertsbandspectra van trillingssignalen van treinen. Uit een groot aantal onderzoeken blijkt dat de tertsbandspectra van treinen, mits genormaliseerd voor snelheid, per treintype weinig

variatie kennen. De beperkte variatie die er is wordt vooral veroorzaakt door de wielruwheid en aslast.

Ook een groot aantal andere invloeden is frequentieafhankelijk. Te denken valt aan de invloed van wissels, geometriewijzigingen, de eigenschappen van gebouwen of de demping van de bodem, bepaald uit valproefmetingen. Door deze invloeden frequentieafhankelijk in het model in te voeren, wordt de nauwkeurigheid van het trillingsmodel vergroot ten opzichte van het werken met scalaire grootheden. *VibraDyna* bevat een database met honderden metingen. Uit deze database kiest het rekenmodel op basis van de gebouweigenschappen (bouwjaar, afmetingen, bouwstijl) bijvoorbeeld de meest passende trillingsoverdracht. Ook de verhouding tussen de gemeten trillingen van reizigerstreinen (zie Bijlage IV) en bijvoorbeeld die van goederentreinen is afkomstig uit deze database.

1.2.2 Relatie tussen tertsbandspectrum en v_{eff}

De trillingssterkte v_{eff} is een gewogen voortschrijdend gemiddelde, dat gecorrigeerd is voor frequenties. Deze grootheid wordt gebruikt om de trillingssterkte V_{max} te bepalen, die vervolgens getoetst wordt aan de Bts.

Er is een verhouding tussen de v_{rms} -waarde van het trillingssignaal en de trillingssterkte v_{eff} . Deze verhouding is van belang omdat het model rekent met tertsbandspectra, maar toetsing plaatsvindt op basis van de trillingssterkte V_{max} , die wordt bepaald uit de gehele verzameling van gemeten v_{eff} -waarden voor alle treinen.

De v_{rms} -waarde kan worden bepaald uit het tertsbandspectrum door energetisch te sommeren over de frequenties, na het toepassen van de correctie uit de SBR B-richtlijn:

$$v_{rms} = \sqrt{\sum_{i=1}^N F_c(f) \cdot v_i(f)^2}$$

Hierbij is $v_i(f)$ het tertsbandspectrum en $F_c(f)$ de correctiefactor van de SBR B-richtlijn. De waarde van v_{rms} kan niet één op één vertaald worden naar de waarde van v_{eff} . De omrekening vindt daarom plaats via een statistische verdeling die uit een groot aantal metingen is bepaald.

1.2.3 Berekening

De berekening in *VibraDyna* vindt plaats volgens een aantal stappen. Met behulp van de relaties tussen de treintypen en een frequentieafhankelijke Barkanvergelijking wordt de trillingssterkte V_{max} bepaald voor de referentie- en plansituatie.

De trillingsintensiteit V_{per} wordt op analoge wijze als in stap 1 berekend.

1.3 Betrouwbaarheid van *VibraDyna*

In dit onderzoek wordt gebruik gemaakt van trillingsmodellen in plaats van metingen in gebouwen. Het gebruik van trillingsmodellen in plaats van het uitvoeren van metingen heeft een aantal voordelen:

- Het maakt het mogelijk om sneller een goede prognose te geven van de trillingssterkte;

- Het maakt het mogelijk om een groter aantal verschillende locaties te beschouwen. Het uitvoeren van metingen op een groot aantal locaties is zowel tijdrovend als kostbaar en kan bij het gebruik van een trillingsmodel achterwege blijven.

Nadeel van het gebruik van modellen is dat een model slechts een *benadering* van de werkelijkheid is. Zo kunnen gebouwen met een ongunstige overdrachtskarakteristiek (tussen maaiveld en de bewoonde vloeren) afwijken van de gemiddelde prognoses die het model hanteert. Om er toch voor te zorgen dat de modellen zo betrouwbaar mogelijk zijn, is de volgende aanpak gehanteerd:

1. Modelparameters zijn bepaald op basis van een groot aantal metingen in een groot aantal gebouwen door het gehele land, over langere tijd. De beoordeling van de trillingssterkte vindt plaats op basis van een bovengrens die statistisch wordt bepaald. Hierdoor is het percentage gebouwen waar in werkelijkheid een hogere trillingssterkte wordt gemeten, zeer klein. Bij het nauwkeurige model is het mogelijk om gebouweigenschappen toe te voegen, zodat de invloed van sterk afwijkende bebouwing sterk wordt gereduceerd;
2. Het model is uitvoerig geverifieerd in eerdere onderzoeken met behulp van metingen in gebouwen. Uit deze verificatiemetingen volgt dat het gebruikte model een hoge betrouwbaarheid heeft, zie onder meer de trillingsonderzoeken ten behoeve van de Tracébesluiten *Sporen in Arnhem*⁹, *Sporen in Utrecht*¹⁰ en *Doorstroomstation Utrecht*¹¹;
3. In de beoordeling van de modelresultaten worden drie categorieën onderscheiden:
 - a. Gebouwen die voldoen aan het beoordelingskader;
 - b. Gebouwen die wel voldoen aan het beoordelingskader, maar waarbij nog een kans op een overschrijding is;
 - c. Gebouwen die niet voldoen aan het beoordelingskader.

Locaties waarvan niet zeker is dat ze voldoen aan het beoordelingskader, komen voor nader onderzoek in aanmerking. Door deze conservatieve manier van beoordeling worden alle locaties (extreme uitschieters uitgezonderd) waar een mogelijke overschrijding is van het beoordelingskader, net zo lang onderzocht totdat duidelijk is dat er geen overschrijdingen zullen optreden. Wanneer in stap 3 van het onderzoek blijkt dat er desondanks overschrijdingen zijn van het beoordelingskader, dan worden in stap 4 maatregelen ontworpen om de locatie alsnog te laten voldoen aan de streefwaarden.

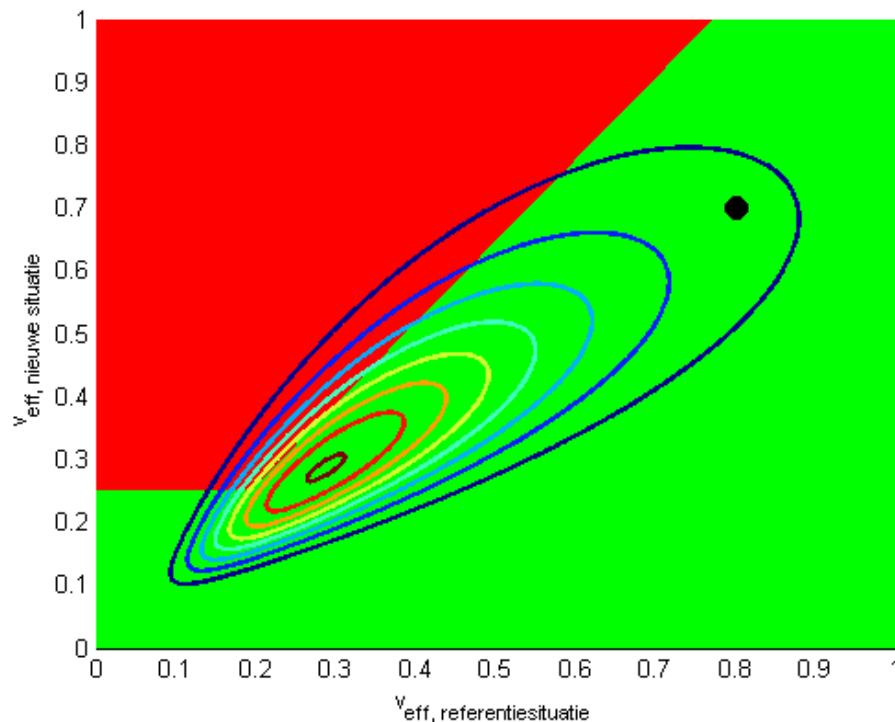
De maximale trillingssterkte en trillingsintensiteit wordt door *VibraDyna* met een betrouwbaarheid van 95 procent bepaald door het model. Bij beoordeling op de Bts speelt vooral de toename in trillingssterkte een belangrijke rol. Om deze toename conservatief genoeg te berekenen, rekent *VibraDyna* met simultane probabilistische verdelingen van de trillingssterkte per meetpunt.

Voor elke factor die de trillingssterkte beïnvloedt, de correlatie te bepalen tussen deze factor in de referentie- en plansituatie. Door vervolgens een simultane probabilistische verdeling op te stellen van de maximale trillingssterkte in de referentie- en plansituatie, kunnen kansdichtheidscontouren worden getrokken zoals in Figuur I-3. De zwarte punt geeft in dit geval de trillingssterkte in de referentie- en plansituatie weer.

⁹ Boon, ir. P.M., *Sporen in Arnhem, Trillingsonderzoek t.b.v. Tracébesluit*, Movares Nederland B.V., D79-PBO-KA1400006, 31 maart 2014, versie 1.0

¹⁰ Boon, ir. P.M., *Sporen in Utrecht, Trillingsonderzoek t.b.v. Tracébesluit*, Movares Nederland B.V., D79-PBO-KA1400005, 31 maart 2014, versie 1.0

¹¹ Boon, ir. P.M., *Doorstroomstation Utrecht (DSSU), Trillingsonderzoek*, Movares Nederland B.V., OND-ET-CON-TR-RAP-100, 4 juni 2015, versie 3.0



Figuur I-3 Voorbeeld trillingssterkte in referentie- en plansituatie (zwarte stip) en kansdichtheidscontouren van mogelijke trillingssterktes (correlatiecoëfficiënt van 0.85)

Hoe groter de correlatie tussen de beide situaties is (d.w.z., hoe minder veranderingen er zijn tussen referentie- en plansituatie), hoe meer de contouren worden samengetrokken naar de lijn die loopt tussen de zwarte punt en het centrum van de contouren in Figuur I-4, en hoe betrouwbaarder de predictie dus is.

Door de simultane probabilistische verdeling van de trillingssterkte in de referentie- en plansituatie te integreren over het groene gebied in Figuur I-3, kan een kans worden toegekend aan of een woning voldoet in de plansituatie. Voor de in Figuur I-3 getoonde verdeling en contouren is deze kans bijvoorbeeld gelijk aan 85 procent.

Enkele aandachtspunten bij deze overschrijdingskans:

1. Voor het getoonde voorbeeld is er nog een kans van 15 procent op een overschrijding van de grenswaarden. Bij overschrijdingen is de waarde van de trillingssterkte in de nieuwe situatie waarschijnlijk echter aanzienlijk lager dan de trillingssterkte die weergegeven is door de zwarte stip in Figuur I-4. Op basis van uitgebreid onderzoek is ervoor gekozen om locaties nader te onderzoeken indien de overschrijdingskans groter is dan 80 procent. De overschrijdingskans wordt alleen meegenomen om te bepalen of een woning of deelgebied wordt meegenomen in een vervolgonderzoek, niet bij het al dan niet nemen van maatregelen;
2. In het globale model wordt een eventuele wijziging in taludgeometrie nog niet meegenomen. Daarom wordt in dit model extra conservatief getoetst door te rekenen met een lagere correlatiecoëfficiënt (meer spreiding in resultaten mogelijk).

Bijlage II Beoordelingskader

II.1 Algemeen

Treinverkeer, maar ook bouwwerkzaamheden en wegverkeer, kunnen leiden tot trillingen in gebouwen. Deze trillingen kunnen resulteren in hinder en/of schade. De Duitse DIN 4150-2 (1999) norm beschrijft criteria voor het meten en beoordelen van trillingen. De Nederlandse SBR richtlijn is hierop gebaseerd.

De SBR richtlijn is in Nederland de meest gebruikte richtlijn voor het beoordelen van trillingen en bestaat uit 3 delen:

- Deel A: schade aan gebouwen;
- Deel B: hinder voor personen in gebouwen;
- Deel C: verstoring van apparatuur.

Daarnaast heeft het ministerie van Infrastructuur en Milieu een *Beleidsregel Trillingshinder Spoor* (Bts) opgesteld, dat een wijziging van en aanvulling op de SBR B-richtlijn is.

Voor het onderzoek naar trillingshinder wordt gebruik gemaakt van de Bts, voor het onderzoek naar trillingsschade wordt de SBR A-richtlijn gebruikt. De SBR C-richtlijn geeft aan dat de beoordeling van verstoring van apparatuur op apparaatniveau dient plaats te vinden. In het kader van dit onderzoek is daarom een analyse uitgevoerd om vast te stellen of er mogelijk sprake is van verstoring van gevoelige apparatuur. Hiervoor is bepaald of er bedrijven aanwezig zijn die gebruik maken van gevoelige apparatuur in de nabijheid van het spoor. Uit een analyse blijkt dat dit niet het geval is. Een verdere, meer gedetailleerde beoordeling op de SBR C-richtlijn is daarom niet uitgevoerd.

In de volgende paragrafen staan deze de beoordelingskaders voor trillingshinder en trillingsschade achtereenvolgens beschreven.

II.2 Bts (Beleidsregel Trillingshinder Spoor) – beoordelingskader trillingshinder

Tot op heden zijn er nog geen richtlijnen voor trillingshinder vastgelegd in wetgeving, zoals dat bijvoorbeeld voor geluidhinder wel het geval is. Vooruitlopend op toekomstige wetgeving heeft het ministerie van Infrastructuur en Milieu in 2012 een *Beleidsregel Trillingshinder Spoor* (Bts) opgesteld, dat een wijziging van en aanvulling op de SBR B-richtlijn is. Naar aanleiding van de uitspraken van de Afdeling Bestuursrechtspraak van de Raad van State op 2 oktober 2013 in zake de *Tracébesluiten Sporen in Arnhem 2012* en *Sporen in Utrecht 2012 deeltracé Utrecht Centraal – Houten*, is de Bts gewijzigd om tegemoet te komen aan de kritiekpunten. De belangrijkste wijzigingen ten opzichte van de eerdere Bts komen tot uiting in:

- Een nadere invulling van het kosteneffectiviteitscriterium, met een richtbedrag van € 47.000 per woning met overschrijdingen. Dit bedrag is gebaseerd op een MKBA¹², uitgevoerd door Witteveen+Bos, RoyalHaskoningDHV en TNO;
- Een aanpassing van de meetprocedure. De trillingssterkte wordt bepaald over een meetperiode van tenminste een week;
- De introductie van een naverwerkingsmethode, met als doel een reproduceerbare maximale trillingssterkte te genereren, die vergelijkbaar is met de methode zoals gehanteerd in de SBR B-richtlijn;
- De introductie van een reproduceerbaarheidswaarde R . Deze factor is een indicatie van de onzekerheid in de meting en eventuele prognoses die zijn gemaakt, en geeft aan in hoeverre het resultaat van een herhaling van de meting of berekeningen kan afwijken van het gegeven resultaat. Wanneer deze R -waarde hoger is dan 10 procent, wordt bij het beoordelen van de trillings situatie en het nemen van maatregelen rekening gehouden met deze onzekerheid.

In de Bts wordt onderscheid gemaakt tussen nieuwe en bestaande situaties, waarbij de grenswaarden voor nieuwe situaties strenger zijn dan voor bestaande situaties. Dit project valt onder bestaande (gewijzigde) situaties. Bts artikel 1 spreekt van een ‘bestaande situatie als een referentiesituatie waarin reeds sprake is van trillingen als gevolg van railverkeer’.

De Bts maakt daarnaast onderscheid tussen de dag- en avondperiode en de nachtperiode. Hierbij geldt dat de grenswaarden van de trillingssterktes gedurende de nacht lager zijn dan die gedurende de dag en avond.

Om de trillingssterkte in een gebouw te bepalen dient de effectieve trillingsnelheid v_{eff} gemeten te worden in een gebouw gedurende een periode van minimaal een week. Deze effectieve trillingssnelheid wordt bepaald als voortschrijdend gemiddelde per 30 seconden. Vervolgens wordt per 30 seconden de maximale waarde van dit voortschrijdend gemiddelde genomen. Middels een statistische procedure wordt vervolgens een waarde bepaald voor $V_{max, Bts}$. Deze waarde wordt gebruikt voor toetsing aan de streefwaarden.

V_{per} is een weergave van de trillingsintensiteit. Deze waarde wordt bepaald door het kwadratisch gemiddelde te nemen van de maximale trillingssterkte per 30 seconden indien deze boven de drempelwaarde van 0.1 valt. Trillingsnelheden onder de 0.1 zijn nauwelijks voelbaar en worden niet meegenomen in de bepaling van de V_{per} . Het kwadratisch gemiddelde wordt vervolgens gecorrigeerd voor de tijd waarin de trillingssnelheden boven de 0.1 uitkomen. Zie voor de exacte bepaling de SBR B-richtlijn.

11.2.1 Normstelling in de Bts

De grenswaarden in de Bts verschillen over de dag en avond (7.00 – 23.00 uur) en nacht (23.00 – 7.00 uur) en zijn verschillend per gebouwfunctie. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen *gebouwen met een kritische werkruimte* (gevoelige apparatuur e.d.), *gezondheidszorg en wonen* en kantoren en *gebouwen ten behoeve van onderwijs of bijeenkomsten*. Bij elke gebouwfunctie horen andere toegestane trillingssterktes, zie Tabel II - 1 voor de normstelling voor bestaande situaties.

¹² MKBA = Maatschappelijke Kosten Baten Analyse, methodiek om de maatschappelijk gezien acceptabele kosten van een maatregel te bepalen. Zie Ruijgrok, dr. ir. E.C.M. e.a., *Kosteneffectiviteitstoetsing Trillingsreducerende Maatregelen Spoor*, Witteveen+Bos, juni 2013, projectcode ut702-1-1

De Bts kent drie grenswaarden: A1, de streefwaarde voor de trillingssterkte V_{max} , A2, de grenswaarde voor de trillingssterkte V_{max} en A3, de grenswaarde voor de trillingsintensiteit V_{per} .

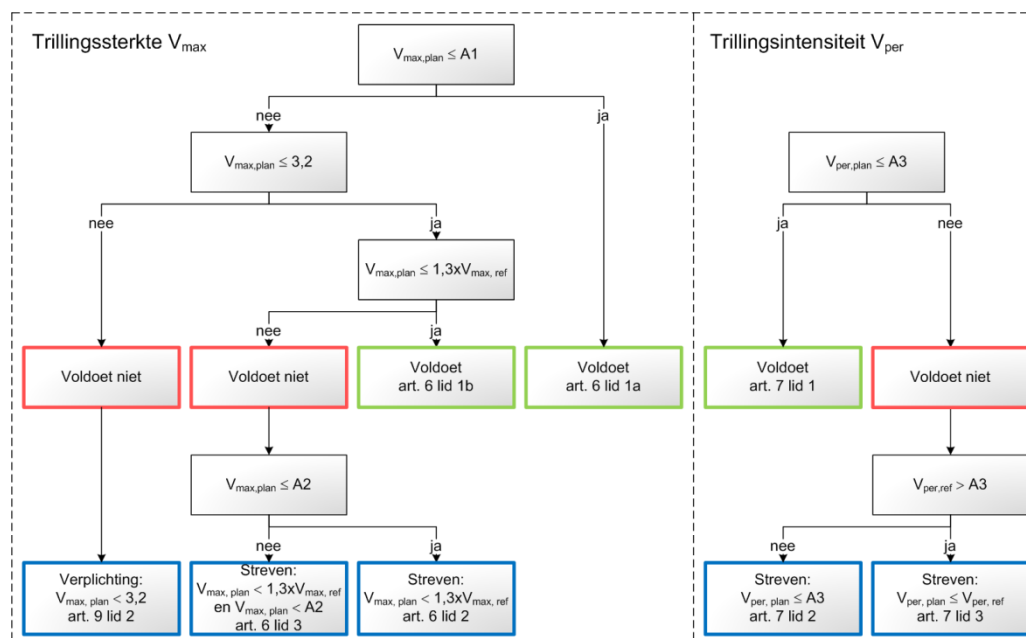
Tabel II - 1 Normstelling bestaande situatie volgens Bts

Gebouwfunctie	Dag en avond			Nacht		
	A1	A2	A3	A1	A2	A3
Gezondheidszorg en wonen	0.2	0.8	0.1	0.2	0.4	0.1
Onderwijs, kantoor en bijeenkomsten	0.3	1.2	0.15	0.3	1.2	0.15
Kritische ruimte	0.1	0.1	---	0.1	0.1	---

II.2.2 Beoordeling van trillings situatie

Voor het beoordelen of een bepaalde locatie voldoet aan de Bts voor bestaande situaties moet het schema in Figuur II - 1 worden doorlopen. Dit schema geeft aan wanneer maatregelen dienen te worden afgewogen. Maatregelen ter voorkoming of beperking van de trillingshinder met betrekking tot de waarde van V_{max} kunnen achterwege blijven indien wordt voldaan aan één van de twee volgende condities:

1. De waarde van V_{max} in de plansituatie is lager dan A1 en de waarde van de trillingsintensiteit V_{per} is lager dan A3;
2. De toename in trillingssterkte in de plansituatie ten opzichte van de referentiesituatie is 30 procent of minder en de waarde van de trillingsintensiteit V_{per} is lager dan A3 en de trillingssterkte in de plansituatie is lager dan de grenswaarde van 3.2.



Figuur II - 1 Beoordeling van gewijzigde situaties in de Bts

II.3 SBR richtlijn deel A – beoordelingskader trillings schade

II.3.1 Schade als gevolg van treinverkeer

Bouwwerkzaamheden kunnen leiden tot schade aan gebouwen in de omgeving van de werkzaamheden. Heien, het intrillen van damwanden en sloopwerkzaamheden kunnen hoge trillingssnelheden veroorzaken, die zeker op korte afstand van de trillingsbron tot schade in gebouwen kunnen leiden.

II.3.2 Schade ten gevolge van treinverkeer

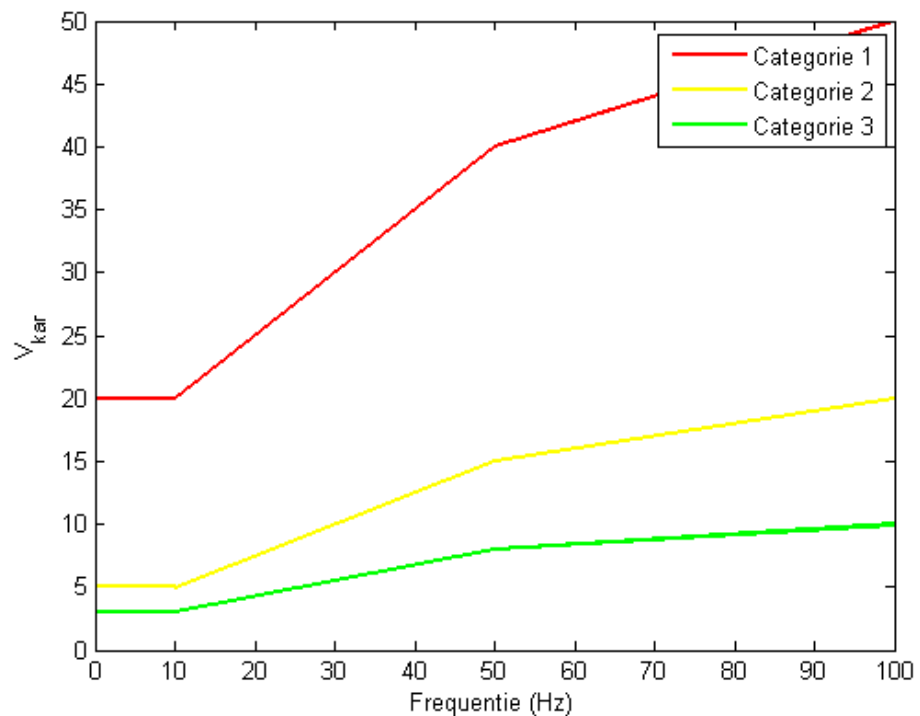
De sterkte van trillingen ten gevolge van treinverkeer zijn voor vrijwel alle gebouwen te gering om schade aan gebouwen te veroorzaken. Op afstanden groter dan 10 meter vanaf de spoorbaan is de trillingssnelheid, gemeten aan de fundering, zonder uitzondering kleiner dan 2 mm/s. Voor de meeste woningen (categorie 2 conform de SBR A-richtlijn) wordt een grenswaarde voor de trillingssnelheid van 5 mm/s aangehouden, voor monumentale panden (zoals Valkenbergweg 2, categorie 3 conform de SBR A-richtlijn) geldt een strengere grenswaarde van 3 mm/s. Onder deze grens is de kans op schade kleiner dan 1 procent. Uit de metingen blijkt dat dergelijke trillingssterktes niet optreden, schade ten gevolge van treinverkeer in de exploitatiefase is daarmee zeer onwaarschijnlijk.

II.3.3 Algemeen

De grenswaarden voor trillingen t.a.v. schade volgens SBR A-richtlijn worden vastgesteld op basis van drie beoordelingscriteria:

1. Type bouwwerk. Er worden drie verschillende typen van bouwwerken onderscheiden:
 - a. Categorie 1: in goede staat verkerende onderdelen van een draagconstructie indien deze bestaan uit gewapend beton of hout; onderdelen van een bouwwerk die geen deel uitmaken van de draagconstructie, indien deze bestaan uit gewapend beton of hout en draagconstructies van bouwwerken die geen gebouw zijn en bestaan uit metselwerk zoals pijlers van viaducten, kademuren en dergelijke;
 - b. Categorie 2: in goede staat verkerende onderdelen van de draagconstructie van een gebouw, indien deze bestaan uit metselwerk; in goede staat verkerende onderdelen van een gebouw die niet tot de draagconstructie behoren, zoals bijvoorbeeld scheidingsconstructies, welke bestaan uit niet-gewapend beton, metselwerk of uit brossen steenachtige materialen;
 - c. Categorie 3: onderdelen van oude en monumentale gebouwen met grote cultuurhistorische waarde. In slechte staat verkerende gebouwen uit metselwerk of onderdelen daarvan.

De grenswaarden per categorie zijn weergegeven in Figuur II - 3.



Figuur II - 3 Grenswaarden in SBR A-richtlijn

2. Type trillingsbron. Er worden drie verschillende typen van trillingsbronnen onderscheiden, elk met een eigen veiligheidsfactor:
 - a. Bronnen die incidenteel voorkomende kortdurende trillingen veroorzaken ten gevolge van een stootvormige excitatie. Het aantal malen dat het trillingsverschijnsel voorkomt is zo gering dat er geen rekening hoeft te worden gehouden met vermoeiingseffecten van constructiematerialen. Voorbeelden van dit type trillingen zijn explosies en botsingen. De veiligheidsfactor die gehanteerd moet worden is 1.0;
 - b. Bronnen die herhaalde kortdurende belastingen veroorzaken bij een stootvormige excitatie. Hieronder worden bronnen verstaan die zodanig vaak voorkomen dat met vermoeiingseffecten in materialen rekening moet worden gehouden. Een voorbeeld van dit type trillingen is heiwerkzaamheden. De veiligheidsfactor die gehanteerd moet worden is 1.5;
 - c. Bronnen die continue trillingen veroorzaken. Hieronder worden verstaan alle bronnen die niet onder de voorgaande twee categorieën kunnen worden ingedeeld. Resonanties en / of vermoeiingseffecten in de onderdelen van een gebouw kunnen optreden. Voorbeelden van dit type trillingen zijn machines met roterende onderdelen, vibratoren, verdichtingswerk d.m.v. trilwalsen en het inbrengen van damwanden d.m.v. trilblokken. De veiligheidsfactor die gehanteerd moet worden is 2.5.

In dit onderzoek wordt schade gerelateerd aan de bouw van kunstwerken. Het gaat dan om bouw- en sloopwerkzaamheden waarbij heipalen worden aangebracht en damwanden worden ingetrild. Deze trillingsbronnen vallen onder categorie 2. De bijbehorende veiligheidsfactor is 1.5. De grenswaarden dienen door deze veiligheidsfactor te worden gedeeld.

3. Type meting. Afhankelijk van hoeveelheid meetpunten, is opnieuw een driedeling gemaakt:

- a. Indicatieve meting. Bij een indicatieve meting wordt slechts op één meetpunt in drie richtingen gemeten. Dit meetpunt wordt gemonteerd op een stijf punt aan de fundering. De gekozen horizontale richtingen worden zoveel mogelijk gekozen overeen komend met de hoofdassen van het gebouw. De veiligheidsfactor is 1.6;
- b. Beperkte meting. Bij een beperkte meting wordt ten minste in één meetpunt op het begane grondniveau en ten minste één meetpunt op de hoogste verdieping van het gebouw gemeten. De veiligheidsfactor is 1.4;
- c. Uitgebreide meting. Bij een uitgebreide meting dient een groter aantal meetpunten te worden gemeten, als aanvulling op de beperkte meting. (een uitgebreide beschrijving is in de SBR trillingsrichtlijn deel A gegeven). De veiligheidsfactor is 1.0;

In dit onderzoek wordt nog geen gebruik gemaakt van meetpunten, daarom wordt de hoogste veiligheidsfactor (1.6, indicatieve meting) gehanteerd.

II.3.4 Toetsing

Na de grenswaarden voor een bepaald gebouw gedeeld te hebben door de partiële veiligheidsfactor behorend bij het type trillingsbron, kan de met behulp van berekeningen bepaalde trillingsnelheid ten gevolge van werkzaamheden getoetst worden aan de grenswaarde. Daar bovenop wordt een veiligheidsfactor gehanteerd.

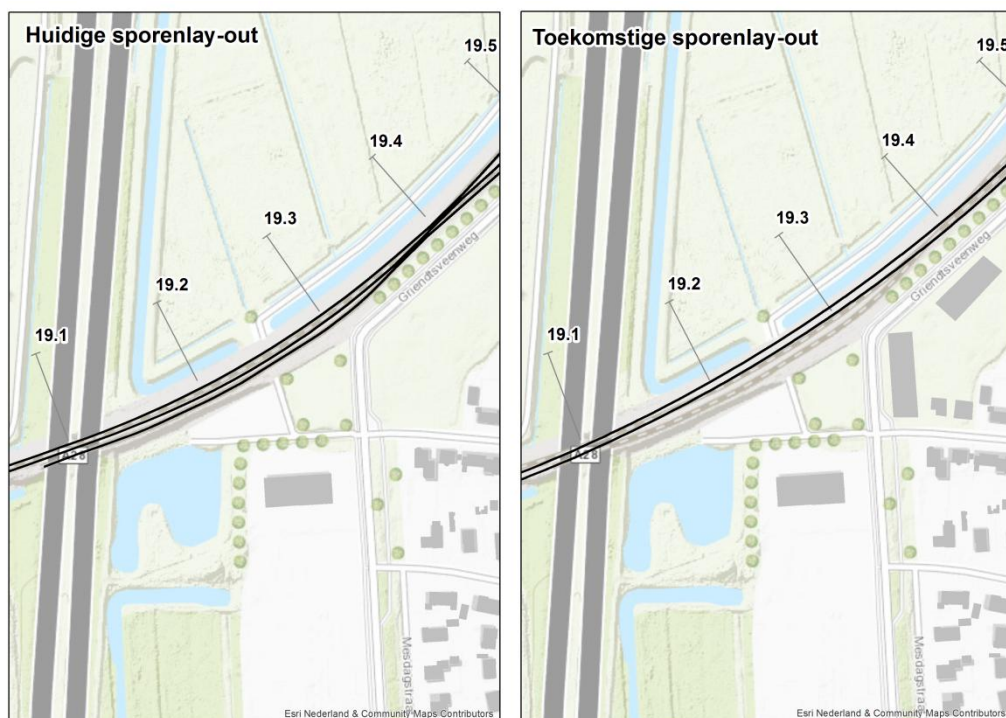
In dit onderzoek wordt aangegeven voor hoeveel gebouwen een overschrijding van de SBR A-richtlijn wordt geprognosticeerd. Deze toetsing vindt alleen plaats in de nabijheid van hei- en trilwerkzaamheden.

Bijlage III Wijzigingen in sporenlay-out

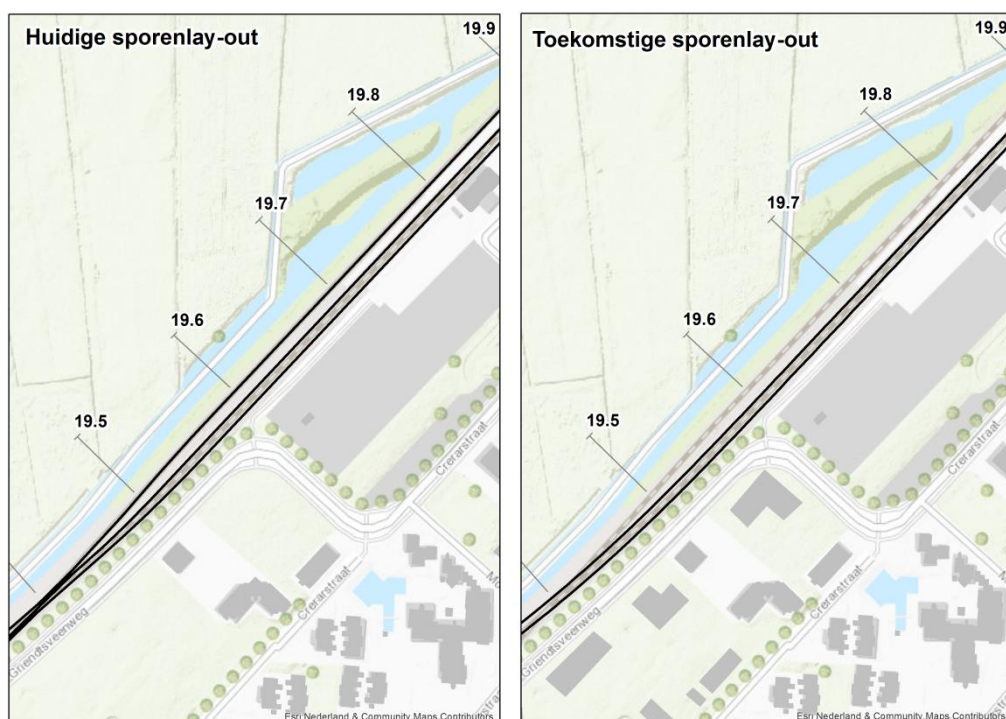
Deze bijlage bevat een weergave van de wijzigingen in sporenlay-out. In de figuren is steeds de huidige (referentiesituatie) en de toekomstige situatie (plansituatie) weergegeven van west naar oost. Alleen dat deel van het studiegebied wordt getoond waar fysieke sporenwijzigingen plaatsvinden.



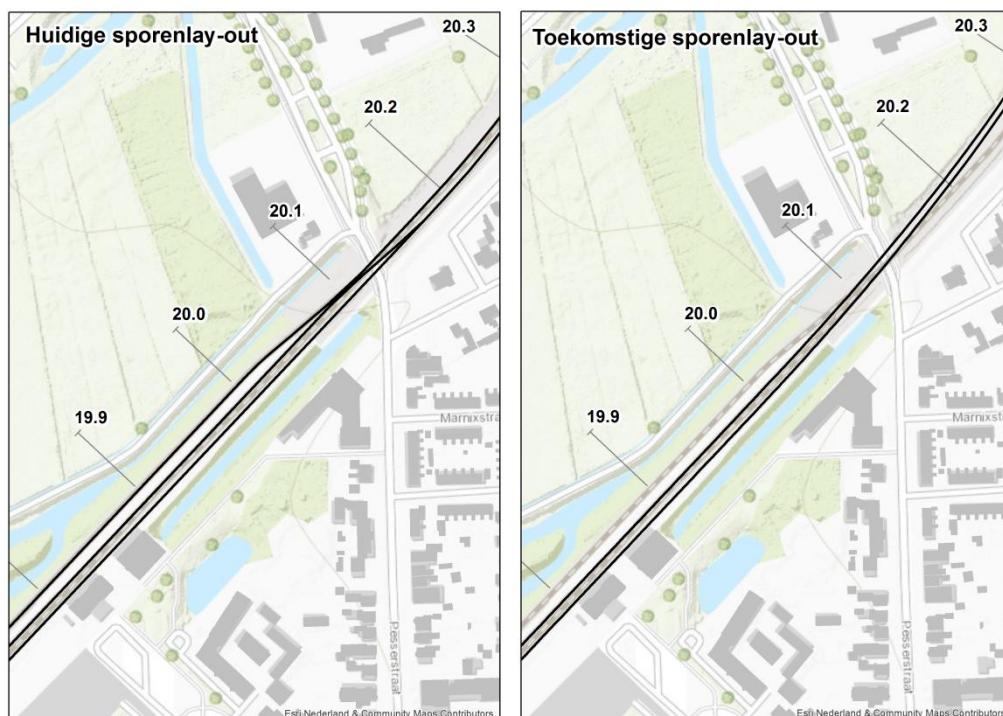
Figuur III - 1 Deel 1, meest westelijke deel studiegebied. Tussen km. 18.85 en km. 19.05 wordt het spoor zuidwaarts uitgebogen.



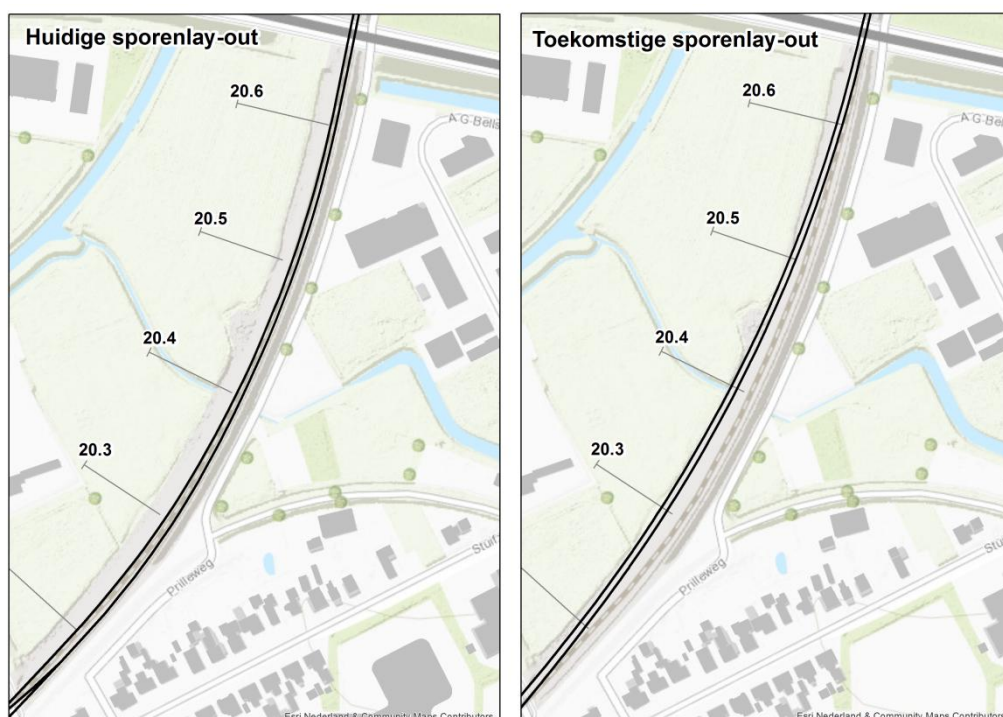
Figuur III - 2 Deel 2, spoor wordt noordwaarts uitgebogen, overloopwissels bij km. 19.4 verdwijnen, evenals het goederenwachtspoor tussen km. 19.1 en km. 19.35



Figuur III - 3 Deel 3, extra spoor aan westzijde vervalt.



Figuur III - 4 Deel 4, extra spoor aan westzijde vervalt, evenals bijbehorende overloopwissels bij km. 20.1



Figuur III - 5 Deel 5, spoor wordt westwaarts uitgebogen tussen km. 20.15 en km. 20.6

Bijlage IV Resultaten bodemonderzoek en maaiveldmetingen

Voor de beoordeling van trillingshinder zijn metingen uitgevoerd aan treinpassages. Verder is gebruik gemaakt van bodemonderzoek om de lokale bodemopbouw vast te stellen. In deze bijlage worden de resultaten van deze onderzoeken weergegeven. De resultaten van de onderzoeken zijn gebruikt in de modelberekeningen, zie Bijlage I en de hoofdttekst.

IV.1 Maaiveldmetingen

Om de locatiespecifieke trillingen te bepalen, zijn maaiveldmetingen uitgevoerd in het studiegebied. De locaties voor deze maaiveldmetingen zijn geselecteerd op basis van een aantal overwegingen:

- Op basis van expert judgment zijn de locaties waar veranderingen in de trillingen worden verwacht, vastgesteld. Deze locaties bevinden zich met name nabij station Hooerveen. Op overige locaties veranderen de trillingen niet of nauwelijks ten gevolge van het project;
- Op basis van sonderingen is de variatie in bodemopbouw vastgesteld, zie ook Bijlage IV.2. Uit dit onderzoek volgt dat de bodemopbouw in het studiegebied vergelijkbaar is;
- Om de trillingen goed vast te kunnen stellen worden maaiveldmetingen bij voorkeur uitgevoerd op locaties waar sprake is van doorgaand spoor (zonder wissels, de invloed van wissels wordt afzonderlijk bepaald), en waarbij sprake is van voldoende ruimte om een lange meetraai, haaks op het spoor te plaatsen, zonder veel invloed van omgevingstrillingen.

Op basis van bovenstaande overwegingen en de beperkte omvang van het studiegebied is ervoor gekozen om op twee locaties maaiveldmetingen uit te voeren. Hierbij zijn passerende treinen gemeten, en is gebruik gemaakt van een aantal sensoren op verschillende afstanden tot de sporen.

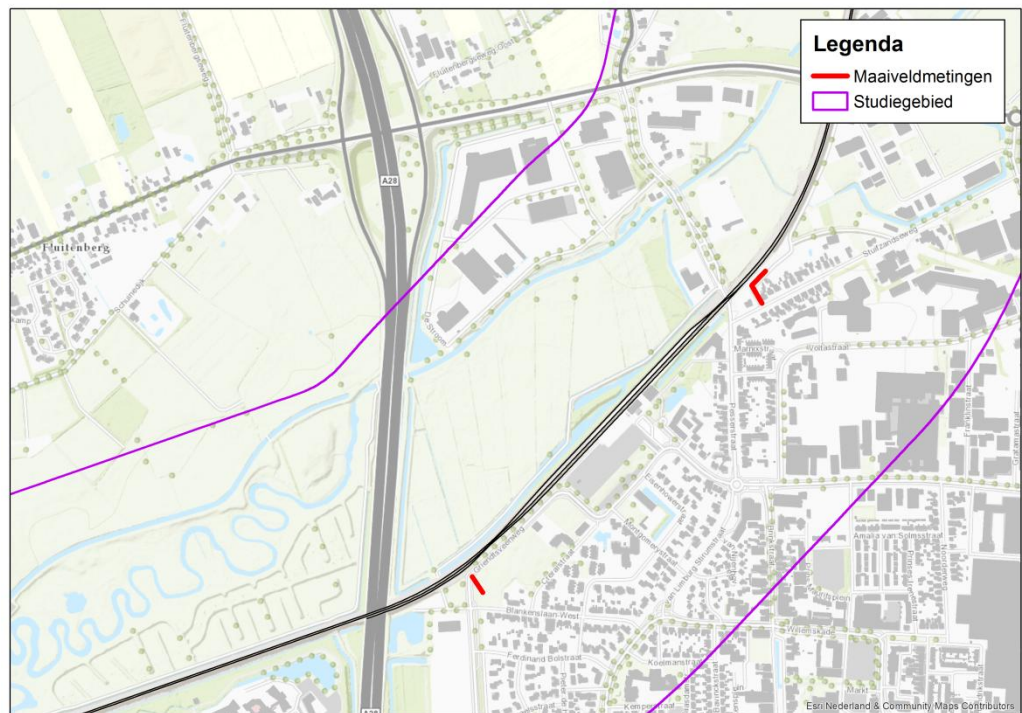
De metingen zijn verricht aan reizigerstreinen, de trillingen van de goederentreinen zijn bepaald aan de hand van de trillingsspectra van deze reizigerstreinen en de verhouding in trillingsspectrum tussen reizigers- en goederentreinen op dit bodemtype uit de database van *VibraDyna*. Deze database is gebaseerd op metingen in heel Nederland, de verrekening van reizigers- naar goederentreinen is gevalideerd bij meerdere projecten, zie Bijlage I.

Door de trillingssignalen als functie van de tijd te transformeren naar het frequentiedomein (Fourier-transformatie) kan voor elke afstand tot de trillingsbron een tertsbandspectrum worden gegenereerd. Vervolgens kan met behulp van de zogenaamde Barkanvergelijking de trillingssterkte op een willekeurige afstand tot het spoor worden bepaald. De gebruikte Barkanvergelijking luidt:

$$V(r, f) = V(r_0, f) \frac{r_0}{r} e^{-\alpha(f)(r-r_0)}$$

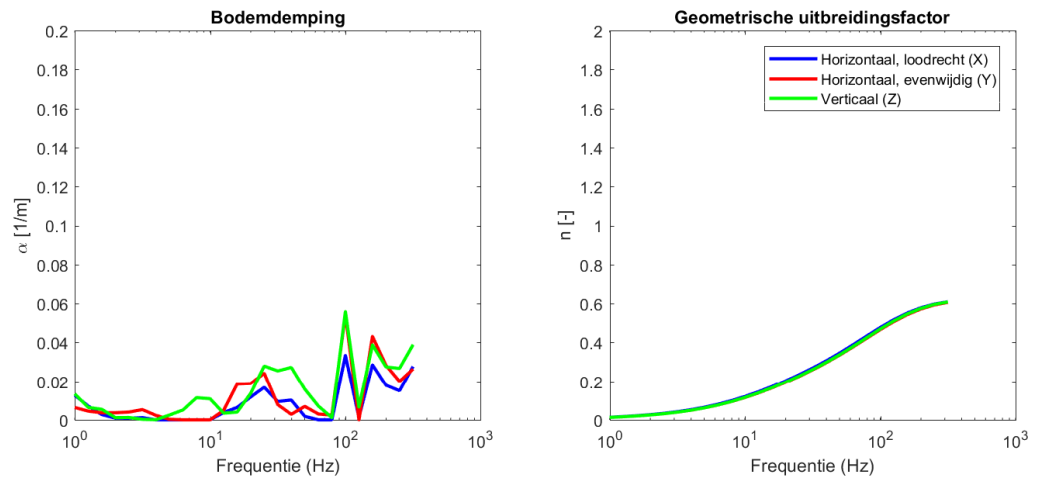
Hierin is $V(r,f)$ de trillingssterkte op een willekeurige afstand r tot de trillingsbron, r_0 een referentieafstand, n een frequentieafhankelijke factor die de geometrische uitbreiding van de trillingen beschrijft en α een frequentieafhankelijke factor die de bodemdemping beschrijft. Met behulp van de kleinste-kwadratenmethode is deze relatie voor elke frequentie in het tertsbandspectrum te bepalen.

De maaiveldmetingen zijn uitgevoerd op in twee locaties, verdeeld langs het tracé, zie Figuur IV - 1. De metingen zijn verricht op 15 maart 2017. Op beide locaties zijn minimaal vijftien treinen gemeten op beide sporen.

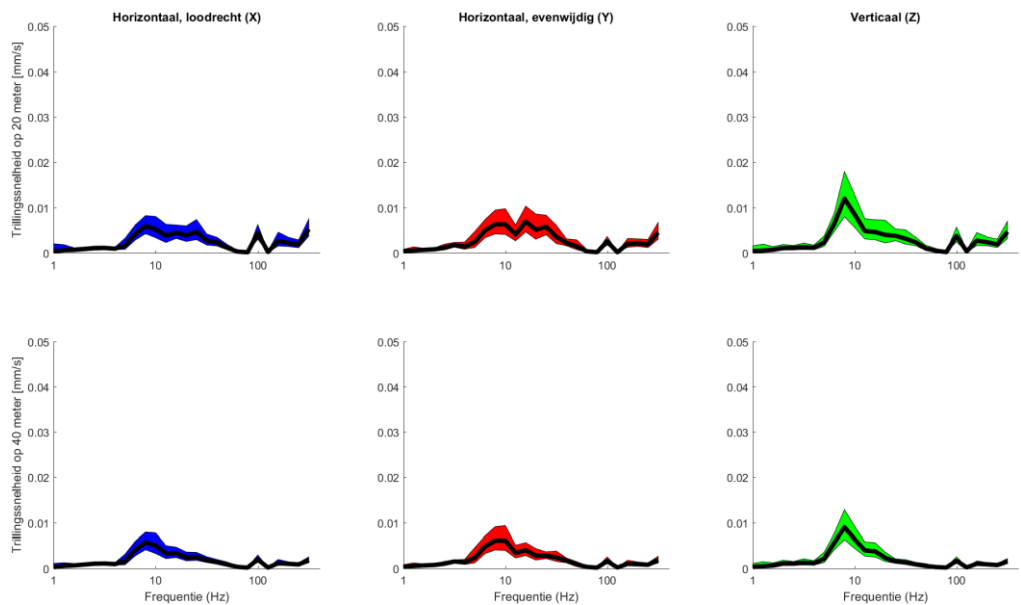


Figuur IV - 1 Locaties maaiveldmetingen

Resultaat van de maaiveldmetingen is per locatie een dempingsconstante, een geometrische uitbreidingsfactor en een trillingspectrum op verschillende afstanden tot het spoor. De resultaten bij de Griendtsveenweg zijn weergegeven in Figuur IV - 2 en Figuur IV - 3.

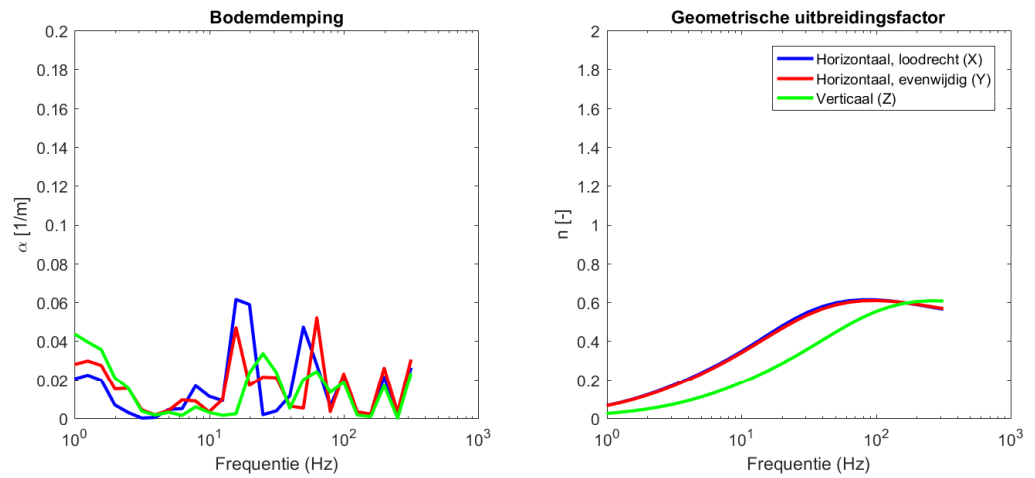


Figuur IV - 2 Dempingsparameter (links) en geometrische uitbreidingsfactor als functie van de frequentie (rechts). De meting is verricht aan de Griendtsveenweg

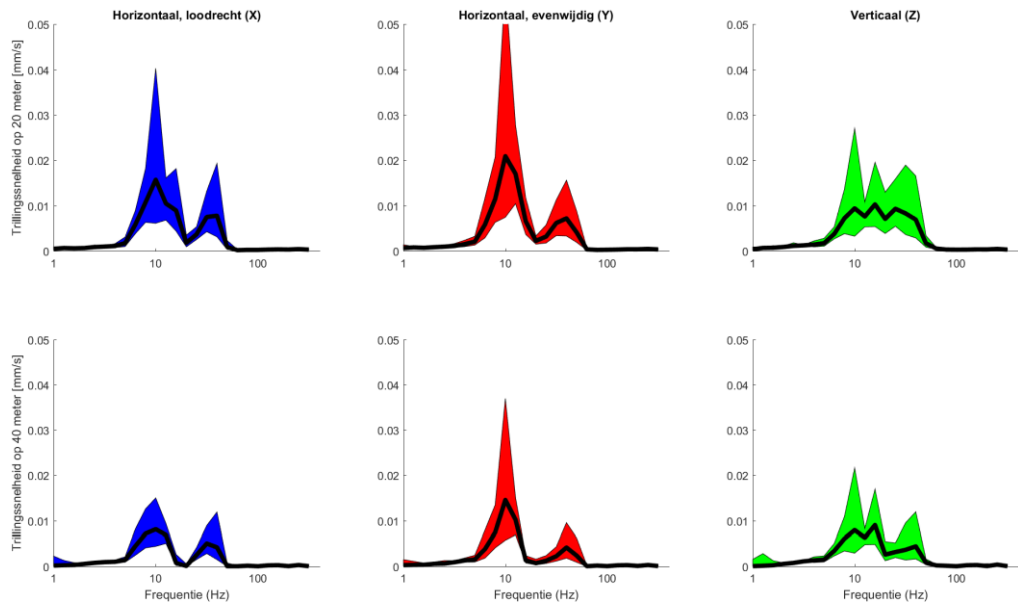


Figuur IV - 3 Trillingspectra (95 procentinterval) op 20 (boven) en 40 (onder) meter afstand bij de Griendtsveenweg

De resultaten bij de Prilleweg zijn weergegeven in Figuur IV - 4 en Figuur IV - 5. Bij de Griendtsveenweg is een lagere demping gemeten dan bij de Prilleweg, de trillingen zijn daar tot op grotere afstand voelbaar.



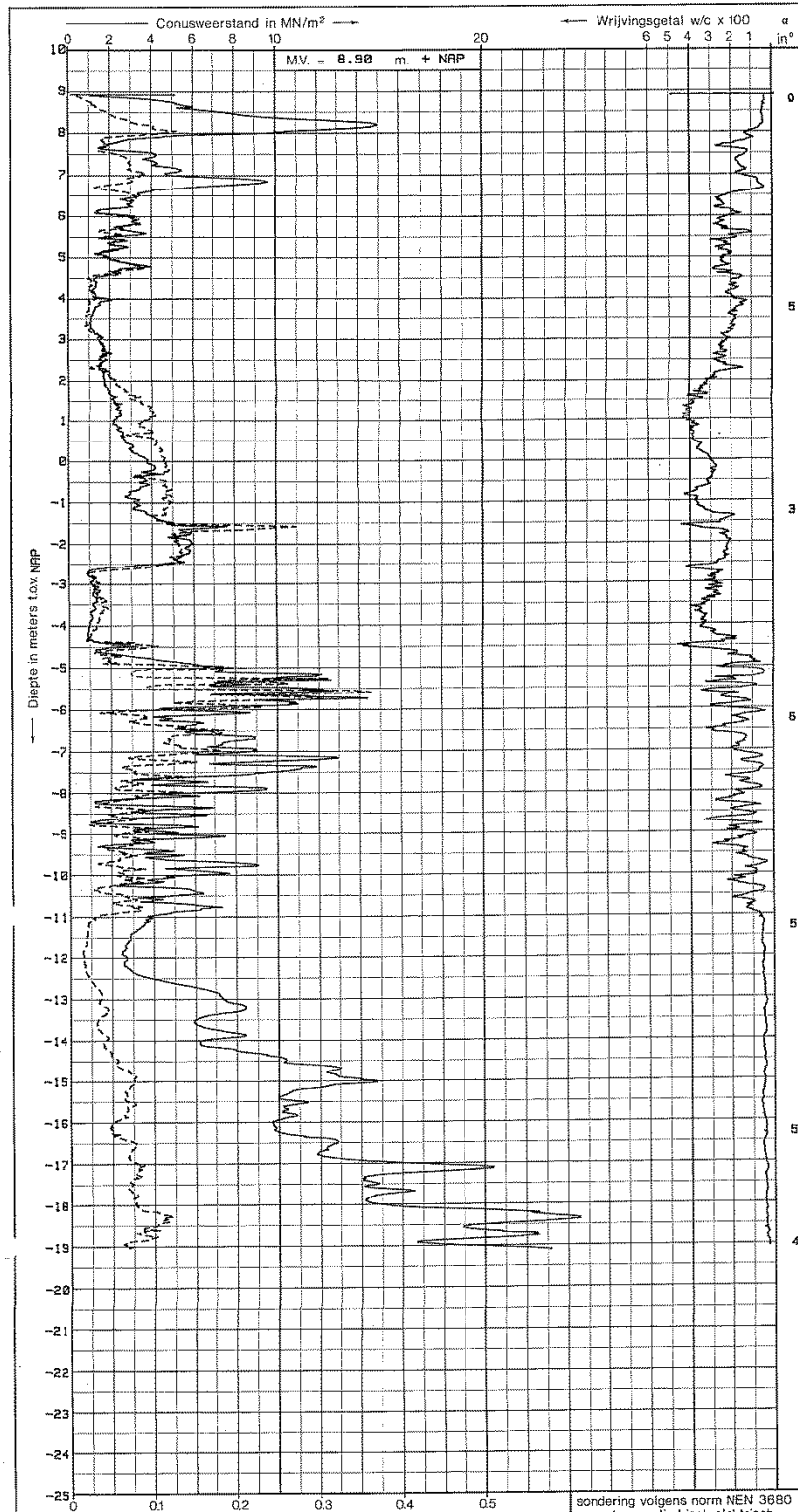
Figuur IV - 4 Dempingsparameter (links) en geometrische uitbreidingsfactor als functie van de frequentie (rechts). De meting is verricht aan de Prilleweg



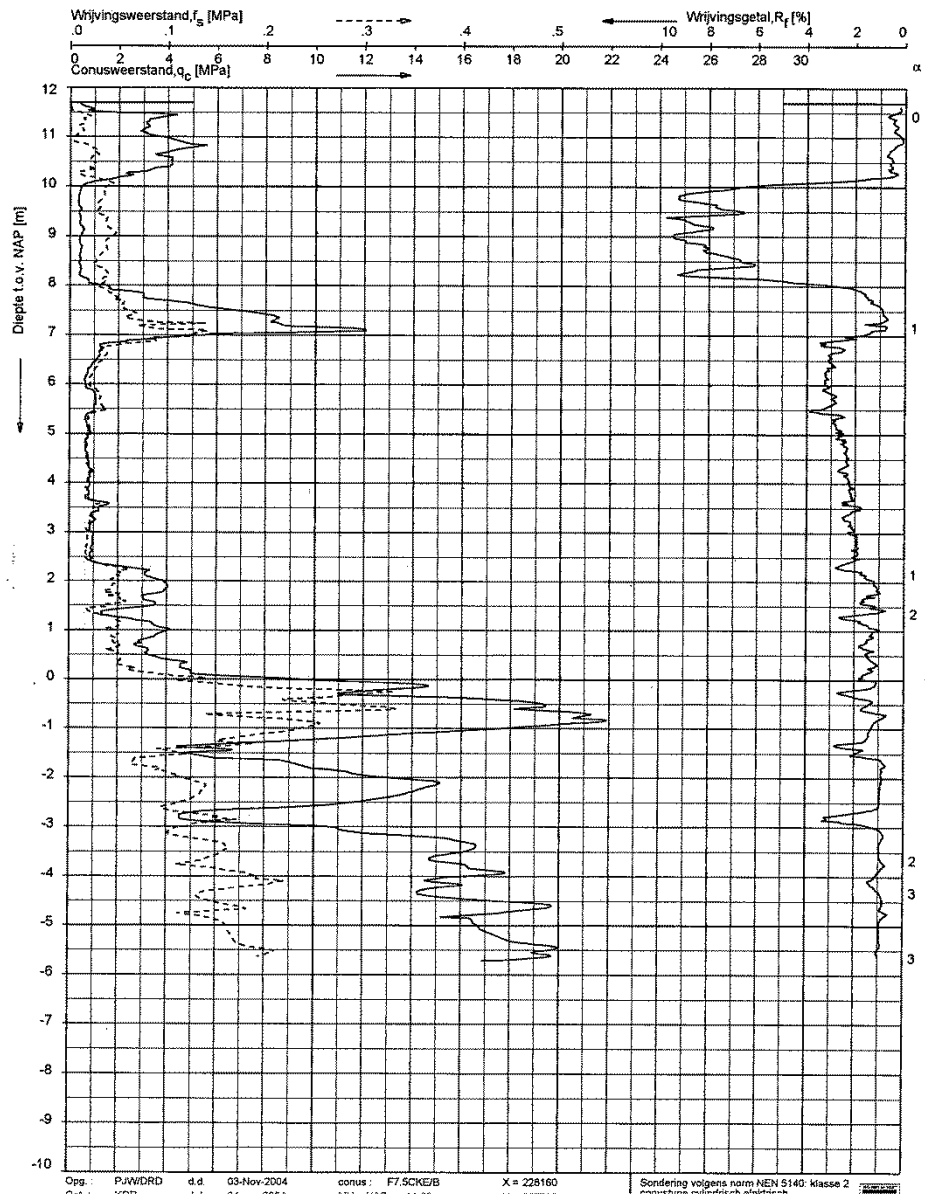
Figuur IV - 5 Trillingspectra (95 procentinterval) op 20 (boven) en 40 (onder) meter afstand bij de Prilleweg

IV.2 Bodemonderzoek

In dit onderzoek is gebruik gemaakt van sonderingen. De gebruikte sonderingen S17C00016 en S17C00084 zijn weergegeven in Figuur IV - 6 en Figuur IV - 7.



Figuur IV - 6 Gebruikte sondering S17C00016



Figuur IV - 7 Gebruikte sondering S17C00084

Bijlage V Resultaten trillingsonderzoek






Deze bijlage bevat grootformaten van de figuren uit hoofdstuk 6, in de volgende volgorde:

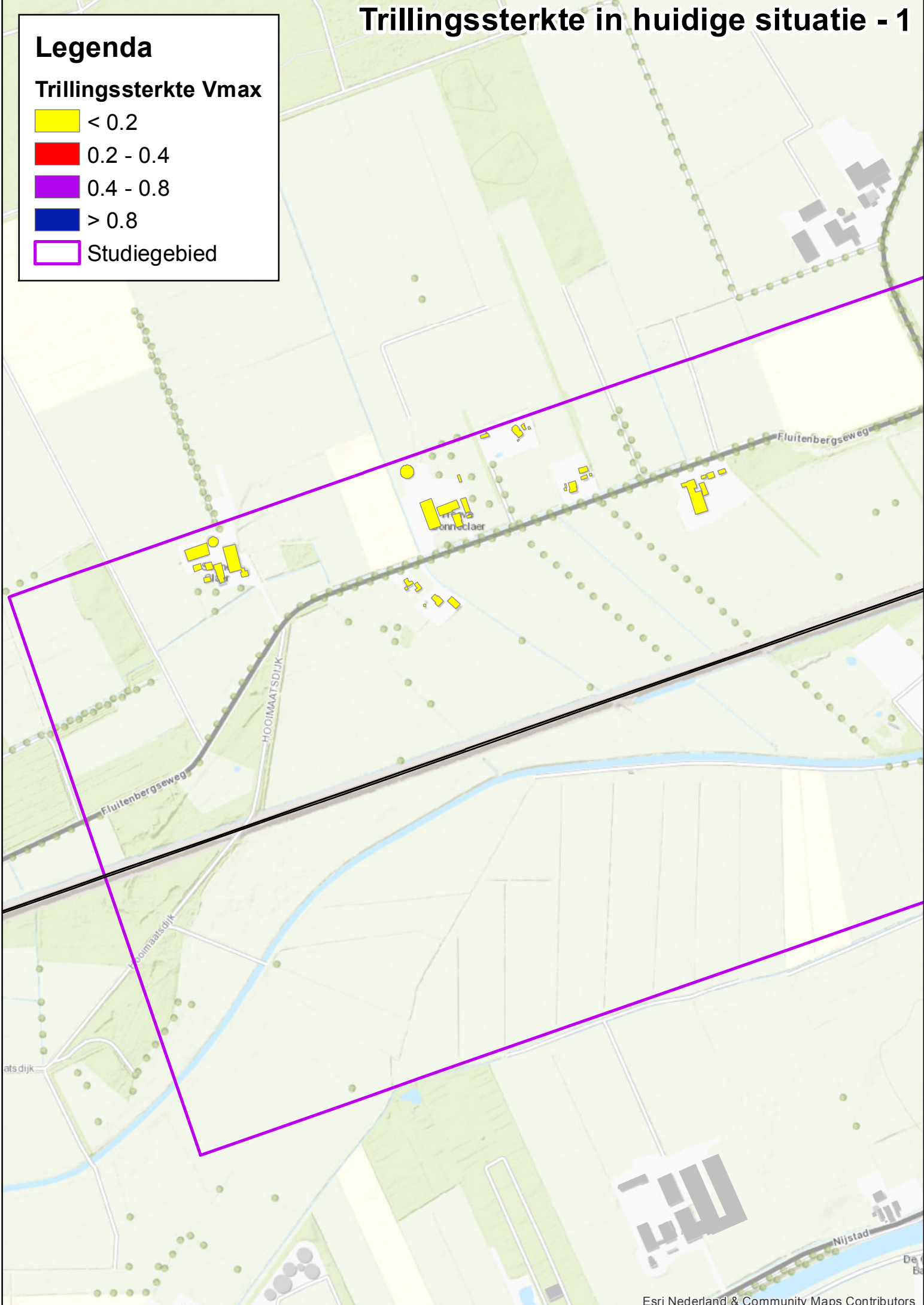
1. Trillingssterkte V_{max} in de huidige situatie
2. Trillingsintensiteit V_{per} in de huidige situatie
3. Trillingssterkte V_{max} in de referentiesituatie
4. Trillingsintensiteit V_{per} in de referentiesituatie
5. Trillingssterkte V_{max} in de plansituatie
6. Trillingsintensiteit V_{per} in de plansituatie
7. Toename van de trillingen Q
8. Beoordeling op de Bts

Trillingssterkte in huidige situatie - 1

Legenda

Trillingssterkte Vmax


-  < 0.2
-  0.2 - 0.4
-  0.4 - 0.8
-  > 0.8
-  Studiegebied





Trillingssterkte in huidige situatie - 2

Legenda

Trillingssterkte Vmax

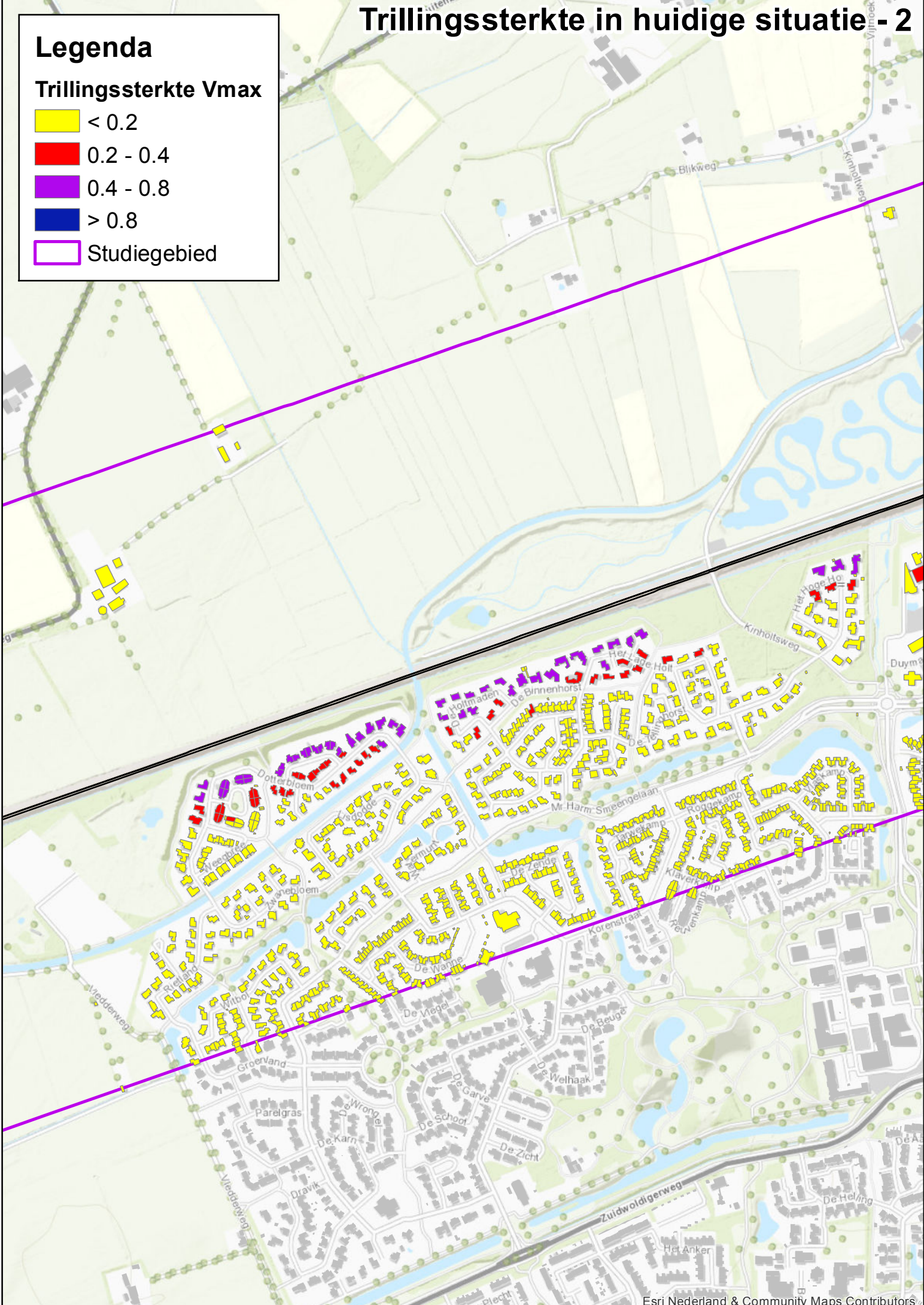
 < 0.2

 0.2 - 0.4

 0.4 - 0.8

 > 0.8

 Studiegebied





Trillingssterkte in huidige situatie - 3

Legenda


Trillingssterkte Vmax

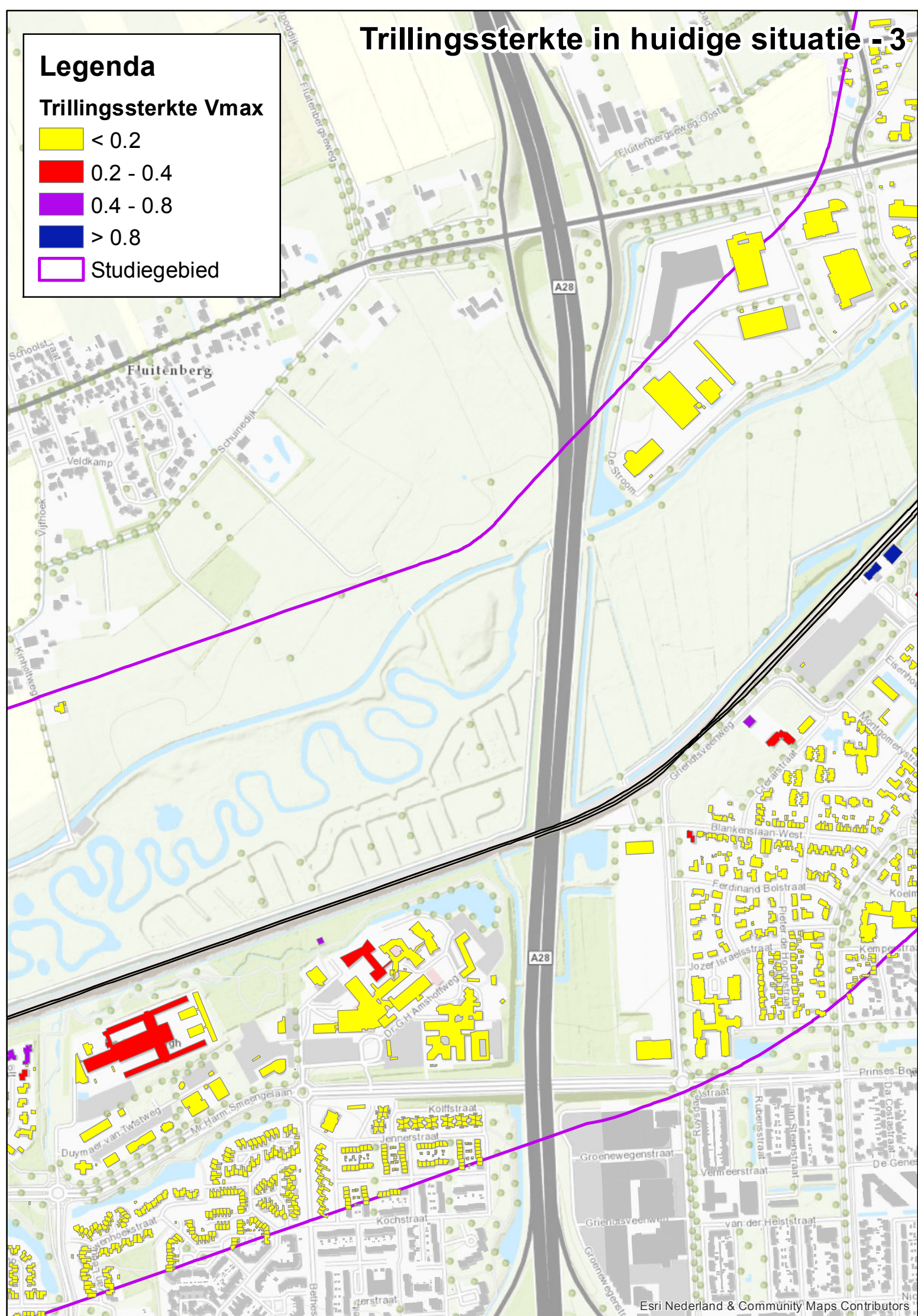
 < 0.2

 0.2 - 0.4

 0.4 - 0.8

 > 0.8

 Studiegebied

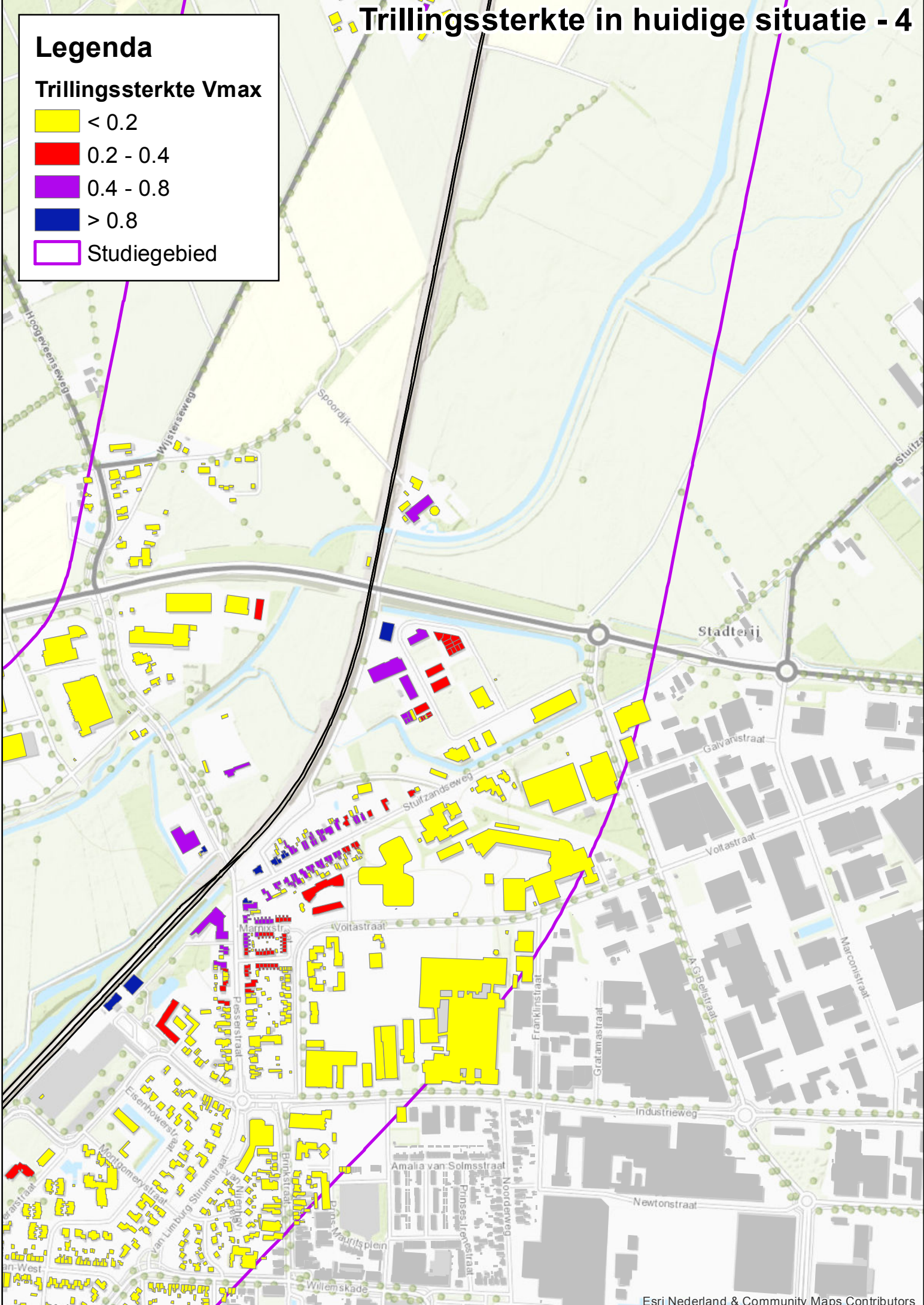


Trillingssterkte in huidige situatie - 4

Legenda

Trillingssterkte Vmax

- < 0.2
- 0.2 - 0.4
- 0.4 - 0.8
- > 0.8
- Studiegebied

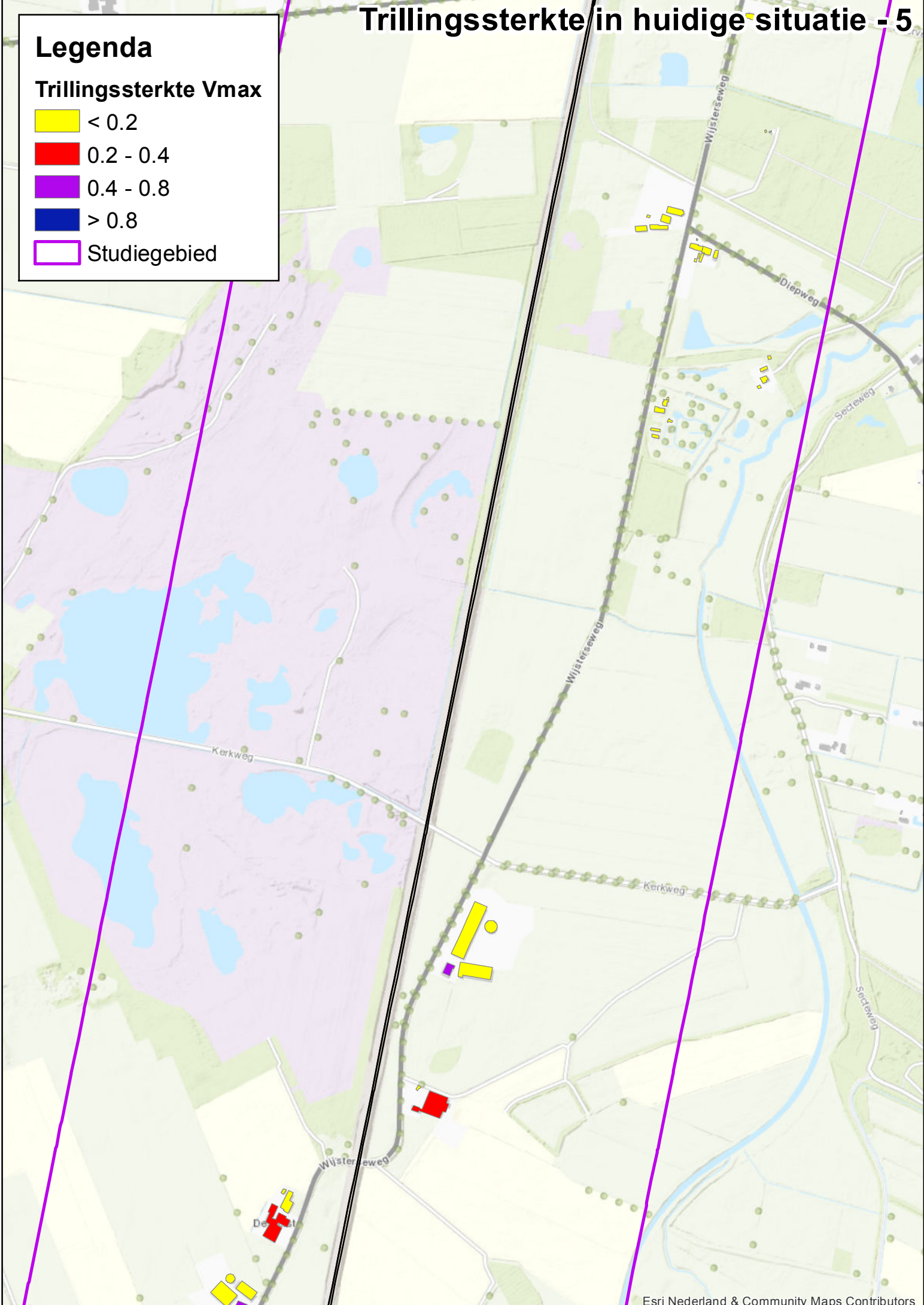


Trillingssterkte in huidige situatie - 5

Legenda

Trillingssterkte Vmax






- < 0.2
- 0.2 - 0.4
- 0.4 - 0.8
- > 0.8
- Studiegebied

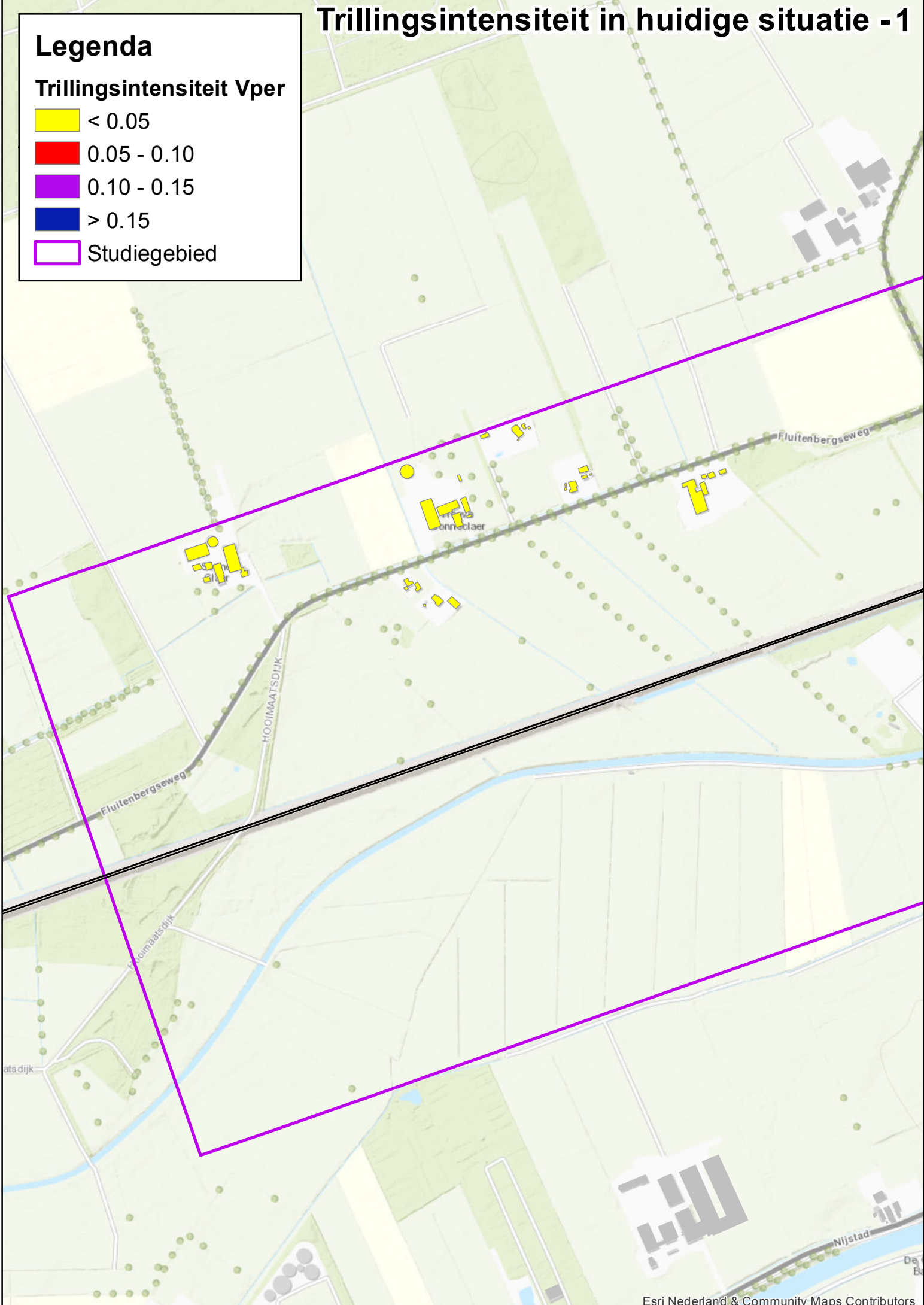


Trillingsintensiteit in huidige situatie - 1

Legenda

Trillingsintensiteit Vper

-  < 0.05
-  0.05 - 0.10
-  0.10 - 0.15
-  > 0.15
-  Studiegebied

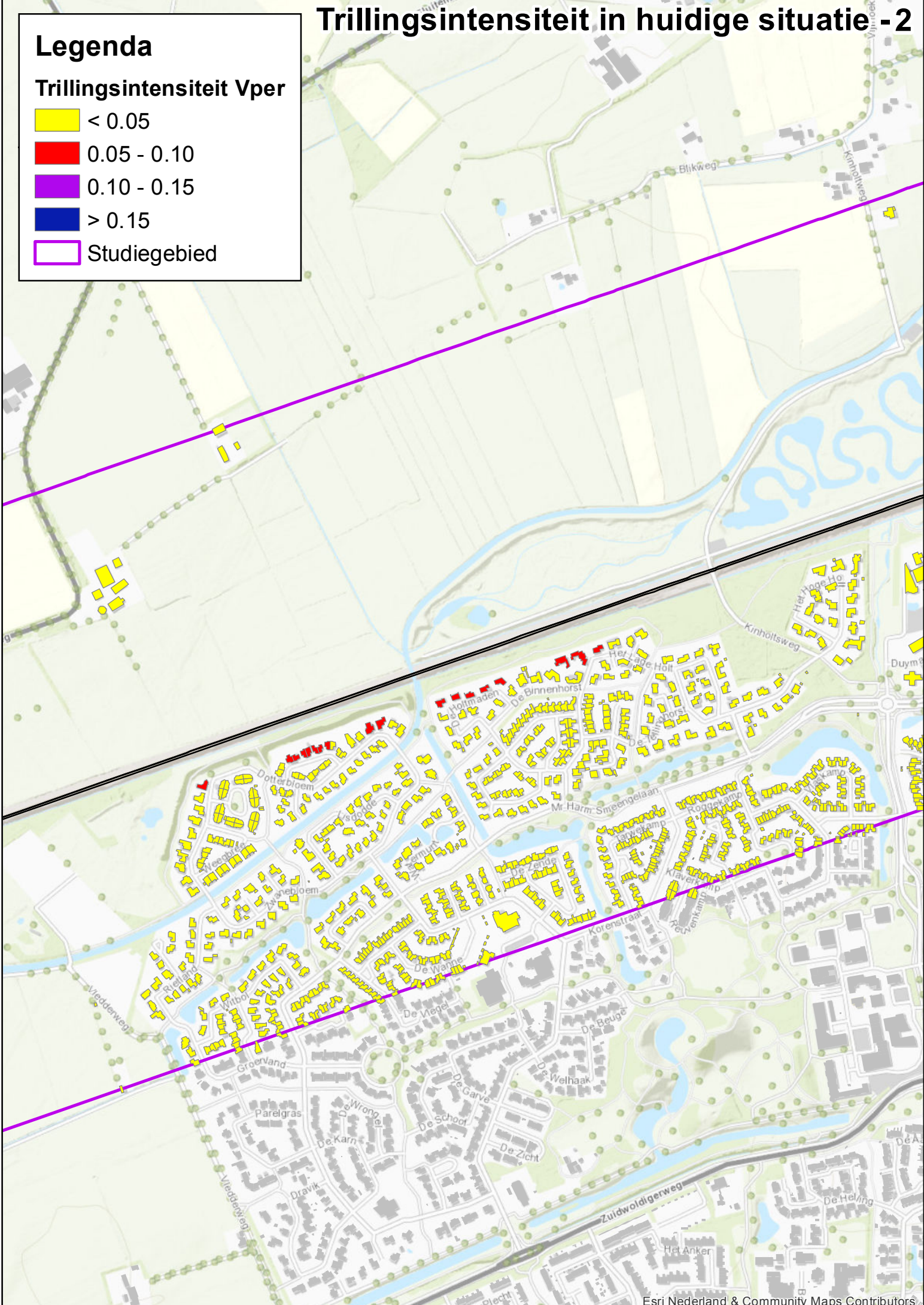


Trillingsintensiteit in huidige situatie - 2

Legenda

Trillingsintensiteit Vper

- < 0.05
- 0.05 - 0.10
- 0.10 - 0.15
- > 0.15
- Studiegebied

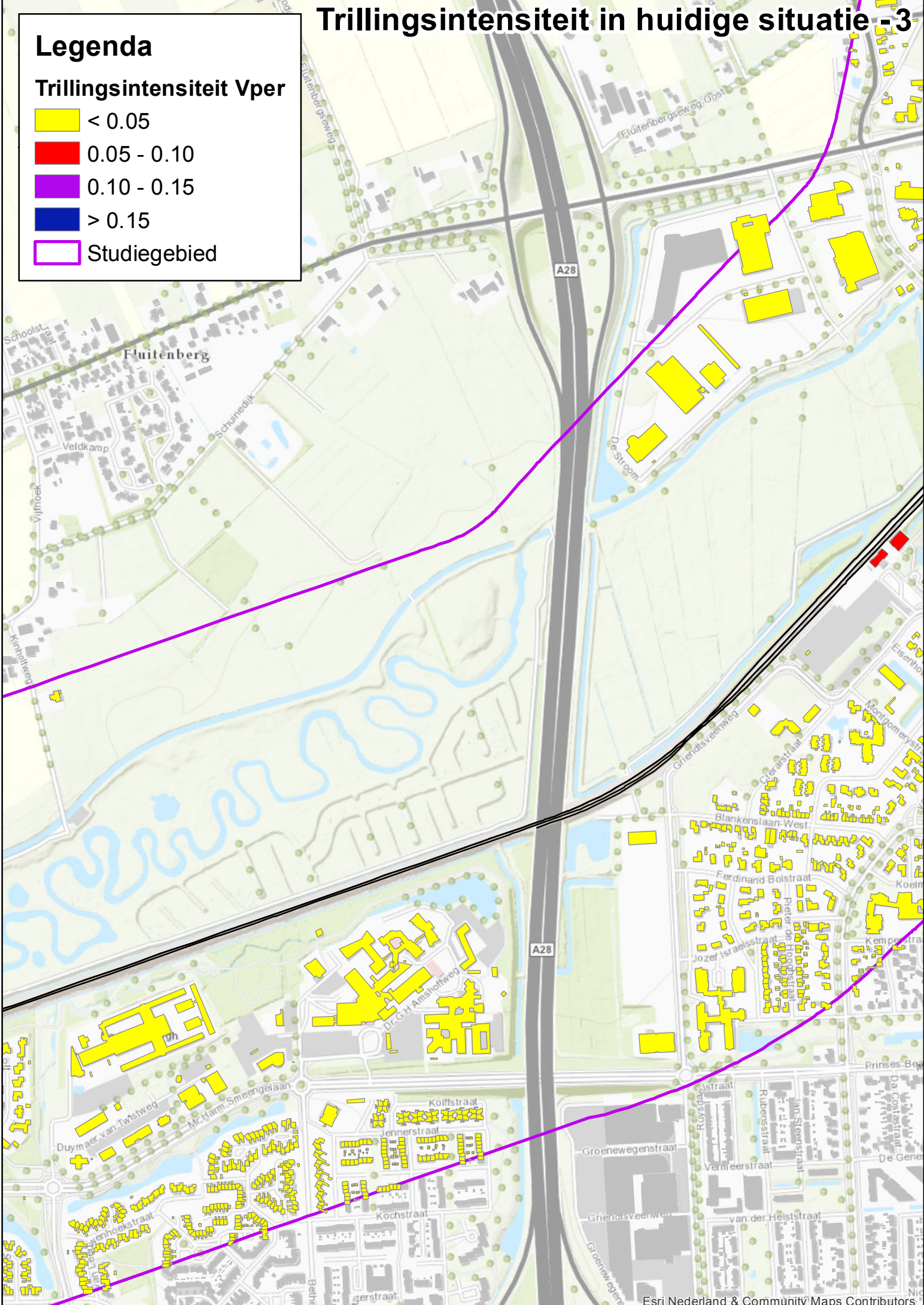


Trillingsintensiteit in huidige situatie - 3

Legenda

Trillingsintensiteit Vper

- < 0.05
- 0.05 - 0.10
- 0.10 - 0.15
- > 0.15
- Studiegebied

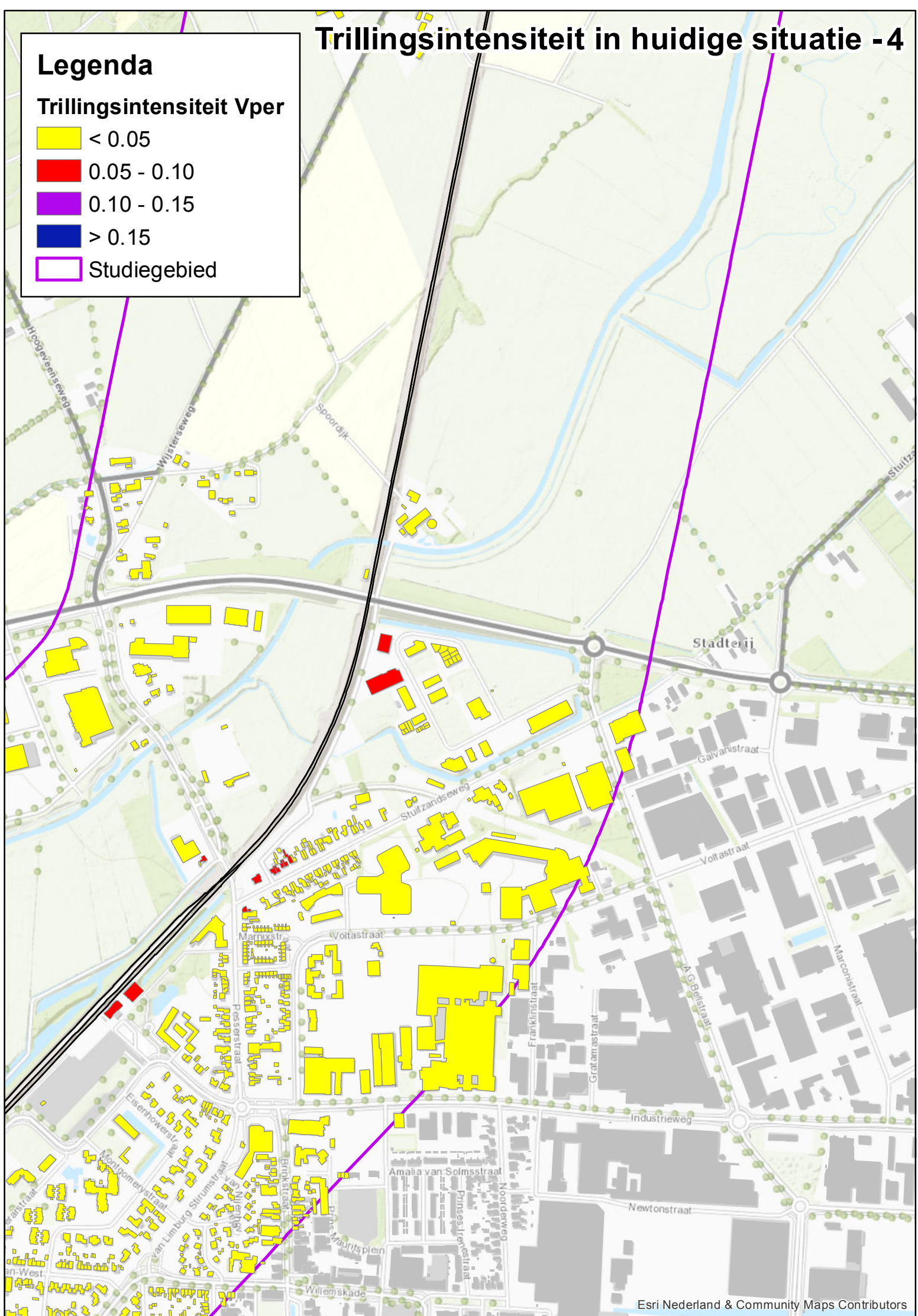


Trillingsintensiteit in huidige situatie - 4

Legenda

Trillingsintensiteit Vper






- < 0.05
- 0.05 - 0.10
- 0.10 - 0.15
- > 0.15
- Studiegebied

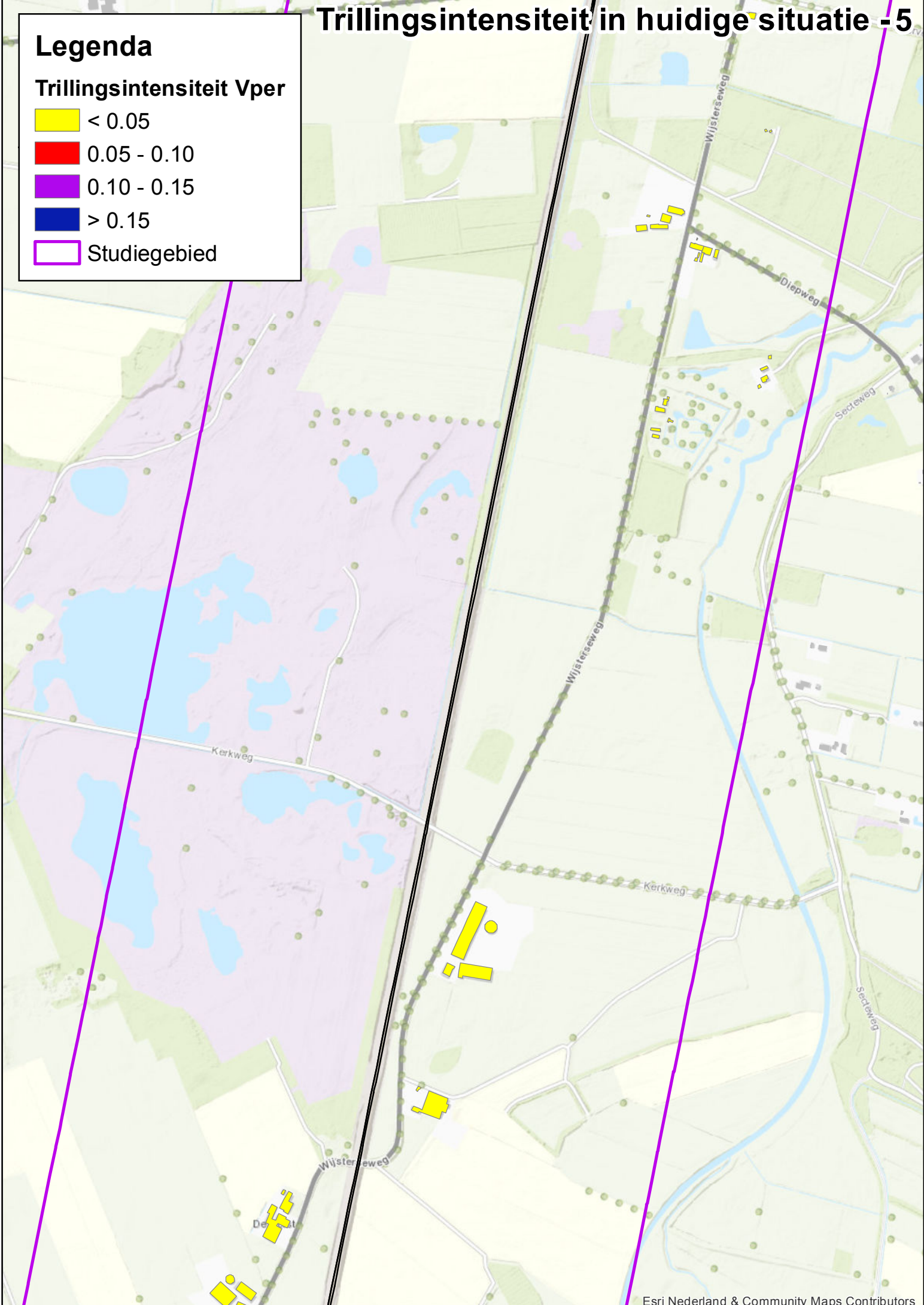


Trillingsintensiteit in huidige situatie - 5

Legenda

Trillingsintensiteit Vper

-  < 0.05
-  0.05 - 0.10
-  0.10 - 0.15
-  > 0.15
-  Studiegebied

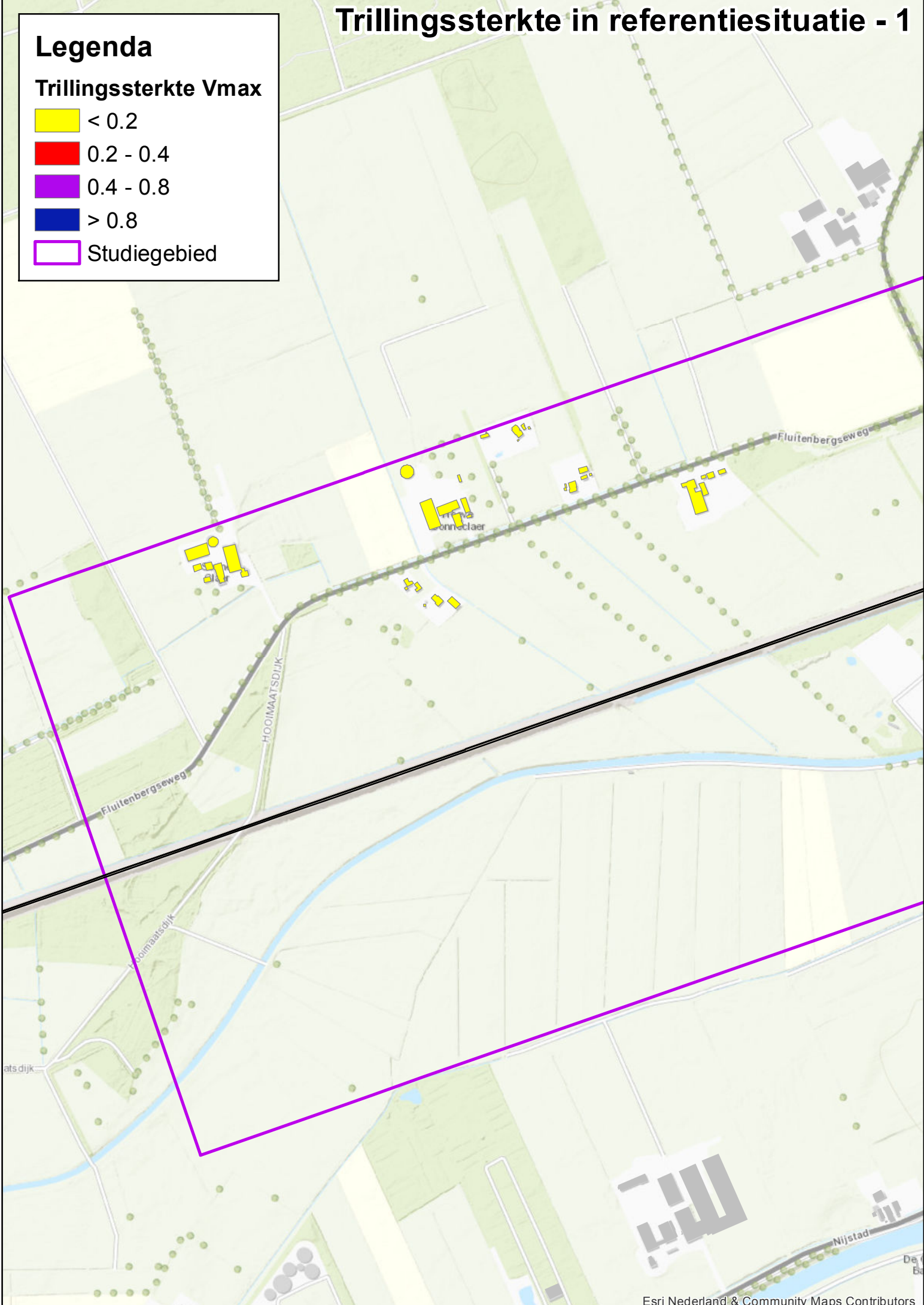


Trillingssterkte in referentiesituatie - 1

Legenda

Trillingssterkte Vmax

- < 0.2
- 0.2 - 0.4
- 0.4 - 0.8
- > 0.8
- Studiegebied

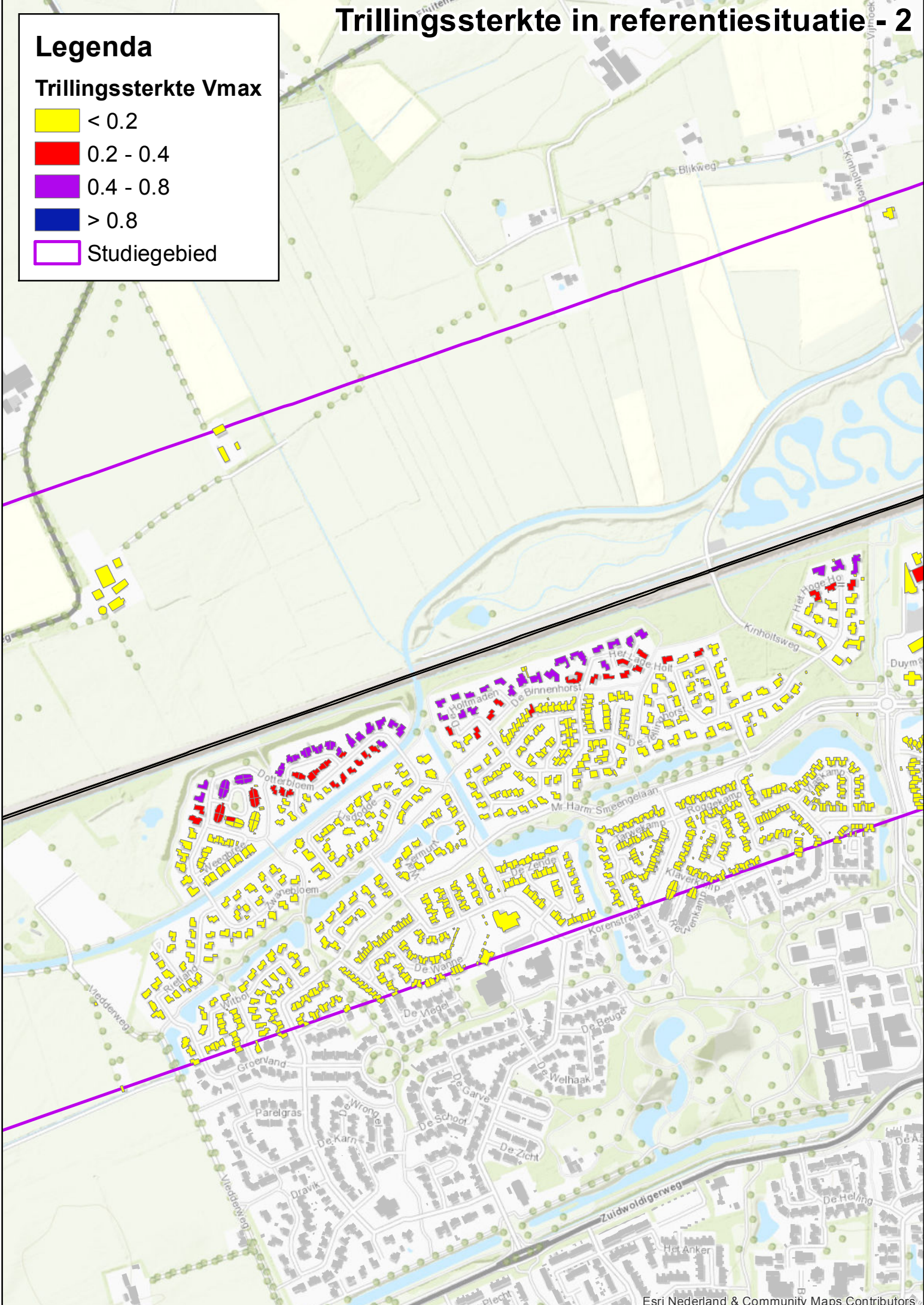


Trillingssterkte in referentiesituatie - 2

Legenda

Trillingssterkte Vmax

- < 0.2
- 0.2 - 0.4
- 0.4 - 0.8
- > 0.8
- Studiegebied

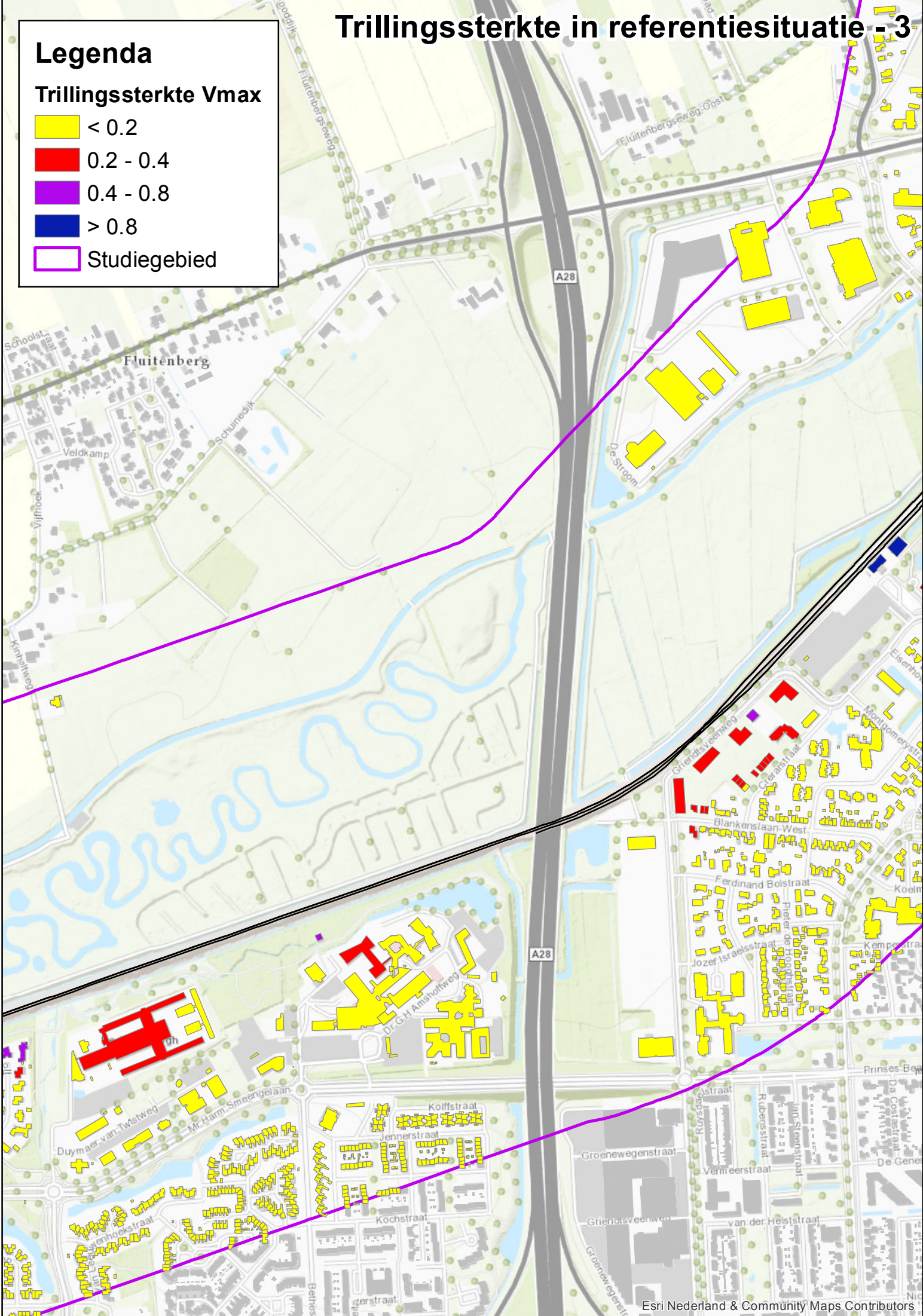


Trillingssterkte in referentiesituatie - 3

Legenda

Trillingssterkte Vmax

- < 0.2
- 0.2 - 0.4
- 0.4 - 0.8
- > 0.8
- Studiegebied

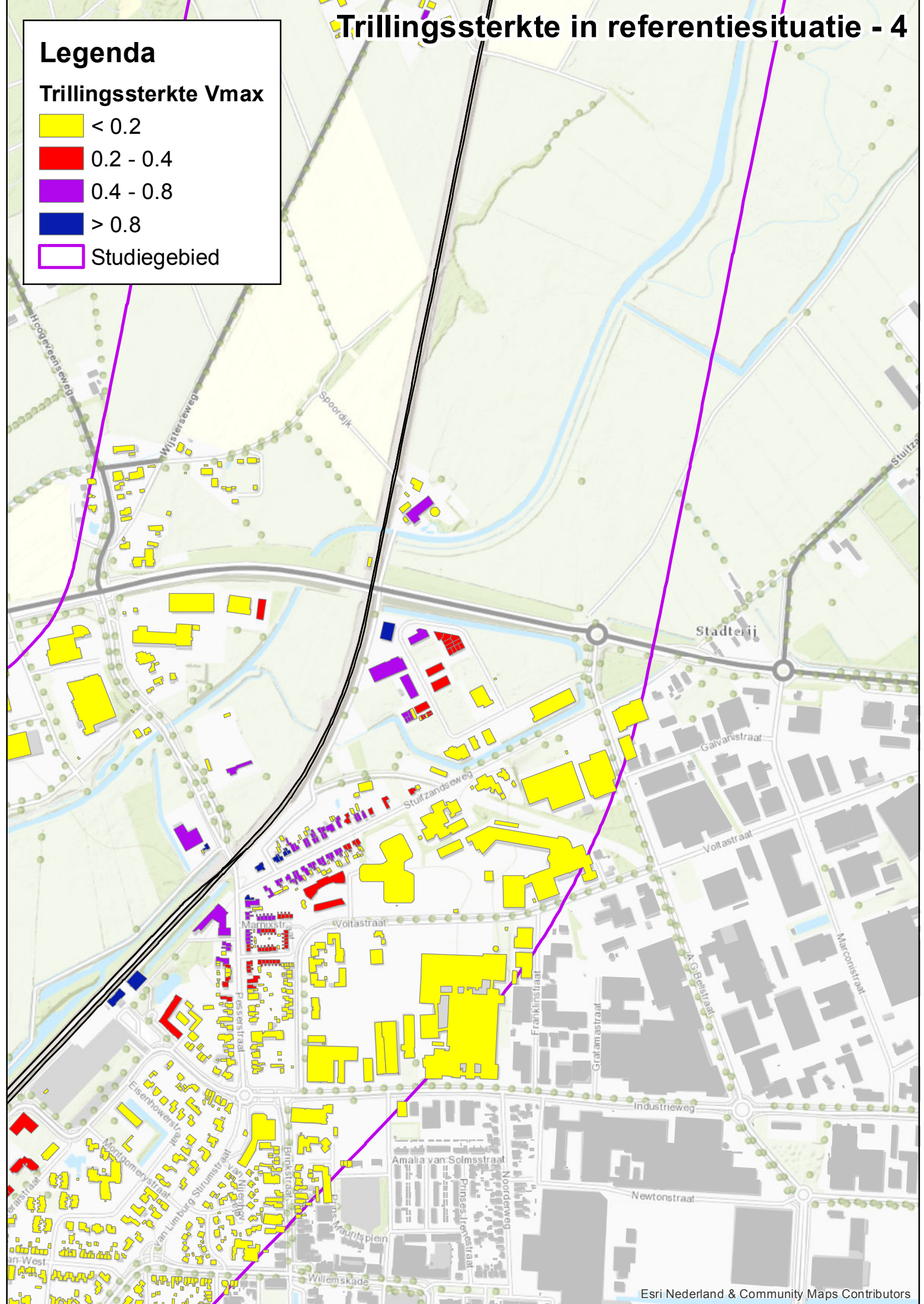


Trillingssterkte in referentiesituatie - 4

Legenda

Trillingssterkte Vmax

- < 0.2
- 0.2 - 0.4
- 0.4 - 0.8
- > 0.8
- Studiegebied

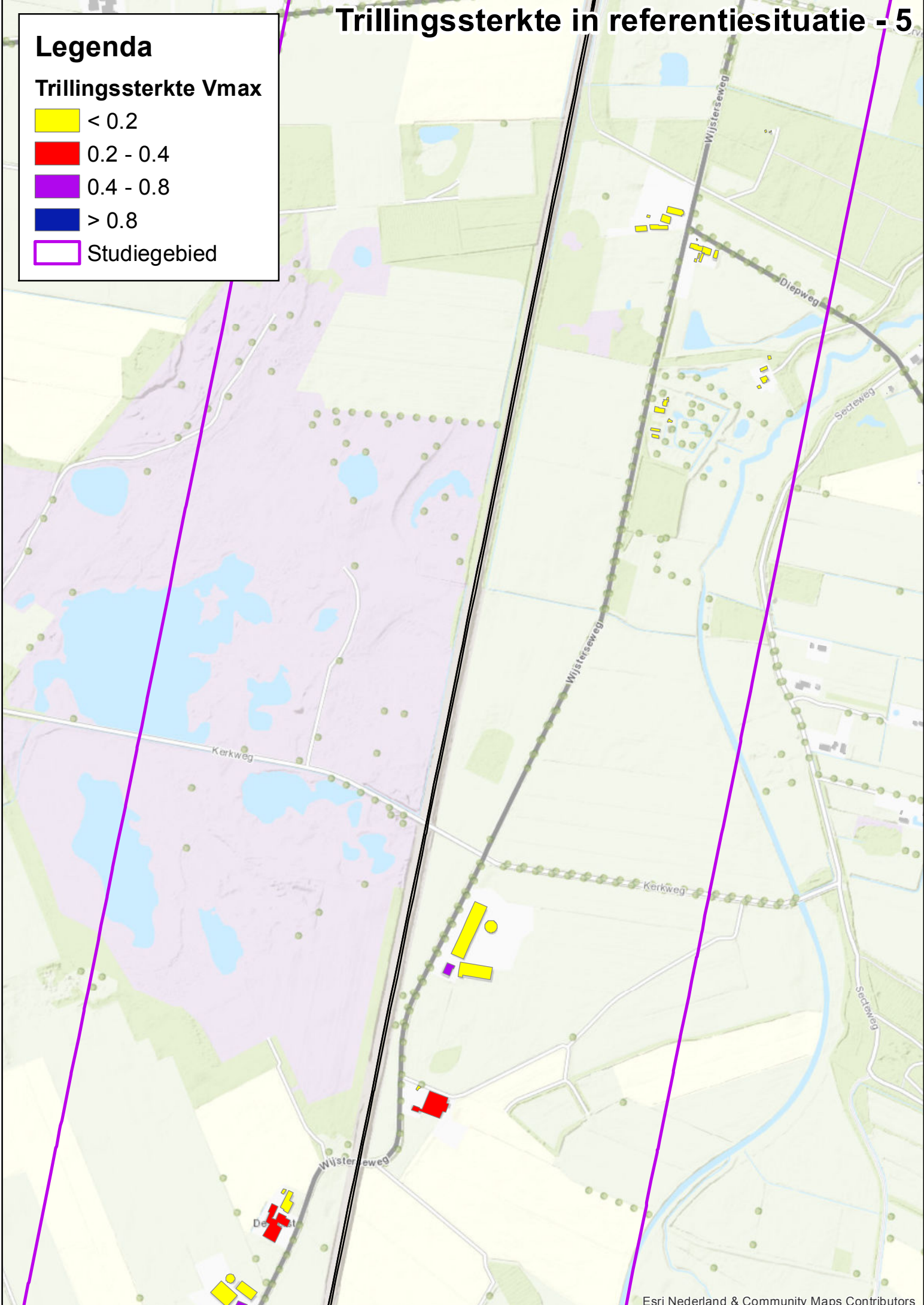


Trillingssterkte in referentiesituatie - 5

Legenda

Trillingssterkte Vmax






- < 0.2
- 0.2 - 0.4
- 0.4 - 0.8
- > 0.8
- Studiegebied

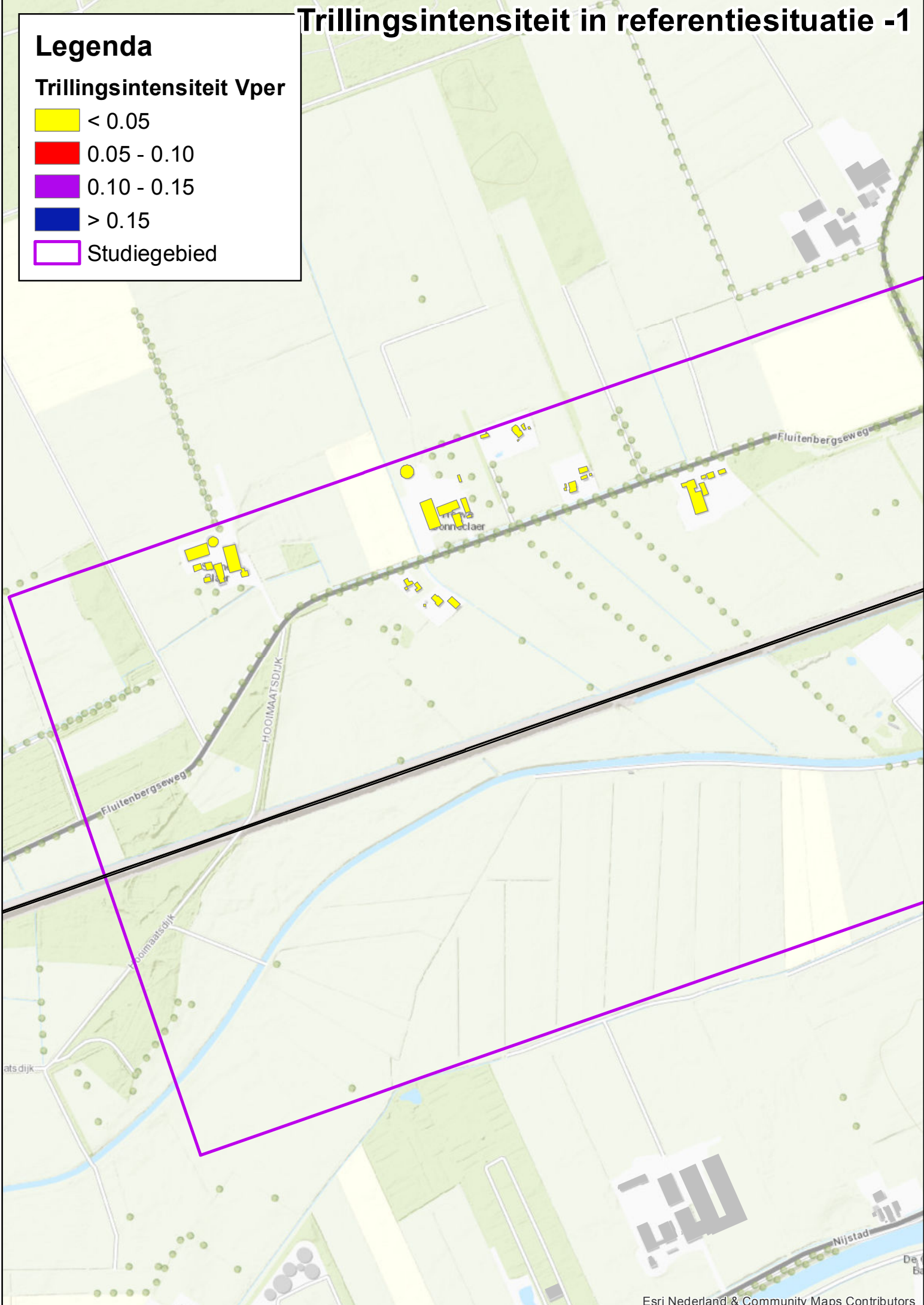


Trillingsintensiteit in referentiesituatie -1

Legenda

Trillingsintensiteit Vper






-  < 0.05
-  0.05 - 0.10
-  0.10 - 0.15
-  > 0.15
-  Studiegebied

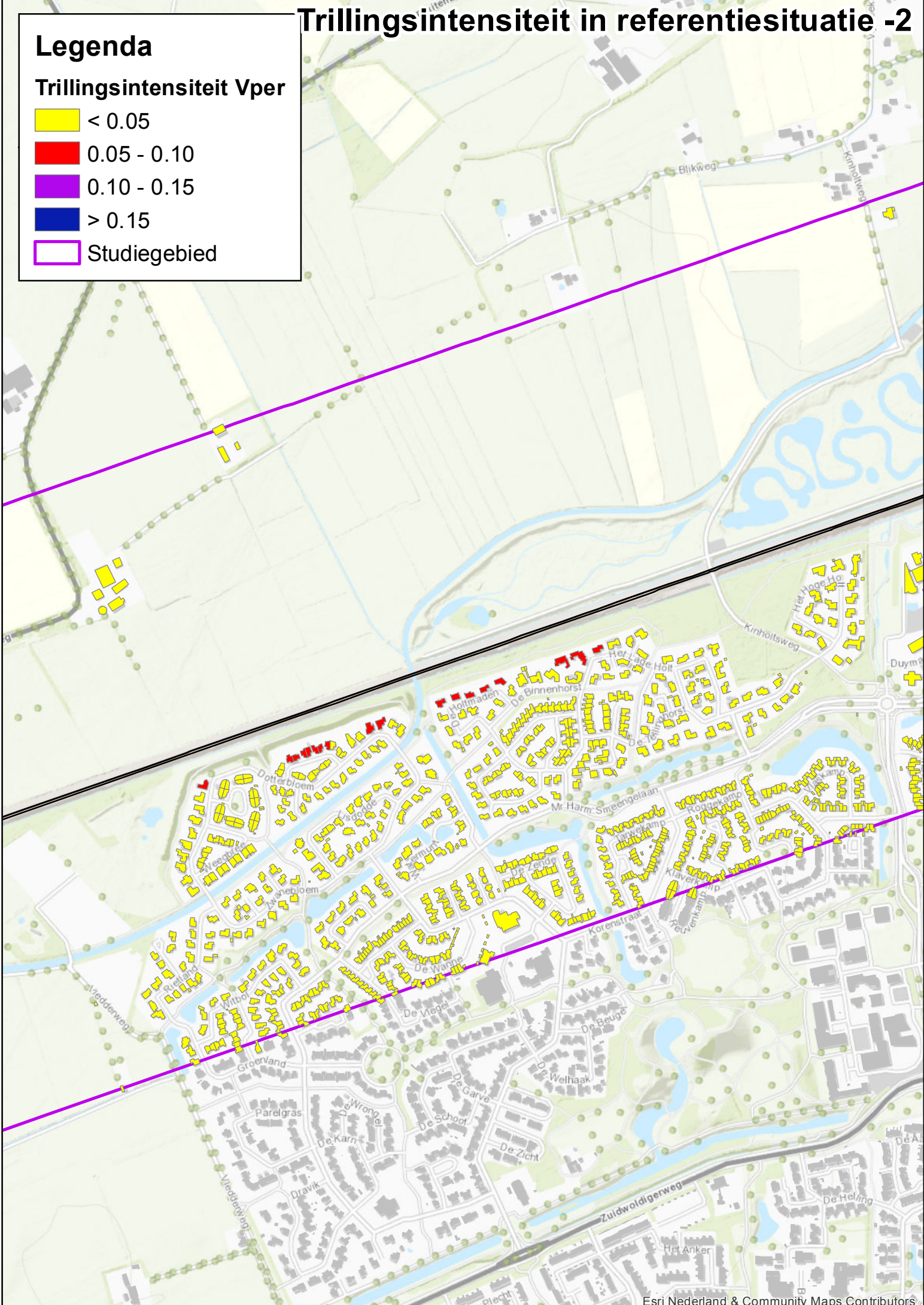


Trillingsintensiteit in referentiesituatie -2

Legenda

Trillingsintensiteit Vper

-  < 0.05
-  0.05 - 0.10
-  0.10 - 0.15
-  > 0.15
-  Studiegebied

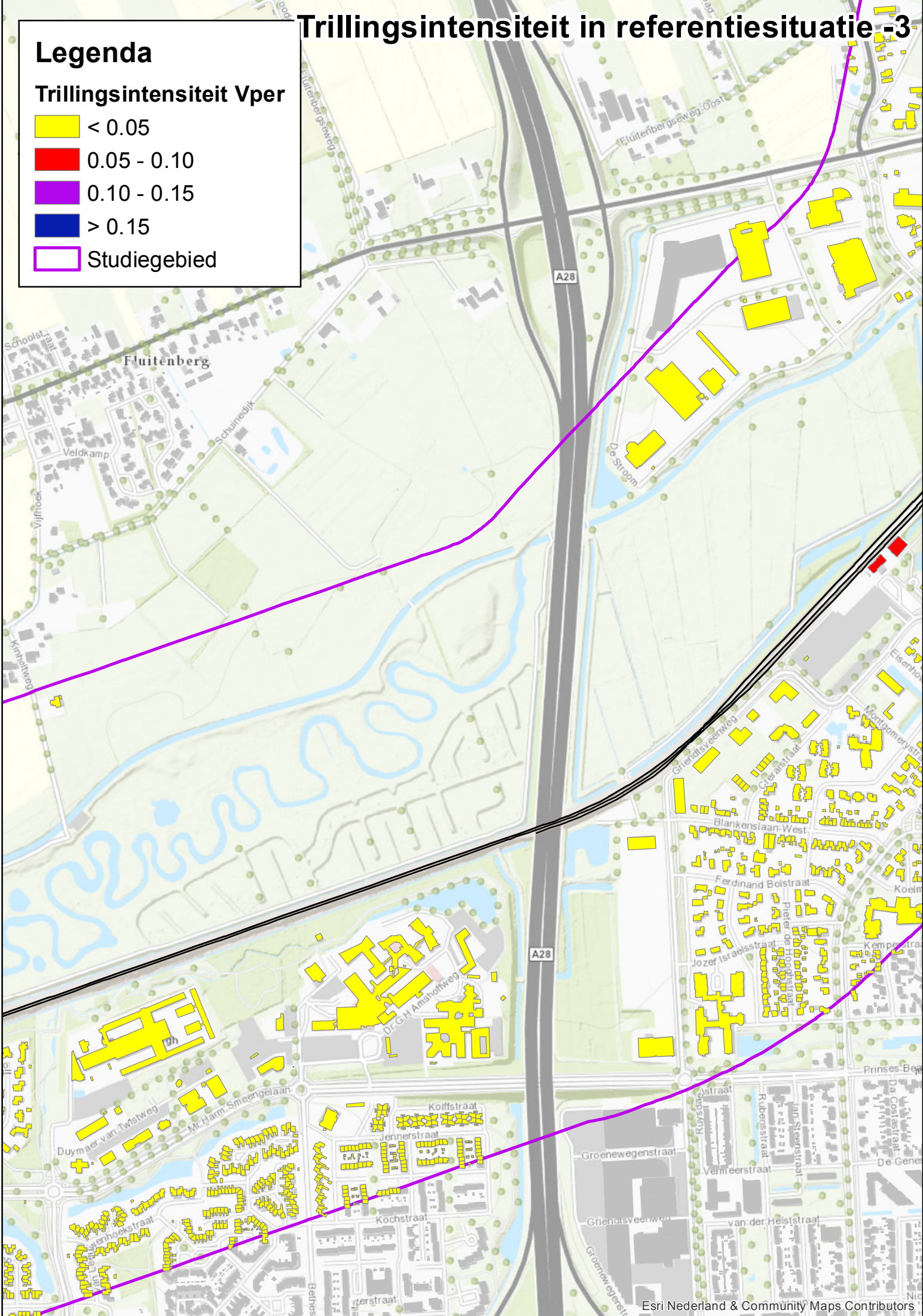


Trillingsintensiteit in referentiesituatie -3

Legenda

Trillingsintensiteit Vper

- < 0.05
- 0.05 - 0.10
- 0.10 - 0.15
- > 0.15
- Studiegebied

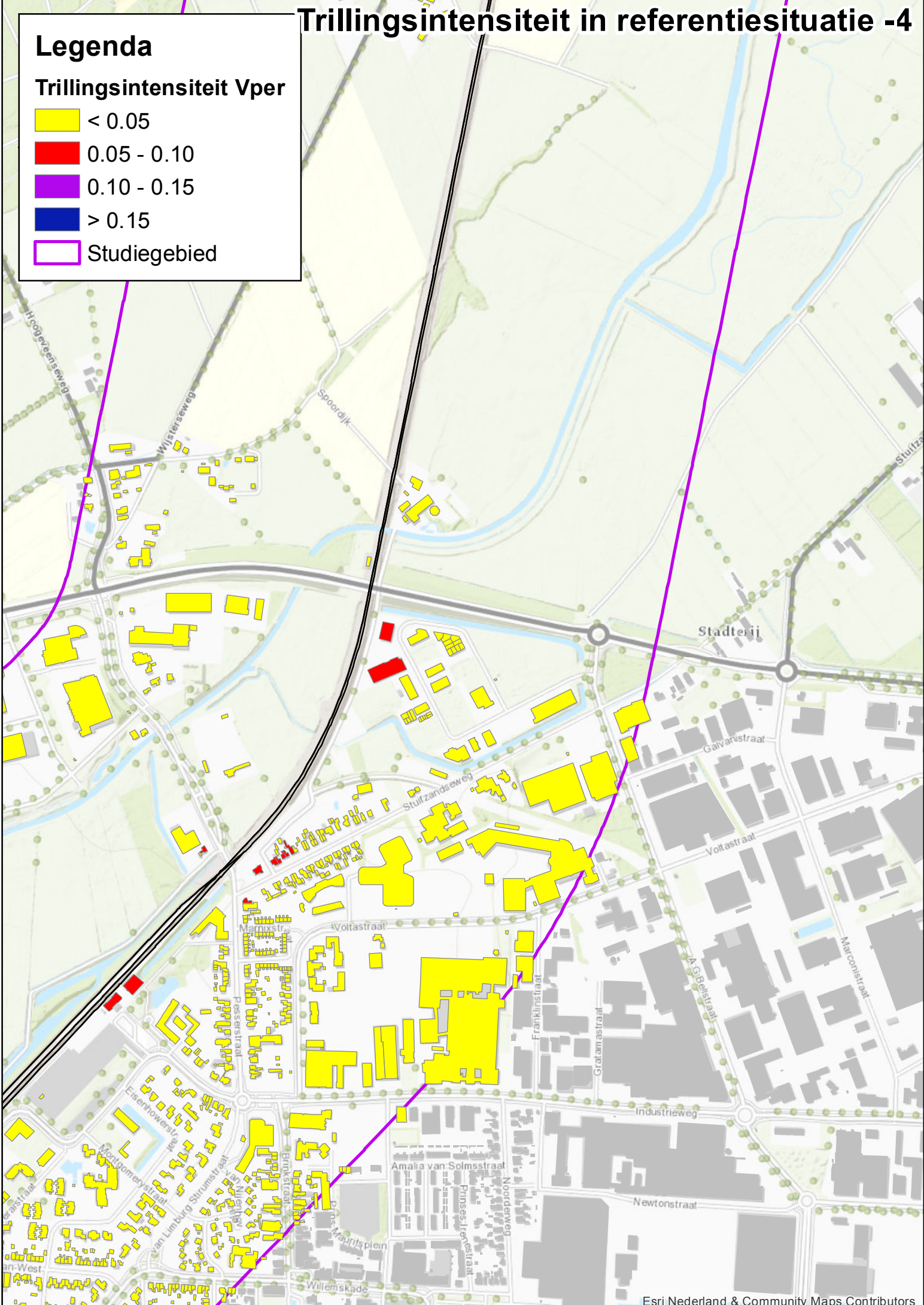


Trillingsintensiteit in referentiesituatie -4

Legenda

Trillingsintensiteit Vper






- < 0.05
- 0.05 - 0.10
- 0.10 - 0.15
- > 0.15
- Studiegebied

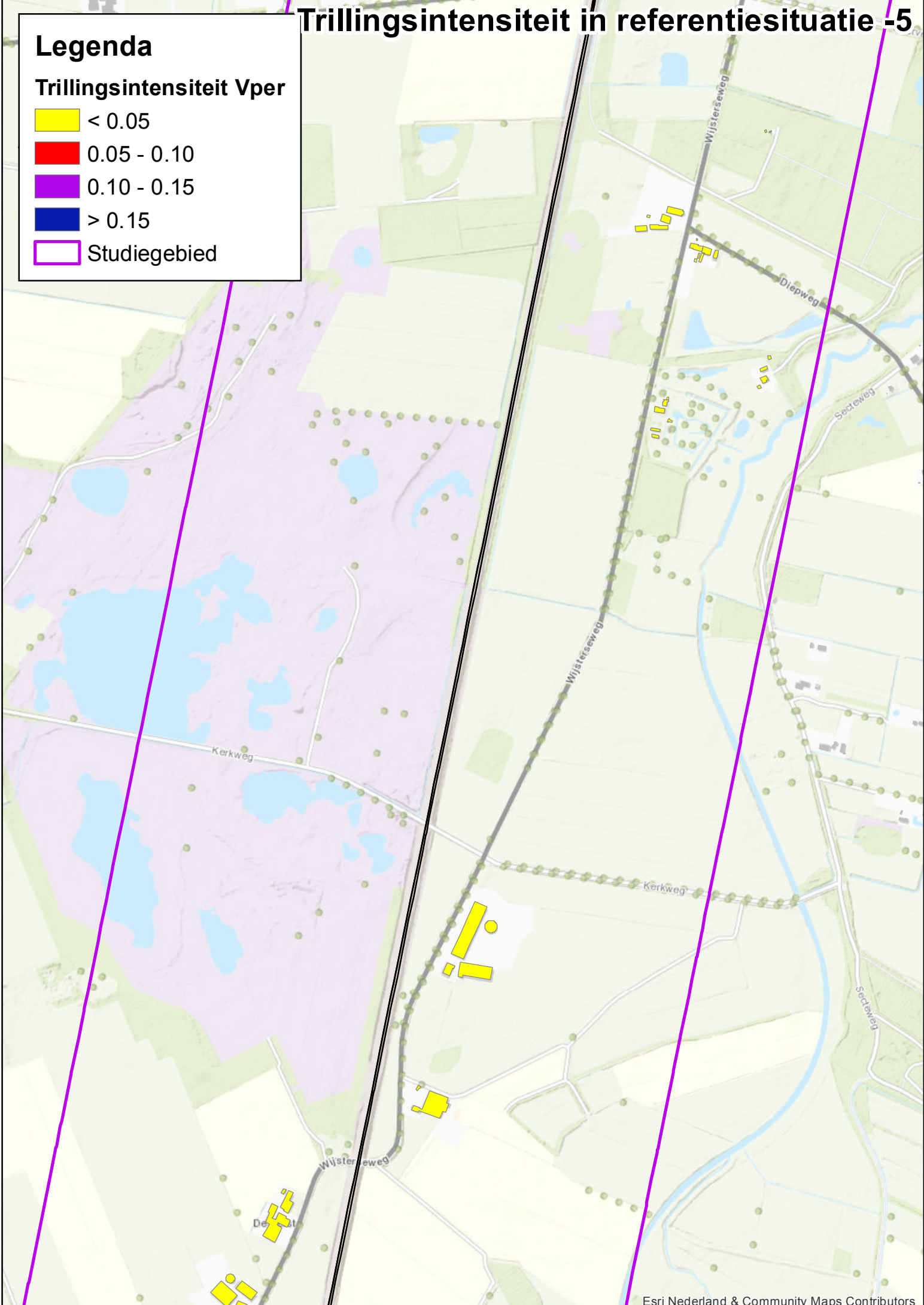


Trillingsintensiteit in referentiesituatie -5

Legenda

Trillingsintensiteit Vper






-  < 0.05
-  0.05 - 0.10
-  0.10 - 0.15
-  > 0.15
-  Studiegebied

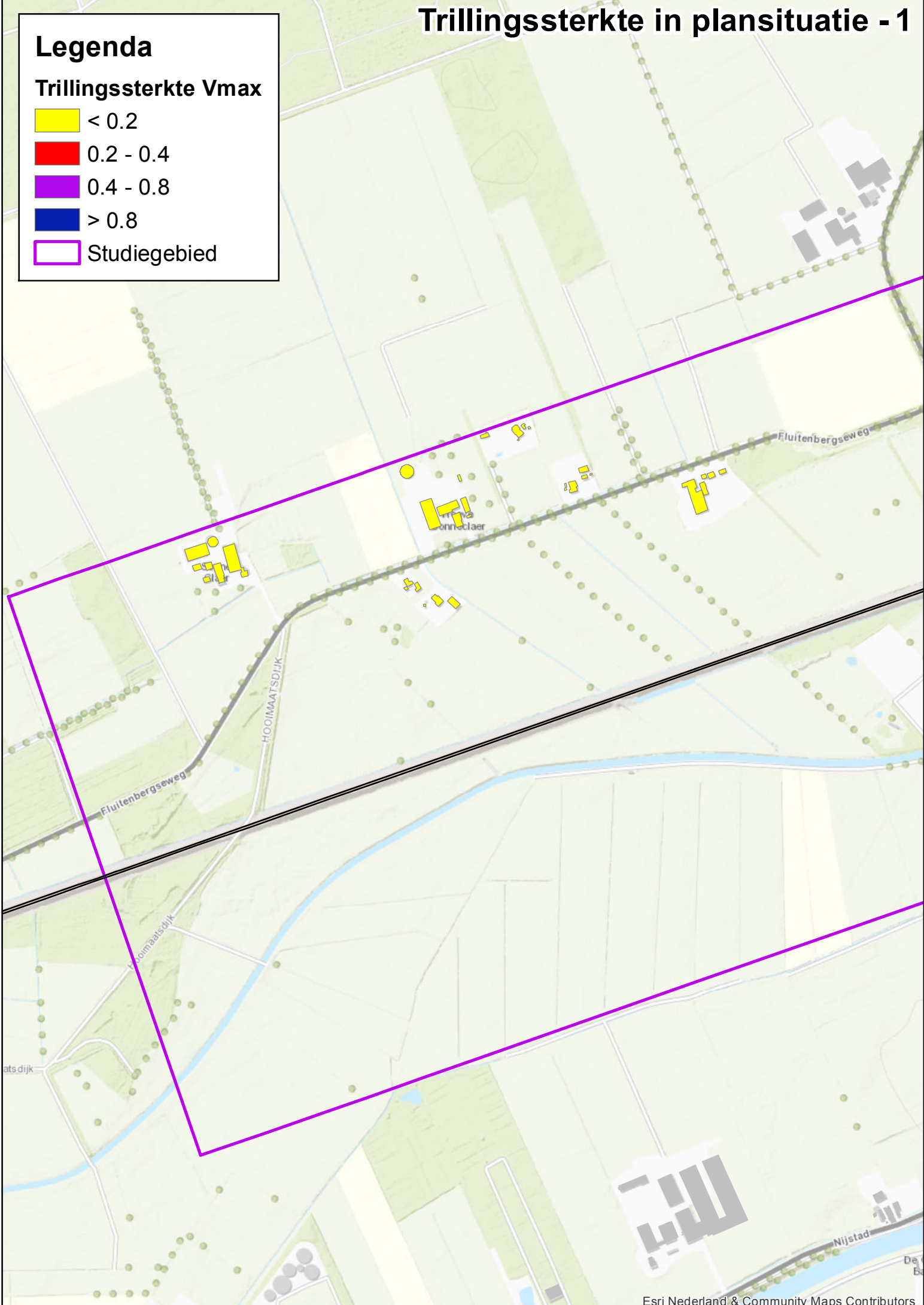


Trillingssterkte in plansituatie - 1

Legenda

Trillingssterkte Vmax

-  < 0.2
-  0.2 - 0.4
-  0.4 - 0.8
-  > 0.8
-  Studiegebied





Trillingssterkte in plansituatie - 2

Legenda


Trillingssterkte Vmax

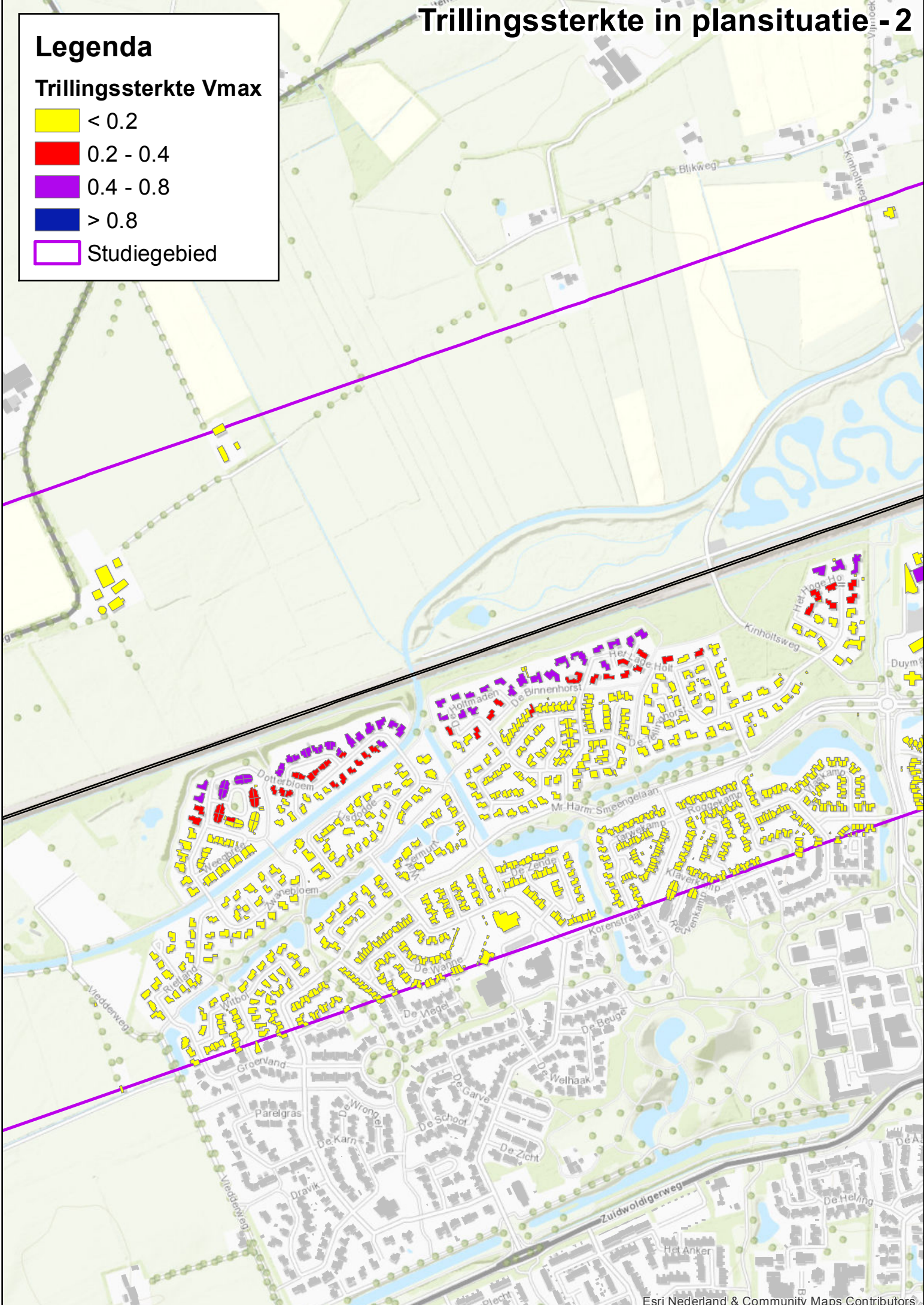
 < 0.2

 0.2 - 0.4

 0.4 - 0.8

 > 0.8


 Studiegebied





Trillingssterkte in plansituatie - 3

Legenda

Trillingssterkte Vmax

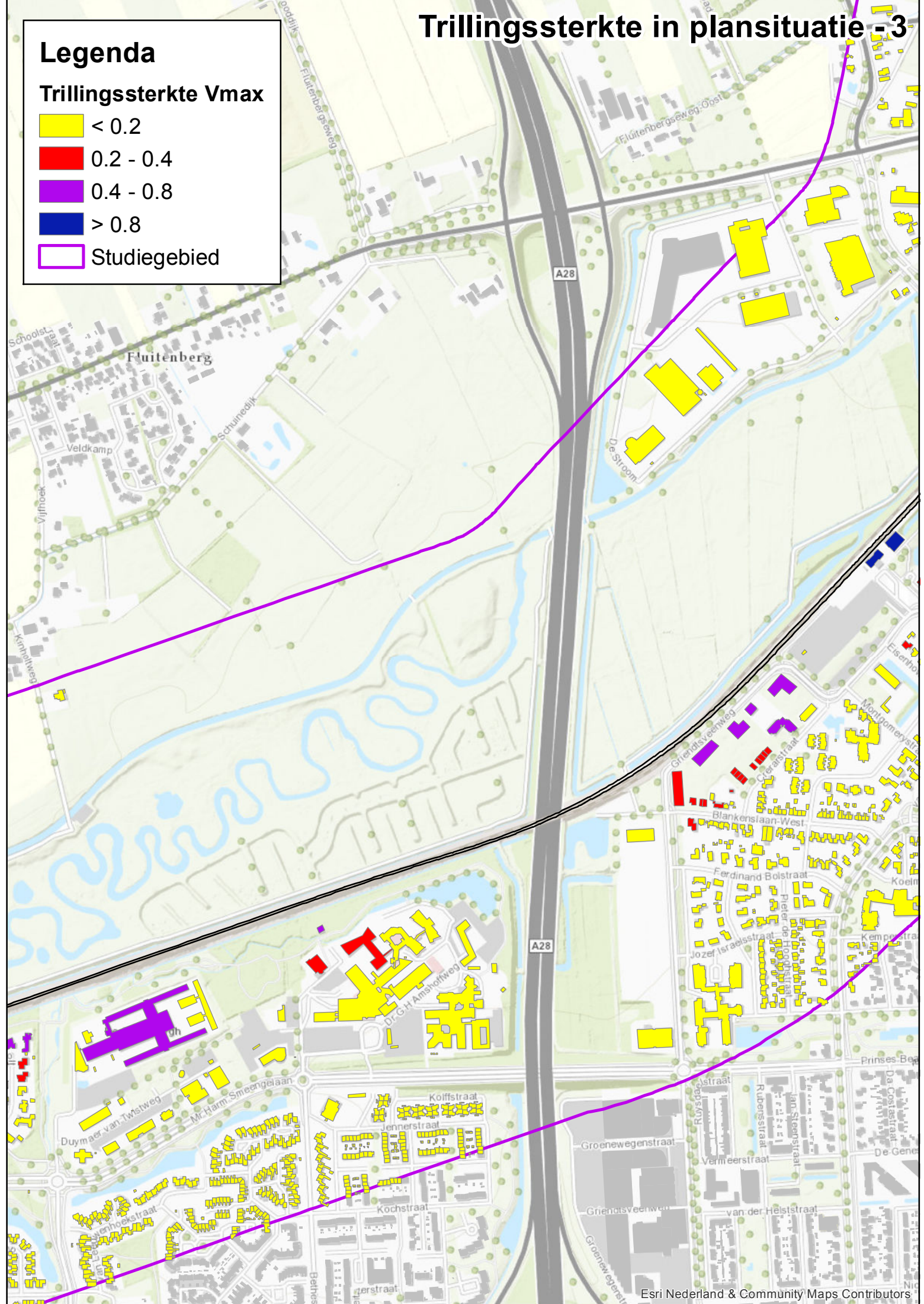
 < 0.2

 0.2 - 0.4

 0.4 - 0.8

 > 0.8

 Studiegebied

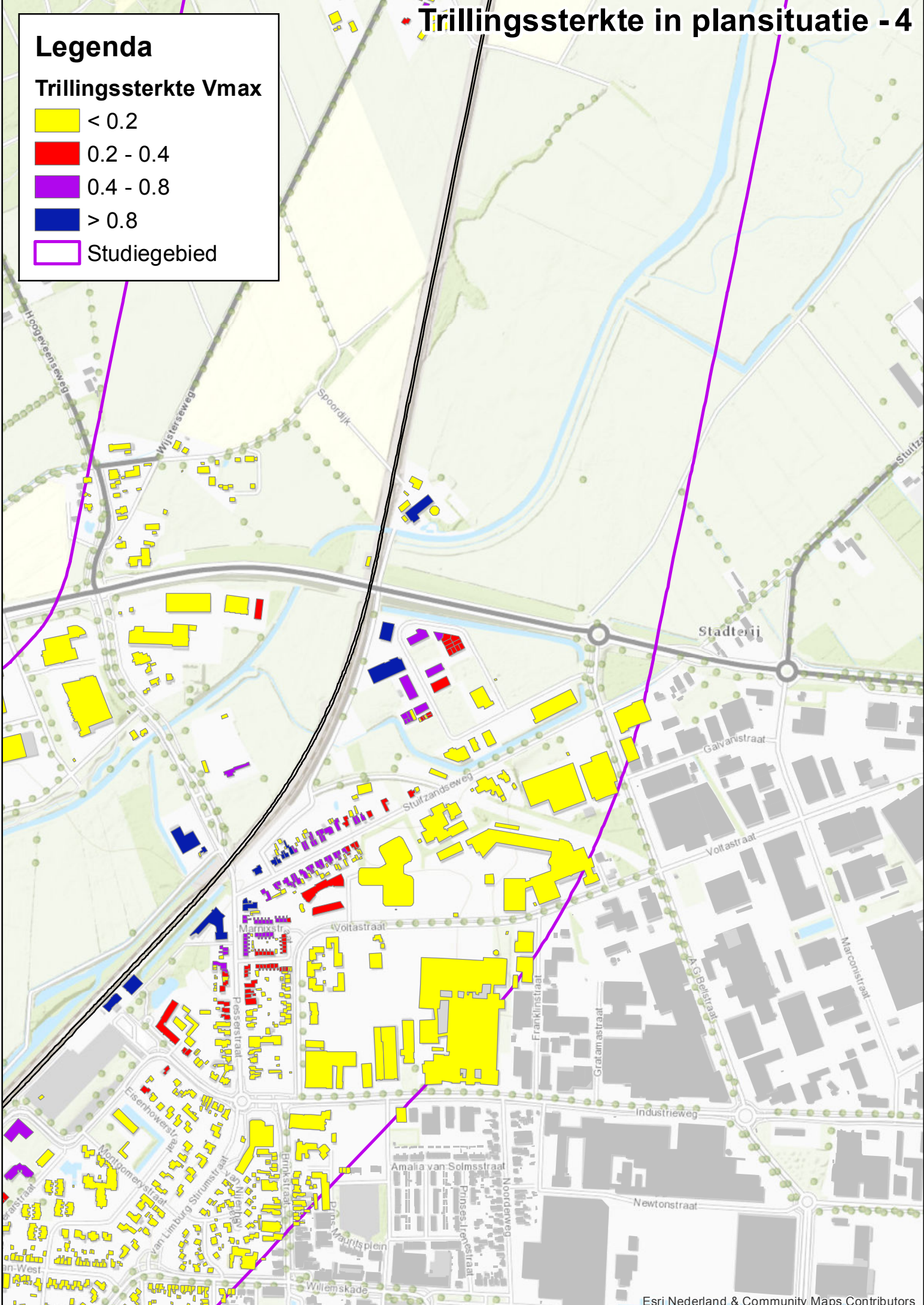


Trillingssterkte in plansituatie - 4

Legenda

Trillingssterkte Vmax

- < 0.2
- 0.2 - 0.4
- 0.4 - 0.8
- > 0.8
- Studiegebied





Trillingssterkte in plansituatie - 5

Legenda


Trillingssterkte Vmax

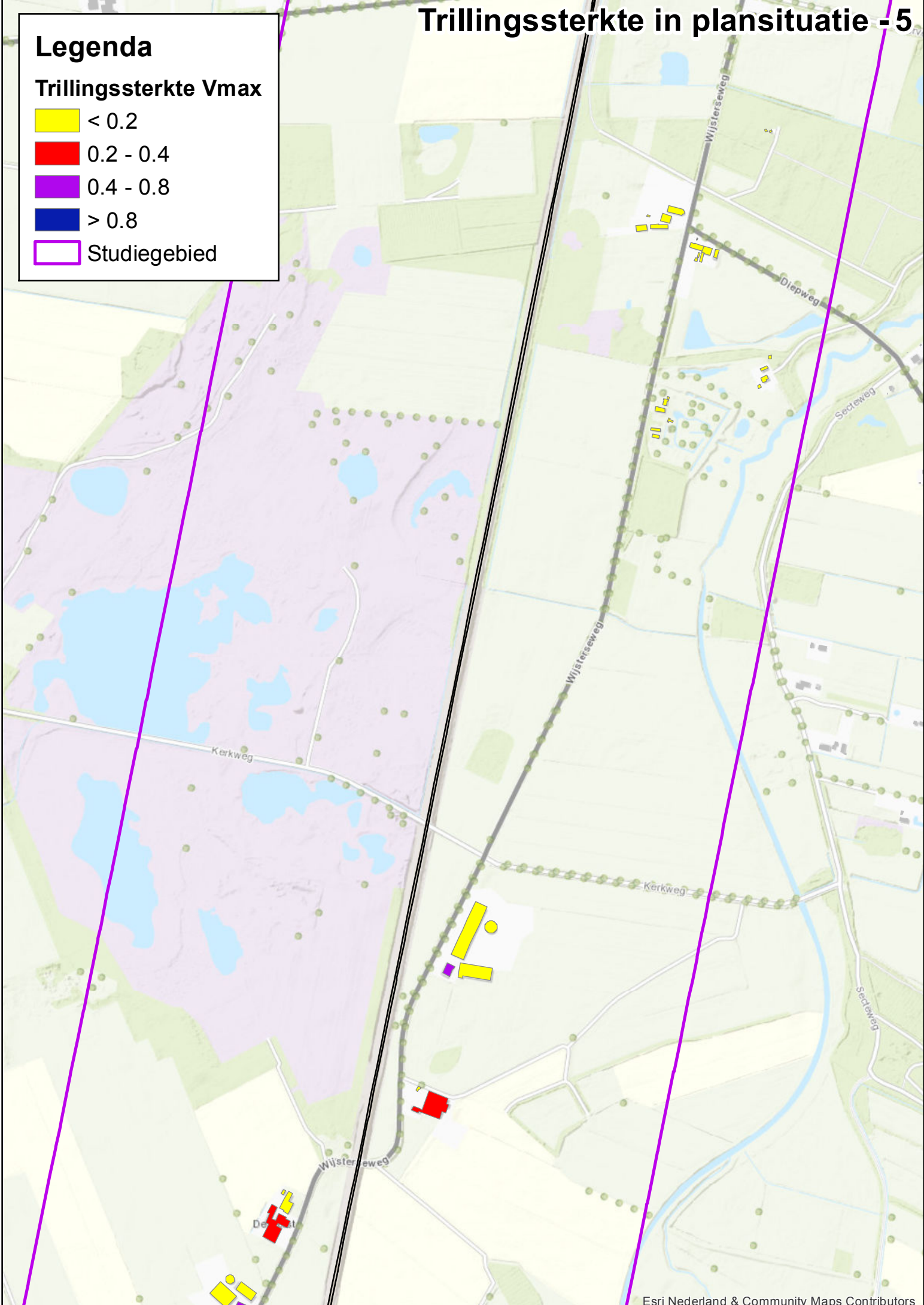
 < 0.2

 0.2 - 0.4

 0.4 - 0.8

 > 0.8

 Studiegebied

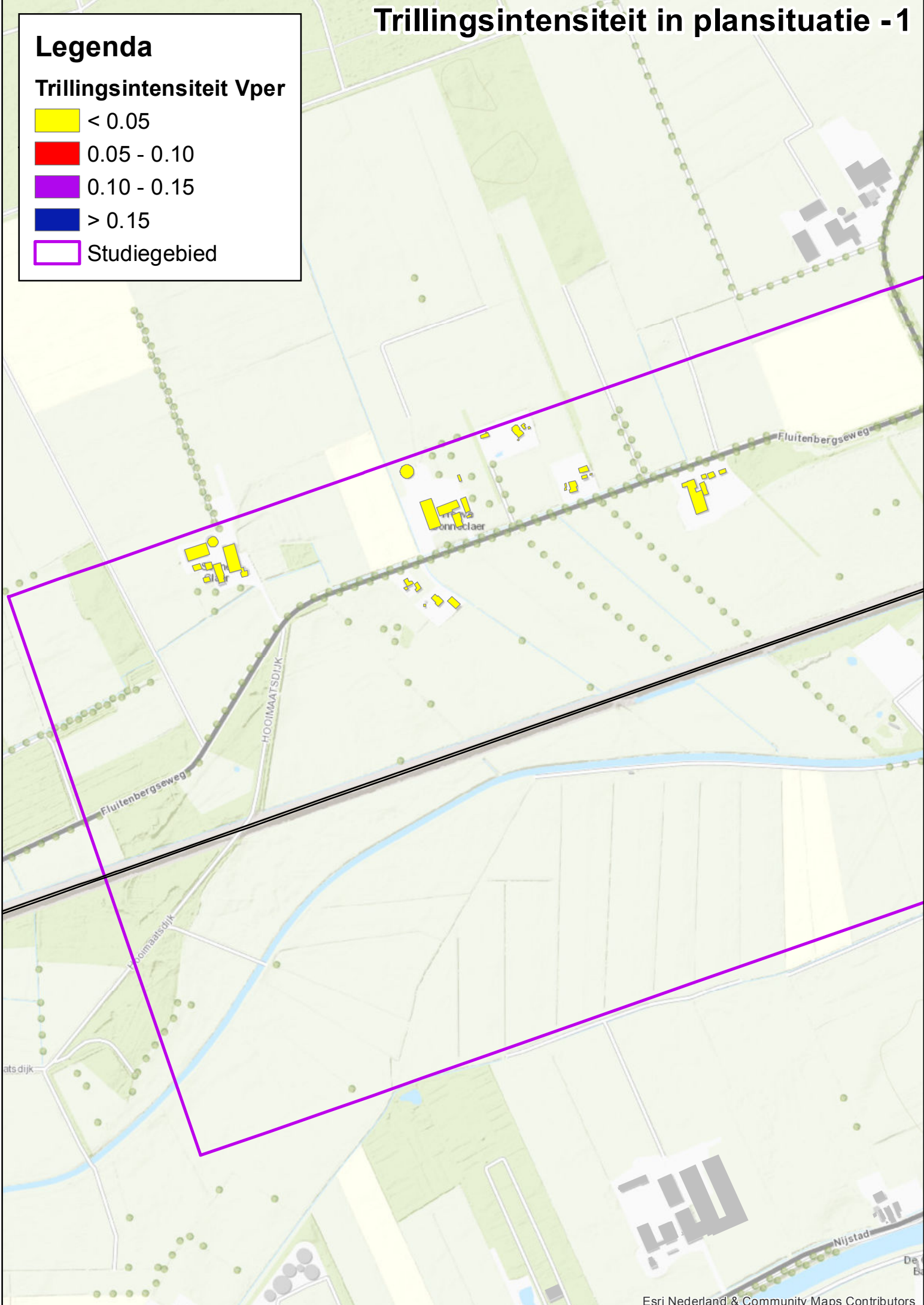


Trillingsintensiteit in plansituatie - 1

Legenda

Trillingsintensiteit Vper

- < 0.05
- 0.05 - 0.10
- 0.10 - 0.15
- > 0.15
- Studiegebied

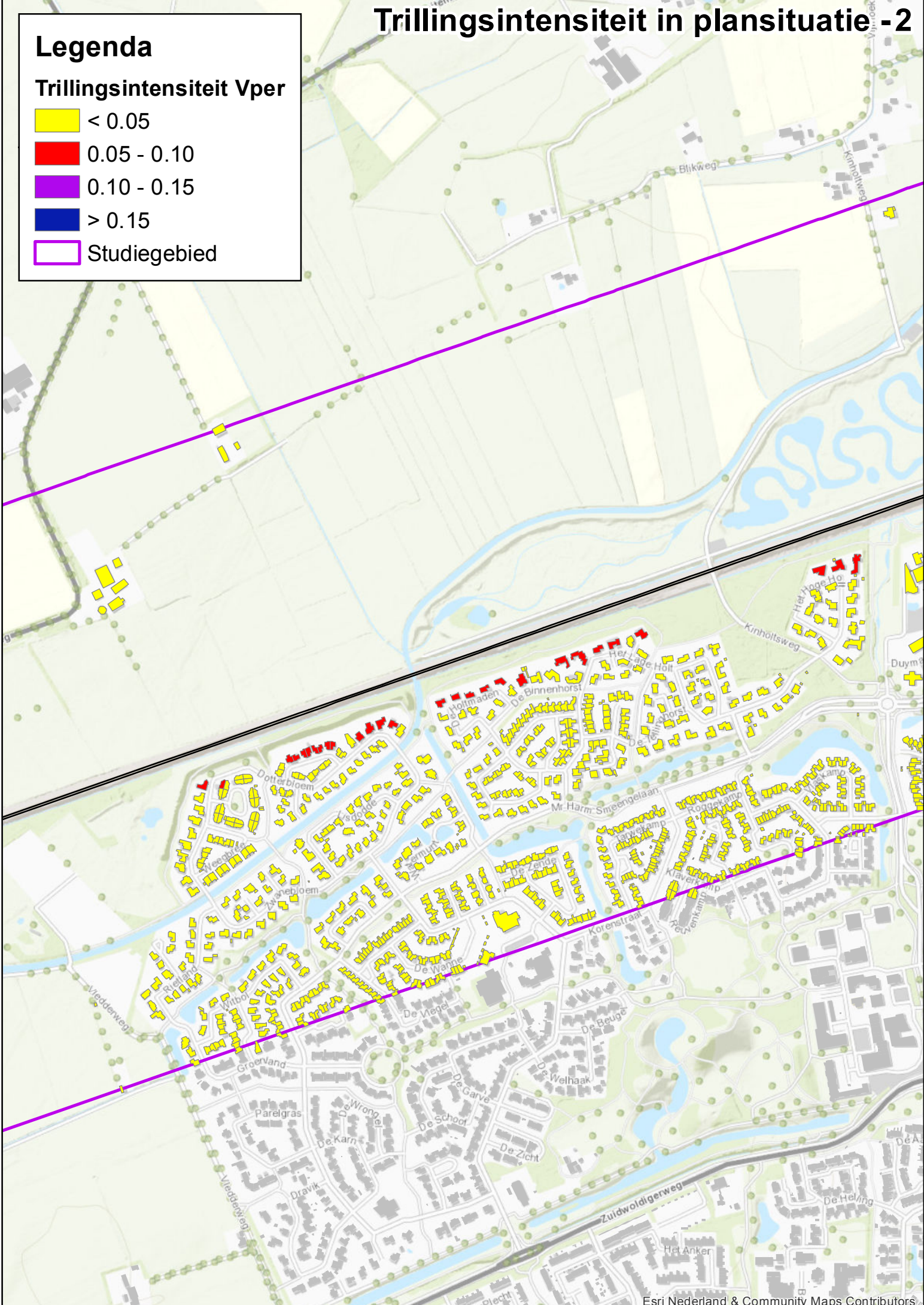


Trillingsintensiteit in plansituatie -2

Legenda

Trillingsintensiteit Vper

- < 0.05
- 0.05 - 0.10
- 0.10 - 0.15
- > 0.15
- Studiegebied

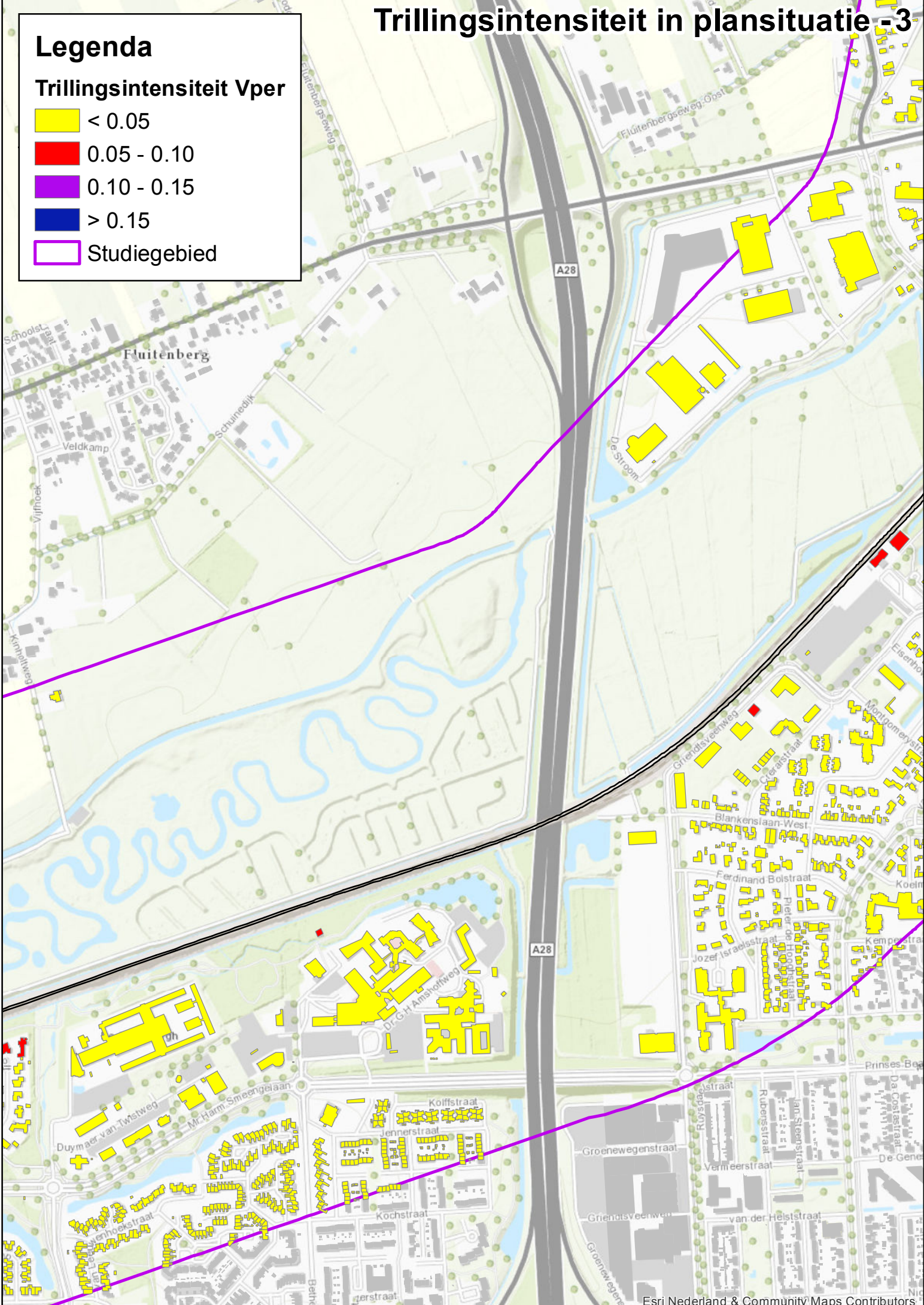


Trillingsintensiteit in plansituatie -3

Legenda

Trillingsintensiteit Vper

- < 0.05
- 0.05 - 0.10
- 0.10 - 0.15
- > 0.15
- Studiegebied

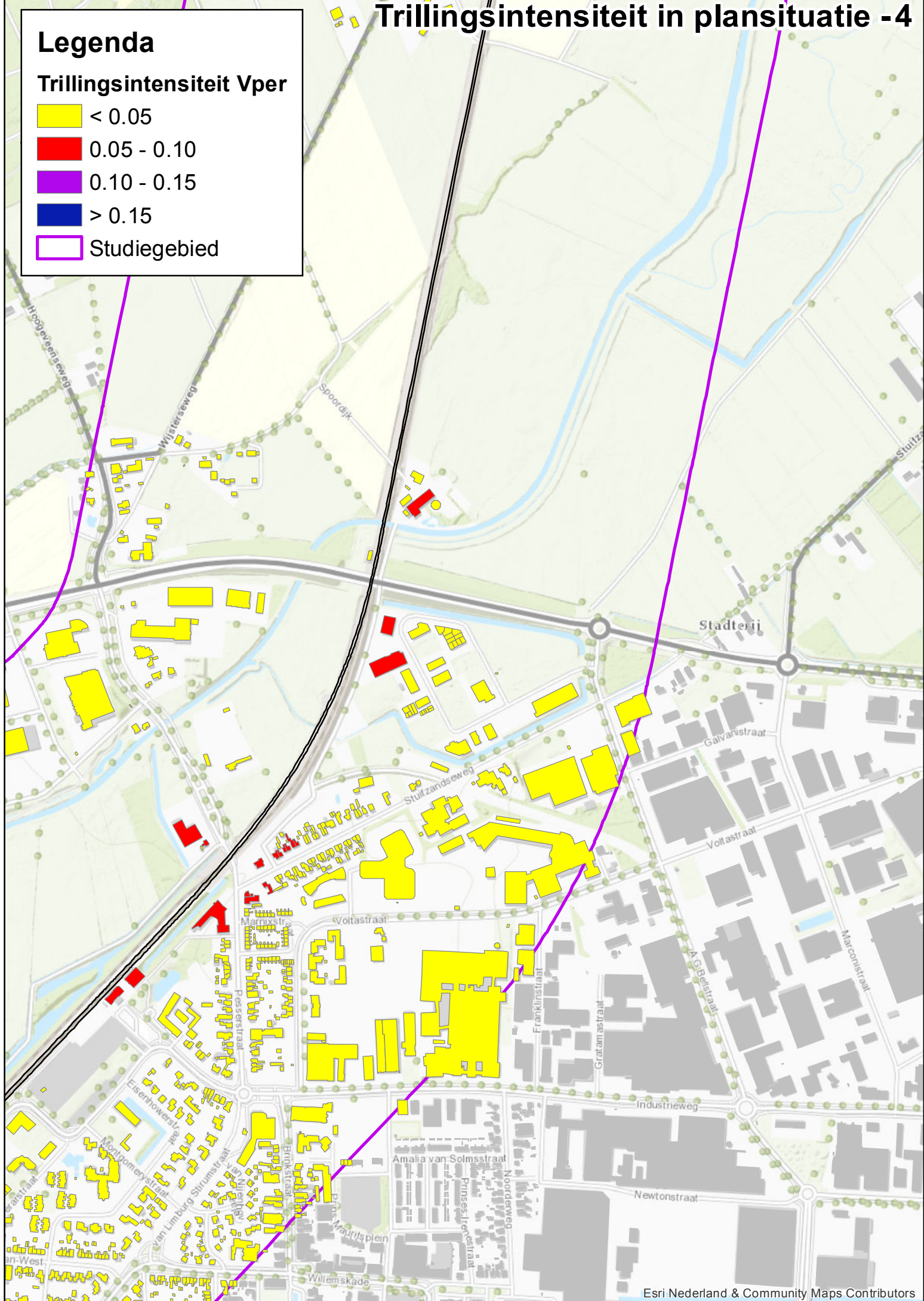


Trillingsintensiteit in plansituatie -4

Legenda

Trillingsintensiteit Vper

- < 0.05
- 0.05 - 0.10
- 0.10 - 0.15
- > 0.15
- Studiegebied

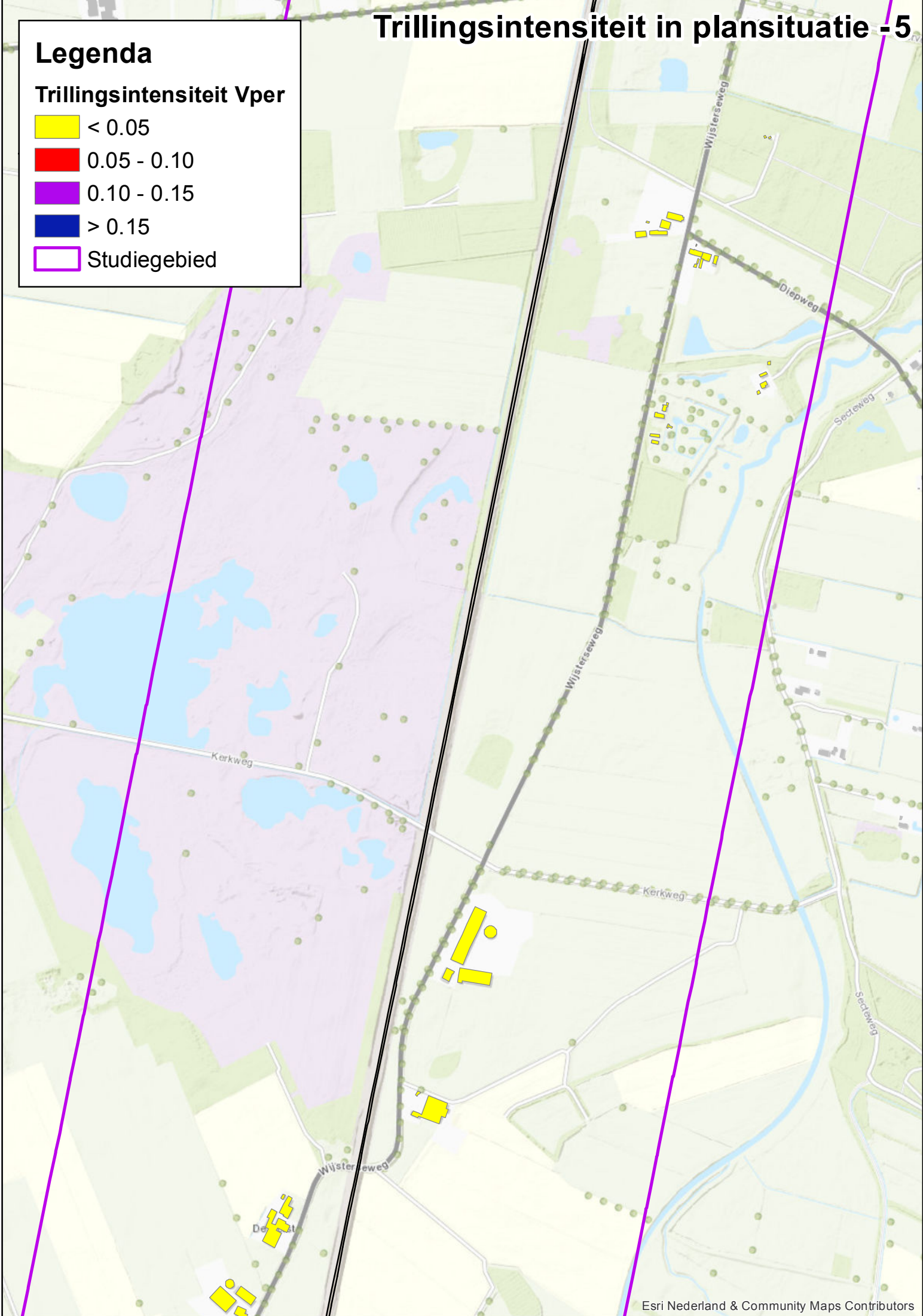


Trillingsintensiteit in plansituatie -5

Legenda

Trillingsintensiteit Vper

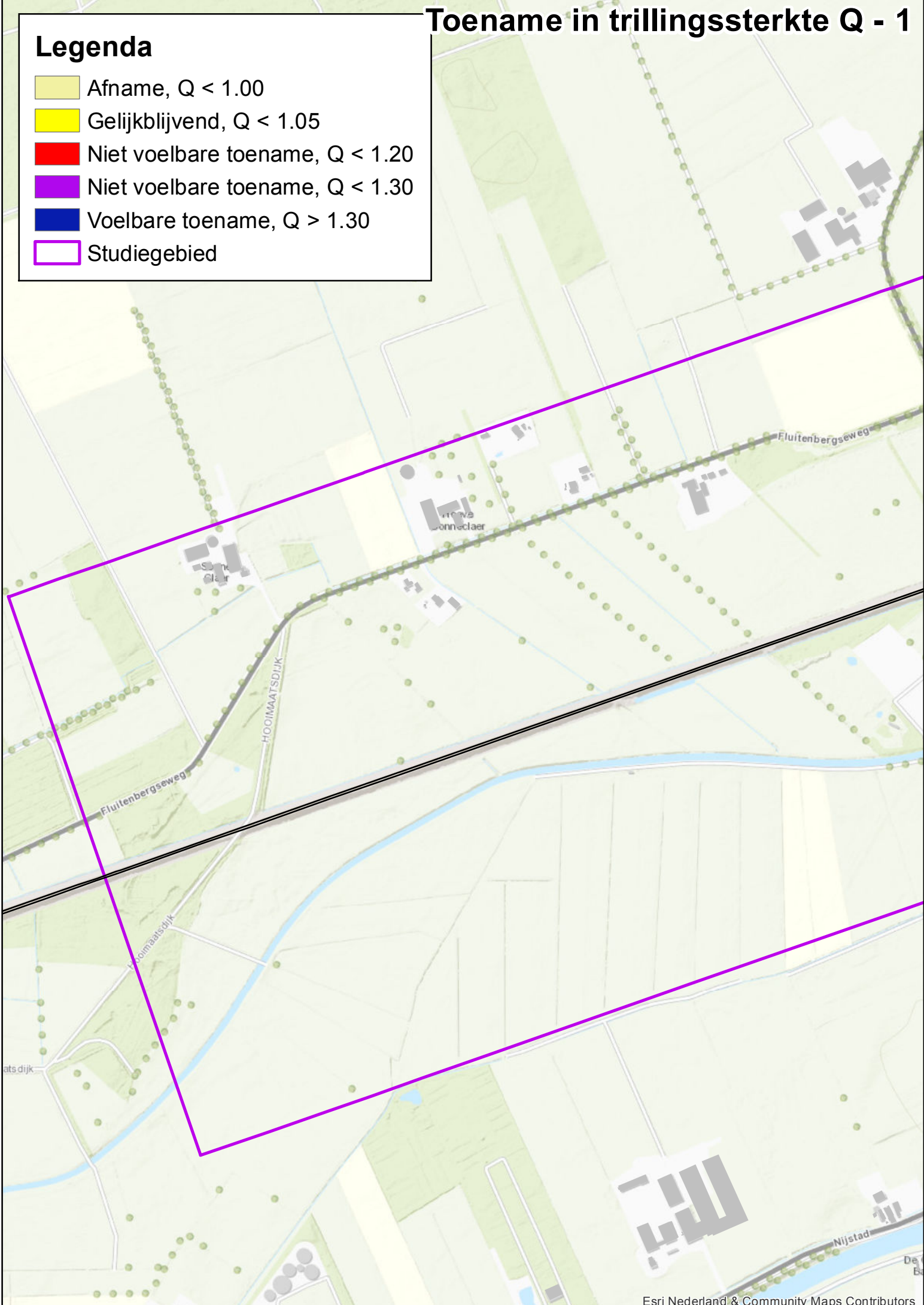
- < 0.05
- 0.05 - 0.10
- 0.10 - 0.15
- > 0.15
- Studiegebied



Toename in trillingssterkte Q - 1

Legenda

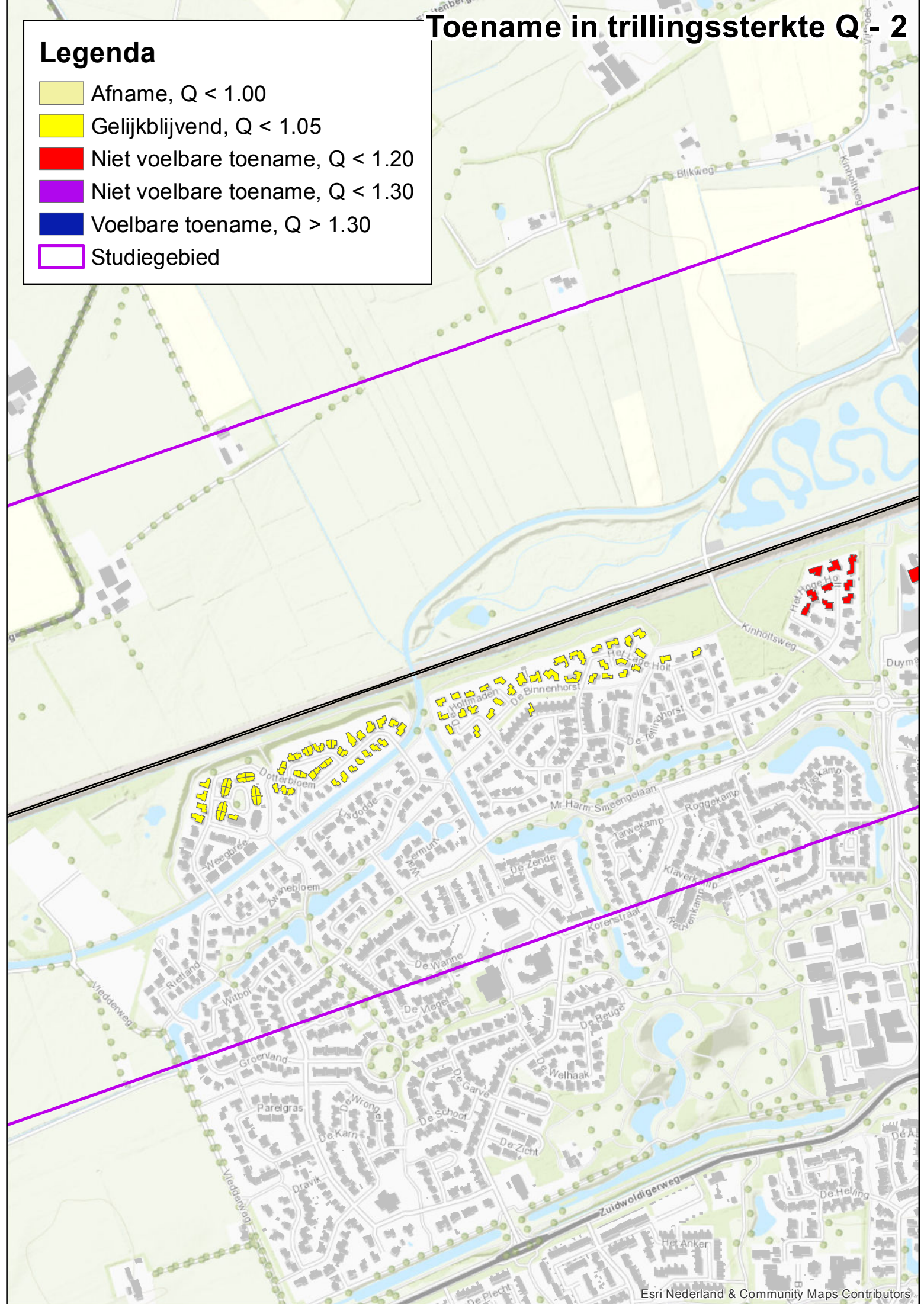
- Afname, $Q < 1.00$
- Gelijkblijvend, $Q < 1.05$
- Niet voelbare toename, $Q < 1.20$
- Niet voelbare toename, $Q < 1.30$
- Voelbare toename, $Q > 1.30$
- Studiegebied



Toename in trillingssterkte Q- 2

Legenda

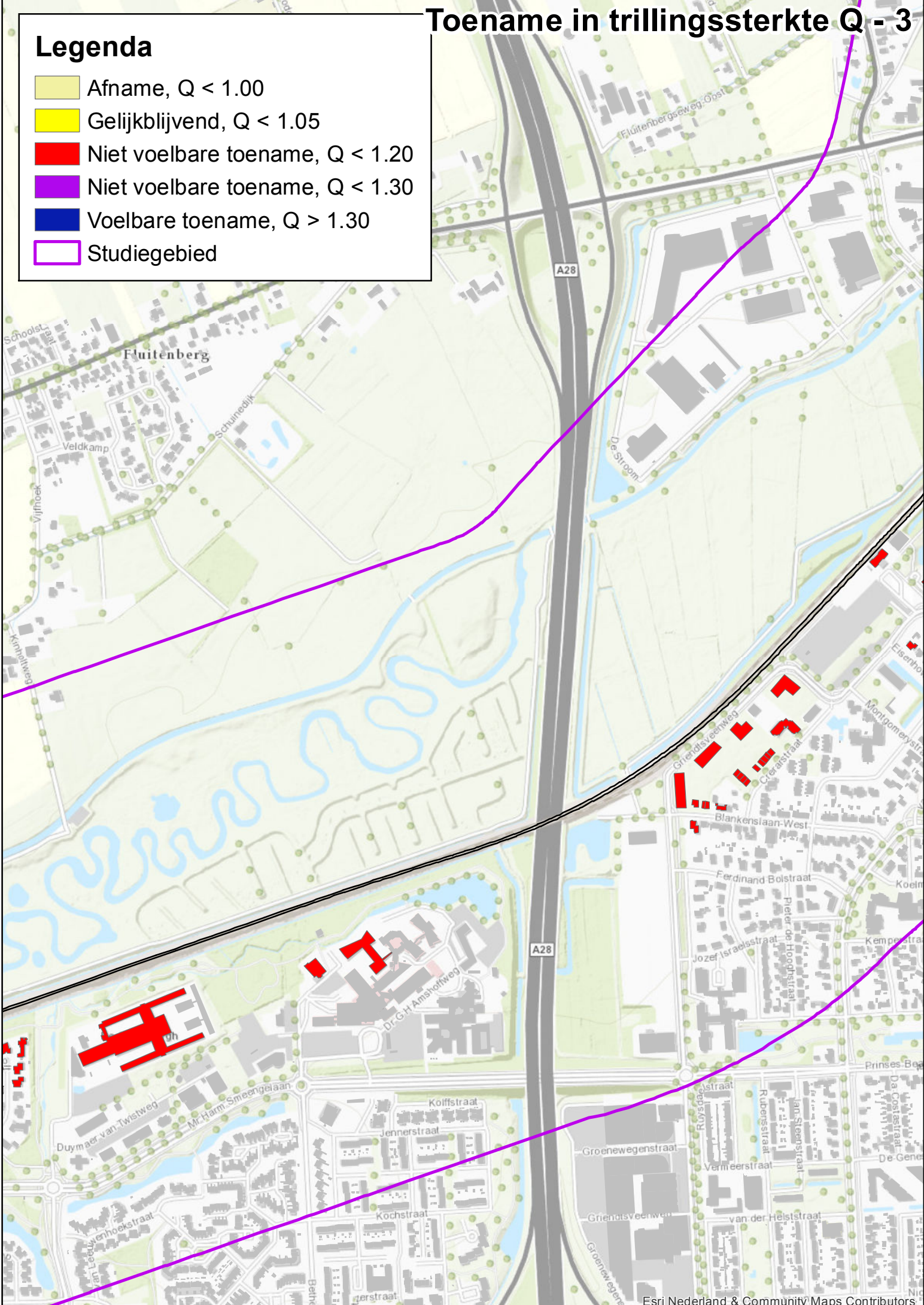
- Afname, $Q < 1.00$
- Gelijkblijvend, $Q < 1.05$
- Niet voelbare toename, $Q < 1.20$
- Niet voelbare toename, $Q < 1.30$
- Voelbare toename, $Q > 1.30$
- Studiegebied



Toename in trillingssterkte Q - 3

Legenda

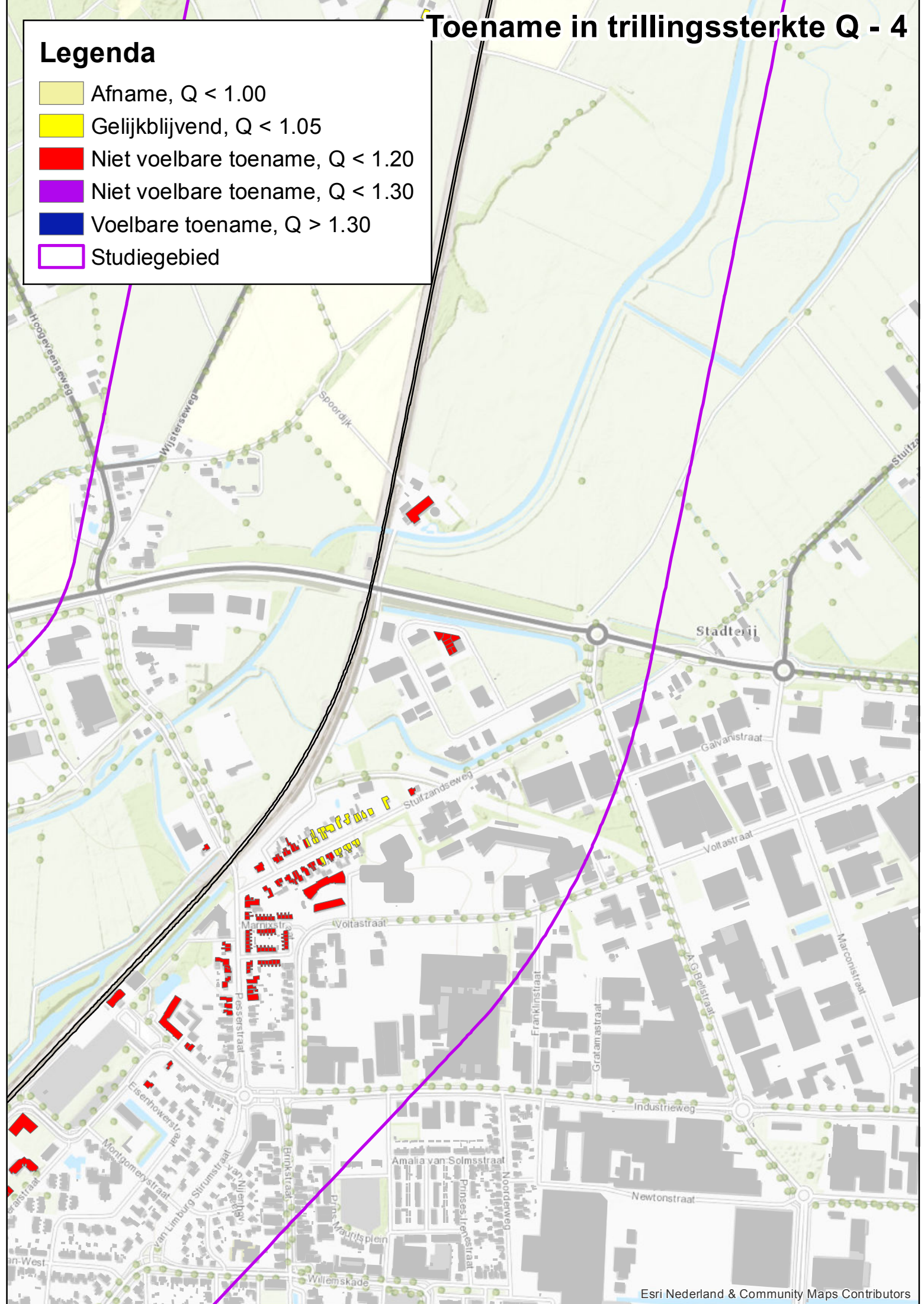
- Afname, $Q < 1.00$
- Gelijkblijvend, $Q < 1.05$
- Niet voelbare toename, $Q < 1.20$
- Niet voelbare toename, $Q < 1.30$
- Voelbare toename, $Q > 1.30$
- Studiegebied



Toename in trillingssterkte Q - 4

Legenda

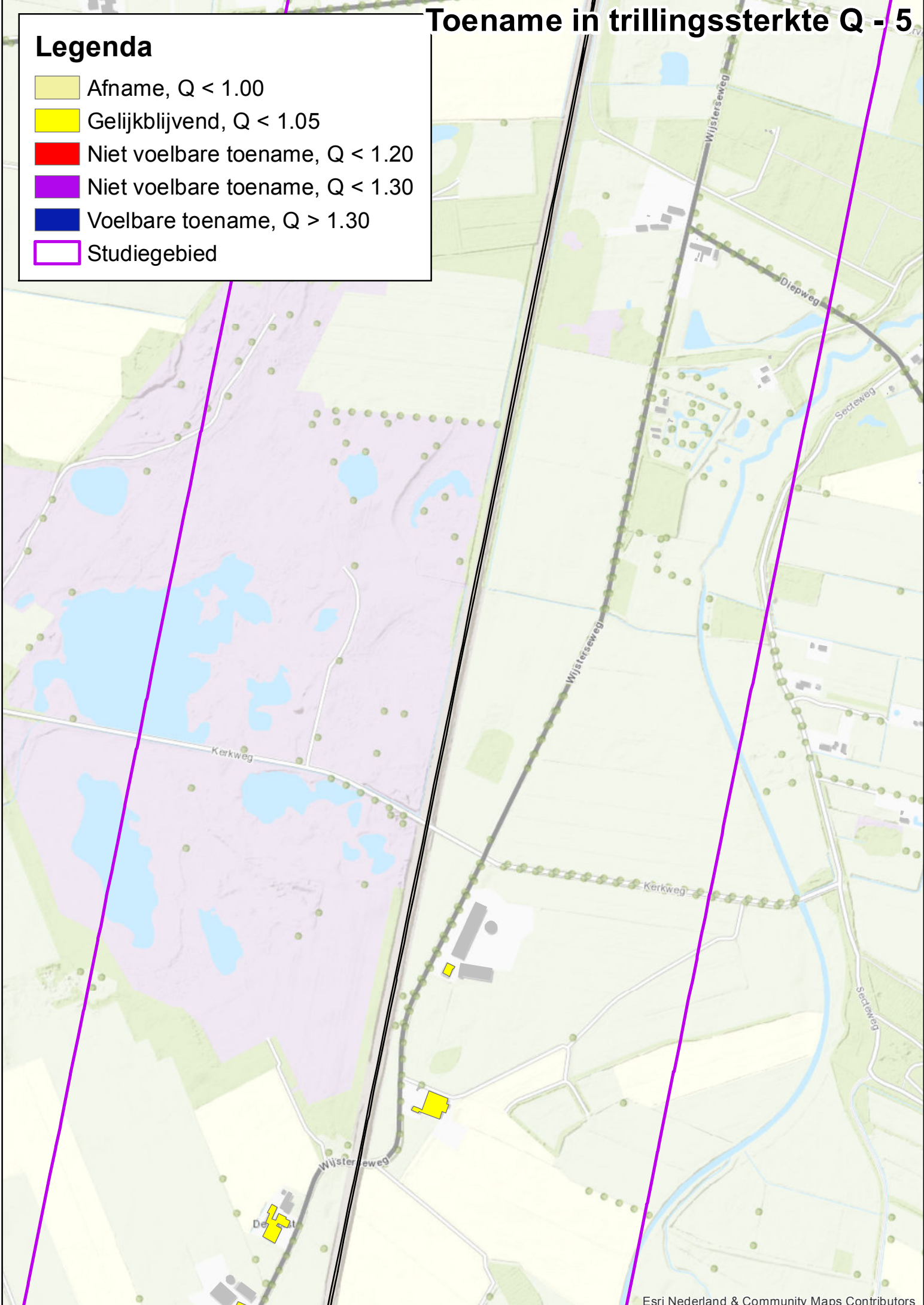
- Afname, $Q < 1.00$
- Gelijkblijvend, $Q < 1.05$
- Niet voelbare toename, $Q < 1.20$
- Niet voelbare toename, $Q < 1.30$
- Voelbare toename, $Q > 1.30$
- Studiegebied



Toename in trillingssterkte Q - 5


Legenda

- Afname, $Q < 1.00$
- Gelijkblijvend, $Q < 1.05$
- Niet voelbare toename, $Q < 1.20$
- Niet voelbare toename, $Q < 1.30$
- Voelbare toename, $Q > 1.30$
- Studiegebied




Legenda

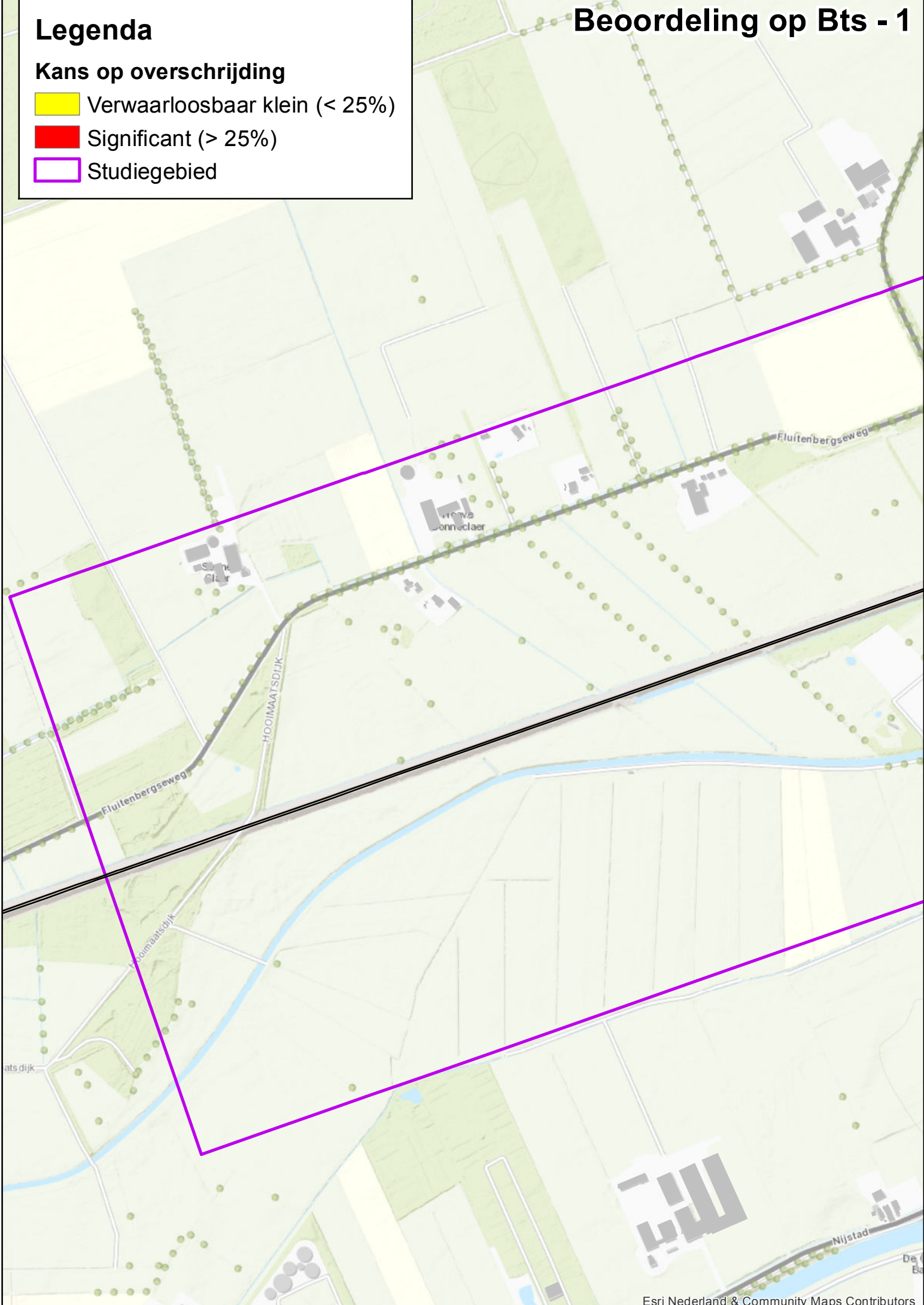
Kans op overschrijding

 Verwaarloosbaar klein (< 25%)

 Significant (> 25%)




 Studiegebied

Beoordeling op Bts - 1

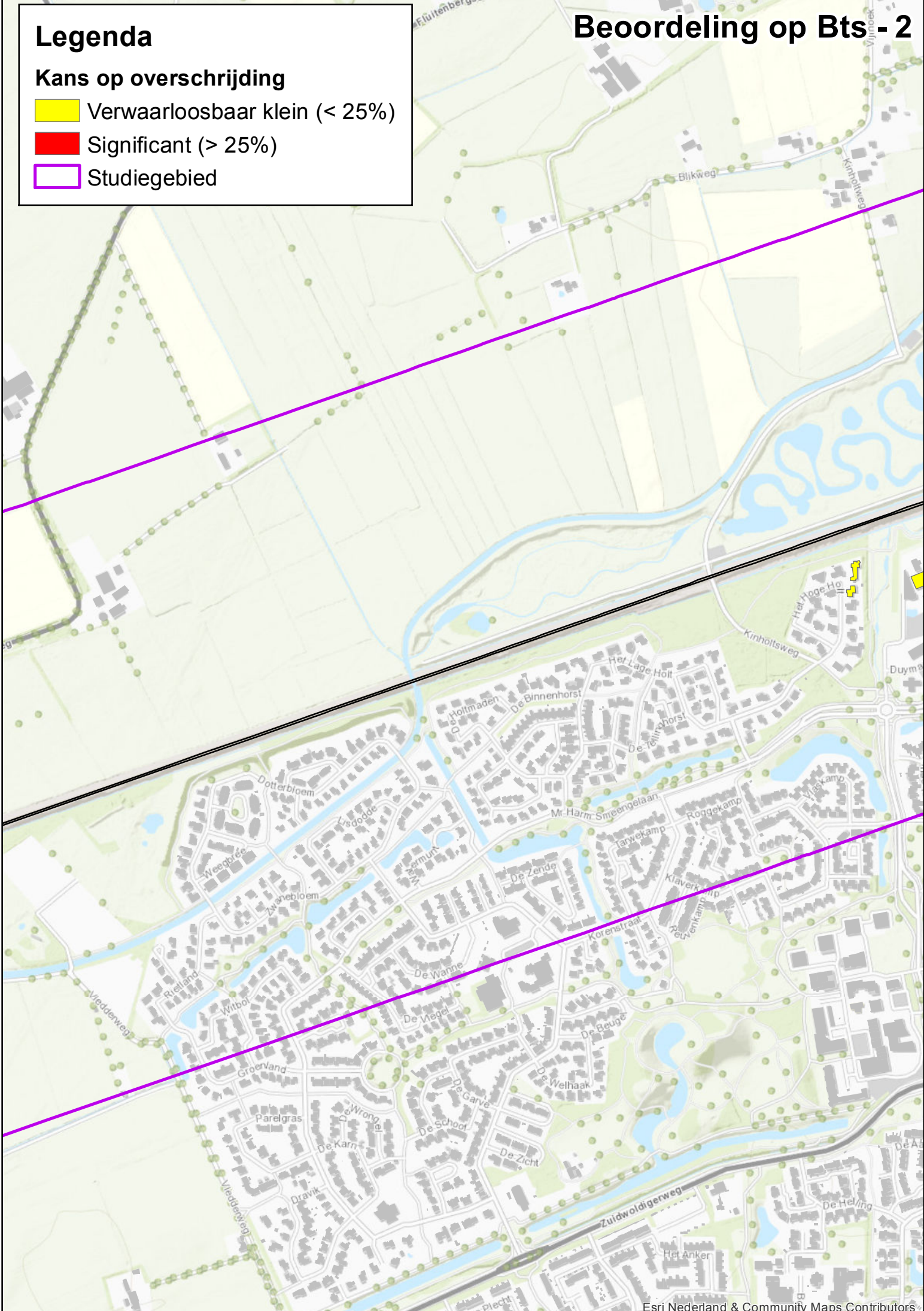


Legenda

Kans op overschrijding

-  Verwaarloosbaar klein (< 25%)
-  Significant (> 25%)
-  Studiegebied

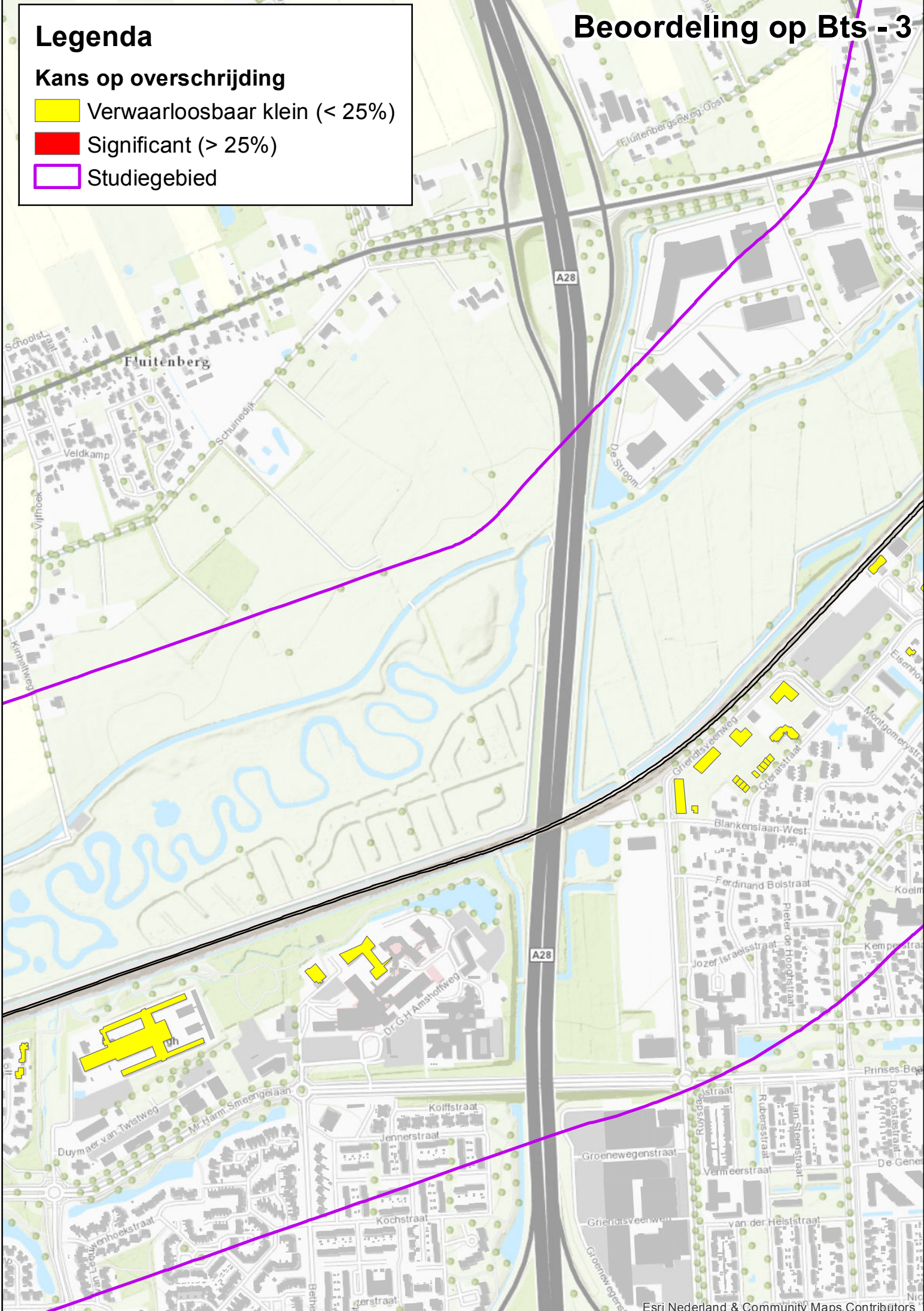
Beoordeling op Bts - 2



Legenda




Kans op overschrijding

- Verwaarloosbaar klein (< 25%)
- Significant (> 25%)
- Studiegebied

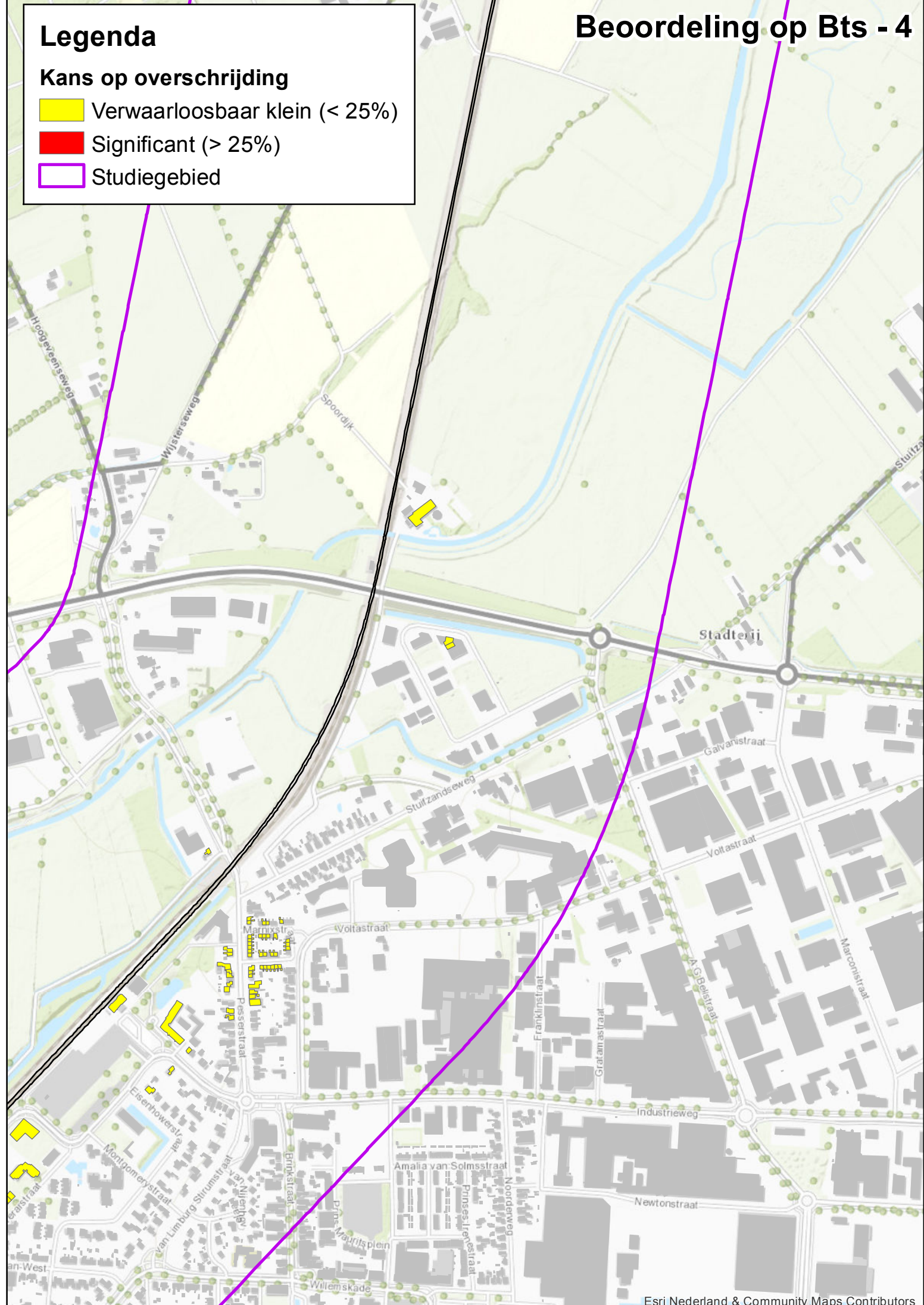


Legenda

Kans op overschrijding

-  Verwaarloosbaar klein (< 25%)
-  Significant (> 25%)
-  Studiegebied

Beoordeling op Bts - 4



Legenda

Kans op overschrijding

Verwaarloosbaar klein (< 25%)

Significant (> 25%)

Studiegebied

