

ELEKTROMAGNETISCHE VELDEN

Berekening specifieke magneetveldcontour 150 kV-kabel Plan LEAD, Leiden

LEAD Fase II B.V.

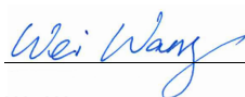
Rapport nr.: 20-1589 Rev.5

Datum: 4-12-2020



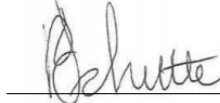
Projectnaam:	Elektromagnetische velden	DNV GL – Energy
Rapport titel:	Berekening specifieke magneetveldcontour 150 kV-kabel Plan LEAD, Leiden	DNV GL Netherlands B.V. Postbus 9035 6800 ET ARNHEM
Klant:	LEAD Fase II B.V.	
Contactpersoon:	Gijsbert van Estrik	
Datum:	27-11-2020	
Project nr.:	10265402	Tel: +31 26 356 9111
Organisatie unit:	Transmission & Distribution Technology	KvK 09006404
Rapport nr.:	20-1589 Rev.5	

Geschreven door:



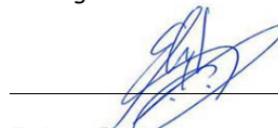
W. Wang
Senior Consultant

Beoordeeld door:

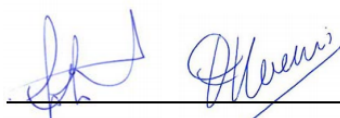


P. Schutte
Senior consultant / Team Lead

Goedgekeurd door:



E. Nagel
Head of Department



L. Lagendijk / F. Koenis
Consultant/Senior Consultant

Copyright © DNV GL 2020 All rights reserved. Unless otherwise agreed in writing: (i) This publication or parts thereof may not be copied, reproduced or transmitted in any form, or by any means, whether digitally or otherwise; (ii) The content of this publication shall be kept confidential by the customer; (iii) No third party may rely on its contents; and (iv) DNV GL undertakes no duty of care toward any third party. Reference to part of this publication which may lead to misinterpretation is prohibited. DNV GL and the Horizon Graphic are trademarks of DNV GL AS.

DNV GL Distributie:

- ☐ Onbepaalde distributie (intern en extern)
- ☐ Onbepaalde distributie binnen de DNV GL Groep
- ☒ Onbepaalde distributie binnen DNV GL Netherlands B.V.
- ☐ Geen distributie (vertrouwelijk)

Trefwoorden:

EMV, elektromagnetische velden,
voorzorgsbeleid, EU-aanbeveling
1999/519/EC, gezondheidseffecten,
magneetveldcontour

Versie	Datum	Reden voor uitgave	Auteur	Beoordeeld	Goedgekeurd
draft	03-11-2020	First Draft	W. Wang	P. Schutte	
0	13-11-2020	Initial Issue	W. Wang	P. Schutte	E. Nagel
1	13-11-2020	Initial Issue (with Dutch text added)	W. Wang	P. Schutte	E. Nagel
2	24-11-2020	Herzien met opmerkingen	W. Wang	P. Schutte	E. Nagel
3	27-11-2020	Herzien met opmerkingen, damwanden als mitigatie maatregelen nodig slechts voor Sectie A Zuid en D.	W. Wang	P. Schutte; F. Koenis; L. Lagendijk	E. Nagel
4	27-11-2020	Herzien met opmerkingen van F. Koenis	W. Wang	P. Schutte; F. Koenis; L. Lagendijk	E. Nagel
5	04-12-2020	Herzien met 100 microtesla berekeningen	W. Wang	P. Schutte; F. Koenis; L. Lagendijk	E. Nagel

DNV GL Netherlands B.V.



Inhoud

MANAGEMENTSAMENVATTING.....	2
1 INLEIDING.....	4
2 ACHTERGROND	6
2.1 Elektromagnetische velden	6
2.2 Blootstellingslimieten bij magnetische velden	7
2.3 Voorzorgsbeleid in Nederland	7
2.4 Recente ontwikkelingen	8
2.5 Samenvatting betreffende grenswaarden	9
3 REKENMETHODE EN REKENMODEL	11
3.1 Handreiking van het RIVM	11
3.2 Rekenmodel en berekening 0,4 microteslazone	11
3.3 Rekenmodel en berekening 100 microteslacontour	12
4 BEREKENING MAGNEETVELDCONTOUREN.....	13
4.1 Resultaten berekeningen 0,4 uT-contouren	13
4.2 Overweging	16
4.3 Resultaten berekeningen 100 µT-contouren	17
5 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN.....	18
Bijlage A	Uitgangspunten bij de berekeningen
Bijlage B	Woonlocaties en berekeningen
Bijlage C	Referentietekeningen

MANAGEMENTSAMENVATTING

Het 'plan LEAD' is een nieuw woningbouwproject aan de Willem de Zwijgerlaan in Leiden. Op de plaats van het verouderde KPN-kantoor en het uitvaartcentrum van Monuta worden in diverse segmenten maximaal 580 woningen gebouwd om in een deel van de Leidse woningbehoefte te voorzien. Het ontwerp bestaat uit drie torens oplopend van 65 tot 115 meter hoogte.

Vlakbij de locatie van het plan LEAD is een 150 kV-transformatorstation gelegen aan de Nieuwe Koningstraat. De geplande bouwontwikkeling ligt bovendien dicht bij verschillende ondergrondse 150 kV-kabelverbindingen tussen de 150 kV-stations Leiden-Zoetermeer, Voorburg-Leiden en Leiden-Sassenheim van TenneT.

Bij het gebruik van elektrische infrastructuur voor de elektriciteitsvoorziening, zoals bovengrondse hoogspanningslijnen, ondergrondse hoogspanningskabels en transformatorstations, ontstaan altijd magnetische velden. Sterke magnetische velden kunnen bij mensen biologische effecten (zoals effecten op zintuigen) en gezondheidseffecten veroorzaken. Om mensen te beschermen tegen de mogelijke effecten van magnetische velden zijn er internationaal vastgestelde blootstellingslimieten, gebaseerd op wetenschappelijk onderzoek. In de openbare ruimte geldt voor hoogspanningskabels een blootstellingslimiet van 100 microtesla (microtesla wordt afgekort als μT).

Voor bovengrondse hoogspanningslijnen hanteert de Nederlandse rijksoverheid daarnaast een zogenoemd voorzorgsbeleid. Dit beleid houdt in dat zo veel als redelijkerwijs mogelijk is vermeden moet worden dat er nieuwe situaties ontstaan waarbij kinderen langdurig kunnen verblijven in het gebied rond bovengrondse hoogspanningslijnen waarbinnen het jaargemiddelde magneetveld hoger is dan $0,4 \mu\text{T}$. Hoewel dit voorzorgsbeleid voorsnog alleen voor bovengrondse hoogspanningslijnen geldt, zijn diverse gemeentes en GGD's in Nederland van mening dat een dergelijk voorzorgsbeleid moet worden toegepast op alle hoogspanningsvoorzieningen (dus ook op bijv. hoogspanningskabels en transformatorstations). Tevens heeft de Afdeling Bestuursrechtspraak van de Raad van State geoordeeld dat de uitgangspunten die aan het magneetveld-voorzorgsbeleid ten grondslag liggen uit een oogpunt van een goede ruimtelijke ordening, in beginsel ook moeten worden toegepast bij ondergrondse hoogspanningsverbindingen. (...) In dit verband worden in beginsel afstanden tot gevoelige functies aangehouden van 15 m (horizontaal of verticaal) tot open ontgravingen en 10 m (verticaal) tot gestuurde boringen".¹

Een studie uitgevoerd door SGS heeft verschillende kritieke blootstellingen geïdentificeerd en de overeenkomstige $0,4 \mu\text{T}$ -magneetveldcontouren bepaald. Het rapport van SGS is gebaseerd op de afspraken voor het berekenen van magneetveldcontouren van ondergrondse kabels en hoogspanningstations, welke in samenwerking met het RIVM zijn gemaakt in het kader van het realiseren van de 'Randstad 380 kV-verbinding'. Echter, deze berekening houdt géén rekening met de ligging van de werkelijke woningen binnen de gebouwen en de details van de kabelmodellering. LEAD Fase II B.V. heeft DNV GL gevraagd om de $0,4 \mu\text{T}$ -magneetveldcontouren op de locatie van de appartementen te bepalen, rekening houdende met de details van het gebouw en van de kabels.

De $0,4 \mu\text{T}$ -magneetveldcontour is op meerdere locaties bij het plan LEAD berekend en getoond in dwarsdoorsneden. De vijf onderzochte locaties (A Zuid, A Oost, B, C en D) zijn gebaseerd op de verschillende kabelverbindingen en de kortste afstand tot de woningen van het plan LEAD (Fase 1, 2 en 3). Doordat de woningen veelal niet op het niveau van het maaiveld gelegen zijn, blijkt uit het onderzoek dat in alle onderzochte locaties geen sprake is van een $0,4 \mu\text{T}$ -magneetveldcontour binnen de woningen. Deze berekeningen zijn gebaseerd op de aanname dat de damwand na de bouw niet verwijderd wordt voor sectie A Zuid en D.

¹ ABRvS 1 februari 2017, ECLI:NL:RVS:2017:238, rechtsoverwegingen 17.3 en 17.4 (te vinden op www.rechtspraak.nl).



Voor de vijf secties kan derhalve het volgende worden geconcludeerd:

Sectie A Oost

De woningen van sectie A Oost liggen buiten de 0,4 μ T-magneetveldcontour. Er is geen extra mitigerende maatregel vereist voor sectie A Oost.

Sectie A Zuid

De woningen van sectie A Zuid liggen buiten de 0,4 μ T-magneetveldcontour, mits de damwand aan deze zijde behouden blijft.

Sectie B

De woningen van sectie B liggen buiten de 0,4 μ T-magneetveldcontour. Er is geen extra mitigerende maatregel vereist voor sectie B.

Sectie C

De woningen van sectie C liggen buiten de 0,4 μ T-magneetveldcontour. Er is geen extra mitigerende maatregel vereist voor sectie C.

Sectie D

De woningen van sectie D liggen buiten de 0,4 μ T-magneetveldcontour, mits de damwand aan deze zijde behouden blijft.

De 100 μ T-magneetveldcontouren van de hoogspanningskabels worden door het plan LEAD nauwelijks beïnvloed. In de openbare ruimte wordt bij maximale belasting van de hoogspanningskabels nergens de blootstellingslimiet van 100 μ T overschreden.

1 INLEIDING

Het 'plan LEAD' is een nieuw woningbouwproject aan de Willem de Zwijgerlaan in Leiden. Op de plaats van het verouderde KPN-kantoor en het uitvaartcentrum van Monuta worden in diverse segmenten maximaal 580 woningen gebouwd om in een deel van de Leidse woningbehoefte te voorzien. Het ontwerp bestaat uit drie torens oplopend van 65 tot 115 meter hoogte.

Het plan LEAD bevat drie fases:

- **Fase 1 en 2:** deze gebouwen bestaan uit een variërend aantal verdiepingen, waarvan twee ondergronds. Deze ondergrondse verdieping bestaat uit een parkeervoorziening. De begane grond heeft een openbaar toegankelijke functie, met onder meer een stallingsvoorziening, opslagruimtes en commerciële / maatschappelijke voorzieningen. De verdiepingvloeren vanaf niveau 1 hebben een woonfunctie.
- **Fase 3:** dit gebouw bestaat uit 35 verdiepingen. De begane grond heeft een openbaar toegankelijke functie. Vanaf niveau 1 tot niveau 3 zijn er stallingsvoorziening, opslagruimtes en commerciële / maatschappelijke voorzieningen. De verdiepingvloeren vanaf niveau 4 hebben een woonfunctie.

Zie ook Figuur 1. Gedetailleerde tekeningen van de woonlocaties zijn te vinden in Bijlage B.

Op korte afstand van het plan LEAD is een 150 kV-transformatorstation gelegen aan de Nieuwe Koningstraat. De geplande bouwontwikkeling ligt bovendien dicht bij verschillende ondergrondse 150 kV-kabelverbindingen tussen de 150 kV-stations Leiden-Zoetermeer (Wit, Zwart en Grijs), Voorburg-Leiden en Leiden-Sassenheim van TenneT.

Dit onderzoek heeft tot doel om vast te stellen of er woningen in het plan LEAD gepland zijn waarin kinderen langdurig blootgesteld kunnen worden aan een magnetisch veld sterker dan 0,4 microtesla.

Alle berekeningen zijn uitgevoerd in lijn met de RIVM 'Handreiking voor het berekenen van de specifieke magneetveldzone bij bovengrondse hoogspanningslijnen' versie 4.1 dd. 26-10-2015 en de aanvullingen in het document 'Afspraken over de rekenmethodiek voor de "magneetveldzone" bij ondergrondse kabels en hoogspanningsstations behorende tot de Randstad 380 kV-verbinding'.^{2 3}

LEAD Fase II B.V. heeft DNV GL gevraagd het magneetveld te bepalen in de verschillende appartementen, daarbij rekening houdend met de gebouwdetails en de eigenschappen van de kabelverbindingen. Zo zijn onder meer, in afwijking van de RIVM-handreiking, de magnetische veldsterkten berekend op hoogten waar de woningen zich bevinden, zijn de dempende eigenschappen van de gebruikte bouwmaterialen niet meegenomen en is niet afgerond naar de dichtstbijzijnde veelvouden van 5 meter.

Een eerder uitgevoerd onderzoek door SGS heeft een aantal zones aangewezen waarin de blootstelling in een worst-case situatie boven de 0,4 microtesla uitkomt.⁴

Dit rapport bevat de resultaten van de berekeningen van de 0,4-microteslacontouren van de 150 kV-kabelverbindingen dicht bij het 150 kV-transformatorstation aan de Nieuwe Koningstraat in Leiden.

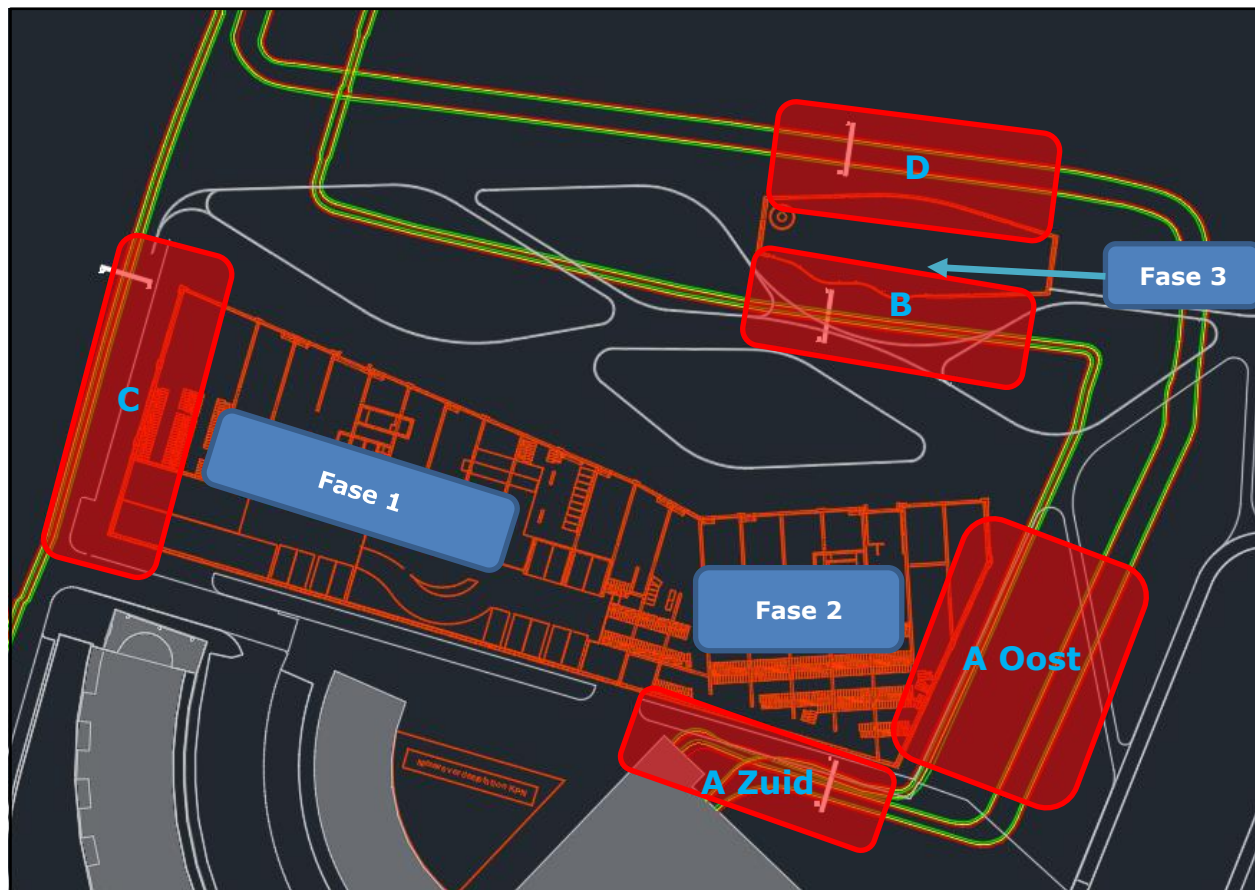
² "Handreiking voor het berekenen van de specifieke magneetveldzone bij bovengrondse hoogspanningslijnen", RIVM, versie 4.0, 3 november 2014.

³ Afspraken over de berekening van de "magneetveldzone" bij ondergrondse kabels en hoogspanningsstations behorende tot de Randstad 380 kV-verbinding, RIVM, 3 november 2011 (op te vragen bij het RIVM via hoogspanningslijnen@rivm.nl).

⁴ SGS, "Berekening specifieke magneetveldzone ondergrondse 150 kV-kabelverbindingen TenneT", versie 1.0, kenmerk: RA-TE20186-9457, 8 oktober 2020.

Mogelijke mitigerende maatregelen (damwanden) ten behoeve van de reductie van de 0,4-microteslacontouren worden in het rapport voorgesteld.

Omdat de hele verbinding ondergronds is aangelegd doen elektrische velden er niet toe; elektrische velden worden afgeschermd door het kabelomhulsel en door de grond boven de kabel.



Figuur 1 Kritische Sectie A Zuid, A Oost, B, C en D met gebouw Fase 1, 2 en 3

Leeswijzer

Hoofdstuk 2 bevat algemene informatie over elektromagnetische velden en over het voorzorgsbeleid in Nederland. Achtergrondgegevens en beginselen voor de berekeningen zijn opgenomen in hoofdstuk 3. Het resultaat van de berekening is opgenomen in hoofdstuk 4 en in de bijlagen. Hoofdstuk 5 sluit af met een korte conclusie.

2 ACHTERGROND

2.1 Elektromagnetische velden

Elektromagnetische velden bevinden zich overal om ons heen. Er zijn velden die van nature aanwezig zijn, zoals het aardmagnetisch veld, de bliksem, het licht van de zon en de statische elektriciteit die men ervaart bij het uittrekken van een trui. Er zijn ook velden die door de mens worden opgewekt. Voorbeelden van elektromagnetische velden die door de mens worden opgewekt, zijn de velden die ontstaan bij de opwekking en het transport van elektriciteit en bij het gebruik van elektrische apparaten. Hier zijn de velden een 'bijproduct' van de elektrische stroom. Soms worden elektromagnetische velden bewust opgewekt, zoals wanneer informatie draadloos moet worden verzonden (bijvoorbeeld via mobiele telefonie of wifi).

Een elektromagnetisch veld bestaat uit een elektrisch veld en een magnetisch veld. Een elektrisch veld ontstaat door de aanwezigheid van elektrische lading. Als elektrische lading in beweging komt, bijvoorbeeld door het aanzetten van een apparaat, gaat er in de stroomdraden van het apparaat een elektrische stroom lopen. Daardoor ontstaat ook een magnetisch veld. Een magnetisch veld ontstaat als de elektrische lading beweegt. Een elektrisch veld dat in beweging is, veroorzaakt altijd een magnetisch veld, en ook omgekeerd. Elektrische en magnetische velden worden ook wel als elektromagnetische golf of als elektromagnetische velden aangeduid. Soms wordt in plaats van de term elektromagnetische velden het woord 'straling' gebruikt. Dit is echter niet juist als het gaat om de elektromagnetische velden afkomstig van infrastructuur voor de energievoorziening. Bij straling gaat het om elektromagnetische velden met een hoge frequentie (bijvoorbeeld röntgenstraling of gammastraling). Dergelijke straling bezit heel veel energie, vaak zo veel dat door de straling elektronen uit de buitenste schil van een atoom weggeslagen kunnen worden, waardoor bijvoorbeeld DNA in een celkern beschadigd kan worden. De elektromagnetische velden waar het in de energievoorziening om gaat hebben een extreem lage frequentie (50 hertz) en kunnen dit niet.

Bij het onderzoeken van gezondheidseffecten van de velden van elektrische apparaten en het elektriciteitsnetwerk zijn alleen de magnetische velden van belang. Elektrische velden worden afgezwakt of tegengehouden door hindernissen, zoals de coating van stroomkabels, bouwmaterialen, huizen en bomen. Het elektrische veld van een ondergrondse hoogspanningskabel wordt volledig afgeschermd door de mantel van de kabel. Magneetvelden dringen hier wel doorheen. Als iemand wordt blootgesteld aan een elektromagnetisch veld met een frequentie van 50 hertz van een hoogspanningskabel, gaat het dus om het magnetisch veld.

Een magnetisch veld heeft een bepaalde kracht: de veldsterkte. Magnetische veldsterkte wordt doorgaans uitgedrukt in de eenheid ampère per meter. In artikelen over gezondheidsrisico's van elektromagnetische velden wordt echter meestal de eenheid *tesla* gebruikt. Eigenlijk is dit de eenheid die bij een andere grootheid, de magnetische fluxdichtheid, hoort. Magnetische veldsterkte en de magnetische fluxdichtheid zijn in elkaar om te rekenen. Omdat dit gebruikelijk is in literatuur over de gezondheidseffecten van magnetische velden, wordt in dit rapport verder de eenheid tesla gebruikt voor de magnetische veldsterkte. Omdat een magnetisch veld van 1 tesla heel erg sterk is, gebruikt men meestal de eenheid *microtesla*, afgekort als μT . Een microtesla is een-miljoenste tesla.

De jaargemiddelde magnetische veldsterkte in een gemiddelde Nederlands woning bedraagt ongeveer 0,1 microtesla. Deze veldsterkte wordt veroorzaakt door de 'eigen installatie'. Hiermee wordt de elektriciteitsvoorziening bedoeld in een woning. Dit is dus het geheel aan elektriciteitskabels in een woning, inclusief alle apparaten die ermee verbonden zijn, zoals koelkasten, wasmachines, routers, omvormers van zonnepanelen, enzovoorts. De waarde van 0,1 microtesla wordt het 'achtergrondniveau' genoemd.

Bepalend voor de magnetische veldsterkte van een hoogspanningsverbinding (kabel of lijn) op een bepaalde plaats zijn:

- de sterkte van de stroom door de hoogspanningsverbinding; en
- de afstand tot die hoogspanningsverbinding.

De veldsterkte is recht evenredig met de stroom door de verbinding: een tweemaal zo hoge stroom geeft een tweemaal zo hoge magnetische veldsterkte. Maar de veldsterkte is omgekeerd evenredig met het kwadraat van de afstand tot de verbinding: als de afstand tweemaal zo groot wordt, wordt de veldsterkte viermaal zo klein. De magnetische veldsterkte neemt dus snel af als de afstand tot de verbinding wordt vergroot.⁵

2.2 Blootstellingslimieten bij magnetische velden

Bij het gebruik van elektrische infrastructuur, zoals bovengrondse hoogspanningslijnen, ondergrondse hoogspanningskabels en transformatoren, ontstaan dus magnetische velden. Sterke magnetische velden kunnen bij mensen biologische effecten (zoals effecten op zintuigen) en gezondheidseffecten veroorzaken. Om mensen te beschermen tegen de mogelijke effecten van magnetische velden zijn er internationaal vastgestelde blootstellingslimieten, gebaseerd op wetenschappelijk onderzoek. Met betrekking tot de energiesector is in het verleden de aandacht hierbij vooral gericht geweest op magnetische velden van bovengrondse hoogspanningslijnen, die elektriciteit transporteren via wisselspanning van 50 hertz.

In 1998 heeft ICNIRP, de International Commission for Non-Ionizing Radiation Protection, de blootstellingslimiet voor velden van 50 hertz vastgelegd op 100 microtesla.⁶ Deze limiet geldt op voor publiek toegankelijke plaatsen. Hierin is met een veiligheidsmarge rekening gehouden met de onzekerheden die in wetenschappelijk onderzoek zitten. De Europese Unie heeft deze blootstellingslimiet in 1999 overgenomen in een Europese aanbeveling.⁷ Concreet betekent dit bijvoorbeeld dat buiten een 'transformatorhuisje', dat in de openbare ruimte staat, de magnetische veldsterkte altijd lager dient te zijn dan 100 microtesla. De magnetische veldsterkte van bovengrondse hoogspanningslijnen, ondergrondse hoogspanningskabels en transformatorhuisjes blijft volgens het RIVM op voor het publiek toegankelijke plaatsen ruim onder deze limiet.⁸

Voor werknemers, mensen die beroepsmatig blootgesteld kunnen worden, gelden minder strenge eisen. De blootstellingslimieten voor werknemers liggen hoger omdat aangenomen wordt dat het hier om gezonde mensen gaat. Maar ook omdat verondersteld wordt dat werknemers de gevaren beter kennen, beter getraind zijn en de omstandigheden waaronder ze mogelijk worden blootgesteld gecontroleerd zijn. In 2013 heeft de Europese Unie een nieuwe richtlijn aangenomen (2013/35/EU).⁹ Nederland heeft deze richtlijn geïmplementeerd door een wijziging van het Arbeidsomstandighedenbesluit.

2.3 Voorzorgsbeleid in Nederland

Er wordt ook al tientallen jaren wetenschappelijk onderzoek gedaan naar effecten van *langdurige* blootstelling aan magnetische velden in de woon- en werkomgeving, ook bij veldsterkten die veel lager zijn dan de maximale grenswaarde van 100 microtesla. Hierbij wordt gekeken naar het vóórkomen van

⁵ Zie de website van het Kennisplatform EMV: <https://www.kennisplatform.nl/de-sterkte-van-elektromagnetische-velden/>.

⁶ Zie: "ICNIRP guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz)", gepubliceerd in *Health Physics* (volume 74, nr. 4, pp. 494-522, april 1998).

⁷ Zie: Aanbeveling 1999/519/EG "betreffende de beperking van blootstelling van de bevolking aan elektromagnetische velden van 0 Hz - 300 GHz", van 12 juli 1999.

⁸ Zie: RIVM, "Verkenning van extreem-laagfrequente (ELF) magnetische velden bij verschillende bronnen; literatuur en metingen", te vinden op <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/609300011.pdf>.

⁹ Zie: Richtlijn 2013/35/EU "betreffende de minimumvoorschriften inzake gezondheid en veiligheid met betrekking tot de blootstelling van werknemers aan de risico's van fysische agentia (elektromagnetische velden)", van 26 juni 2013.

een uiteenlopende reeks van effecten, ziekten of aandoeningen, variërend van het voelen van tintelingen tot neurodegeneratieve ziekten en kanker.

Uit dit onderzoek is gebleken dat er een zwakke, maar statistisch significante relatie is tussen langdurig verblijven in de buurt van bovengrondse hoogspanningslijnen en het vóórkomen van leukemie bij kinderen. Er is daarbij géén causaal (oorzakelijk) verband aangetoond. De waarde voor de veldsterkte waarboven dit verband bij langdurige blootstelling toeneemt, ligt rond 0,4 microtesla, een waarde die 250 keer kleiner is dan de eerdergenoemde blootstellingslimiet van 100 microtesla. Het is echter niet duidelijk wat hiervan de oorzaak is: zijn het de magnetische velden van de bovengrondse hoogspanningslijnen of is het iets anders? Het is mogelijk dat de samenhang het gevolg is van iets anders dat met bovengrondse hoogspanningslijnen samenhangt, of dat dit het gevolg is van de manier van onderzoeken, of 'gewoon toeval'. Uit onderzoek naar de oorzaak is geen biologische verklaring of causaal verband gevonden voor de gevonden samenhang.

Om eventuele risico's zoveel mogelijk te vermijden hanteert de Nederlandse rijksoverheid (het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat) daarom sinds 2005 voor bovengrondse hoogspanningslijnen een zogenoemd voorzorgbeleid.¹⁰ Dit beleid houdt in dat zo veel als redelijkerwijs mogelijk is vermeden moet worden dat er nieuwe situaties ontstaan waarbij kinderen langdurig kunnen verblijven in het gebied rond bovengrondse hoogspanningslijnen waarbinnen het jaargemiddelde magneetveld hoger is dan 0,4 microtesla. Dit gebied noemt men de magneetveldzone.¹¹ Het voorzorgbeleid richt zich op zogenoemde 'gevoelige bestemmingen', plaatsen waar kinderen gedurende langere perioden vrijwel dagelijks langdurig aanwezig kunnen zijn: woningen, scholen, crèches en kinderopvangplaatsen. Het voorzorgbeleid heeft alleen betrekking op *nieuwe* situaties; voorbeelden hiervan zijn nieuw te bouwen gevoelige bestemmingen in de nabijheid van bestaande bovengrondse hoogspanningslijnen, nieuw te bouwen bovengrondse hoogspanningslijnen in de nabijheid van bestaande gevoelige bestemmingen en reconstructies van bestaande bovengrondse hoogspanningslijnen in de nabijheid van bestaande gevoelige bestemmingen.

De Afdeling Bestuursrechtspraak van de Raad van State heeft recent geoordeeld "dat de uitgangspunten die aan het magneetveldvoorzorgsbeleid ten grondslag liggen uit een oogpunt van een goede ruimtelijke ordening *in beginsel* ook moeten worden toegepast bij ondergrondse hoogspanningsverbindingen. (...) In dit verband worden in beginsel afstanden tot gevoelige functies aangehouden van 15 m (horizontaal of verticaal) tot open ontgravingen en 10 m (verticaal) tot gestuurde boringen".¹²

Ook veel GGD's adviseren uit voorzorg om langdurig verblijf van kinderen in een magnetisch veld dat gemiddeld hoger is dan 0,4 microtesla zoveel als redelijkerwijs mogelijk is te vermijden. Dit advies lijkt daarmee op dat van de overheid, maar gaat een stap verder: het advies geldt bij *alle* bronnen van de elektriciteitsvoorziening, niet alleen bij nieuwe situaties bij hoogspanningslijnen.¹³

2.4 Recente ontwikkelingen

In mei 2018 heeft de Nederlandse Gezondheidsraad een grote hoeveelheid wetenschappelijke gegevens over de gezondheidseffecten van magnetische velden herbeoordeeld. De Gezondheidsraad ziet in de huidige stand van wetenschap geen aanleiding de staatssecretaris van Infrastructuur en Waterstaat te adviseren het beleid met betrekking tot bovengrondse hoogspanningslijnen te heroverwegen. Omdat er aanwijzingen zijn voor een oorzakelijk verband tussen blootstelling aan magnetische velden en een

¹⁰ Het voorzorgsbeleid voor bovengrondse hoogspanningslijnen wordt verder toegelicht op een algemene website van de Nederlandse overheid. Zie <https://www.infomil.nl/onderwerpen/ruimte/functies/bovengrondse-0/beleid/>.

¹¹ Het begrip magneetveldzone is 'gekoppeld' aan het voorzorgsbeleid bij bovengrondse hoogspanningslijnen. Bij ondergrondse kabels en onderstations spreekt men altijd van de 0,4 microtesla-magneetveldcontour.

¹² ABRvS 1 februari 2017, ECLI:NL:RVS:2017:238, rechtsoverwegingen 17.3 en 17.4 (te vinden op www.rechtspraak.nl).

¹³ Zie bijv. <https://www.ggd.amsterdam.nl/gezond-wonen/elektromagnetische/> (GGD Amsterdam).

verhoogd risico op kinderleukemie en hersentumoren, en magnetische velden niet tegengehouden worden door bodem of bouwmaterialen, geeft de Gezondheidsraad vanuit gezondheidskundig oogpunt de staatssecretaris in overweging om het beleid uit te breiden naar ondergrondse elektriciteitskabels en andere bronnen van langdurige blootstelling aan magnetische velden uit het elektriciteitsnetwerk, zoals transformatorstations en transformatorhuisjes.¹⁴

Op verzoek van de minister van Economische Zaken en Klimaat (EZK) heeft oud-staatssecretaris Co Verdaas vervolgens onderzoek gedaan betreffende het voorzorgbeleid en advies uitgebracht. Op 1 oktober 2019 heeft de minister van EZK dit advies aan de Tweede Kamer gestuurd. Co Verdaas trekt de conclusie dat het voorzorgbeleid niet noodzakelijk maar wel nuttig is, vooral om maatschappelijke onrust en disproportionele maatregelen te voorkomen. Hij adviseert om geen onderscheid meer te maken tussen nieuwe en bestaande situaties, tussen hoogspanningslijnen en andere bronnen van magneetvelden en om de advieswaarde van 0,4 microtesla (jaargemiddeld) te schrappen. Het schrappen van die advieswaarde moet bijdragen aan een bredere afweging per situatie. Hij adviseert ook om voor een nieuw voorzorgbeleid samen met betrokken stakeholders een lijst met maatregelen op te stellen. Deze maatregelen dienen 'redelijk' en 'proportioneel' te zijn uit oogpunt van onder meer gezondheidsrisico's en kosten, waarbij de blootstelling zo laag als redelijkerwijs haalbaar is (ook wel 'ALARA' genoemd: As Low As Reasonably Achievable). De minister geeft in de kabinetsreactie aan dat met dit advies gekozen wordt voor verantwoorde omgang met de mogelijke gezondheidsrisico's van magneetvelden.¹⁵

Eind 2020 wordt het overzicht van de ALARA-maatregelen, die redelijk, proportioneel en praktisch realiseerbaar zijn, verwacht. Op basis daarvan stelt het kabinet eventueel nieuw beleid vast. Tot het moment dat het kabinet nieuw voorzorgbeleid vaststelt, blijft het huidige voorzorgbeleid van kracht.

2.5 Samenvatting betreffende grenswaarden

Om mensen te beschermen tegen effecten van sterke magnetische velden gelden er grenswaarden voor de blootstelling aan die velden. Deze waarden zijn opgesteld op basis van een grote hoeveelheid wetenschappelijk onderzoek naar de mogelijke effecten en de blootstelling.

In Nederland geldt voor blootstelling aan magnetische velden van de elektriciteitsvoorziening:

- voor algemene bevolking: maximale veldsterkte 100 microtesla;
- voor blootstelling op werkplekken: maximale veldsterkte 1000 microtesla.

Nederland volgt hiermee de Europese richtlijnen en adviezen.

Daarnaast heeft de Nederlandse overheid besloten om vanwege de onduidelijkheden die er zijn over een *mogelijke* samenhang tussen het wonen bij bovengrondse hoogspanningslijnen en de kans op kinderleukemie een voorzorgbeleid te hanteren. De overheid adviseert te voorkomen dat kinderen langdurig boven 0,4 microtesla worden blootgesteld in nieuwe situaties bij een *combinatie* van:

- bovengrondse hoogspanningslijnen *en*
- gevoelige bestemmingen: woningen, scholen en kinderopvangplaatsen en gebieden waar kinderen gedurende langere perioden vrijwel dagelijks langdurig aanwezig zullen zijn.

Er wordt in Nederland bij bovengrondse hoogspanningslijnen dus niet alleen naar de maximale veldsterkte van 100 microtesla gekeken, maar ook naar de langdurig gemiddelde veldsterkte (bijvoorbeeld gemiddeld over een heel jaar).

¹⁴ Zie: <https://www.gezondheidsraad.nl/documenten/adviezen/2018/04/18/hoogspanningslijnen-en-gezondheid-deel-i-kanker-bij-kinderen>.

¹⁵ Zie: Kamerstukken II 2019/20, 29023, nr. 250. De brief en de bijlagen zijn ook te vinden op https://www.tweedekamer.nl/kamerstukken/brieven_regering/ (bij zoeken intypen '2019D38554').

Voor *nieuwe* situaties van gevoelige bestemmingen bij bovengrondse hoogspanningslijnen is het voorzorgadvies van toepassing: de jaargemiddelde blootstelling mag niet boven de 0,4 microtesla komen. Dat betekent dat in nieuwe situaties de magnetische veldsterkte gedurende enige tijd wel hoger mag zijn dan 0,4 microtesla, zolang het gemiddelde over een jaar maar lager is dan 0,4 microtesla. Voor de bepaling van de waarde van 0,4 microtesla gaat men altijd uit van een hoogte van 1 meter boven het maaiveld. Eén en ander is samengevat in Tabel 1.

Tabel 1 Overzicht van geldende limieten voor magnetische velden van 50 hertz

Basisadvies – geldt voor alle situaties

Basisadvies – alle situaties			
Groep	Limiet [μ T]	Toelichting	Bron
Beroepsbevolking (*)	1000	maximale veldsterkte, op ieder moment	EU-richtlijn 2013/35/EU
Algemene bevolking	100	maximale veldsterkte, op ieder moment	EU-aanbeveling 1999/519/EG

(*) De tijd die werkenden in deze velden mogen doorbrengen is beperkt tot 'werktijd'.

Voorzorgsadvies – geldt voor nieuwe situaties, bij bovengrondse lijnen en langdurige blootstelling van kinderen

Voorzorgsadvies – nieuwe situaties			
Groep	Limiet [μ T]	Toelichting	Bron
Kinderen t/m 14 jaar	0,4	Langdurig gemiddelde veldsterkte (over 24 uur per dag gedurende 1 jaar)	Advies Ministerie van I&W

Geen zwart-wit situatie

Het voorzorgbeleid suggereert mogelijk dat buiten de 0,4-microteslazone geen en binnen de zone wel een verhoogd risico is op kinderleukemie. De wetenschap trekt deze grens niet zo strak en heeft het over een indicatie van een verhoogd risico op kinderleukemie boven een jaargemiddelde blootstelling tussen 0,3 en 0,4 microtesla. Er is ook geen wetenschappelijk bewijs dat de magnetische veldsterkte de veroorzaker is van de verhoogde kans op kinderleukemie (er is wel een correlatie, maar geen causaal verband). Ook een biologisch mechanisme dat deze effecten zou kunnen verklaren is nooit gevonden.

3 REKENMETHODE EN REKENMODEL

3.1 Handreiking van het RIVM

Het RIVM heeft, ten behoeve van partijen die ruimtelijke ontwikkelingen nastreven, zoals gemeentes, netbeheerders, projectontwikkelaars, bedrijven en particulieren, een internetsite ontwikkeld waar voor elke bestaande *bovengrondse hoogspanningslijn* een indicatie van de breedte van de magneetveldzone kan worden opgezocht. Deze zogenoemde 'indicatieve zones' worden gepresenteerd in de zogeheten Netkaart.¹⁶

Voor het berekenen van de magneetveldzone van een specifieke bovengrondse hoogspanningslijn heeft het RIVM in opdracht van de Nederlandse overheid een zogenoemde 'Handreiking' opgesteld.¹⁷ Hierin worden de benodigde gegevens en de rekenmethode vastgelegd om tot de 'specifieke magneetveldzone' voor de specifieke lijn te komen, dus met de specifieke kenmerken van die lijn. In de rekenmethode zijn vereenvoudigingen aangebracht die leiden tot een ruime inschatting van de breedte van de magneetveldzone. Omdat het voorzorgbeleid zich specifiek richt op *bovengrondse* hoogspanningslijnen is er door het RIVM geen handreiking of netkaart voor *ondergrondse* hoogspanningskabels ontwikkeld.

Voor berekeningen van de specifieke magneetveldcontour van ondergrondse hoogspanningskabels wordt meestal gebruik gemaakt van afspraken over berekeningen voor ondergrondse hoogspanningskabels, die onder begeleiding van het RIVM zijn gemaakt voor het project 'Randstad 380 kV' van TenneT.¹⁸ Deze afspraken worden in Nederland frequent gebruikt door adviesbureaus en netbeheerders. Met deze methode kan de specifieke magneetveldcontour van de kabel worden uitgerekend, dat wil zeggen "het gebied waarbinnen het magnetische veld gemiddeld over een jaar boven 0,4 microtesla ligt".

3.2 Rekenmodel en berekening 0,4 microteslazone

De software die is gebruikt voor de berekening is de AC/DC-module van COMSOL Multiphysics (versie 5.5).¹⁹

De hoogspanningskabel is in detail gemodelleerd, ook het metalen kabelomhulsel (mantel) is in de berekeningen beschouwd.

Bij berekeningen van de 0,4 microteslacontour wordt altijd een 'rekenstroom' gebruikt. Deze stroom kan worden gezien als een schatting van de (eventueel in de toekomst) maximaal te verwachten, jaargemiddelde stroomsterkte. De rekenstroom is gerelateerd aan de ontwerpstroom van een circuit en wordt bepaald door in de berekeningen uit te gaan van een belasting van 30% van de ontwerpstroom voor 380 en 220 kV-circuits en van 50% van de ontwerpstroom voor 150, 110 en 50 kV-circuits.

Bij een 150 kV-kabel moet derhalve uitgegaan worden van 50% van de ontwerpstroom.

¹⁶ De Netkaart van het RIVM is te vinden op <https://www.rivm.nl/hoogspanningslijnen/netkaart>.

¹⁷ Zie: "Handreiking voor het berekenen van de specifieke magneetveldzone bij bovengrondse hoogspanningslijnen", versie 4.1, RIVM, 26 oktober 2015 (te vinden op <https://www.rivm.nl/hoogspanningslijnen/handreiking>).

¹⁸ Zie notitie "Afspraken over de berekening van de 'magneetveldzone' bij ondergrondse kabels en hoogspanningsstations behorende tot de Randstad 380 kV-verbinding", RIVM, 3 november 2011 (op te vragen bij het RIVM).

¹⁹ Zie: <https://www.comsol.com/release/5.5/acdc-module>.

3.3 Rekenmodel en berekening 100 microteslacontour

De blootstellingslimiet van 100 μ T geldt onder de maximale bedrijfswaarden op elke plek in de openbare ruimte. Voor hoogspanningskabels geldt hierbij het uitgangspunt van de maximale continue belastbaarheid van de verbinding,

Hoogspanningsnetwerken zijn voorzien van een zekere mate van redundantie zodat in het geval van storing of onderhoud het netwerk blijft functioneren. Deze redundantie is uitgedrukt met de zogenaamde 'N-1'-situatie (dit wil zeggen: het aantal verbindingen min 1 buiten bedrijf waarbij N altijd groter moet blijven dan 0). Bij de 'N-1'-situatie is dus sprake dat één van de circuits uit bedrijf is. Bij normaal bedrijf is de stroom van de kabels verdeeld over twee circuits en zal deze stroom nooit groter zijn dan 50% van de belastbaarheid van de kabel. Een belasting van meer dan 50% komt bij normaal bedrijf niet voor, want dan zou in geval van storing het netwerk overbelast raken met langdurige uitval tot gevolg. Voor de berekening van de maximale veldsterkte bij maximaal bedrijf wordt dan ook uitgegaan van de zogenoemde 'N-1'-situatie.

4 BEREKENING MAGNEETVELDCONTOUREN

4.1 Resultaten berekeningen 0,4 uT-contouren

De berekeningen zijn uitgevoerd voor de gebouwen zoals aangegeven in Figuur 1 (zie pag. 5). Voor ieder gebouw is aangegeven welk deel voor bewoning in aanmerking komt en hoe de bewuste hoogspanningskabel is gelegen ten opzichte van dit gebied (Bijlage B). Uitgangspunten bij de berekeningen zijn vermeld in Bijlage A.

Datum van de definitieve berekening: 26/11/2020.

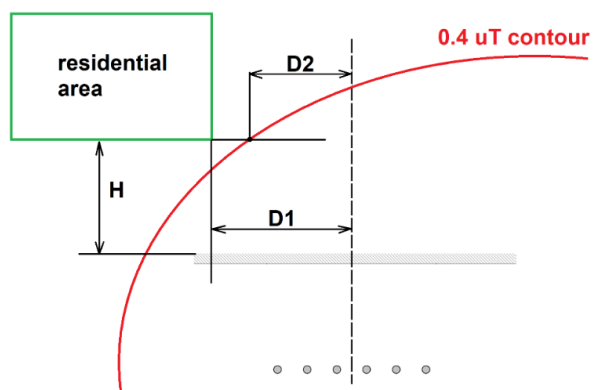
De magnetische veldcontour wordt weergegeven (Figuur 2, rood) als contour in een dwarsdoorsnedeweergave en het magnetisch veld ter hoogte van 1 meter boven de vloer van de woning (in plaats van 1 meter boven het maaiveld).

Voor de berekening van de magnetische veldsterkte zijn diverse modelleringsniveaus gekozen. Deze niveaus zijn weergegeven in Tabel 2.

Tabel 2 Definities van modelleringsniveaus (MN)

Modelleringsniveau (MN) definitie	Beschrijving	Opmerking
MN0	Kabels alleen als geleiders	geen additionele afscherming
MN1	Kabels met mantels en damwand	afscherming van de metalen mantels (lood, of aluminium) en damwand
MN2	MN1 + aardgeleiders	aanvullend op MN1 , passieve afscherming d.m.v aardgeleiders (earth continuity conductors (ECC))

In Figuur 2 zijn de uitgangspunten voor de berekening weergegeven. In Tabel 3 zijn de diverse scenarios uitgerekend en is aangegeven waar de woningen zich ten opzichte van de kabels bevinden.



D1: de afstand van midden kabeltracé tot de woning

D2: de reikwijdte van de 0,4 microteslacontour op hoogte van de woning

H1: de hoogte van de woning (1 m boven vloer) boven maaiveld

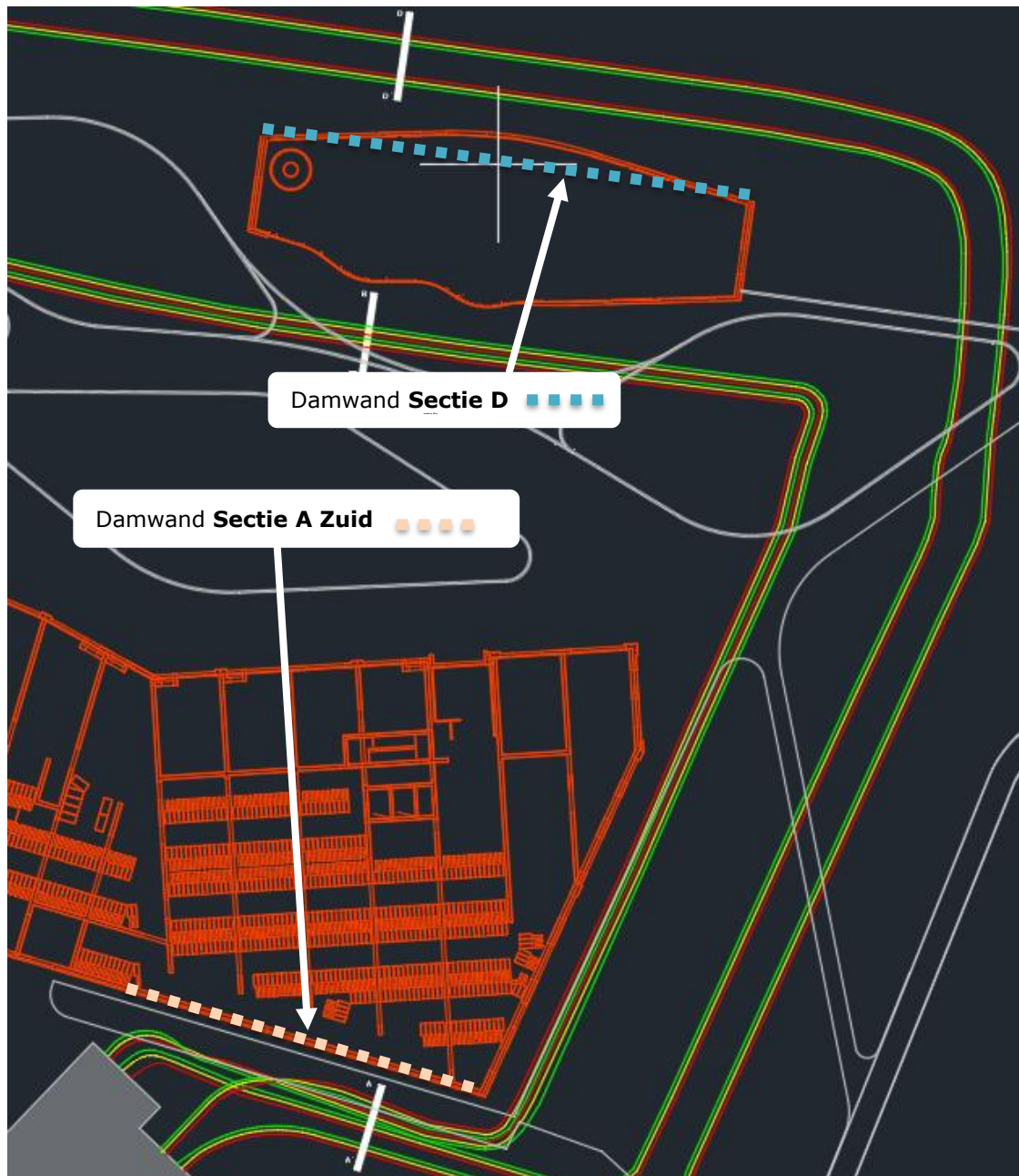
Figuur 2 Positie van de woningen ten opzichte van de hoogspanningskabel

Tabel 3 Combinaties en resultaten

Sectie Naam (Figuur 1) aantal circuits en details van de verbinding	stroom-richting	H [m]	D1 [m]	D2 [m]	Modellerings niveau (MN)	Woningen buiten 0,4 uT-contour (Ja/Nee) Figuren in Bijlage B
A Zuid 4 circuits, 2 verbindingen LD-SS150 W & Z ZT-LD150 W & Z	↑↑	5	8.5	5.6	MN1 Voor LD-SS150 W & Z	Ja Figuur 13
	↑↓			5.6	MN1 Voor ZT-LD150 W & Z	Ja Figuur 14
A Oost 4 circuits, 2 verbindingen LD-SS150 W & Z ZT-LD150 W & Z (ZT-LD150 Grijs buiten bedrijf)	↑↑		3.6	3.6	MN1 Voor LD-SS150 W & Z	Ja Figuur 23 (c)
	↑↓			-1	MN2 Voor ZT-LD150 W & Z	Ja Figuur 23 (a)
A Oost 5 circuits, 2 verbindingen LD-SS150 W & Z ZT-LD150 W, G & Z	↑↑			3.6	MN1 Voor LD-SS150 W & Z MN2 Voor ZT-LD150 W, G & Z	Ja Figuur 23 (d)
	↑↓			-1.2		Ja Figuur 23 (b)
B 2 circuits, 1 verbindingen LD-SS150 W & Z	↑	13.6	4	0	MN1 Voor LD-SS150 W & Z	Ja Figuur 25
C 2 circuits, 1 verbindingen VB-LD150 W & Z	↑	5	8	7	MN1 Voor VB-LD150 W & Z	Ja Figuur 26
D 3 circuits, 1 verbindingen ZT-LD150 W, G & Z	↑	13.6	3.6	0	MN1 Voor ZT-LD150 W, G & Z	Ja Figuur 21
D 2 circuits, 1 verbindingen ZT-LD150 W & Z	↑			0		Ja Figuur 22

4.2 Overweging

De stalen damwand (gebruikt als onderdeel van de constructie) heeft een aanzienlijke impact op de magnetische veldcontour. Als deze metalen constructie in de berekening wordt genomen, bevindt de 0,4 μ T-magneetveldcontour in sectie A Zuid en D zich buiten de woningen. Voor de overige secties kan de damwand tijdens of na de bouw verwijderd worden.

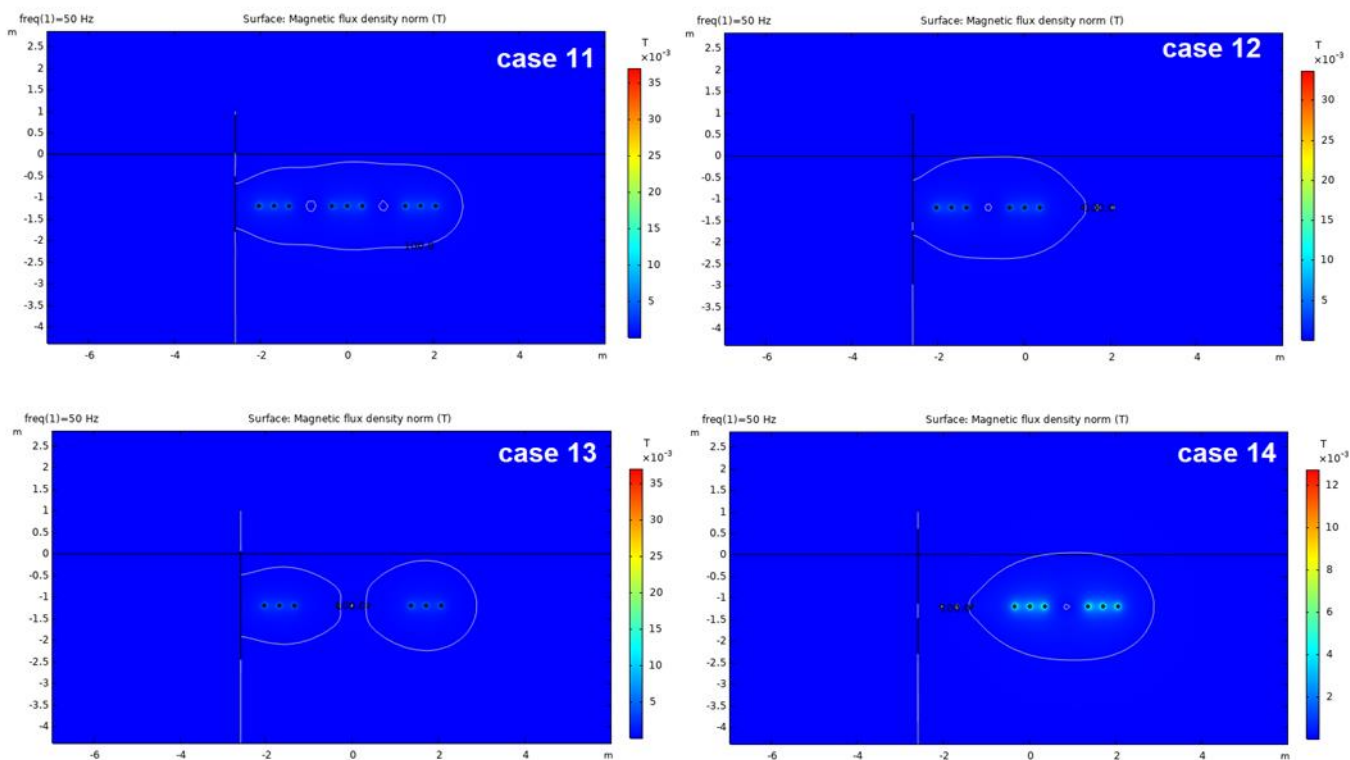


Figuur 3 Damwand afschermingsoptie die in aanmerking komt voor sectie A Zuid en D (damwand locaties)

4.3 Resultaten berekeningen 100 μ T-contouren

De uitgangspunten en de resultaten van de berekening van de 100 μ T-contour is weergegeven in bijlage A. In Figuur 4 is een aantal berekeningsresultaten weergegeven, de 100 μ T-contour is in deze figuur steeds aangegeven (cirkelvormige/ovalen curve).

Uit de berekeningen blijkt dat nergens boven het maaiveld (daar waar mensen kunnen komen) de grenswaarde van 100 μ T overschreden zal worden. De aanwezige damwand in sectie D geeft geen noemenswaardige lokale verhoging van de veldsterkte.



Figuur 4 Voorbeelden van 100 μ T contouren in sectie D

5 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

De 0,4 μ T-magneetveldcontour is op meerdere locaties bij plan LEAD berekend en getoond in dwarsdoorsneden. De vijf onderzochte locaties (A Zuid, A Oost, B, C en D) zijn gebaseerd op de verschillende kabelverbindingen en de kortste afstand tot het plan LEAD (Fase 1, 2 en 3). Doordat de woningen veelal niet op het niveau van het maaiveld gelegen zijn, blijkt uit het onderzoek dat bij alle onderzochte locaties geen sprake is van een magnetische veldcontour binnen de woningen. Deze berekeningen zijn gebaseerd op de aanname dat de damwand voor Sectie A Zuid en Sectie D (zie Figuur 3, p. 15) na de bouw niet verwijderd wordt.

De 100 μ T-magneetveldcontour van de hoogspanningskabel wordt door het plan LEAD nauwelijks beïnvloed. Op plekken waar mensen kunnen komen wordt bij maximale belasting van de hoogspanningskabels nergens de grenswaarde van 100 μ T overschreden.

BIJLAGE A

Uitgangspunten bij de berekeningen

De kabel LD-SS150 verbindt de 150 kV TenneT stations Leiden en Sassenheim. (Wit en Zwart)

De kabel VB-LB150 verbindt de 150 kV TenneT stations Voorburg en Leiden. (1 en 2)

De kabel ZT-LD150 verbindt de 150 kV TenneT stations Zoetermeer en Leiden. (Wit, Zwart en Grijs)

0,4 μ T-magneetveldcontour berekening

Meer informatie over het kabeltype, de parameters zie Tabel 4.

Tabel 4 Verbindingseigenschappen en Rekenstroom voor 0,4 μ T-magneetveldcontour berekening

Officiële naam kabelverbinding	Kabelverbinding	Kabeltype	Kabeldiameter [mm]	Ontwerp stroom [A]	Rekenstroom [A]
LD-SS150 W	Leiden - Sassenheim	EZPAKod!1x800!Cu!115/200kV	100	770	385
LD-SS150 Z	Leiden - Sassenheim	EZPAKod!1x800!Cu!115/200kV	100	770	385
ZT-LD150 W	Zoetermeer - Leiden	EYLRvld!1x1200!Cu!87/150kV	103	1155	578
ZT-LD150 Z	Zoetermeer - Leiden	EYLRvld!1x1200!Cu!87/150kV	103	1155	578
*ZT-LD150 G	*Zoetermeer - Leiden	*EYLRvld!1x1200!Cu!87/150kV	*103	*1155	*578
VB-LD150 (1)	Voorburg - Leiden	EZPAKod!1x800!Cu!115/200kV	100	1155	578
VB-LD150 (2)	Voorburg - Leiden	EZPAKod!1x800!Cu!115/200kV	100	1155	578

*Aangenomen dat de volgende eigenschappen betrekking hebben op deze kabelverbinding (worst-case).

Een voorbeeld van de verticale stalen palen die tijdens de bouw worden gebruikt, wordt weergegeven in Figuur 5.

100 μ T-magneetveldcontour berekening

Tabel 5 100 μ T-magneetveldcontour Sectie A Zuid, verbindingen dezelfde stroomrichting, Verbindingseigenschappen (voor Kabeltype zie Tabel 4)

Officiële naam kabelverbinding		LD-SS150 W	LD-SS150 Z	ZT-LD150 W	ZT-LD150 Z	Berekenign nummer	Figuur in Bijlage B
Kabelverbinding		Leiden - Sassenheim	Leiden - Sassenheim	Zoetermeer - Leiden	Zoetermeer - Leiden		
Stroom-richting		↑	↑	↑	↑		
Ontwerp stroom		770	770	1155	1155	1	Figuur 28
Rekenstroom	Normale Bedrijfsvoering	385	385	578	578		
	Fout situatie LD-SS	0 (Fout)	770	578	578		
	Fout situatie LD-SS	770	0 (Fout)	578	578		
	Fout situatie ZT-LD	385	385	0 (Fout)	1155		
	Fout situatie ZT-LD	385	385	1155	0 (Fout)		

Tabel 6 100 μ T-magneetveldcontour Sectie A Zuid, verbindingen verschillende stroomrichting, Verbindingseigenschappen (voor Kabeltype zie Tabel 4)

Officiële naam kabelverbinding		LD-SS150 W	LD-SS150 Z	ZT-LD150 W	ZT-LD150 Z	Berekenign nummer	Figuur in Bijlage B
Kabelverbinding		Leiden - Sassenheim	Leiden - Sassenheim	Zoetermeer - Leiden	Zoetermeer - Leiden		
Stroom-richting		↑	↑	↓	↓		
Ontwerp stroom		770	770	1155	1155	6	Figuur 29
Rekenstroom	Normale Bedrijfsvoering	385	385	578	578		
	Fout situatie LD-SS	0 (Fout)	770	578	578		
	Fout situatie LD-SS	770	0 (Fout)	578	578		
	Fout situatie ZT-LD	385	385	0 (Fout)	1155		
	Fout situatie ZT-LD	385	385	1155	0 (Fout)		

Tabel 7 100 μ T-magneetveldcontour Sectie D, Verbindingseigenschappen (voor Kabeltype zie Tabel 4)

Officiële naam kabelverbinding		ZT-LD150 W	ZT-LD150 Z	ZT-LD150 G	Berekenign nummer	Figuur in Bijlage B
Kabelverbinding		Zoetermeer - Leiden	Zoetermeer - Leiden	Zoetermeer - Leiden		
Stroom-richting		↑	↑	↑		
Ontwerp stroom		1155	1155	1155	11	Figuur 30
Rekenstroom	Normale Bedrijfsvoering	770,4	770,4	770,4		
Rekenstroom	Fout situatie ZT-LD	1155	1155	0 (Fout)		
		1155	0 (Fout)	1155		
		0 (Fout)	1155	1155		

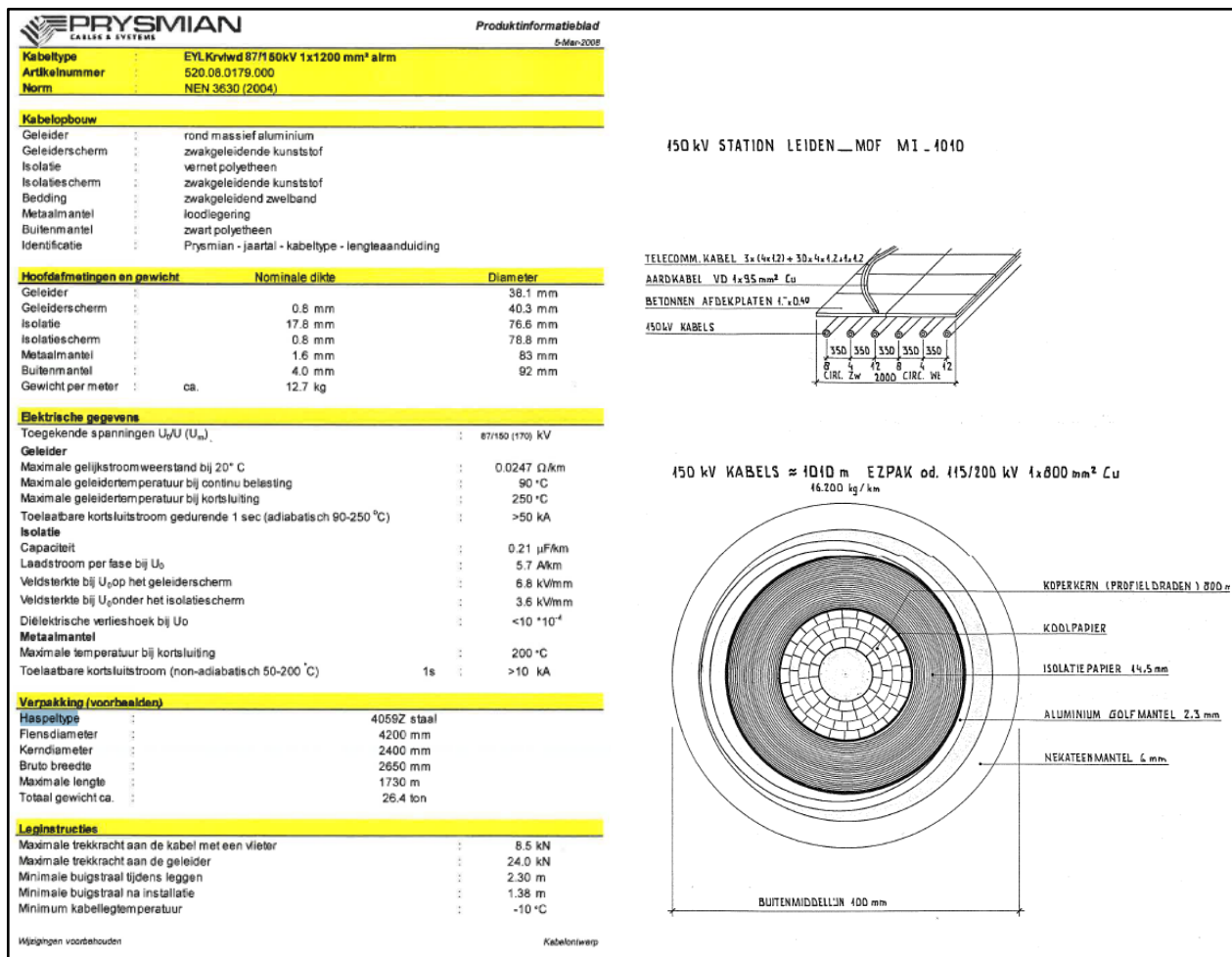


Figuur 5 Voorbeeld van geplande stalen damwand (tijdens de bouw)

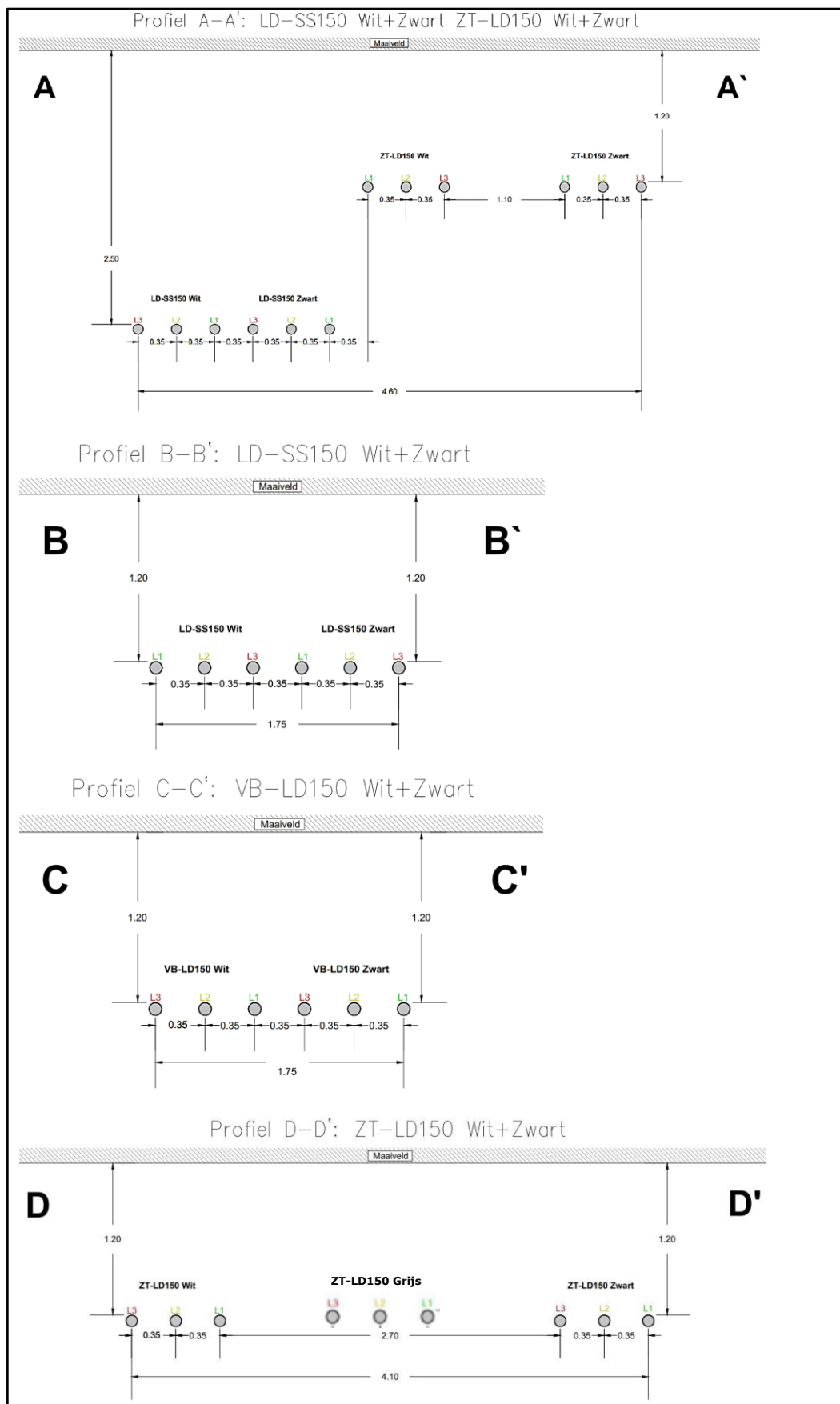
Tabel 5 bevat de parameters van de metalen damwand.

Tabel 5 Damwand eigenschappen

Doorsnede 1 (Fase I en II):	Doorsnede 2 (Fase III):
■ Damwandtype: AZ42-700N (S355) ■ $EI = 220.353 \text{ kNm}^2/\text{m}$ ■ $W = 4.205 \text{ cm}^3/\text{m}$ ■ Lengte: 18,5 m ■ Onderkant damwand: NAP -18,0 m ■ Bovenkant damwand: maaiveld +0,5 m	■ Damwandtype: AZ28-700 (S320): ■ $EI = 133.602 \text{ kNm}^2/\text{m}$ ■ $W = 2.760 \text{ cm}^3/\text{m}$ ■ Lengte: 16,0 m ■ Onderkant damwand: NAP -15 m ■ Bovenkant damwand: maaiveld +1,0 m



Figuur 6 Kabelparameterdetails (dimensie, materialen enz.)

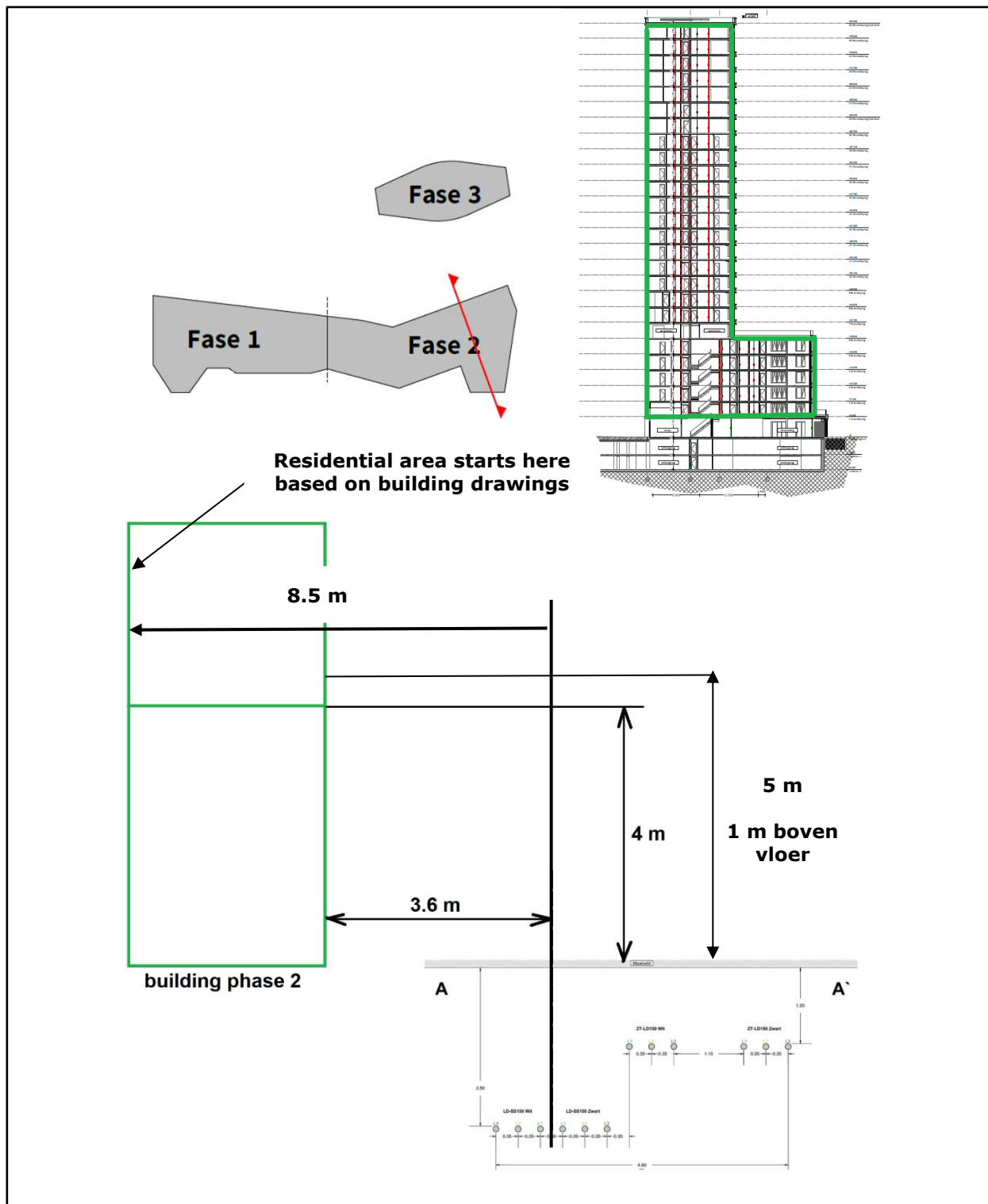


Figuur 7 Kabeldoorsnedeprofielen

BIJLAGE B

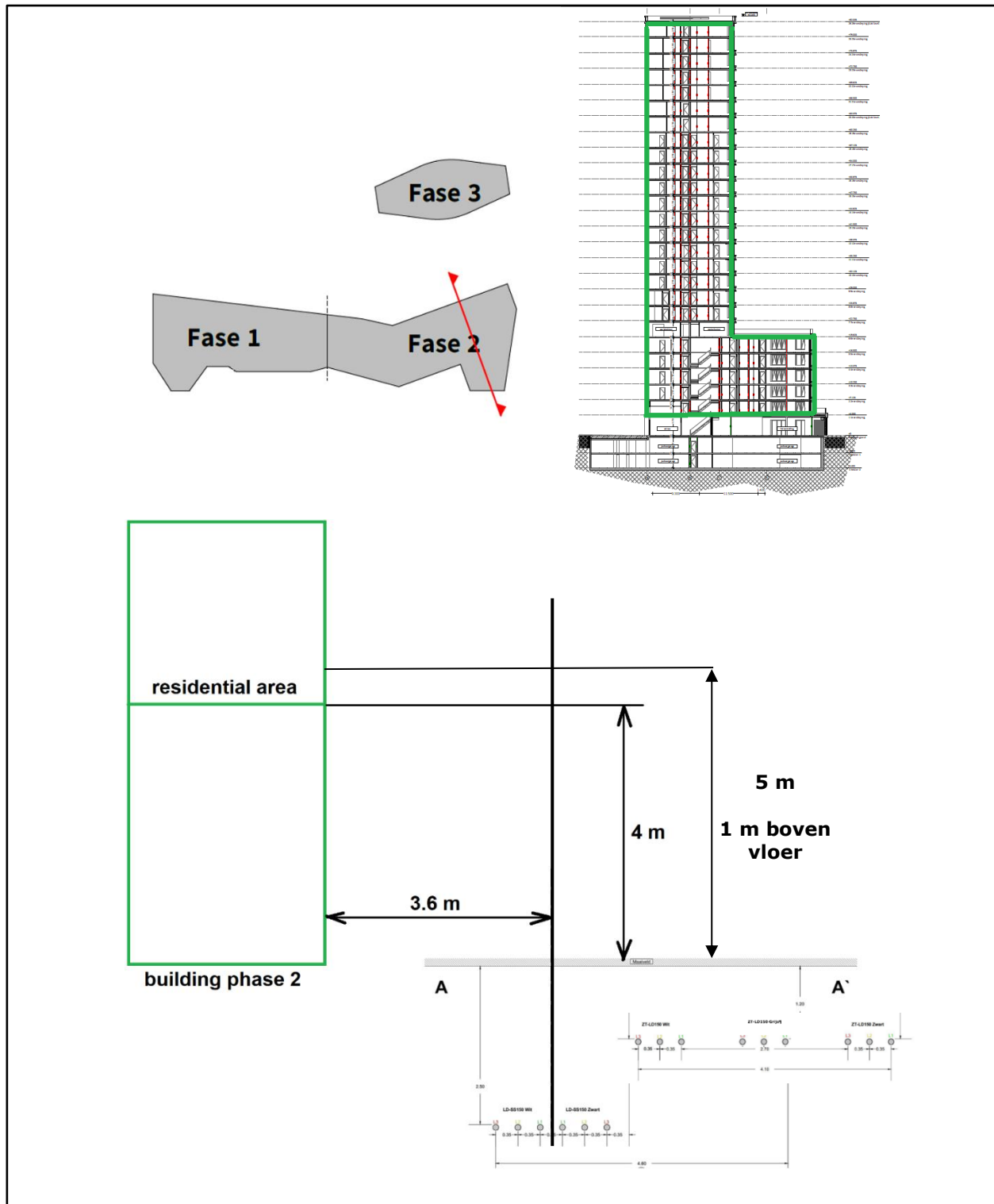
Woonlocaties en berekeningen

Sectie A Zuid



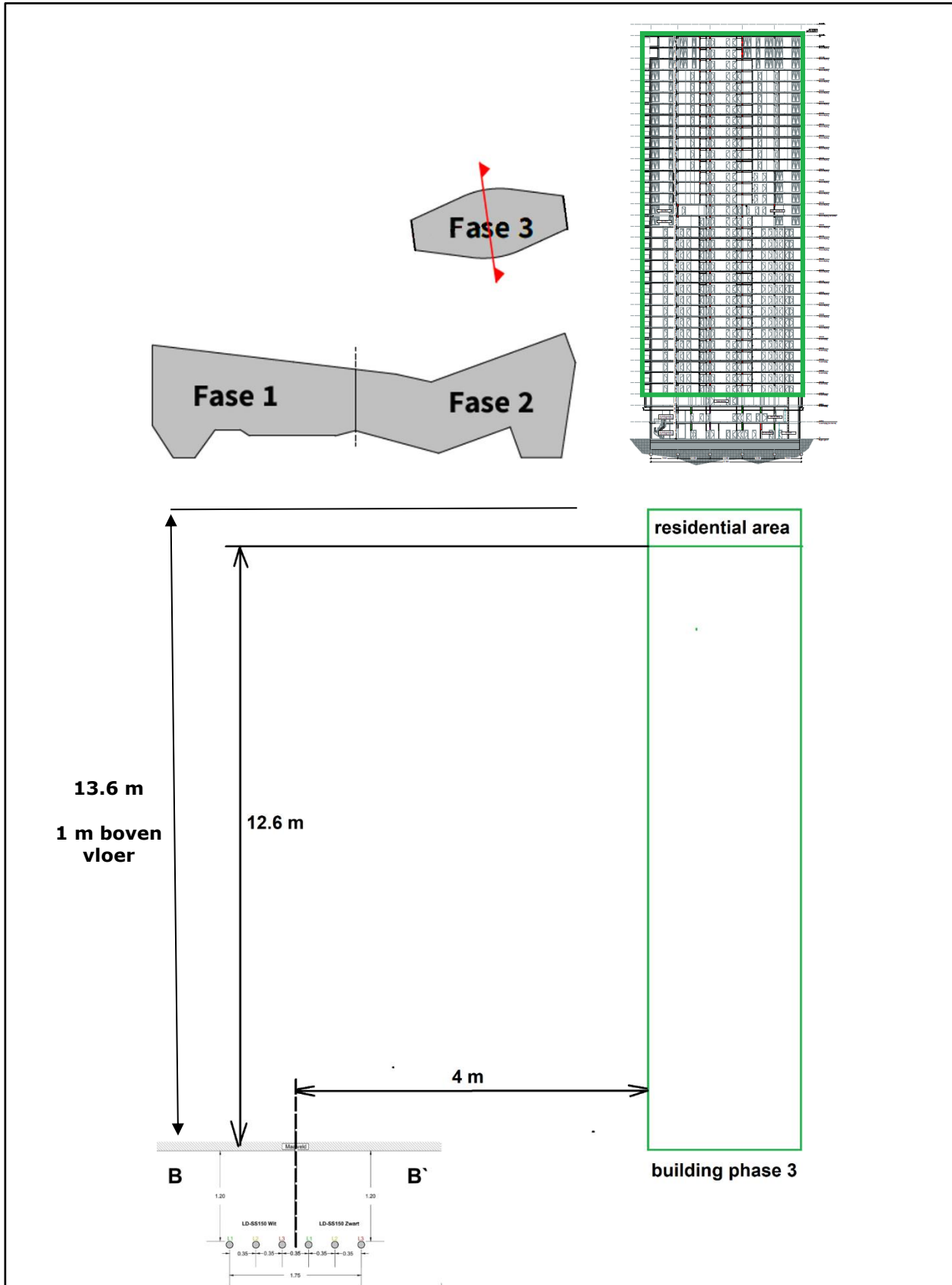
Figuur 8 Bouwfase 2 dicht bij sectie A, de woningen (groen gemarkeerd) begint vanaf 4 meter boven de grond

Sectie A Oost



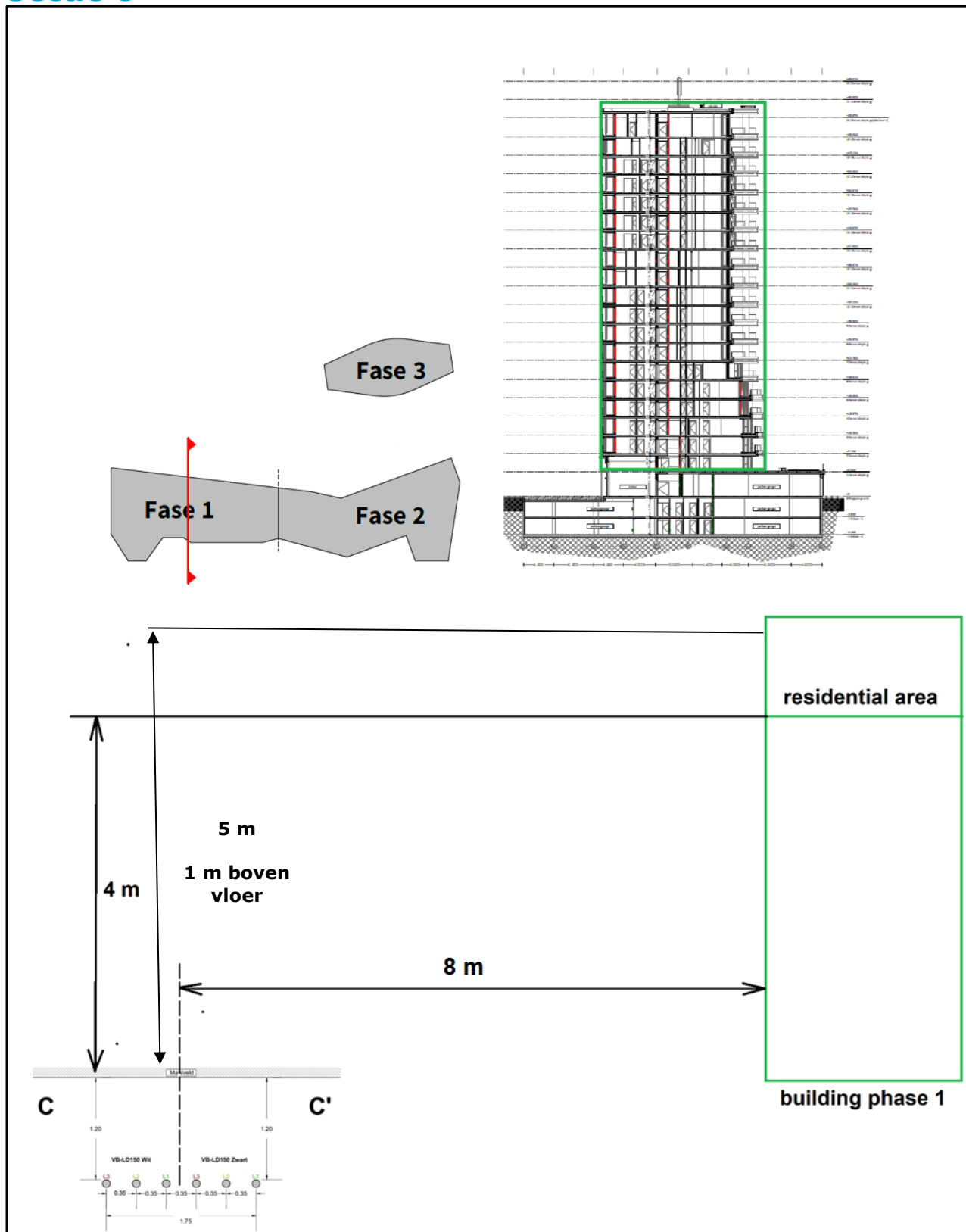
Figuur 9 Bouwfase 2 dicht bij sectie A, de woningen (groen gemarkeerd) begint vanaf 4 meter boven de grond

Sectie B



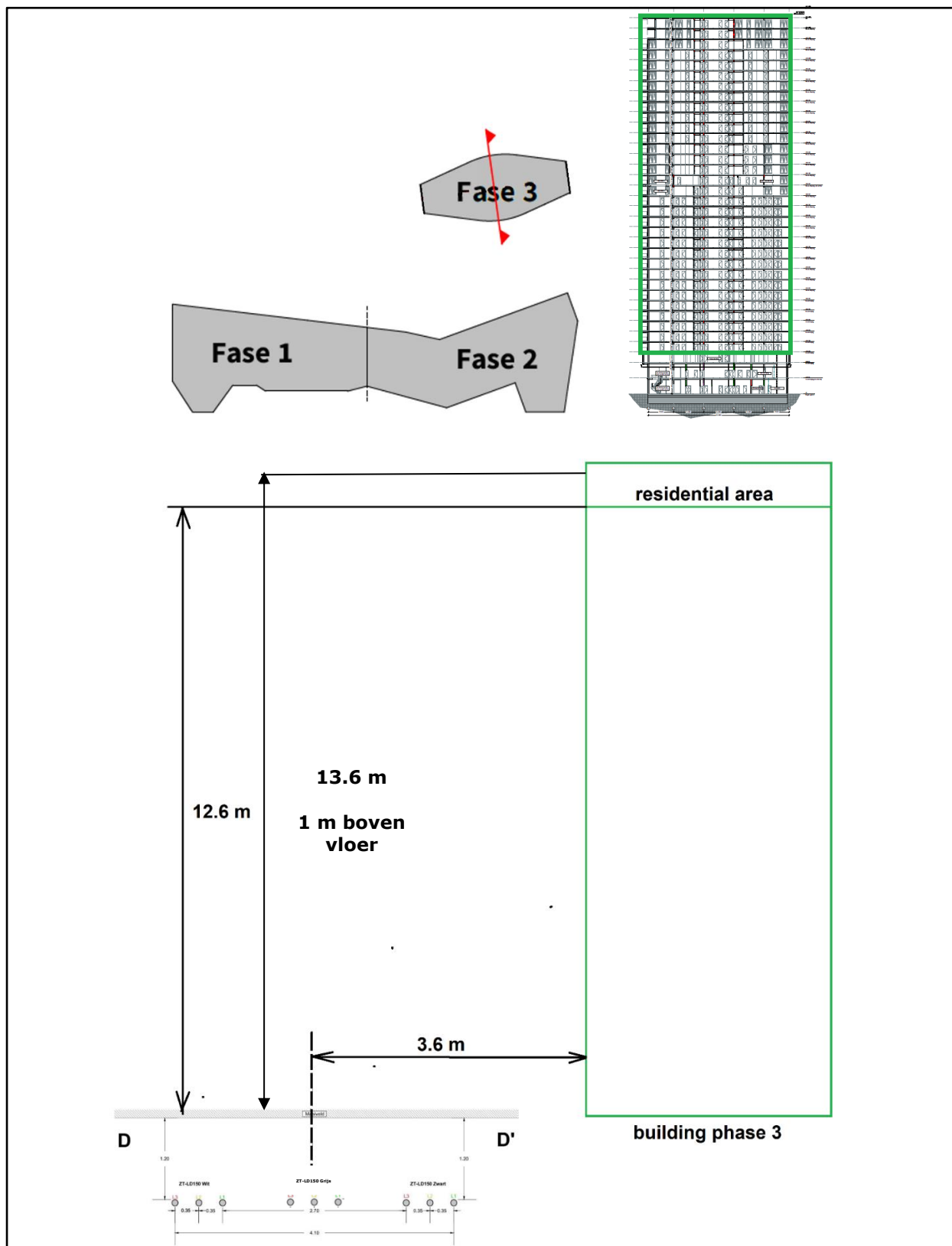
Figuur 10 Bouwfase 3 dicht bij sectie B, de woningen (groen gemarkeerd) begint vanaf 12,6 meter boven de grond

Sectie C



Figuur 11 Bouwfase 1 dicht bij sectie C, de woningen (groen gemarkeerd) begint vanaf 4 meter boven de grond

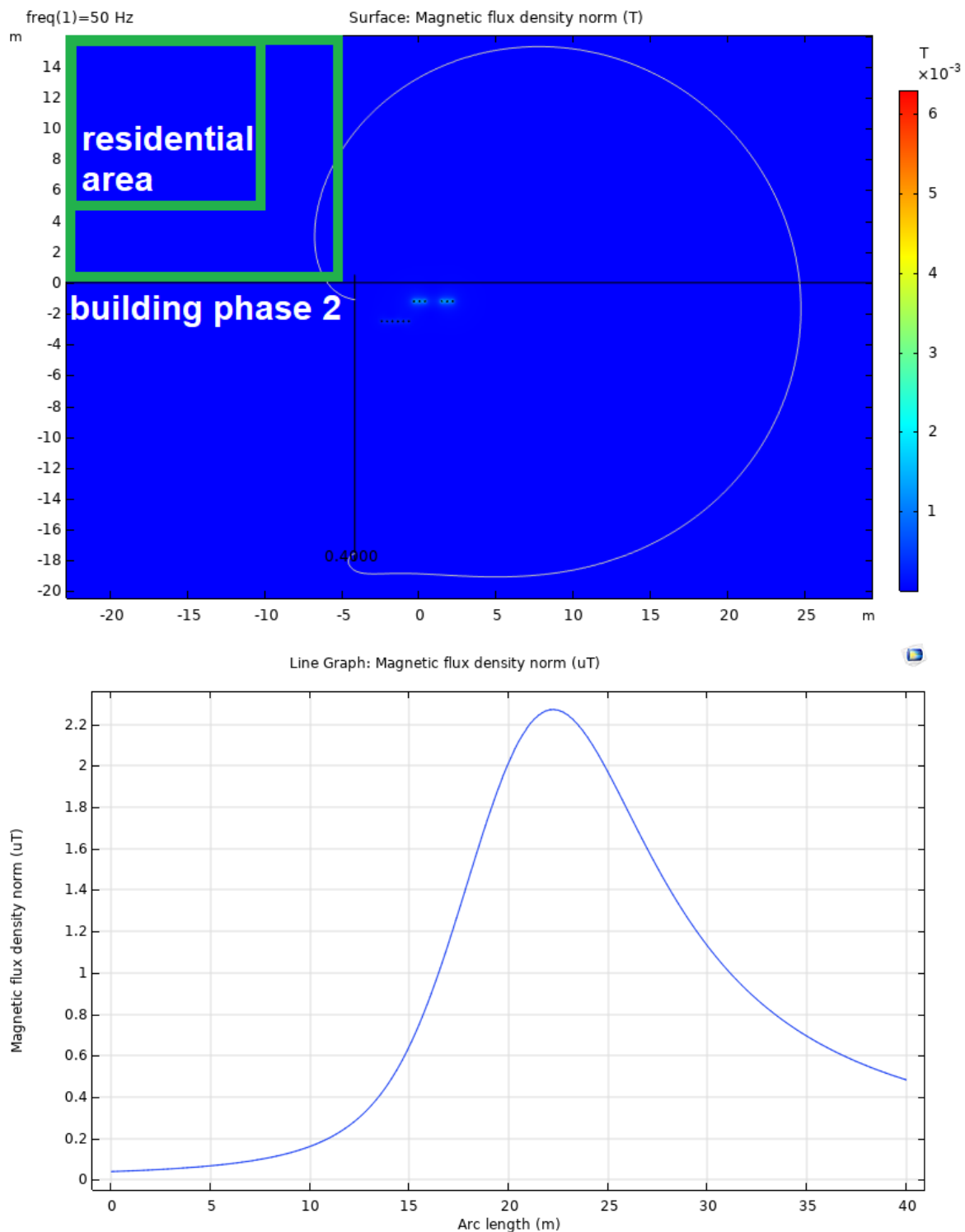
Sectie D



Figuur 12 Bouwfase 3 dicht bij sectie D, de woningen (groen gemarkeerd) begint vanaf 12,6 meter boven de grond

0,4 μ T-magneetveldcontour berekening

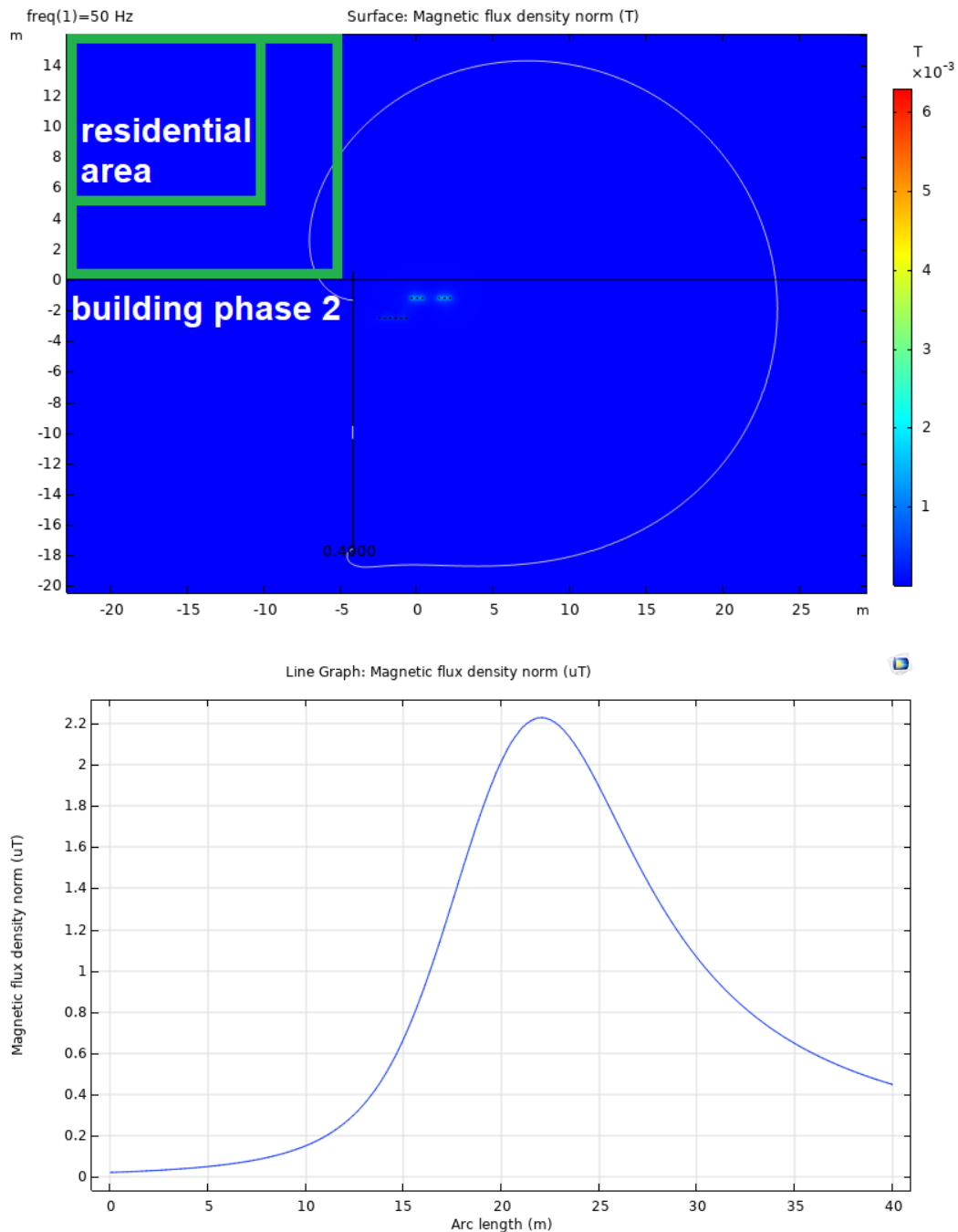
Sectie A Zuid, dezelfde stroomrichting (Met damwand - afscherming dichtbij gebouw)



Figuur 13 Contour van 0,4 μ T-magneetveldcontour die overeenkomt met sectie A Zuid en de sterkte van het magnetisch veld berekend op een hoogte van 5 meter boven de grond. De 0,4 μ T-magneetveldcontour ligt buiten de woningen

0,4 μ T-magneetveldcontour berekening

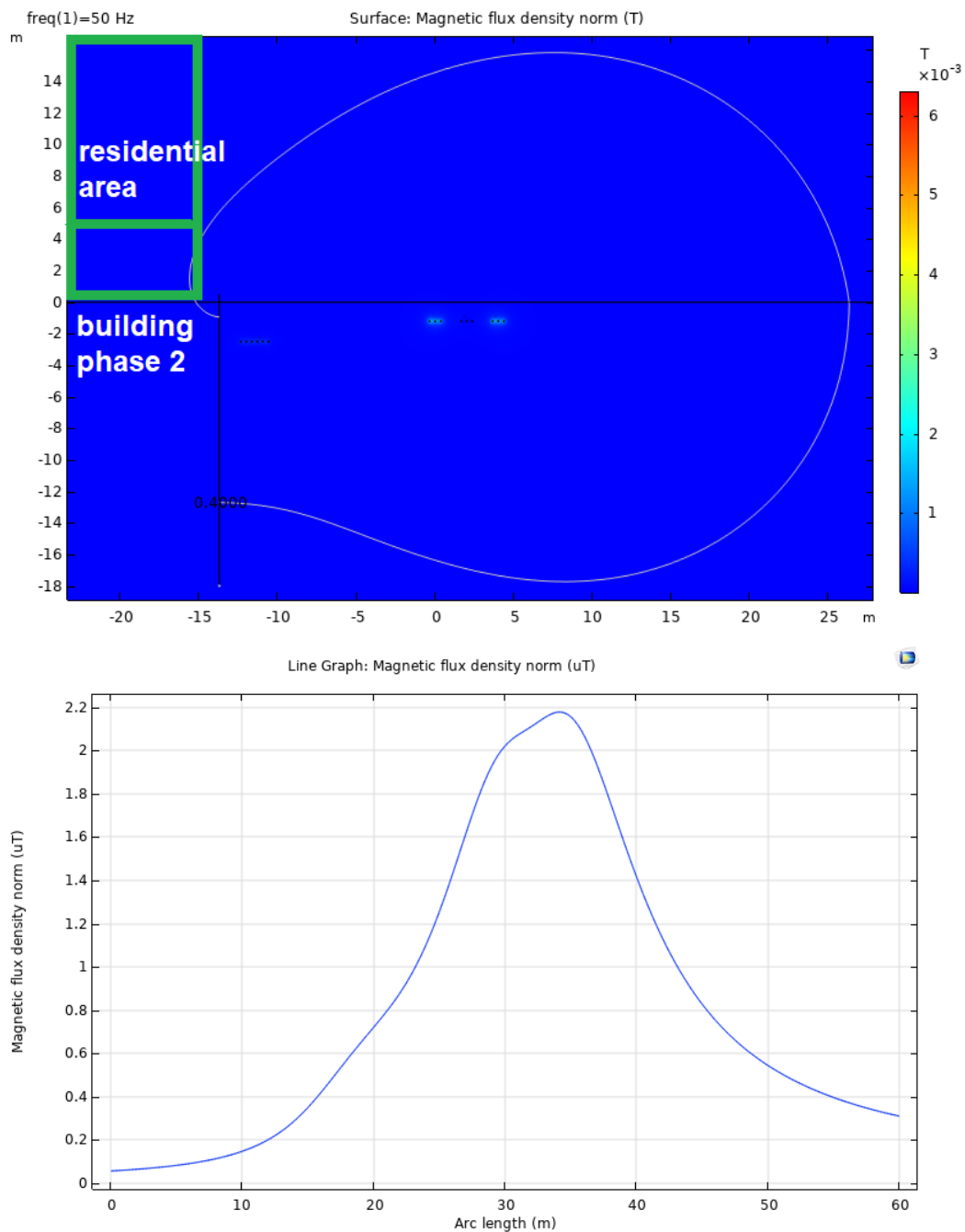
Sectie A Zuid, verschillende stroomrichting (Met damwand - afscherming dichtbij gebouw)



Figuur 14 Contour van 0,4 μ T-magneetveldcontour die overeenkomt met sectie A Zuid en de sterkte van het magnetisch veld berekend op een hoogte van 5 meter boven de grond. De 0,4 μ T-magneetveldcontour ligt buiten de woningen

0,4 μ T-magneetveldcontour berekening

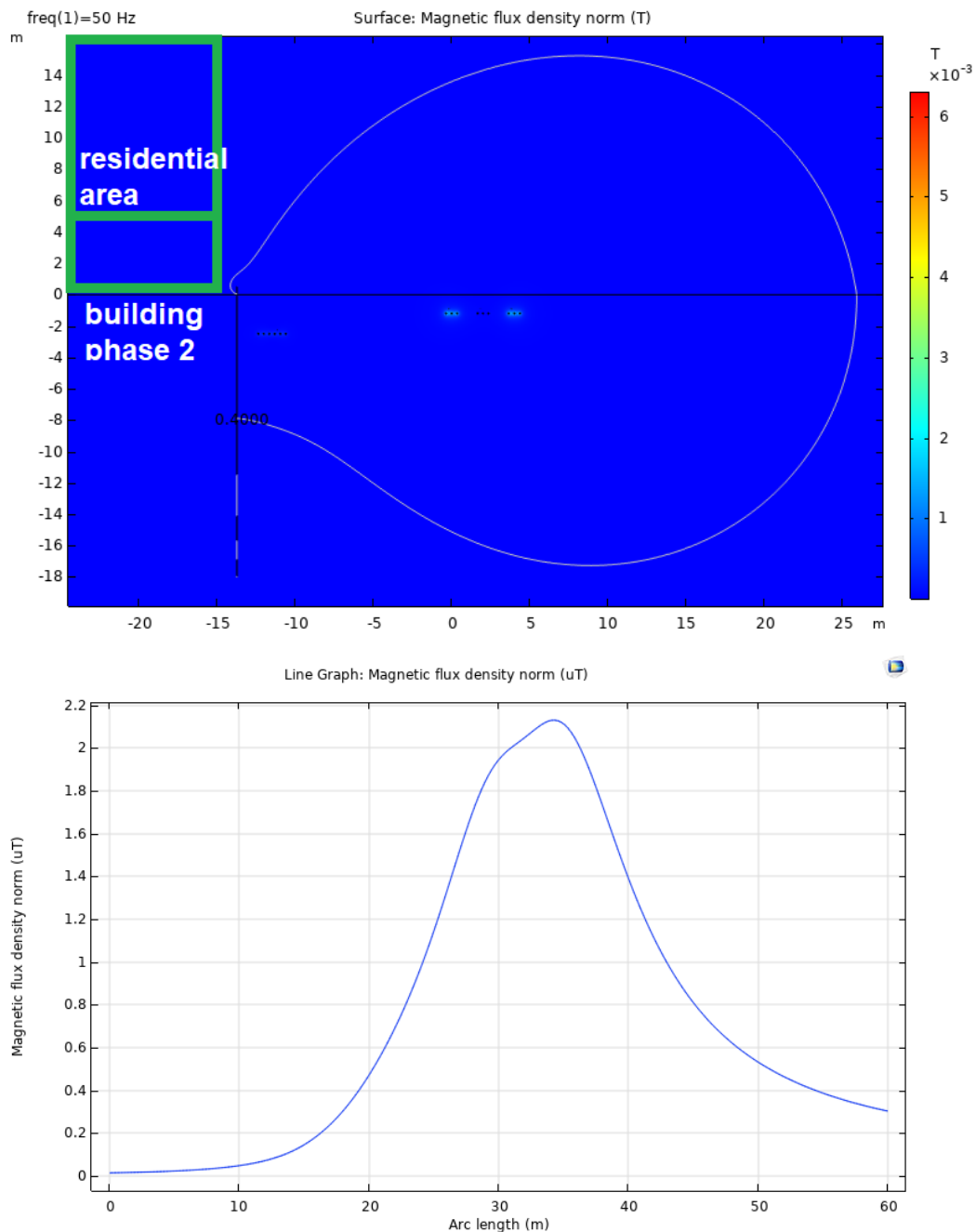
Sectie A Oost, dezelfde stroomrichting, 4 circuits (Met damwand - afscherming dichtbij gebouw)



Figuur 15 Contour van 0,4 μ T-magneetveldcontour die overeenkomt met sectie A Oost en de sterkte van het magnetisch veld berekend op een hoogte van 5 meter boven de grond. De 0,4 μ T-magneetveldcontour ligt buiten de woningen

0,4 μ T-magneetveldcontour berekening

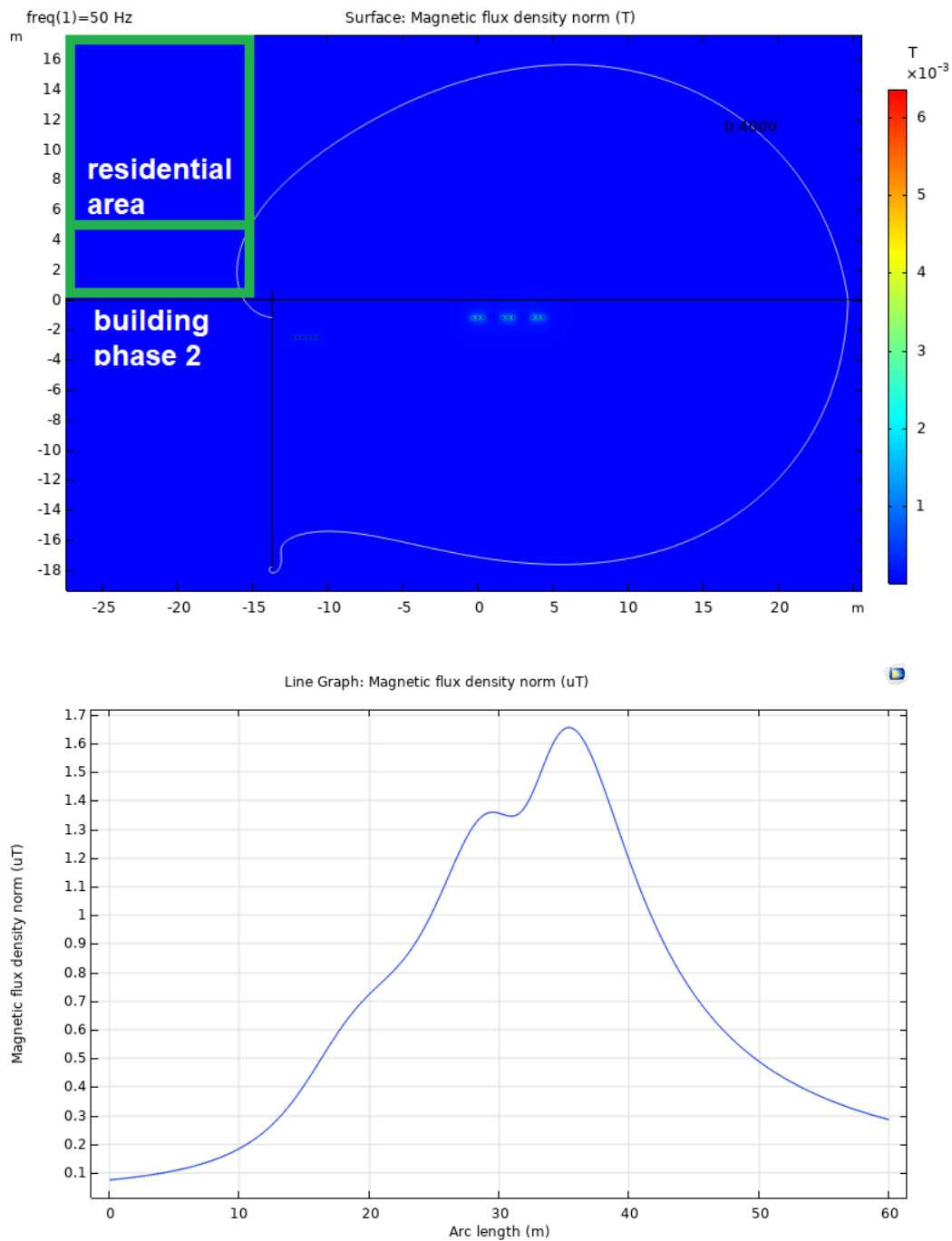
Sectie A Oost, verschillende stroomrichting, 4 circuits (Met damwand - afscherming dichtbij gebouw)



Figuur 16 Contour van 0,4 μ T-magneetveldcontour die overeenkomt met sectie A Oost en de sterkte van het magnetisch veld berekend op een hoogte van 5 meter boven de grond. De 0,4 μ T-magneetveldcontour ligt buiten de woningen

0,4 μ T-magneetveldcontour berekening

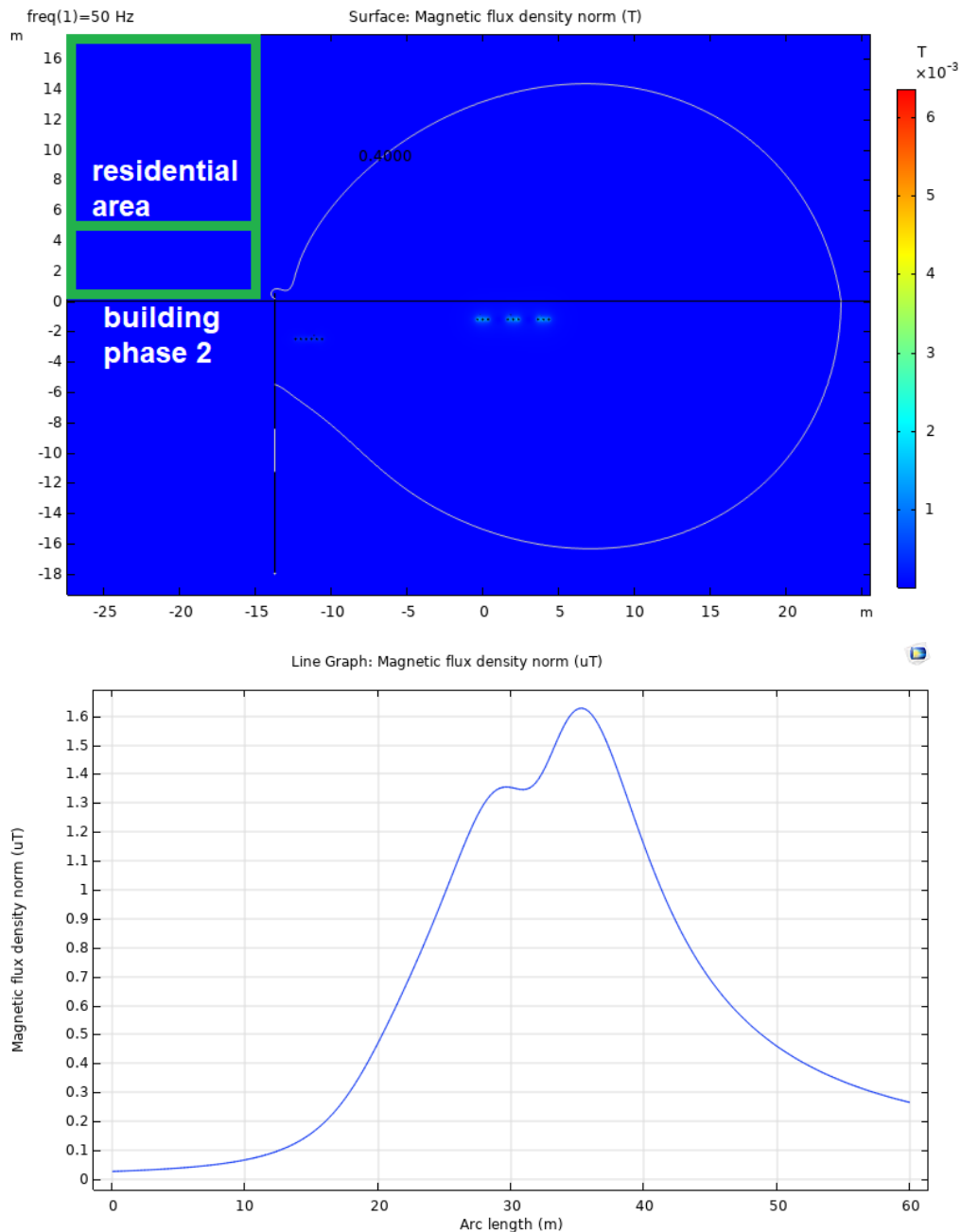
Sectie A Oost, dezelfde stroomrichting, 5 circuits (Met damwand - afscherming dichtbij gebouw)



Figuur 17 Contour van 0,4 μ T-magneetveldcontour die overeenkomt met sectie A Oost en de sterkte van het magnetisch veld berekend op een hoogte van 5 meter boven de grond. De 0,4 μ T-magneetveldcontour ligt buiten de woningen

0,4 μ T-magneetveldcontour berekening

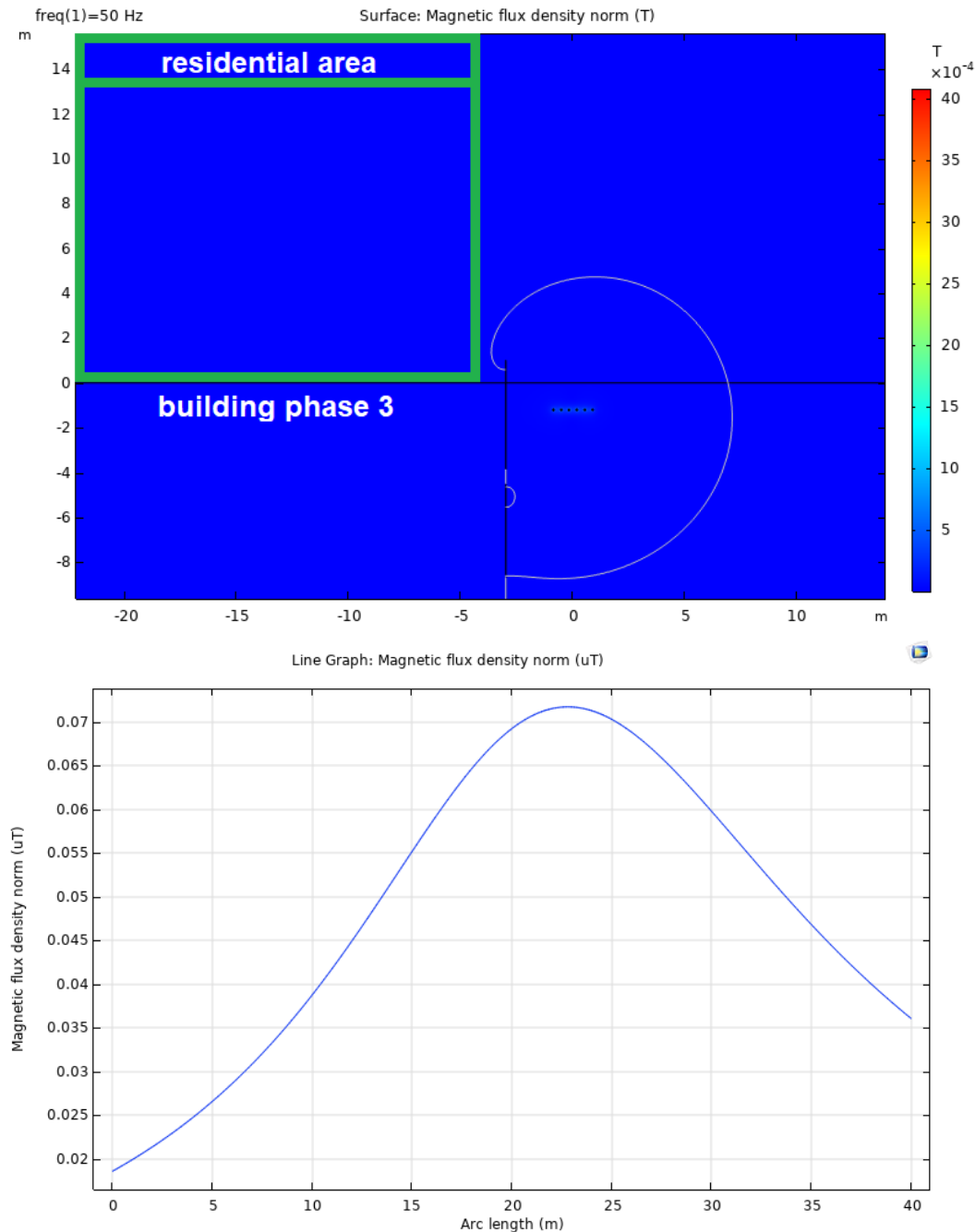
Sectie A Oost, verschillende stroomrichting, 5 circuits (Met damwand - afscherming dichtbij gebouw)



Figuur 18 Contour van 0,4 μ T-magneetveldcontour die overeenkomt met sectie A Oost en de sterkte van het magnetisch veld berekend op een hoogte van 5 meter boven de grond. De woningen ligt nu buiten de 0,4 μ T-magneetveldcontour

0,4 μ T-magneetveldcontour berekening

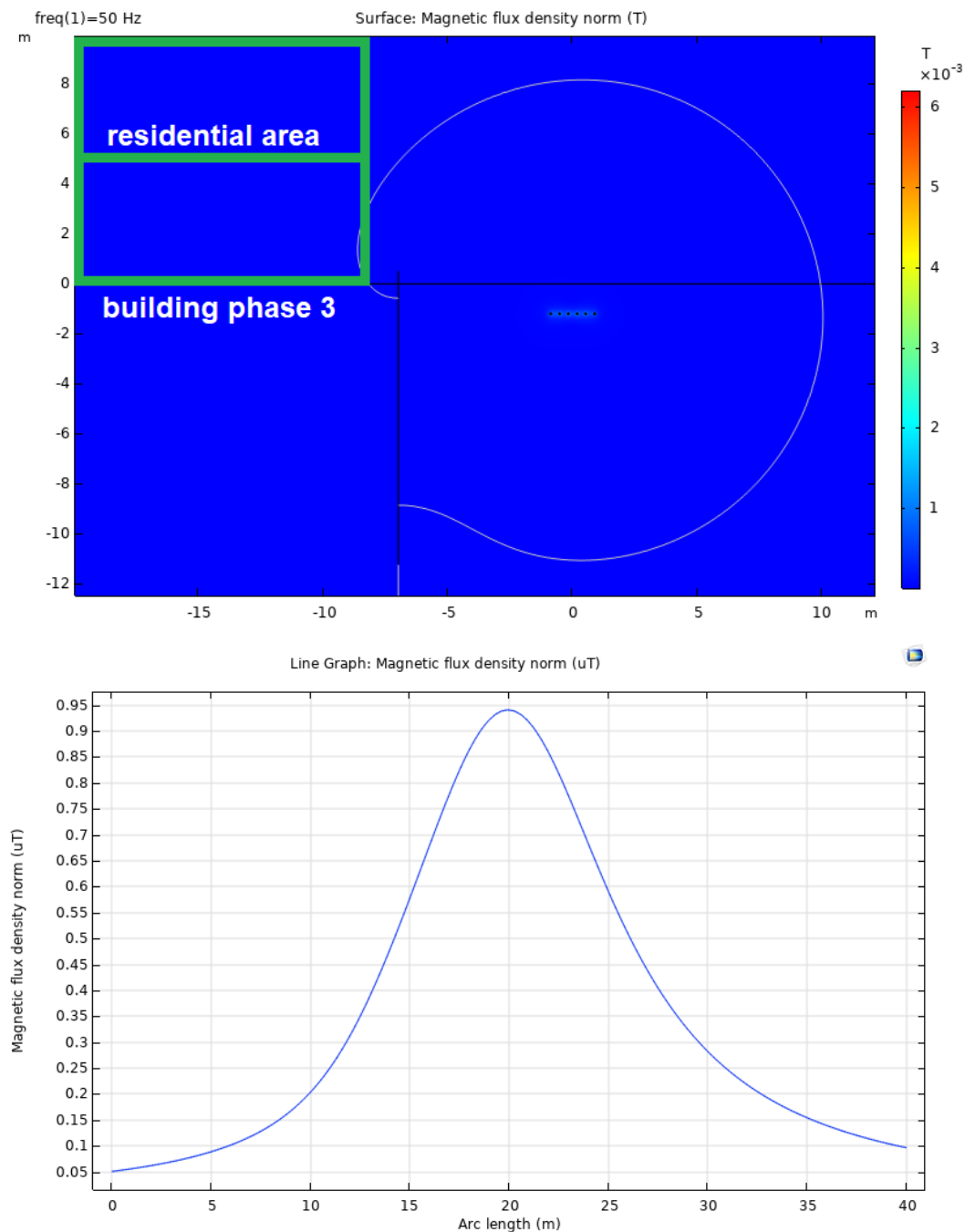
Sectie B



Figuur 19 Contour van 0,4 μ T-magneetveldcontour die overeenkomt met sectie B met geplande verticale stalen damwand. De magnetische veldsterkte wordt berekend op een hoogte van 13,6 meter boven de grond. De woningen bevindt zich buiten de 0,4 μ T-magneetveldcontour met een aanzienlijke marge

0,4 μ T-magneetveldcontour berekening

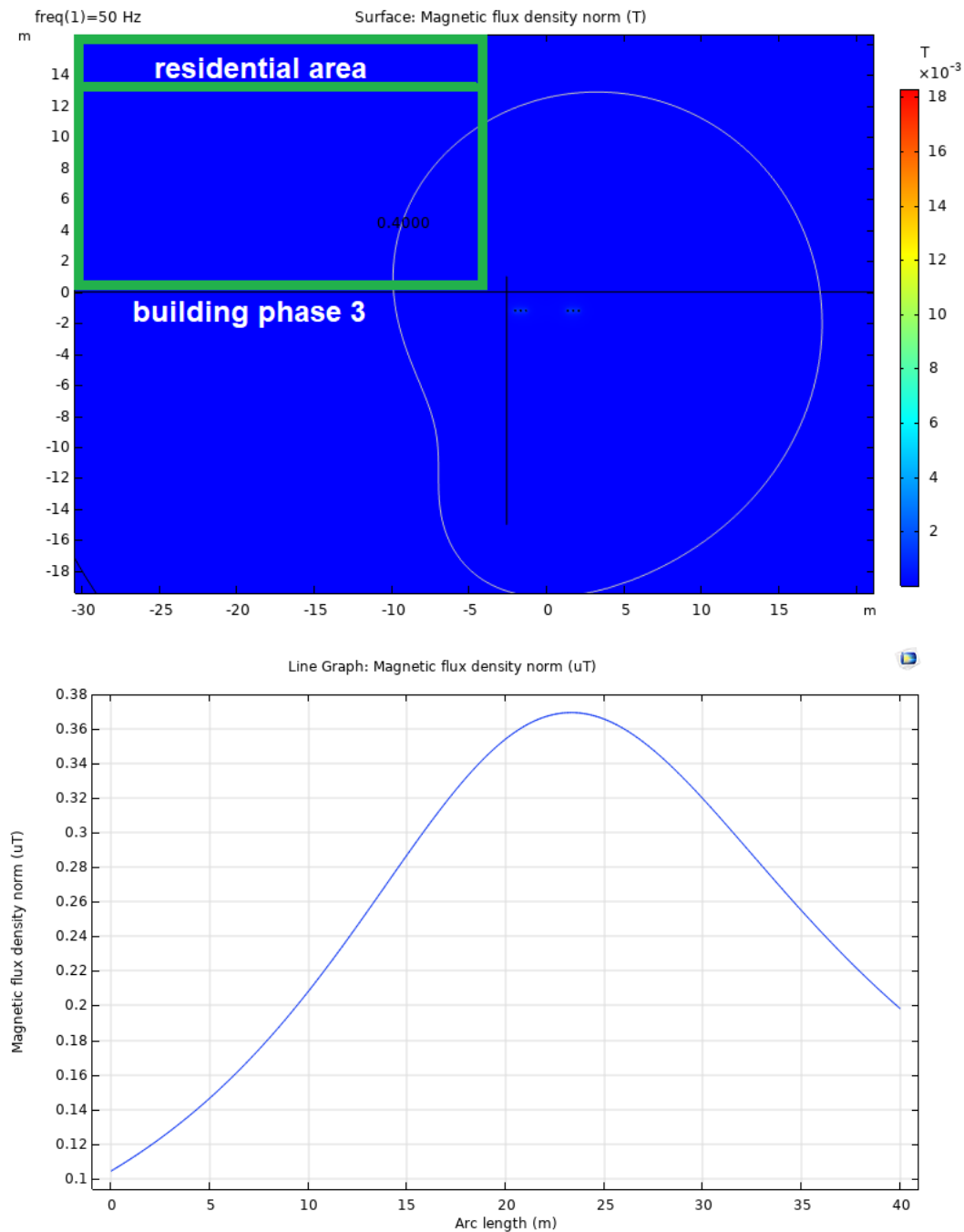
Sectie C



Figuur 20 Contour van 0,4 μ T-magneetveldcontour die overeenkomt met sectie C met geplande verticale stalen damwand en de magnetische veldsterkte berekend op een hoogte van 5 meter boven de grond. De 0,4 μ T-magneetveldcontour ligt buiten de woningen

0,4 μ T-magneetveldcontour berekening

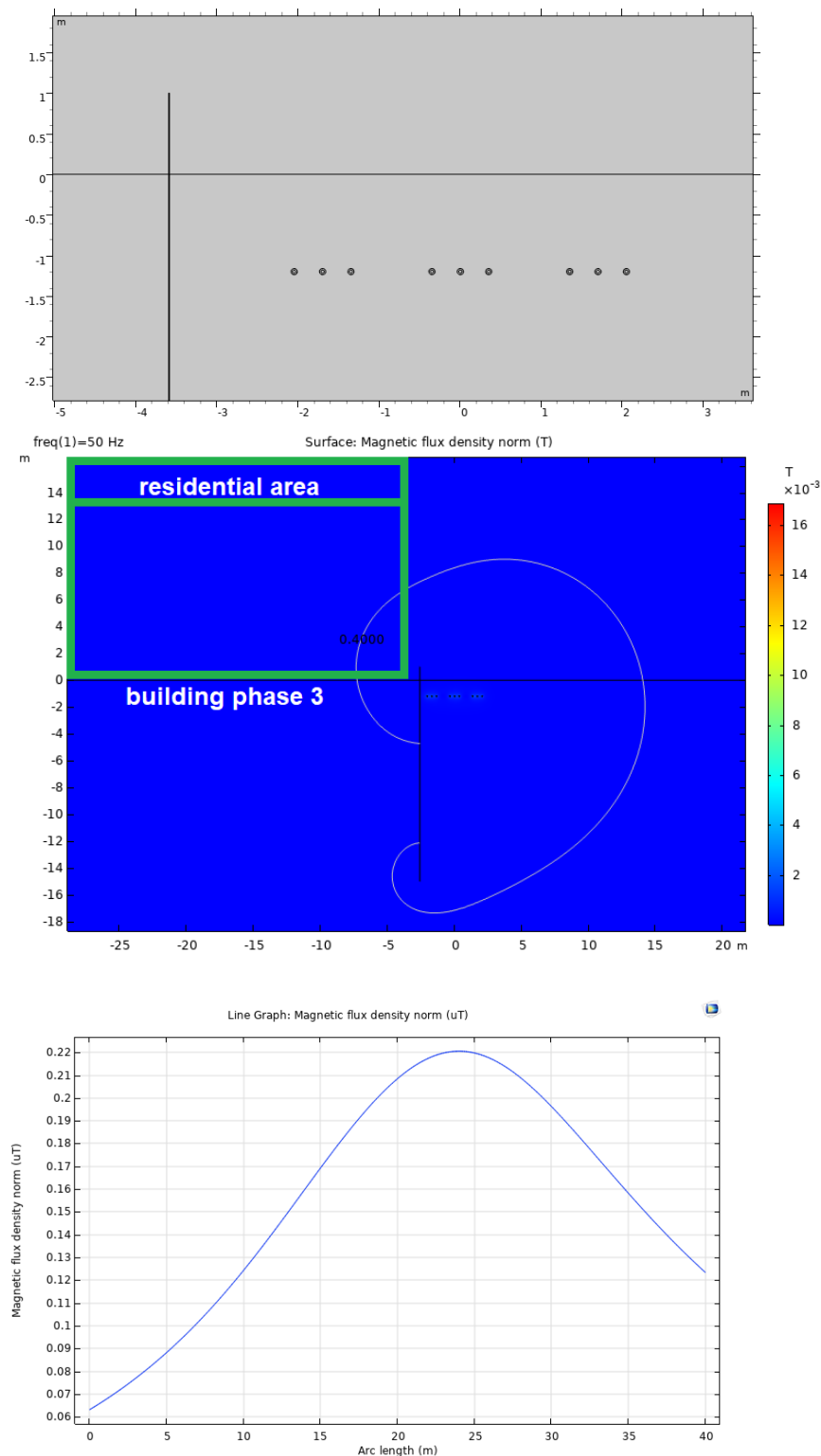
Sectie D, (2 x 150 kV circuits, Slechts Wit en Zwart)



Figuur 21 Contour van 0,4 μ T-magneetveldcontour (Wit en Zwart) die overeenkomt met sectie D met geplande verticale stalen damwand en de magnetische veldsterkte berekend op een hoogte van 13,6 meter boven de grond. De woningen ligt nu buiten de 0,4 μ T-magneetveldcontour

0,4 μ T-magneetveldcontour berekening

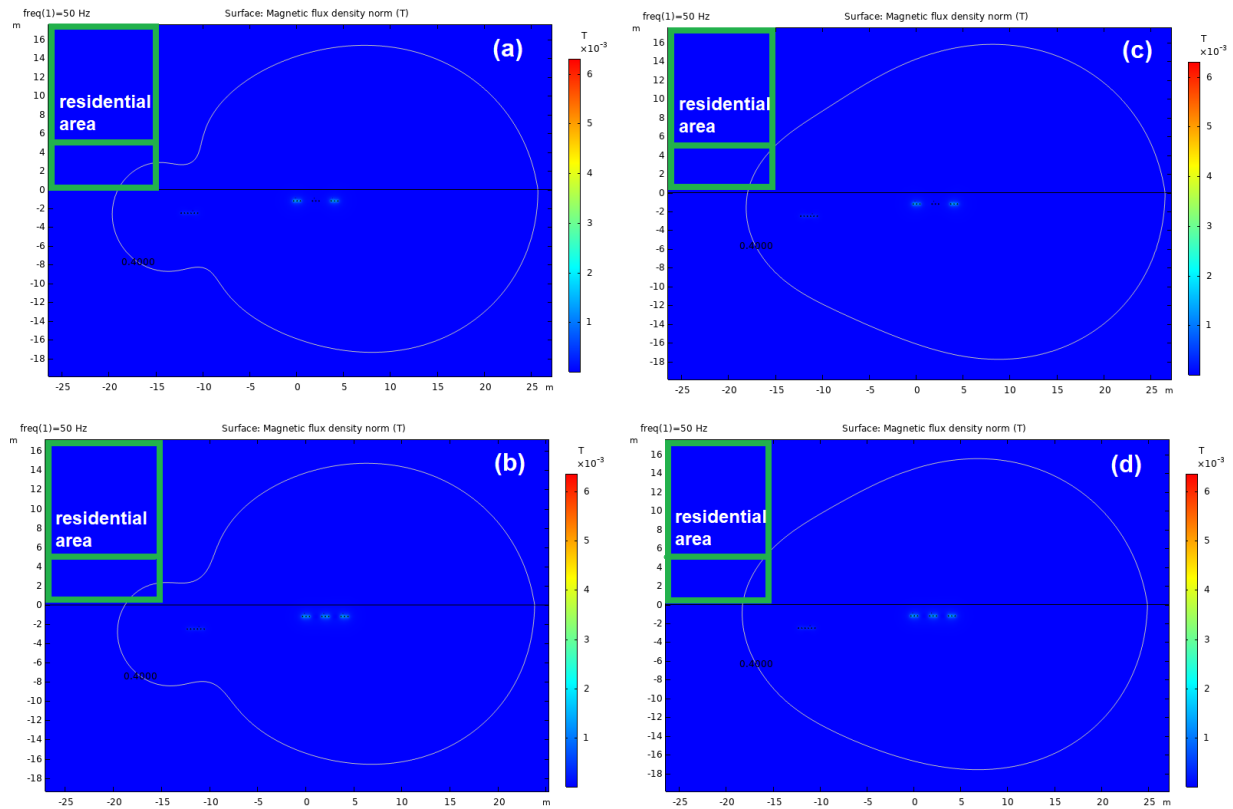
Sectie D (3 x 150 kV circuits, Wit, Zwart en Grijs)



Figuur 22 Contour van 0,4 μ T-magneetveldcontour (Wit, Zwart en Grijs) die overeenkomt met sectie D met geplande verticale stalen damwand en de magnetische veldsterkte berekend op een hoogte van 13,6 meter boven de grond. De woningen liggen nu buiten de 0,4 μ T-magneetveldcontour.

0,4 μ T-magneetveldcontour berekening

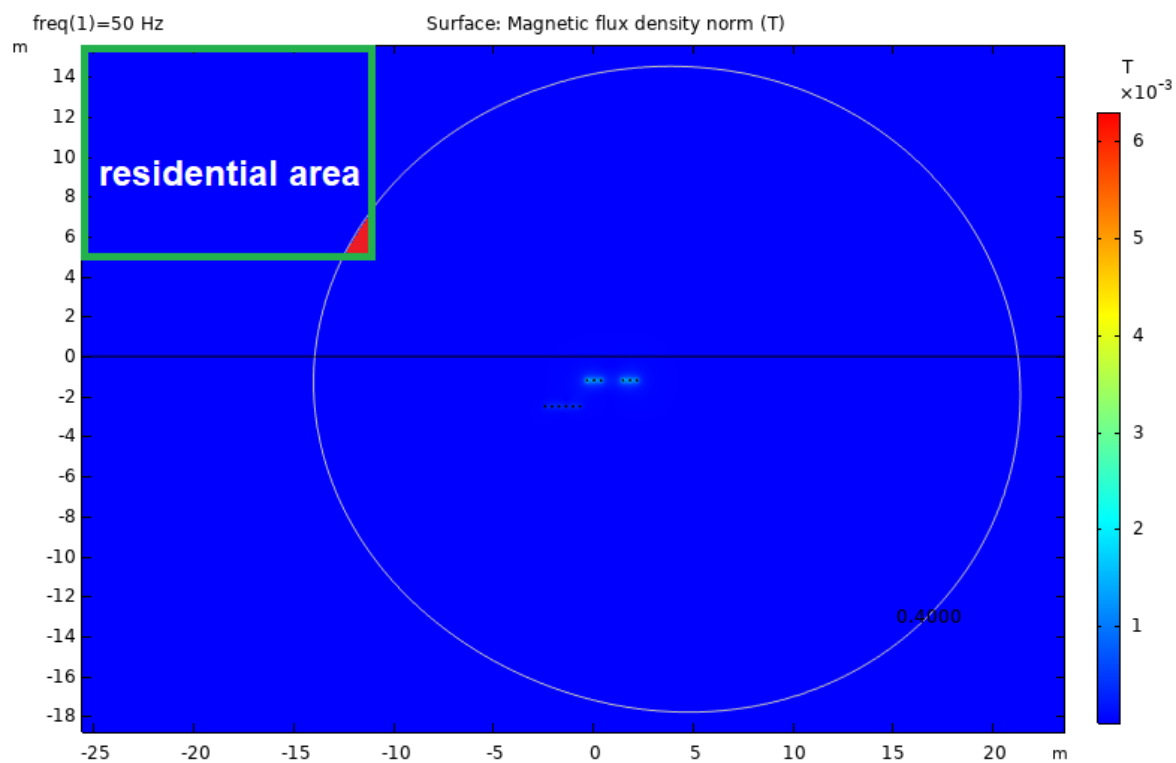
Sectie A Oost – 0.4 μ T-magneetveldcontour (Zonder damwand)



Figuur 23 0,4 μ T magnetisch veld contour overeenkomend met sectie A Oost zonder damwand, (a) 4 circuits, verschillende stroomrichting. (b) 5 circuits. verschillende stroomrichting. (c) 4 circuits, dezelfde stroomrichting. (d) 5 circuits. dezelfde stroomrichting

0,4 μ T-magneetveldcontour berekening

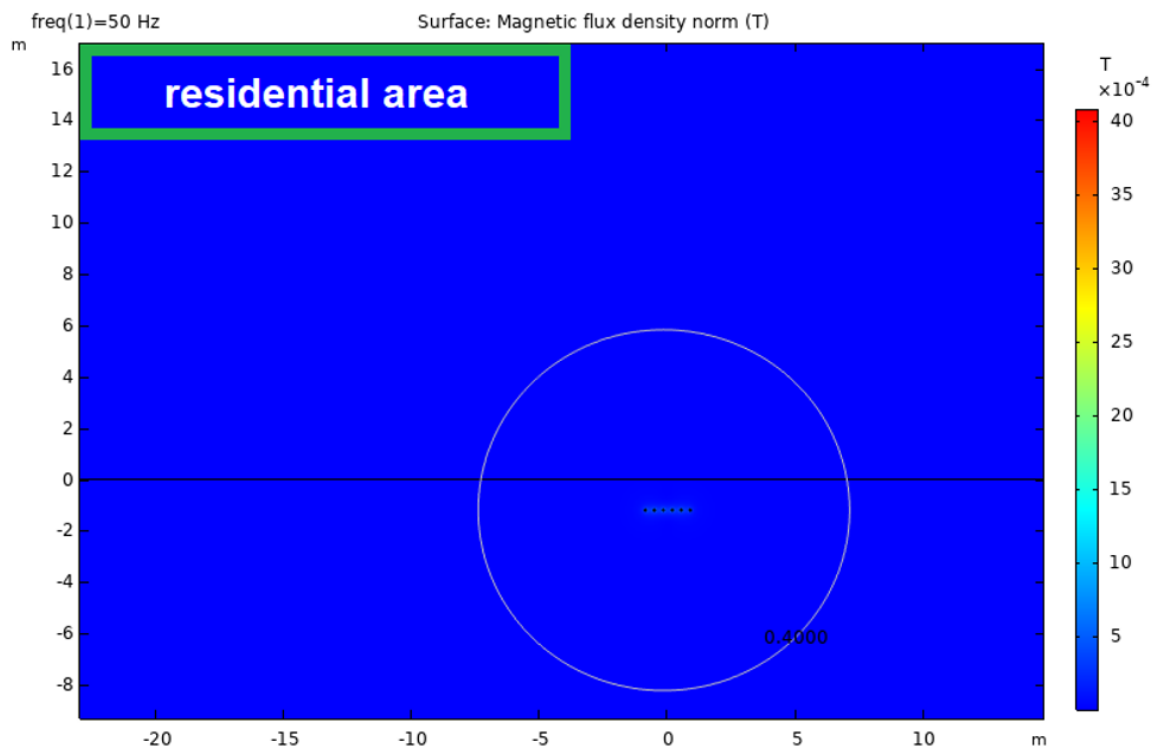
Sectie A Zuid – 0.4 μ T-magneetveldcontour (Zonder damwand)



Figuur 24 0,4 μ T magnetisch veld contour overeenkomend met sectie A Zuid zonder damwand

0,4 μ T-magneetveldcontour berekening

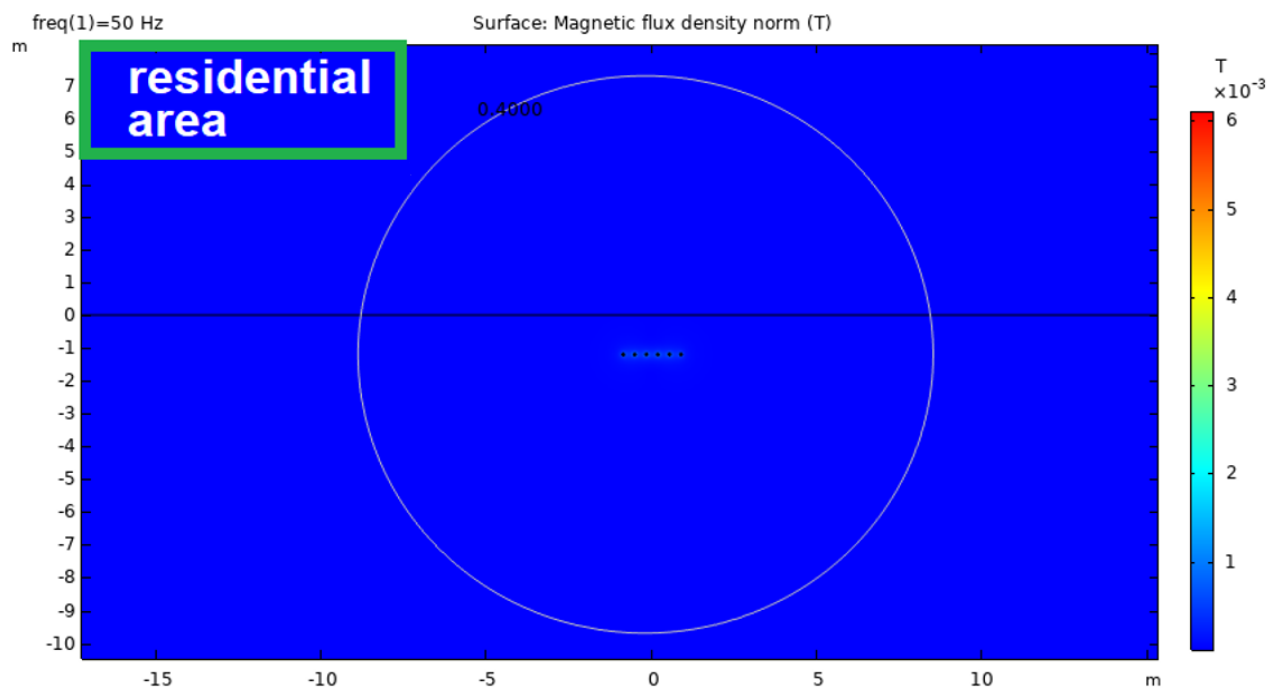
Sectie B – 0.4 μ T-magneetveldcontour (Zonder damwand)



Figuur 25 0,4 μ T magnetisch veld contour overeenkomend met sectie B zonder damwand

0,4 μ T-magneetveldcontour berekening

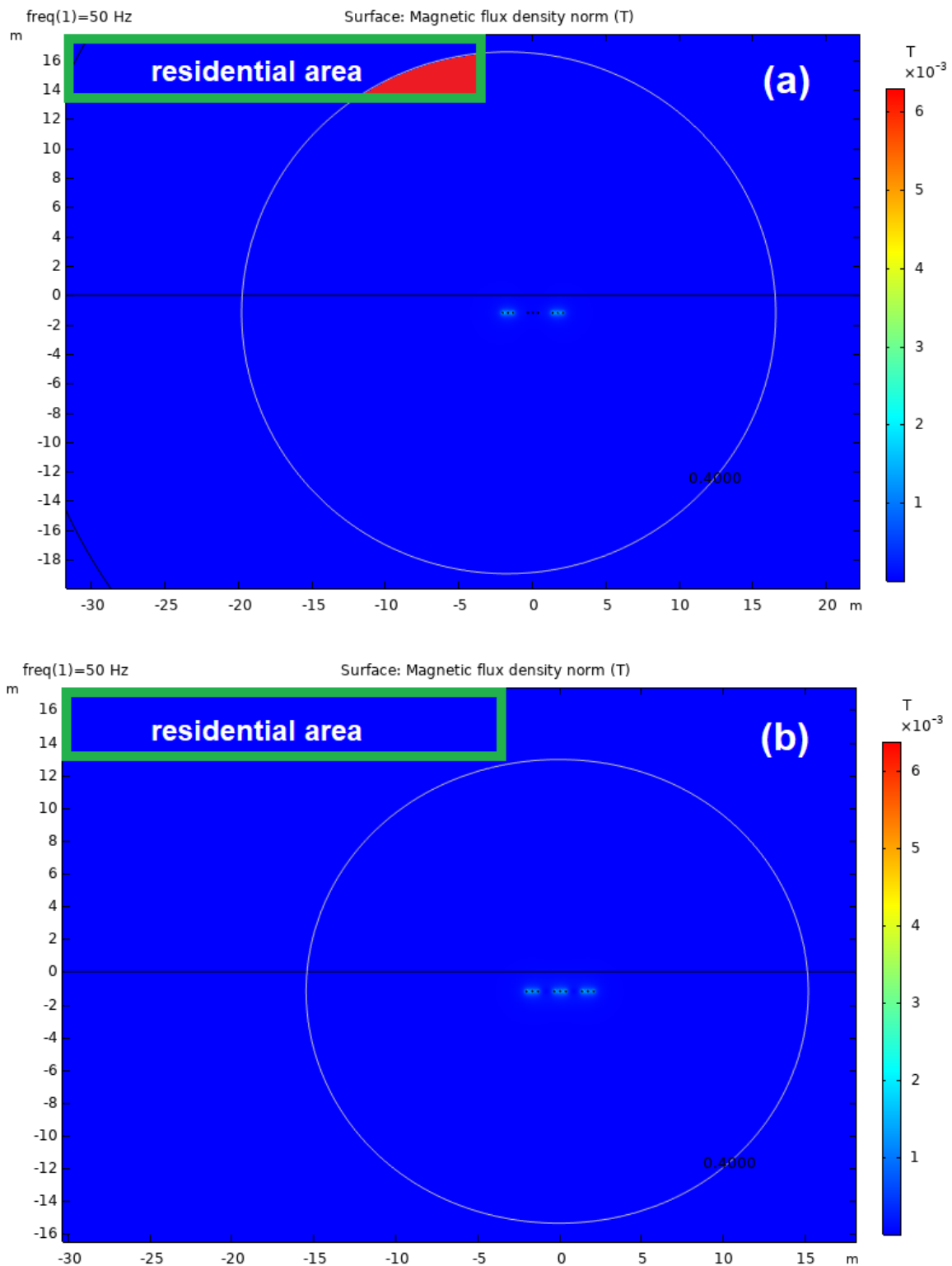
Sectie C – 0.4 μ T-magneetveldcontour (Zonder damwand)



Figuur 26 0,4 μ T magnetisch veld contour overeenkomend met sectie C zonder damwand

0,4 μ T-magneetveldcontour berekening

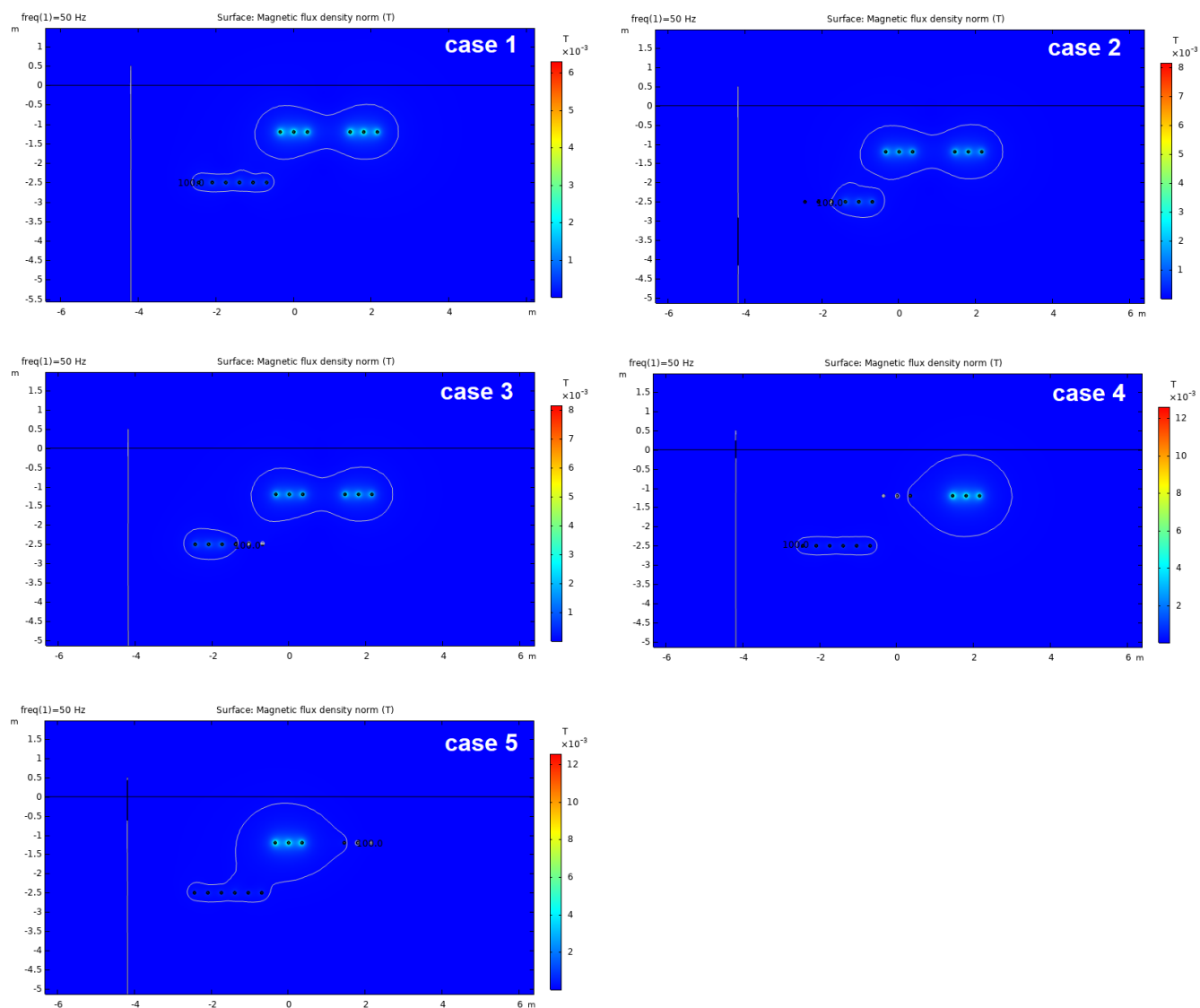
Sectie D – 0.4 μ T-magneetveldcontour (Zonder damwand)



Figuur 27 0,4 μ T magnetisch veld contour overeenkomend met sectie D zonder damwand. (a) 2 circuits. (b) 3 circuits

100 μ T-magneetveldcontour berekening

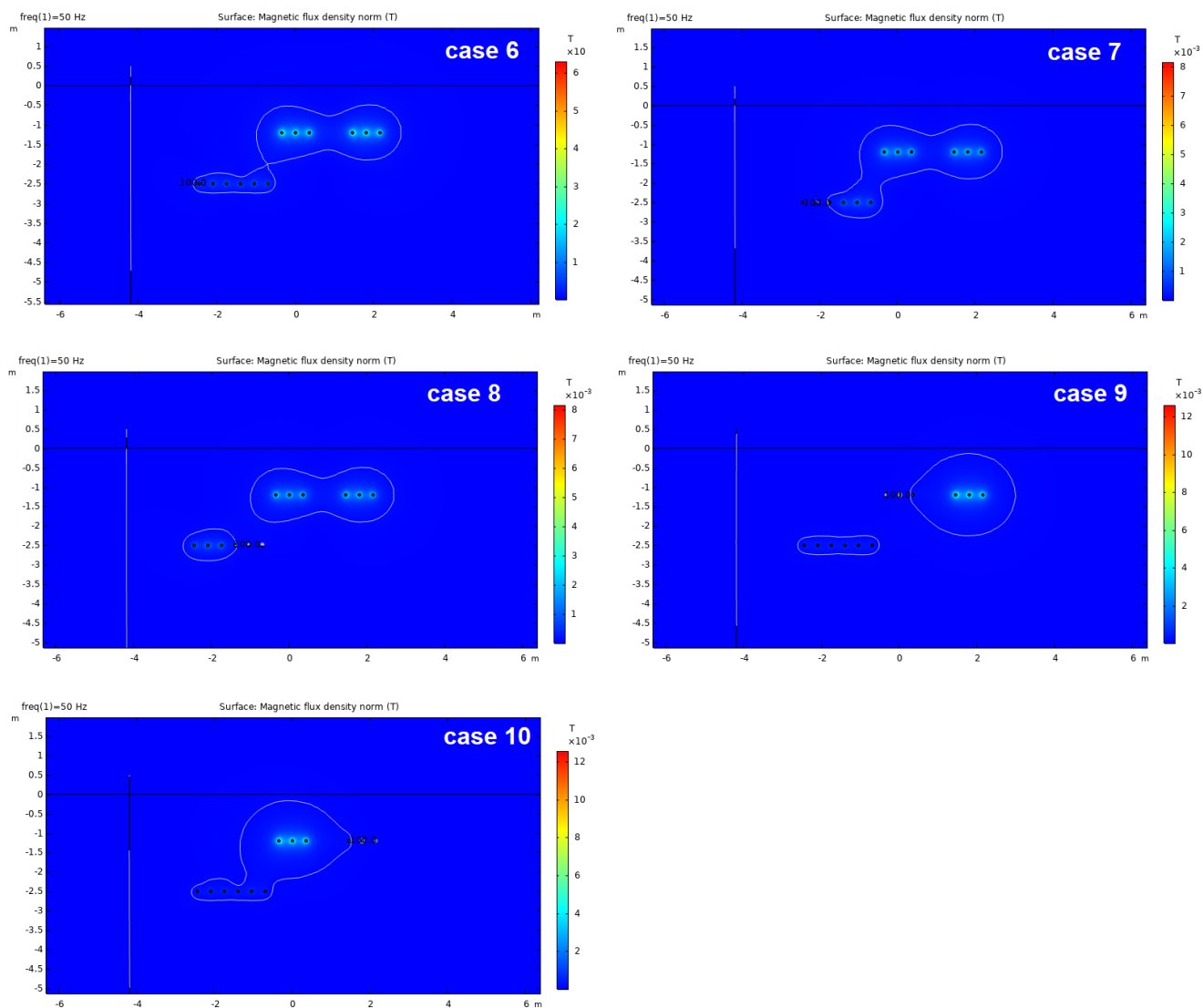
Sectie A Zuid, verbindingen dezelfde stroomrichting



Figuur 28 100 μ T-magneetveldcontour Sectie A Zuid, verbindingen dezelfde stroomrichting.

100 μ T-magneetveldcontour berekening

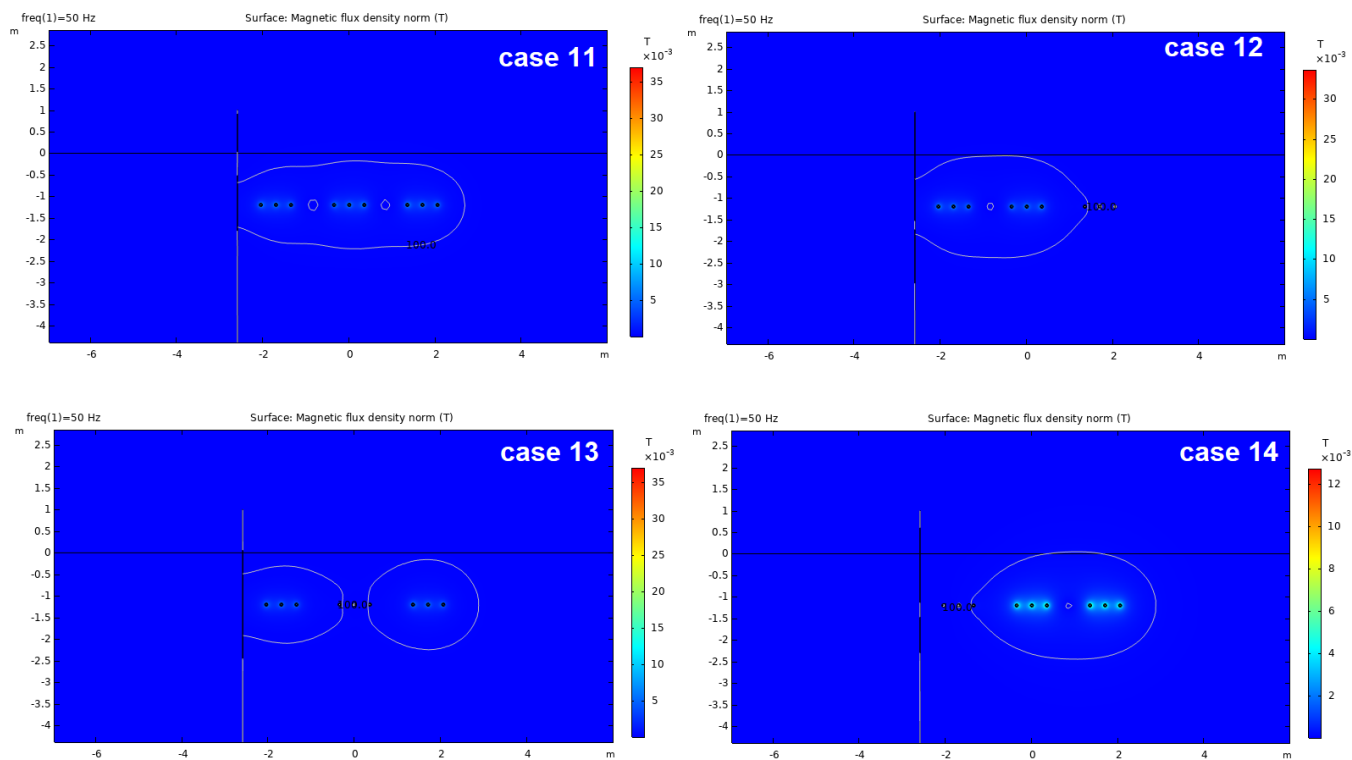
Sectie A Zuid, verbindingen verschillende stroomrichting



Figuur 29 100 μ T-magneetveldcontour Sectie A Zuid, verbindingen verschillende stroomrichting.

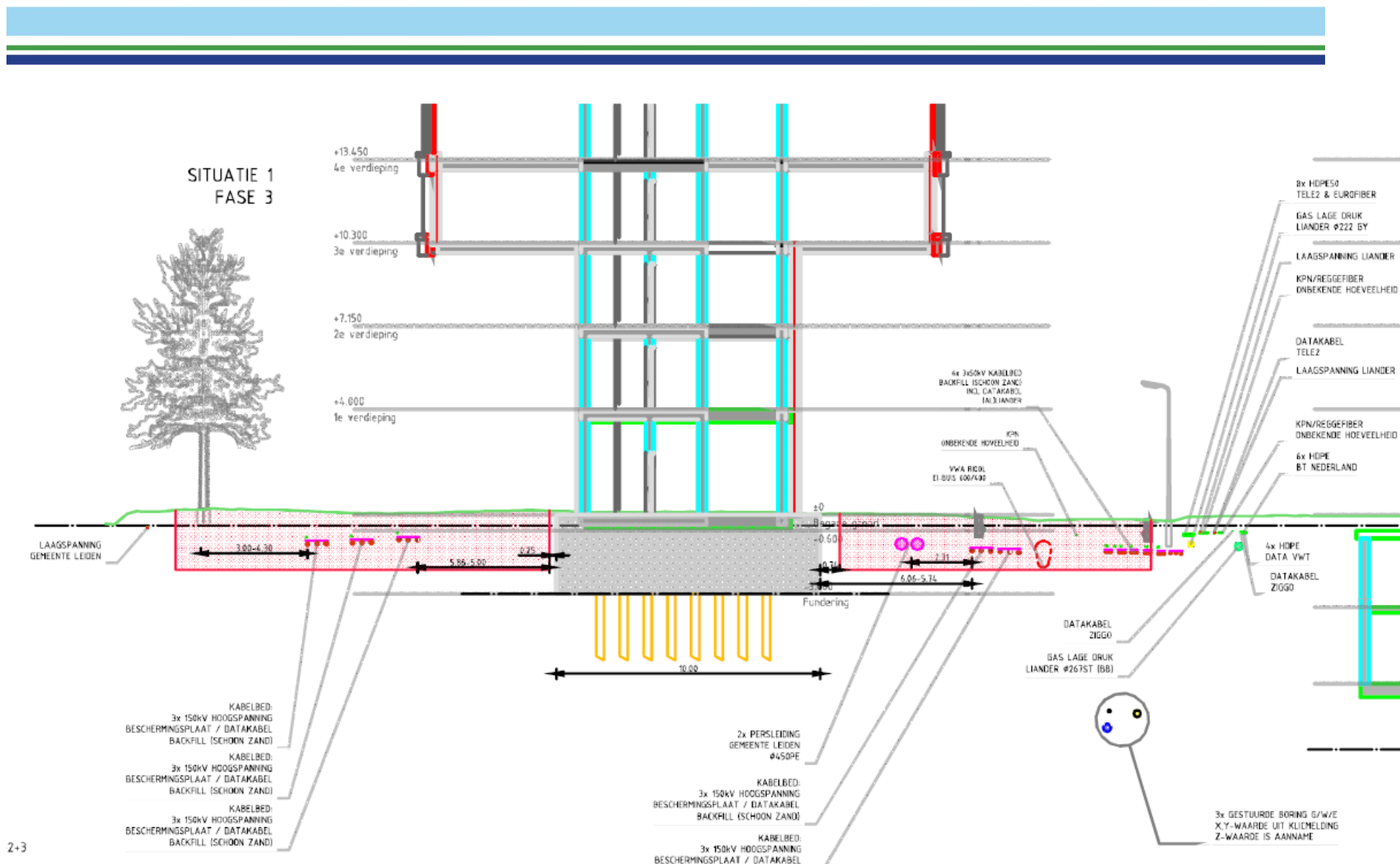
100 μ T-magneetveldcontour berekening

Sectie D

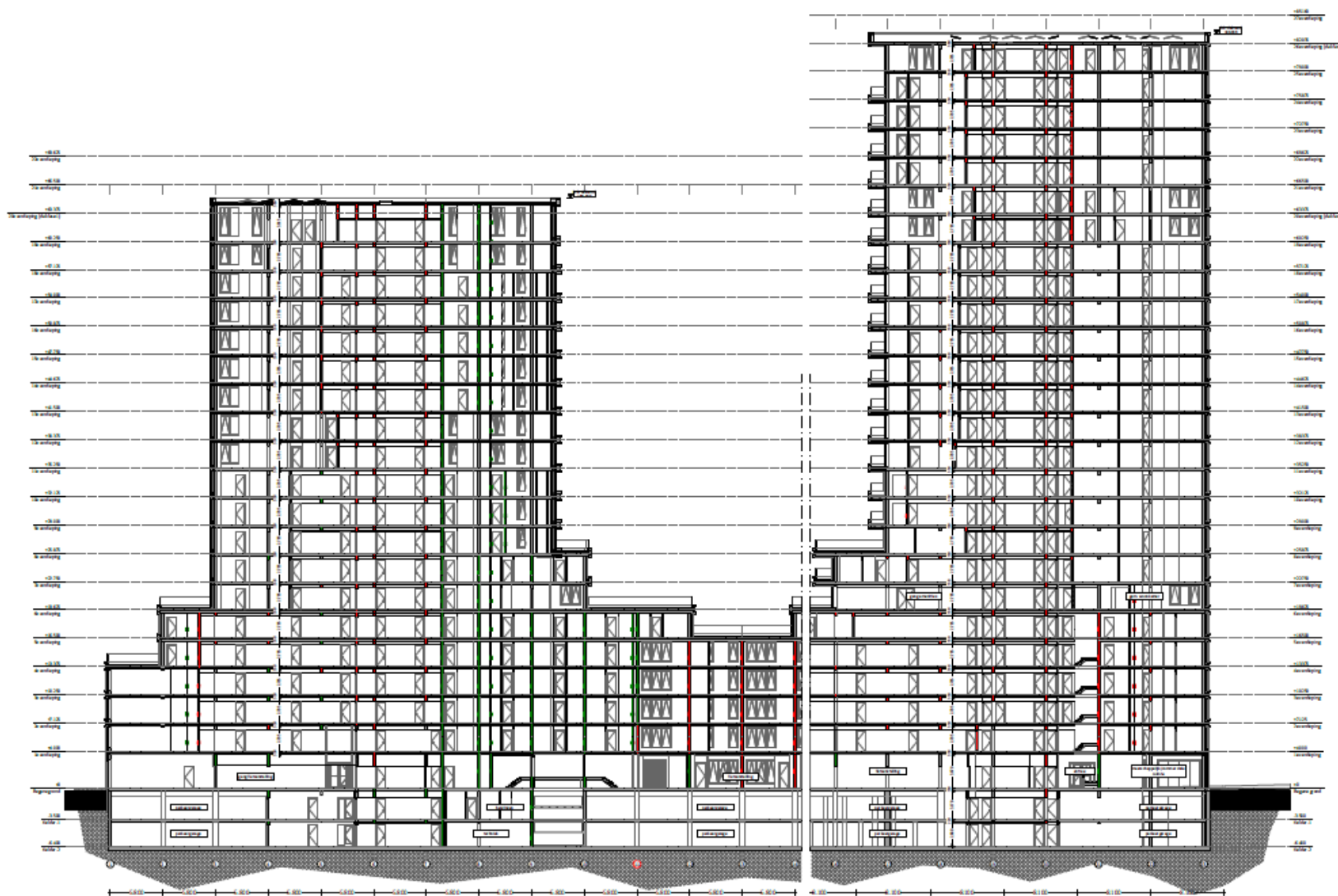


Figuur 30 100 μ T-magneetveldcontour Sectie D.

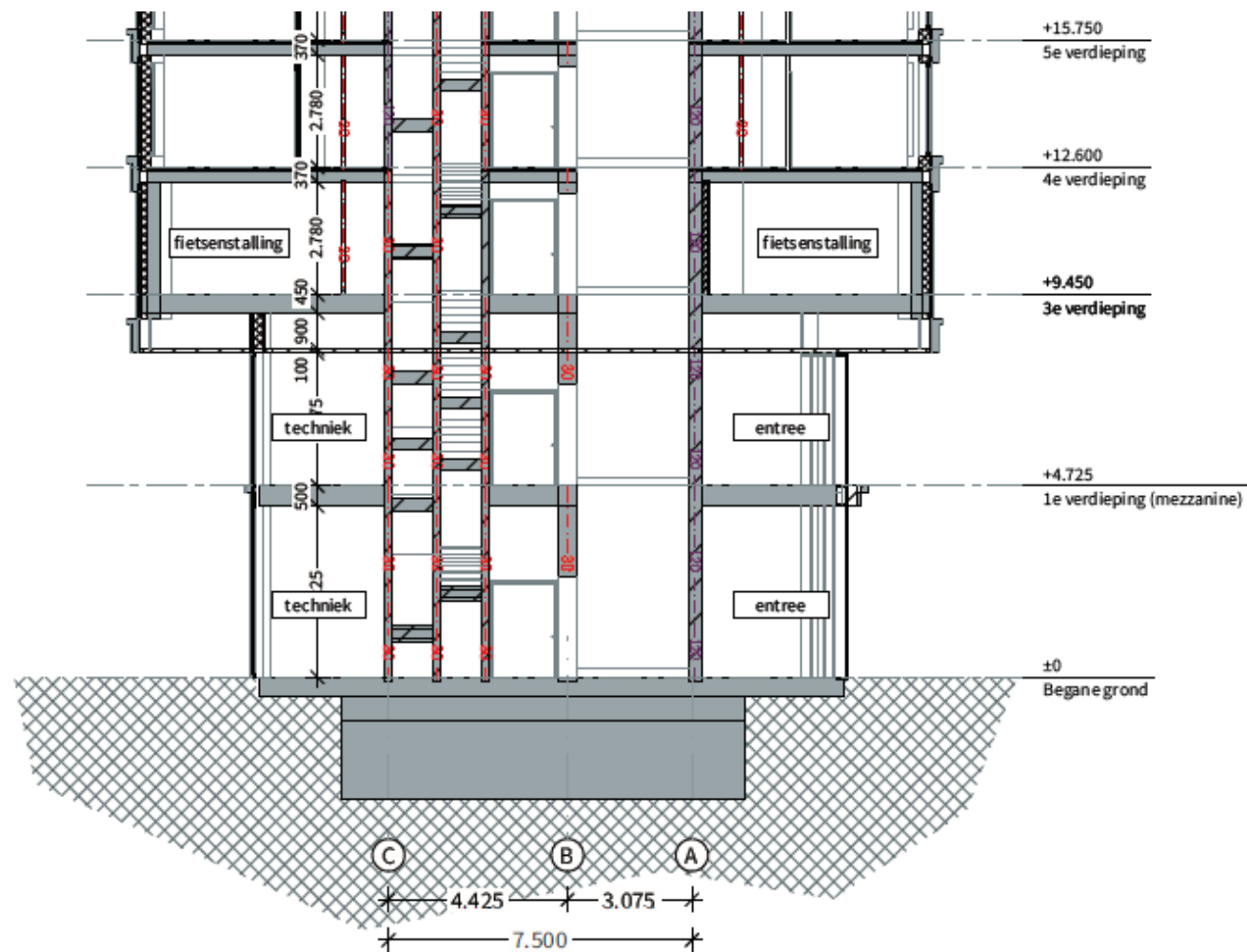
DNV GL - Energy - Rapport nr. 20-1589 Rev.5. www.dnvgl.com/Energy



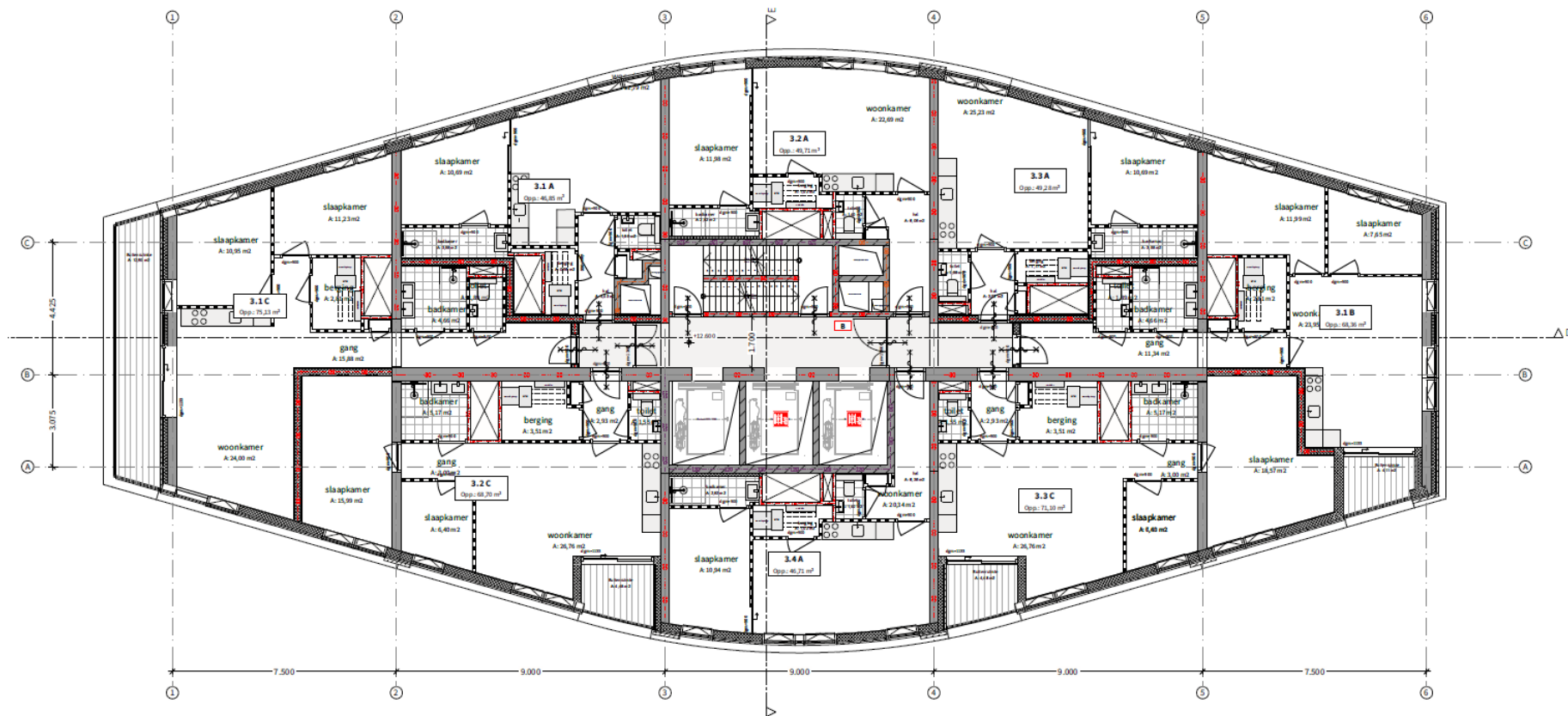
Figuur 32 LEAD overzicht fase 3



Figuur 34 Doorsnede Fase 1 en 2, woningen 4 m boven maaiveld



Figuur 35 Doorsnede Fase 3, eerste woningen 12.6 m boven maaiveld (voor Sectie B en D)



Figuur 36 Plattegrond - 4e t/m 18e verdieping, Fase 3, eerste relevante (voor Sectie B, D) woningen 12.6 m boven maaiveld



OVER DNV GL

DNV GL is een wereldwijd bedrijf voor kwaliteitsborging en risicobeheer. Vanuit haar streven leven, bezit en het milieu te beschermen stelt DNV GL organisaties in staat de veiligheid en duurzaamheid van hun activiteiten te bevorderen. DNV GL biedt classificering en technische borging, naast software en onafhankelijk, deskundig advies voor de maritieme, de olie- en gasindustrie, energiecentrales en de duurzame energiesector. Daarnaast biedt het bedrijf certificeringsservices en datamanagement voor klanten in uiteenlopende sectoren. Onze medewerkers zijn actief in meer dan 100 landen over de hele wereld en streven ernaar klanten te helpen de wereld veiliger, slimmer en groener te maken.