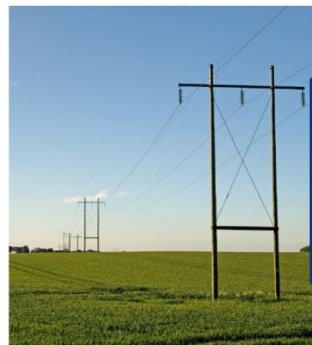


Katalog:

Magnetfelternes størrelse ved forskellige typer højspændingsanlæg



μT



μT



μT

μT



μT



μT

2010

Katalog: Magnetfelt ved højspændingskabler og -luftledninger

2. udgave. Oktober 2010

ISBN: 978-87-90707-75-0

I denne udgave er tilføjet et appendix (s.40 ff), således, at kataloget også omfatter de mastetyper og kabler, som planlægges anvendt ved ombygning af forbindelsen mellem Kassø og Tjele. Ved redaktionens slutning er udformningen af denne forbindelse ikke endeligt vedtaget.

Indledning

Måleenheden for magnetfelter er mikrottesla (μT). Der er foretaget beregninger for at demonstrere, hvilken indflydelse forskellige parametre har på magnetfeltet ved højspændingslinjer og kabler ved forskellige spændingsniveauer. Kataloget bygger på forskellige eksempler på mastetyper og kabelforlægninger og dækker således ikke alle eksisterende master, fasekonfigurationer mm.

Det er ikke notatets formål at dokumentere, hvor der fx ved elforsyningsanlæg kan forekomme $100 \mu\text{T}^1$ eller mere. Fremtidige mastetyper dækkes ikke af notatet, da der ved etableringen af nye luftledninger gennemføres VVM undersøgelser, hvori bl.a. ledningens magnetfelt analyseres.

Felter, der slet ikke skifter retning kaldes statiske felter. Jordens magnetfelt er et statisk felt. Det samme er magnetfelter ved jævnstrøm. Statische felter ved elforsyning er ikke mistænkt for at kunne skade mennesker. Notatet behandler ikke magnetfelter fra jævnstrømsledninger.

Afstand fra ledningerne

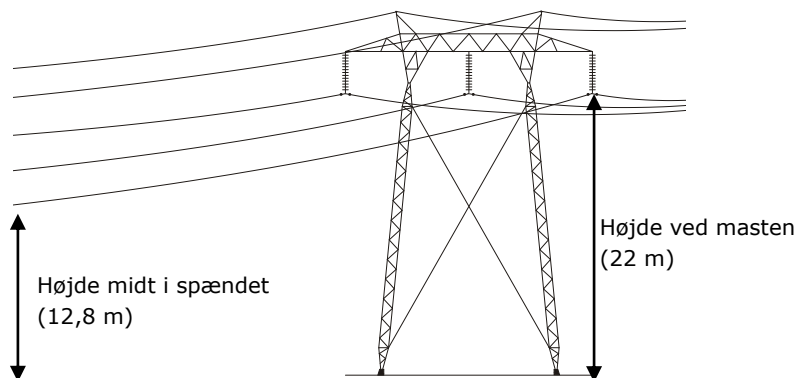
Beregningerne er som udgangspunkt foretaget med faselederne i den højde de befinder sig i midt i spændet, dvs. hvor magnetfeltet er størst, da ledningerne er nærmest jordoverfladen. Inde ved masten vil magnetfeltet være lavere, da faselederne befinder sig længere væk, og derfor forårsager et lavere magnetfelt. For at illustrere dette beregnes magnetfeltet for en 400 kV Donau 2-systemmast ved masten, i spændet samt i den gennemsnitlige fasehøjde - se bilag 1a.

Det er antaget at det typiske nedhæng midt i spændet i forhold til ophængningshøjden ved masterne er som følger:

Spændingsniveau	Nedhæng [m]
400 kV	9,2
132/150 kV	5
50/60 kV	4

Tabel 1: Typiske nedhæng ved forskellige spændingsniveauer

¹ $100 \mu\text{T}$ er den vejledende grænseværdi, som optræder i EU's Henstilling om begrænsning af offentlighedens eksponering fra 1999. Værdien er fastlagt på baggrund af dokumenterede virkninger på centralnervesystemet af store magnetfelter. Den er ikke fastlagt af hensyn til fx en eventuel kræftisiko.



Figur 1: Illustration af nedhænget for faselederne for en 400 kV ledning

For Donau mastetypen beregnes magnetfeltet i jordhøjde, taljehøjde (1 meter) og 1,8 meters højde (hovedhøjde) - se bilag 1b.

I beregningerne af magnetfeltet for kabler forudsættes nedgravningsdybden 1 meter på alle spændingsniveauer. Nedgravningsdybden kan i praksis variere. Typisk vil nedgravningsdybden øge med spændingsniveauet. Magnetfeltet i jordhøjde, taljehøjde (1 meter) og 1,8 meters højde (hovedhøjde) beregnes for et 400 kV kabel i flad forlægning - se bilag 1n.

Teknisk udformning

Påvirkningen på det resulterende magnetfelt ved forskellige kombinationer af faseophængningen (R, S, T) beregnes for udvalgte 400 kV 2-systems luftledninger - se bilag 1c-e samt 1g-i. Der ses på en worst case kombination samt en mere optimal faseophængning. Herved illustreres det bånd magnetfeltet for mastetypen holder sig inden for, samt hvordan magnetfeltet kan mindskes gennem en hensigtsmæssig ophængning.

Ved symmetriske strømme vil luftledningernes jordledere normalt ikke ændre magnetfeltet mere end 5 %. For alle luftledninger er jordlederne medtaget i beregningerne (undtagen for en 60 kV ledning).

Metoden i beregningerne er den samme som ved praktiske målinger af magnetfelter, idet der beregnes en såkaldt RMS-værdi af magnetfeltet.

Belastningsstrømme

Alle beregningerne er foretaget ved en gennemsnitlig (årsmiddel) symmetrisk fasestrøm, afhængig af spændingsniveauet. Denne fasestrøm baserer sig på gennemsnitlige belastningsstrømme, som bl.a. bygger på SIVAE prognoser for år 2015, hvor udvekslingen med udlandet er øget noget i forhold til i dag, hvilket medfører højere strømværdier, og dermed højere magnetfelter, end på nuværende tidspunkt.

Spændingsniveau	Fasestrøm
400 kV	500 A
132/150 kV	400 A
50/60 kV	200/150 ² A
30 kV	200 A
10 kV	100 A

Tabel 2: Gennemsnitlige fasestrømme ved forskellige spændingsniveauer

I bilag 5 redegøres for nogle tilfældige 400 og 150 kV ledningers historiske strømbelastning i perioden 1/1-14/9 2008. Af bilaget fremgår at den gennemsnitlige strøm i de tilfældigt udvalgte 150 kV ledninger er 119 A, og 297 A for 400 kV ledningerne. Værdierne i tabel 2 er således noget højere end de historiske belastninger.

Notatets opbygning

Notatet er opdelt ud fra spændingsniveau, startende med 400 kV. Masteskitserne i graferne er medtaget som illustration, og er ikke skaleret efter meterne på x-aksen. I slutningen af hvert bilag behandles magnetfelter ved stationer for det pågældende spændingsniveau kort.

Illustrationerne, hvor kun ét magnetfelt er beregnet er vedhæftet en tabel hvoraf magnetfeltet i forskellige afstande fra tracémidten fremgår. Der er i disse tabeller differentieret mellem kabler og luftledninger, hvad angår afstand fra tracémidte.

Bilag:

Bilag 1 - 400 kV

Bilag 2 - 132/150 kV

Bilag 3 - 30/50/60 kV (inkl. kort omtale af køreledninger til fjernbaner)

Bilag 4 - 10 kV

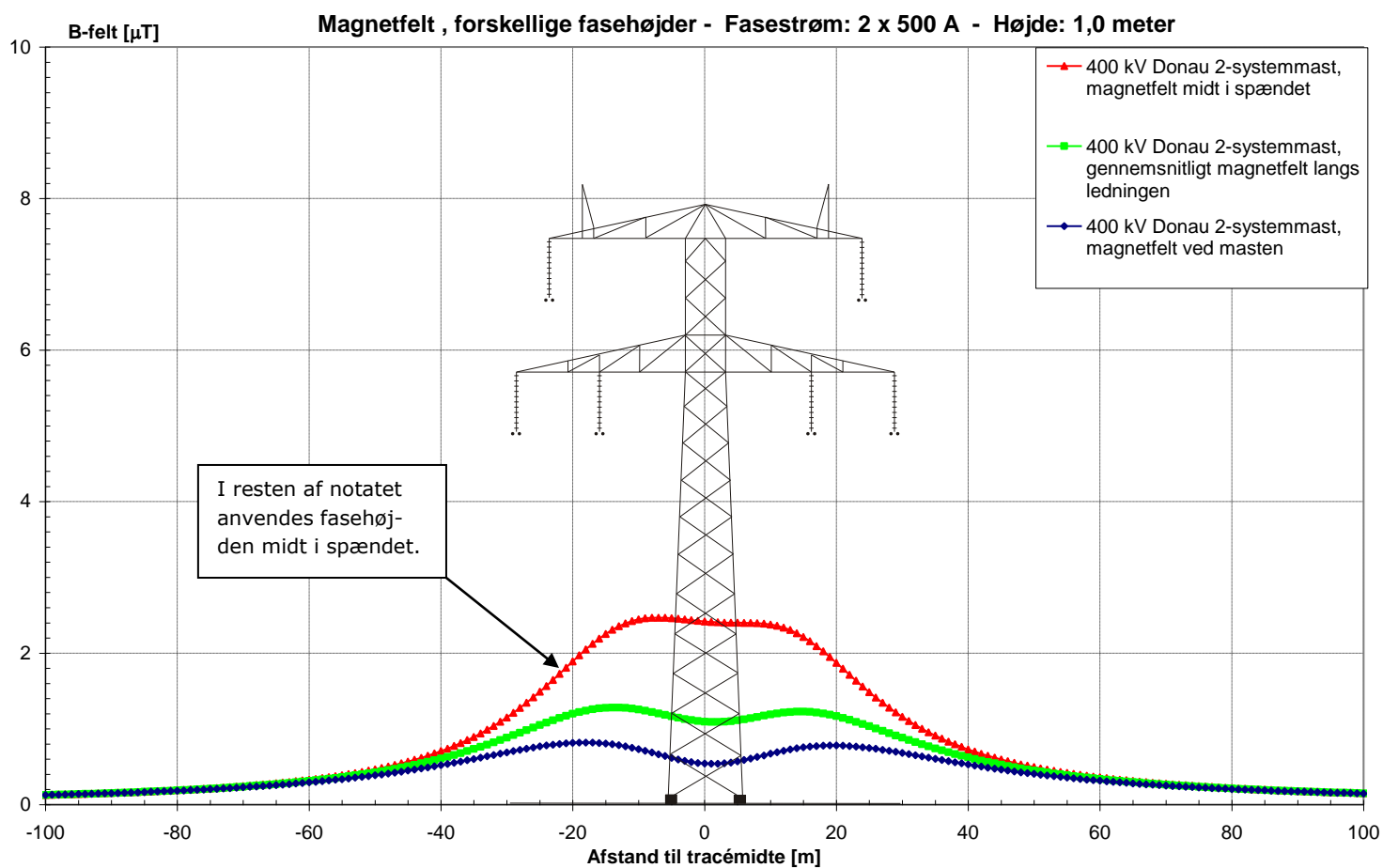
Bilag 5 - Historisk belastningsstrøm for udvalgte 400 og 150 kV ledninger

² 150 A for luftledninger og 200 A for kabler på grund af forskellen i appliceringsområderne

Bilag 1a

Sammenligning af magnetfeltet inde ved masten, midt i spændet samt en gennemsnitbetragtning

Beregning af magnetfeltet for en 400 kV Donau 2-systemmast, med fasestrømmen $2 \times 500 \text{ A}$, afhængig af hvor dette måles i ledningen længderetning - ved masten, midt i spændet. En gennemsnitshøjde for ledningens højde over jord medtages for sammenligningens skyld. Denne repræsenterer en gennemsnitsværdi for magnetfeltet langs hele ledningen.

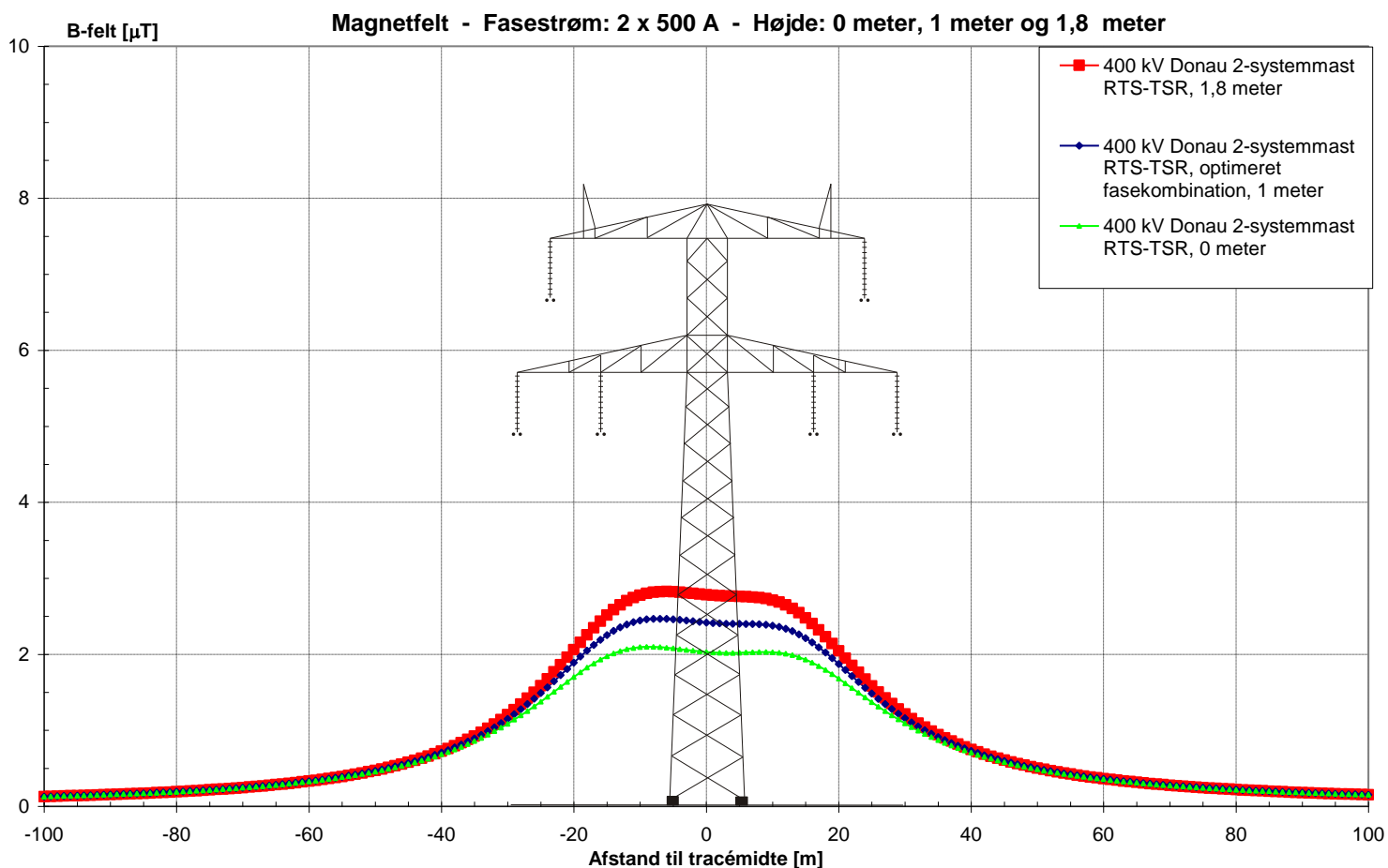


Det fremgår af ovenstående figur at der er en ikke ubetydelig forskel på magnetfeltets størrelse afhængig af hvor i spændet beregningen foretages. I resten af notatet anvendes fasehøjden midt i spændet, hvilket giver de største magnetfelt.

Bilag 1b

Sammenligning af magnetfeltet midt i spændet, i forskellige højder - jordhøjde, taljehøjde samt hovedhøjde

Beregning af magnetfeltet for en 400 kV Donau 2-systemmast, med fasestrømmen 2×500 A, beregnet midt i spændet i jordhøjde (0 meter), taljehøjde (1 meter) samt i hovedhøjde (1,8 meter).



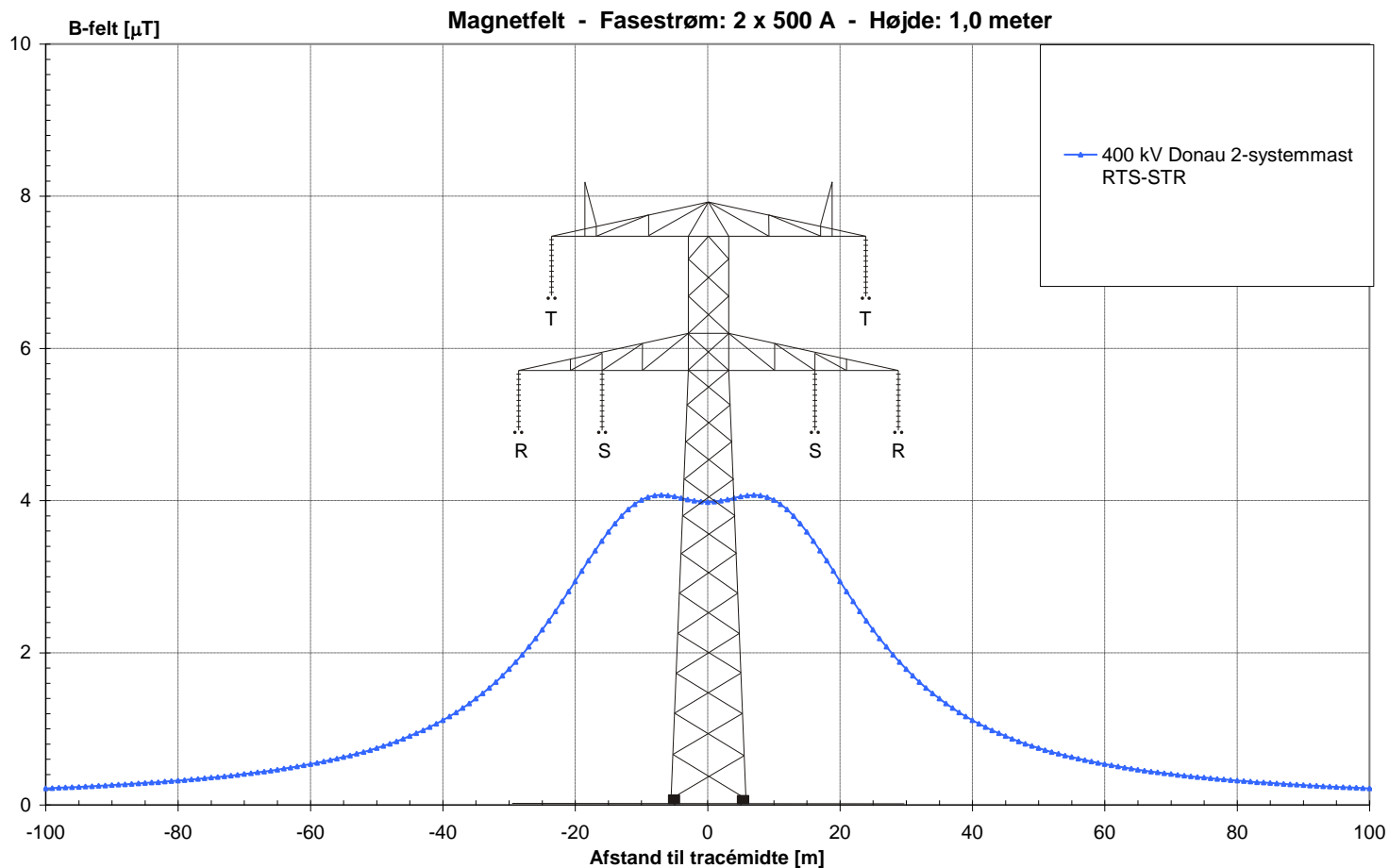
Ikke uventet er magnetfeltet størst i hovedhøjde, hvor afstanden til faselederne er mindst.

Bilag 1c

Sammenligning af forskellige fasekonfigurationer

400 kV Donau 2-systemmast, med fasestrømmen $2 \times 500 \text{ A}$, hvor faserne og jordlederen hænger i følgende koordinater (x;y):

System 1:	System 2:	Jordleder 1
R (-13,0;15,5)	R (13,0;15,5)	(8,35;32,4)
S (-7,2;15,5)	S (7,2;15,5)	Jordleder 2
T (-10,4;24,3)	T (10,4;24,3)	(-8,35;32,4)



Der er ganske få steder i Jylland-Fyn hvor der hænger to 400 kV systemer på samme mast. Ovenstående worst case fasekombination anvendes for nærværende på den 2,6 km lange strækning Nordjyllandsværket - Vester Hassing.

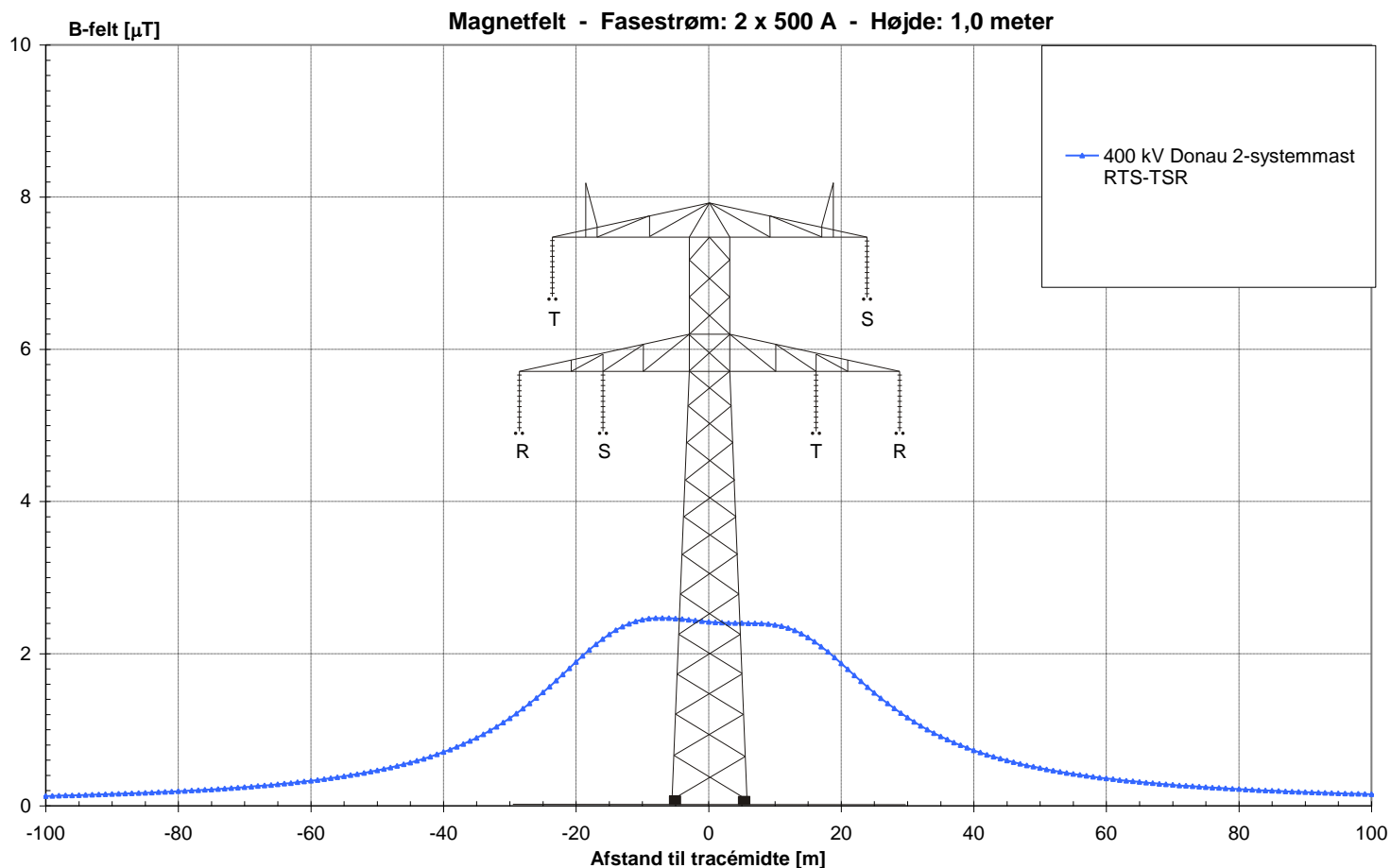
Afstand fra tracémidte	Magnetfelt [μT]
100	0,2
50	0,7
25	2,3
10	4,0
5	4,1
0	4,0

Bilag 1d

Sammenligning af forskellige fasekonfigurationer

400 kV Donau 2-systemmast, med fasestrømmen 2 x 500 A, hvor faserne og jordlederen hænger i følgende koordinater (x;y):

System 1:	System 2:	Jordleder 1
R (-13,0;15,5)	R (13,0;15,5)	(8,35;32,4)
S (-7,2;15,5)	S (10,4;24,3)	Jordleder 2
T (-10,4;24,3)	T (7,2;15,5)	(-8,35;32,4)



Ovenstående fasekombination anvendes på 2 km af strækningen Ferslev-Trige.

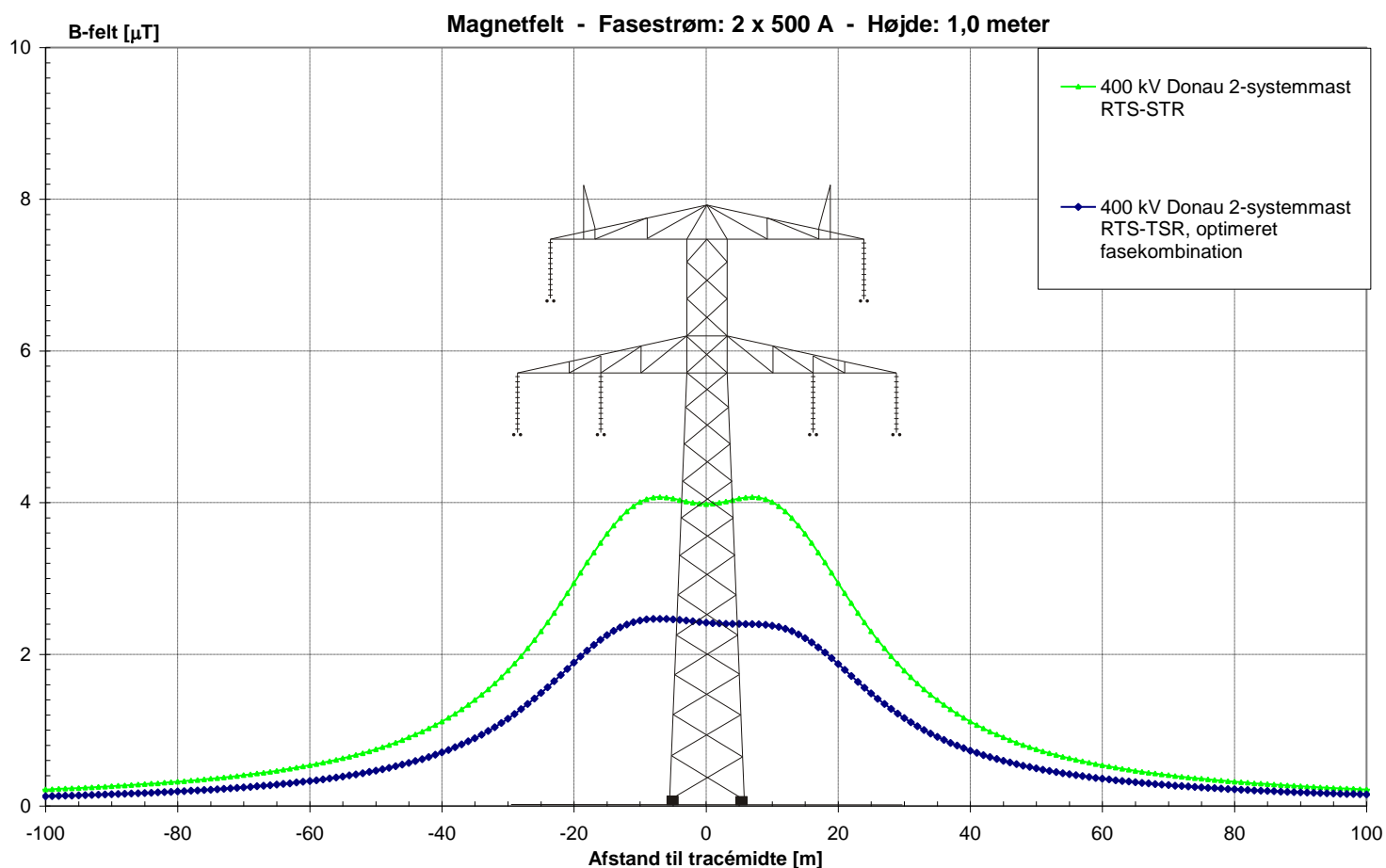
Afstand fra tracémidte	Magnetfelt [μT]
100	0,1
50	0,5
25	1,5
10	2,4
5	2,5
0	2,4

Ved sammenligning mellem ovenstående og foregående fasekombination ses at magnetfeltet kan reduceres betydeligt ved en hensigtsmæssig kombination af faserne ophængning. De forskellige fasekombinationer sammenlignes på næstkommende side.

Bilag 1e

Sammenligning af forskellige fasekonfigurationer

Sammenligning af forskellig fasekombination for en 400 kV Donau 2-systemmast, med fasestrømmen 2×500 A.



Det fremgår af ovenstående figur at magnetfeltet kan reduceres gennem en optimering af kombinationen af faserækkefølgen.

Fasefølgen bestemmes bl.a. af praktiske hensyn, optimering af ledningens modstand og overføringstab, teknisk udformning af anlæg mm.

En optimering alene for at reducere magnetfelter, kan imidlertid medføre en mindre hensigtsmæssig løsning, når de andre hensyn tages i betragtning.

Bilag 1f

Sammenligning af forskellige fasekonfigurationer

Donau mast, med et 400 kV system med fasestrømmen 500 A samt to 150 kV systemer med fasestrømmen 400 A, hvor faserne og jordlederen hænger i følgende koordinater (x;y):

System 1 (400 kV):

R (-13,0;15,5)

S (-10,4;24,3)

T (-7,2;15,5)

Jordleder 1 (8,35;32,4)

System 2 (150 kV):

R (4,1;26,5)

S (7,7;26,5)

T (11,3;26,5)

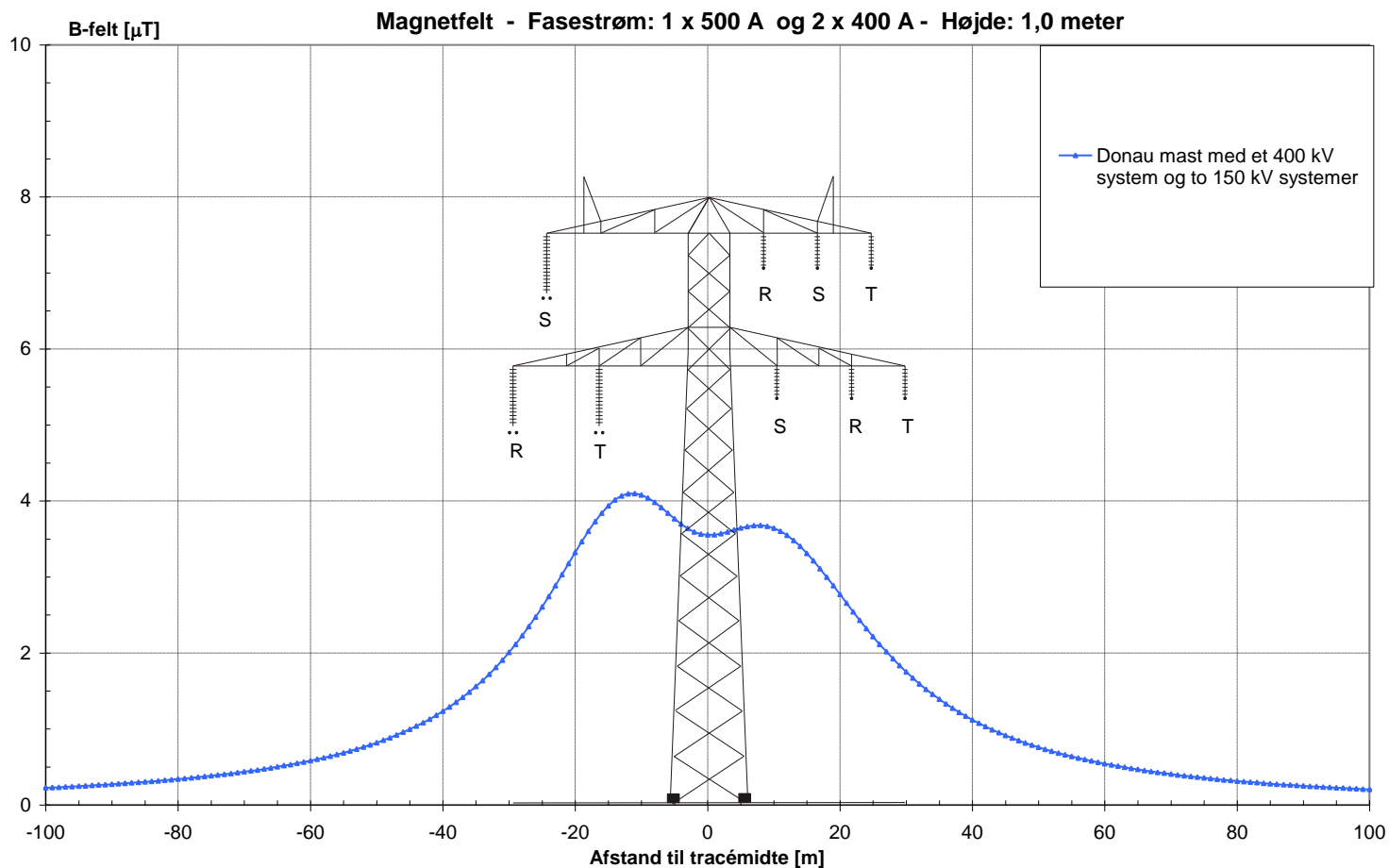
Jordleder 2 (-8,35;32,4)

System 3 (150 kV):

R (4,3;17,7)

S (9,3;17,7)

T (12,9;17,7)



To sammenlignelige varianter af ovenstående fasekombination anvendes på en del af strækningen Malling-Trige. Da magnetfeltet er asymmetrisk er den højeste værdi angivet nedenstående tabel.

Afstand fra tracémidte	Magnetfelt [μT]
100	0,2
50	0,8
25	2,6
10	4,1
5	3,8
0	3,6

Bilag 1g

Sammenligning af forskellige fasekonfigurationer

400 kV 2-systemmast, med fasestrømmen 2 x 500 A, hvor faserne og jordlederen hænger i følgende koordinater (x;y):

System 1: System 2:

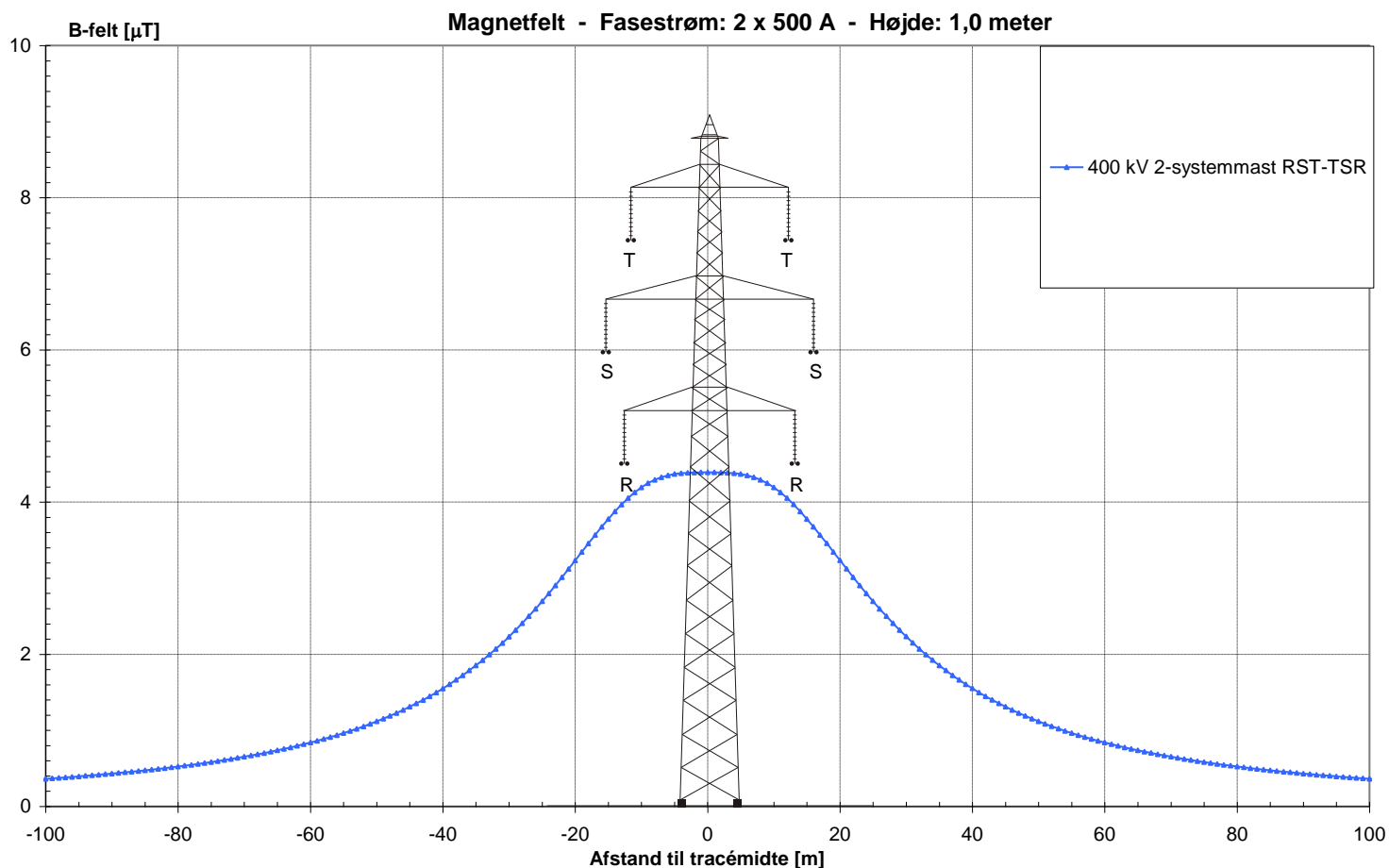
R (-7,1;17,8) R (7,1;17,8)

S (-8,6;26,8) S (8,6;26,8)

T (-6,7;35,8) T (6,7;35,8)

Jordleder 1 (-1,5;44,5)

Jordleder 2 (1,5;44,5)



Ovenstående mast med to 400 kV systemer anvendes på strækningen Helsingør til Asnæsværket ved Kalundborg. Undervejs hænger faserne på forskellige måder. Ovenstående worst case fasekombination anvendes ikke.

Afstand fra tracémidte	Magnetfelt [μT]
100	0,4
50	1,1
25	2,7
10	4,2
5	4,4
0	4,4

Bilag 1h

Sammenligning af forskellige fasekonfigurationer

400 kV 2-systemmast, med fasestrømmen 2 x 500 A, hvor faserne og jordlederen hænger i følgende koordinater (x;y):

System 1: System 2:

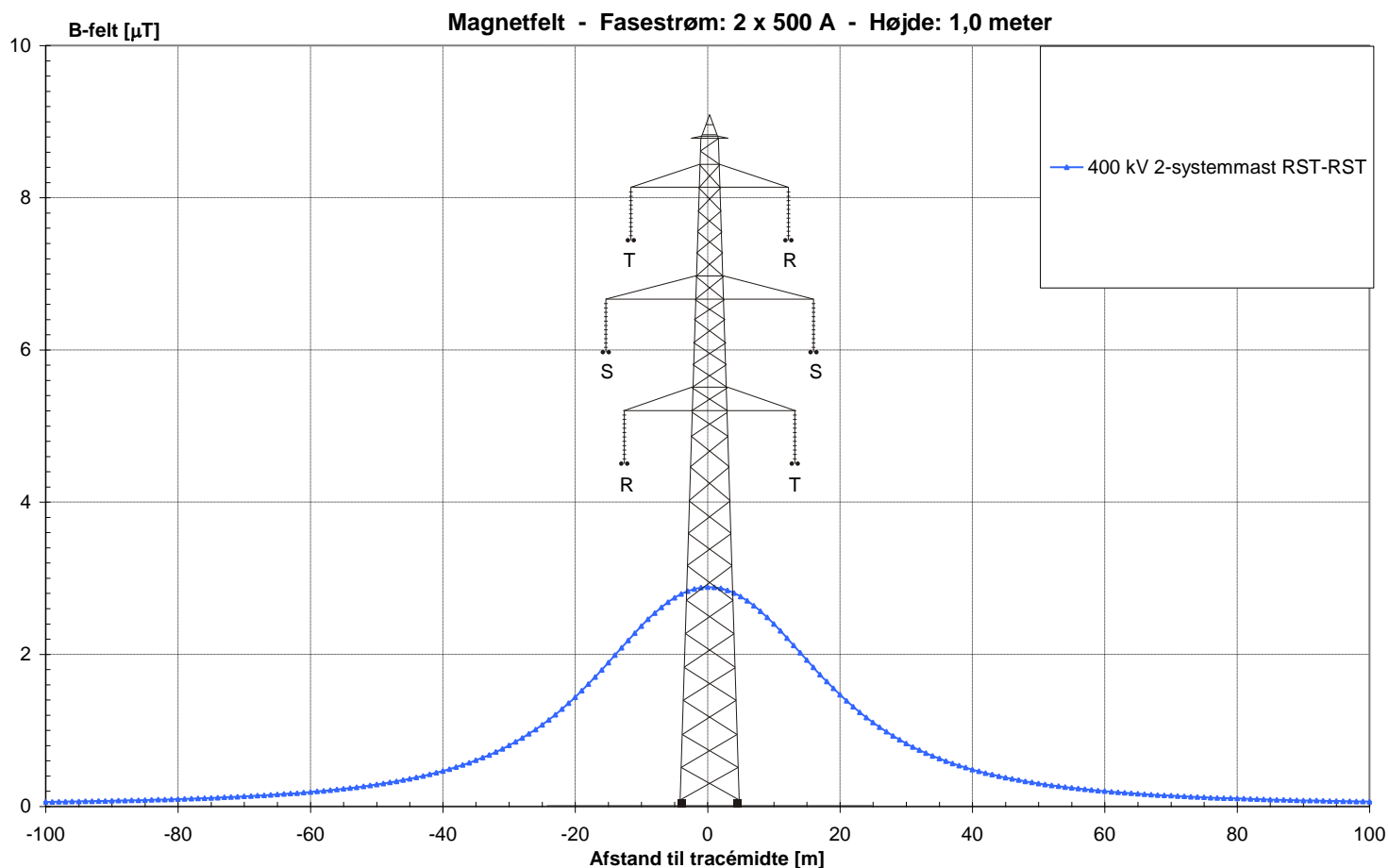
R (-7,1;17,8) R (6,7;35,8)

S (-8,6;26,8) S (8,6;26,8)

T (-6,7;35,8) T (7,1;17,8)

Jordleder 1 (-1,5;44,5)

Jordleder 2 (1,5;44,5)



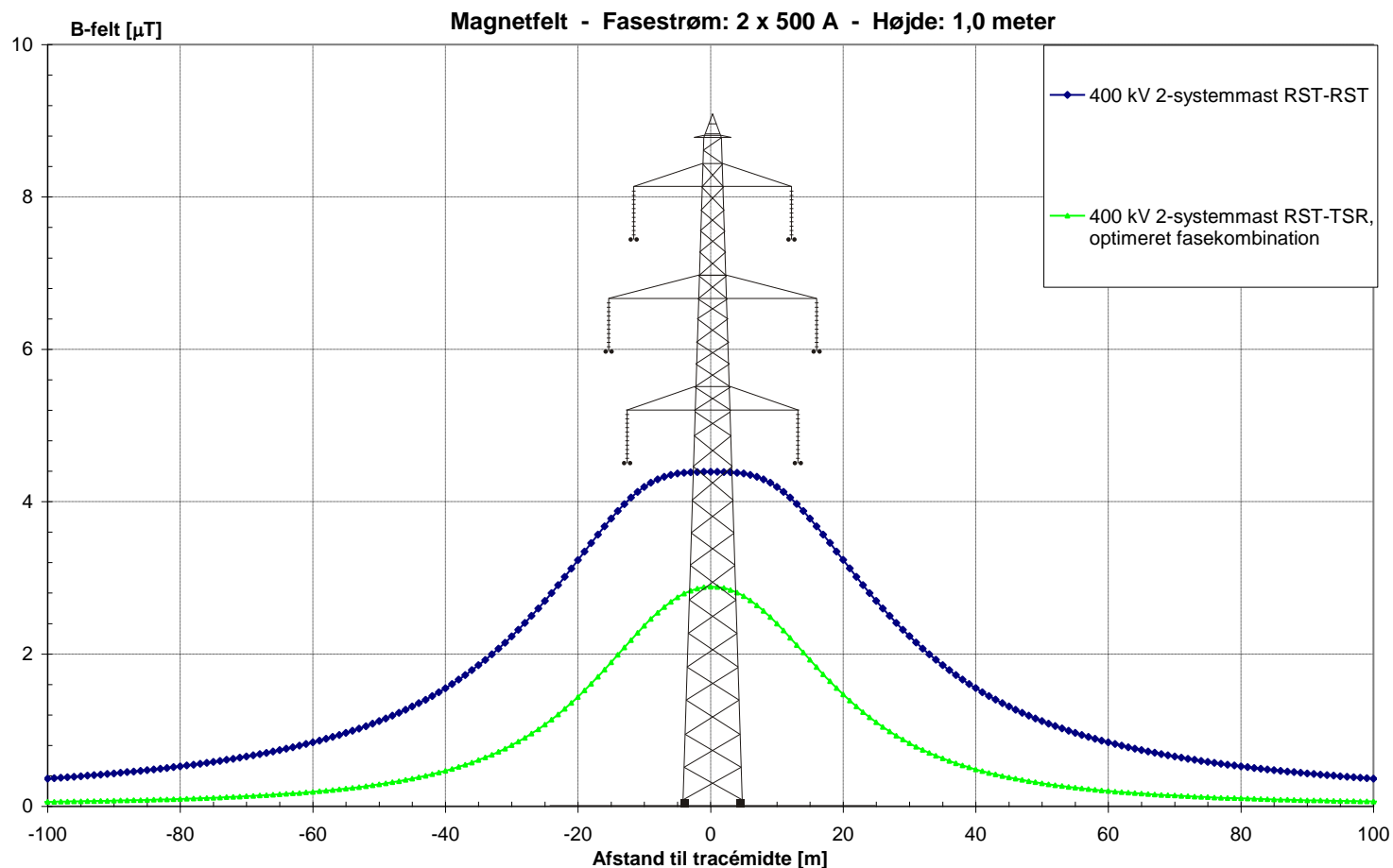
Fasekombinationer modsvarende til ovenstående anvendes på størstedelen af strækningen Asnæsværket-Helsingør.

Afstand fra tracémidte	Magnetfelt [μT]
100	0,1
50	0,3
25	1,1
10	2,4
5	2,7
0	2,9

Bilag 1i

Sammenligning af forskellige fasekonfigurationer

Sammenligning af forskellig fasekombination for en 400 kV 2-systemmast, med fasestrømmen 2×500 A.



Som det fremgår af ovenstående figur at magnetfeltet reduceres gennem en optimal kombination af faserækkefølgen, hvilket også tilstræbes, hvor det er hensigtsmæssigt.

Fasefølgen bestemmes bl.a. af praktiske hensyn, optimering af ledningens modstand og overføringstab, teknisk udformning af anlæg mm.

Bilag 1j Magnetfelt for en portalmast

400 kV portalmast, med fasestrømmen 500 A, hvor faserne og jordlederen hænger i følgende koordinater (x;y):

System 1:

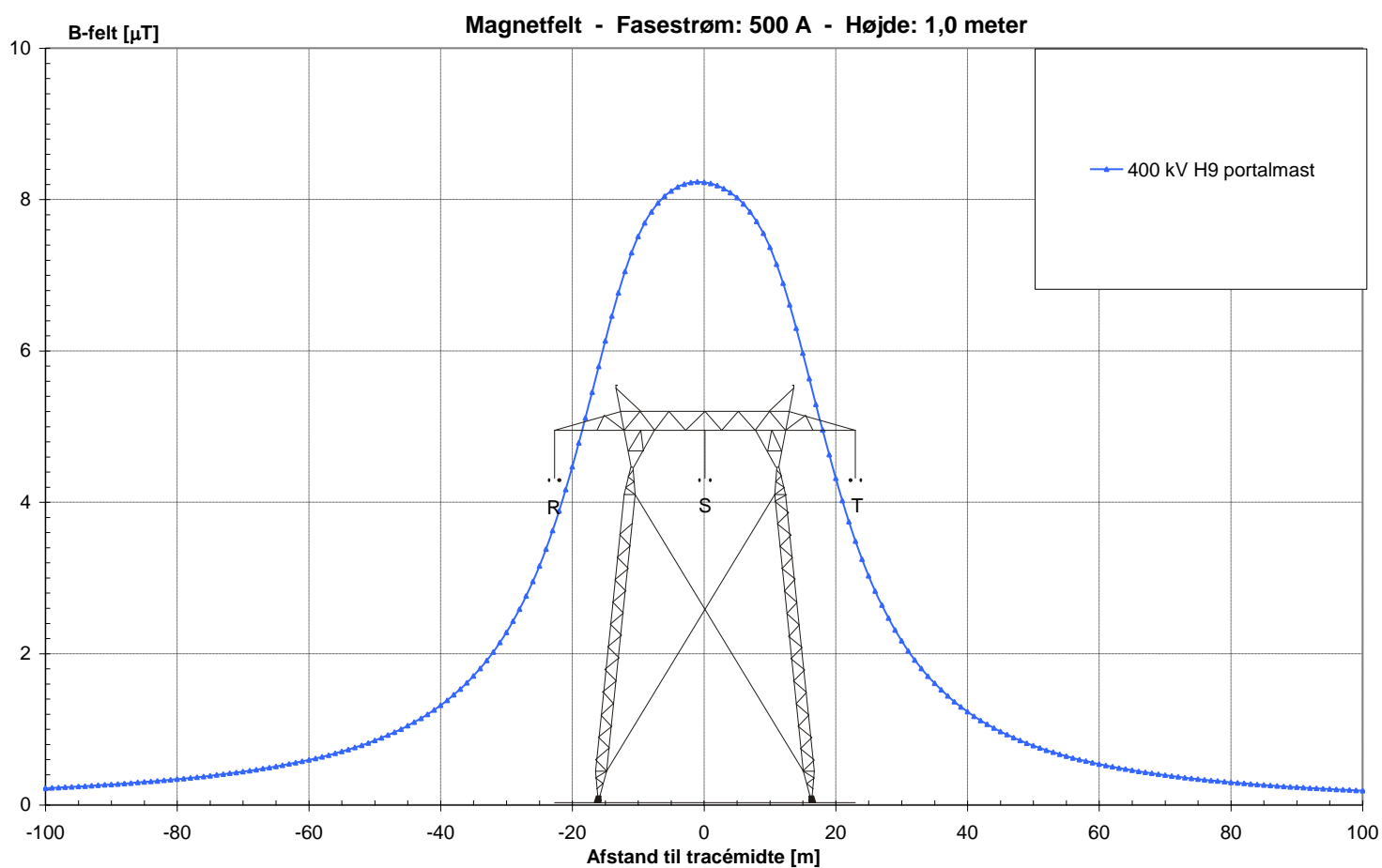
R (-12,08;12,8)

S (0,0;12,8)

T (12,08;12,8)

Jordleder 1 (-7,1;20,45)

Jordleder 2 (7,1;20,45)



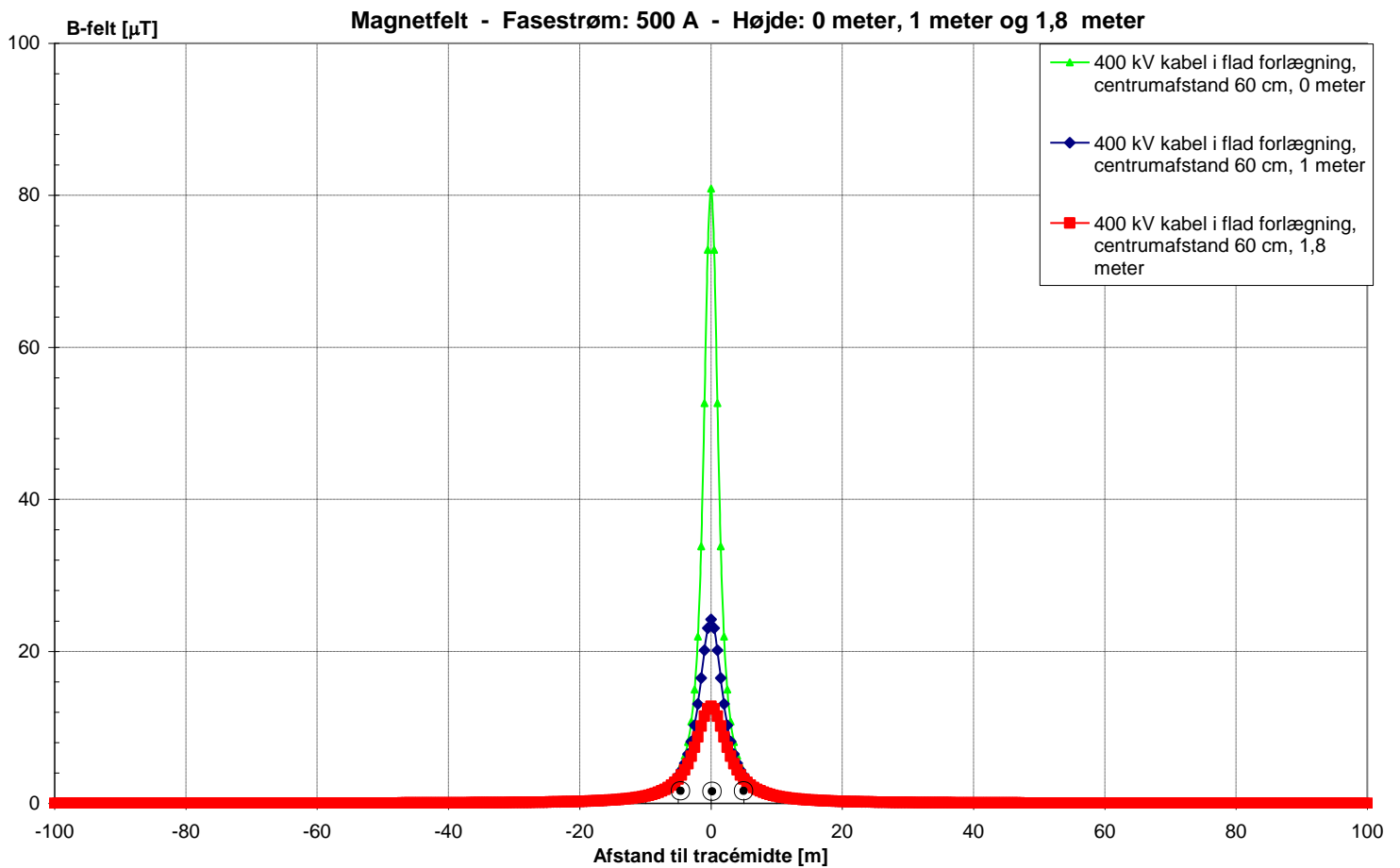
Ovenstående eller tilsvarende fasekombination anvendes på størstedelen af strækningen Tjele-Askær-Revsing-Kassø.

Afstand fra tracémidte	Magnetfelt [μ T]
100	0,2
50	0,9
25	3,2
10	7,5
5	8,1
0	8,2

Bilag 1k

Sammenligning af magnetfeltet for et 400 kV kabel i forskellige højder - jordhøjde, taljehøjde samt hovedhøjde

400 kV kabel i fald forlægning med fasestrømmen 500 A og centrumafstand 60 cm beregnet i jordhøjde, taljehøjde (1 meter) samt i hovedhøjde (1,8 meter). Bemærk at skalaen for magnetfeltet i dette tilfælde går op til 100 μT .

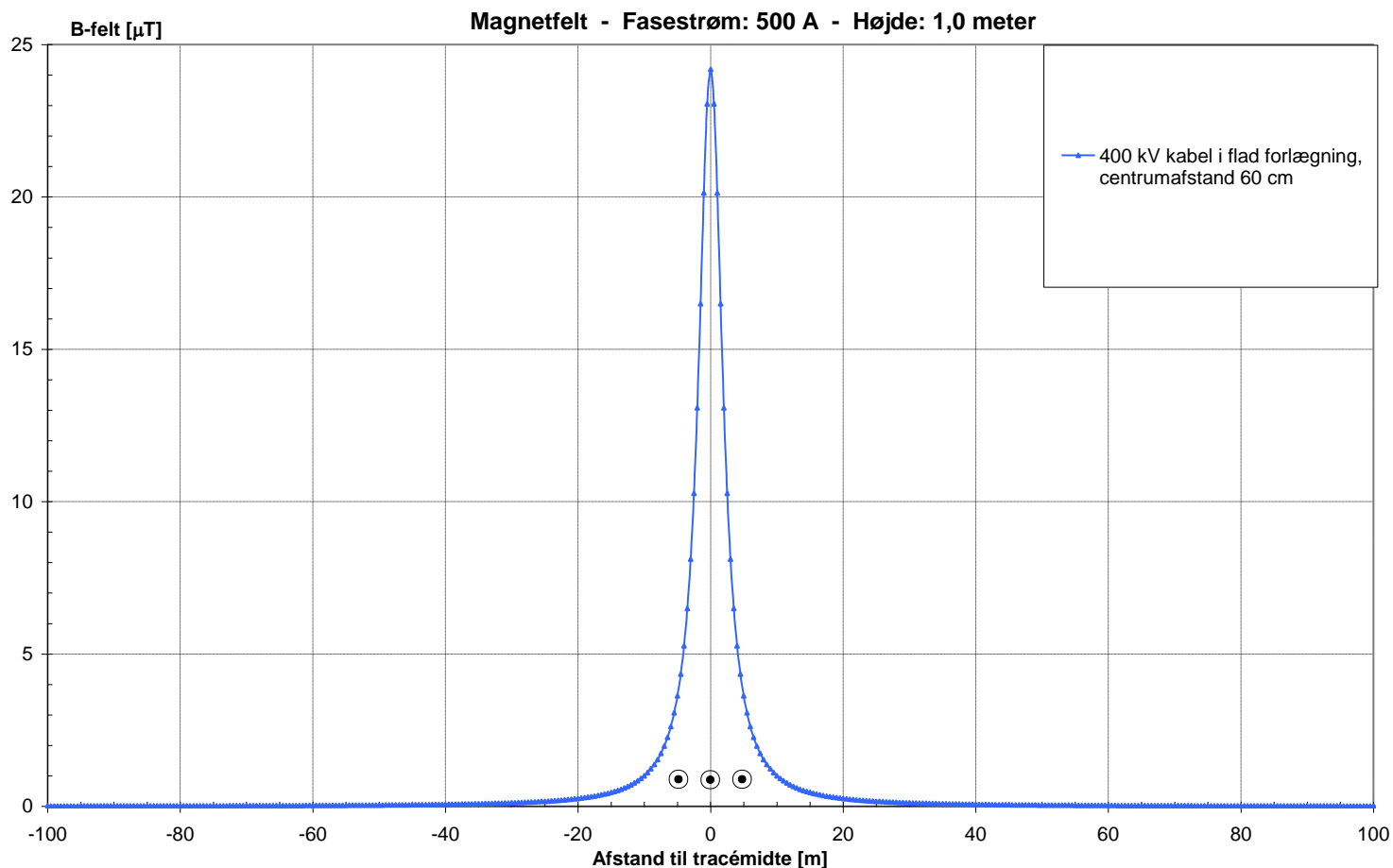


Magnetfeltet er højere i jordhøjde end i hovedhøjde, når ledningerne befinder sig i jorden.

Bilag 11

Forskellige metoder ved forlægning af 400 kV kabler

400 kV kabel i fald forlægning med fasestrømmen 500 A og centrumafstand 60 cm. Bemærk at skalaen for magnetfeltet går op til 25 μT .

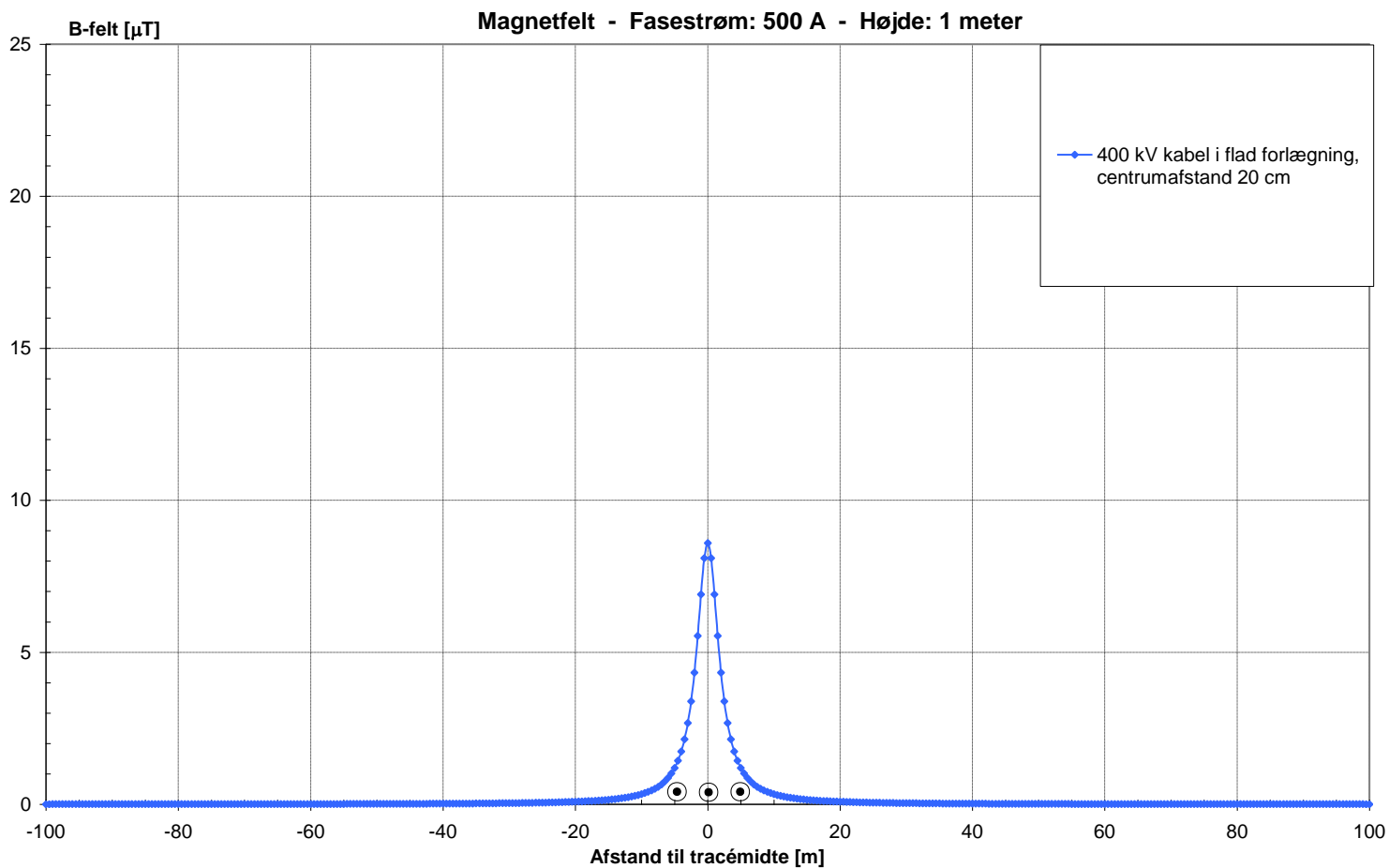


400 kV kabler forlægges normalt i flad forlægning da dette giver størst overføringsevne. Flad forlægning er anvendt for alle 400 kV kabler i Danmark, bl.a. mellem Aalborg-Århus og i København.

Afstand fra tracémidte	Magnetfelt [μT]
25	0,2
10	1,0
6	2,6
3	8,1
1	20,1
0	24,2

Bilag 1m Forskellige metoder ved forlægning af 400 kV kabler

400 kV kabel i fald forlægning med fasestrømmen 500 A og centrumafstand 20 cm. Bemærk at skalaen for magnetfeltet går op til 25 μT .



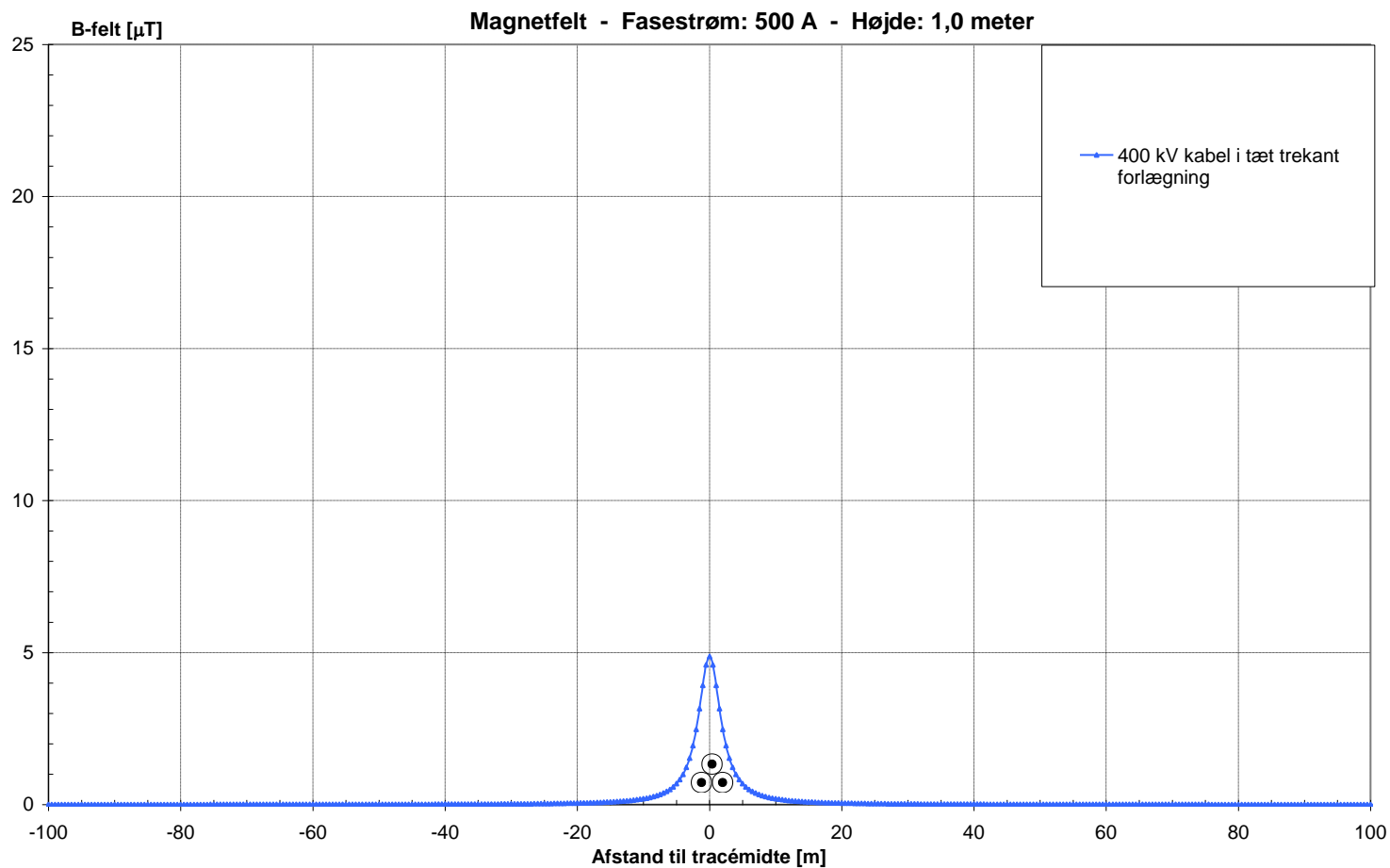
400 kV kabler lægges normalt i flad forlægning da dette giver størst overføringsevne. Flad forlægning er anvendt for alle 400 kV kabler i Danmark, bl.a. mellem Aalborg-Århus og i København.

Afstand fra tracémidte	Magnetfelt [μT]
25	0,1
10	0,3
6	0,9
3	2,7
1	6,9
0	8,6

Bilag 1n

Forskellige metoder ved forlægning af 400 kV kabler

400 kV kabel i tæt trekant forlægning med fasestrømmen 500 A og centrumafstand 14 cm. Bemærk at skalaen for magnetfeltet går op til 25 μT .



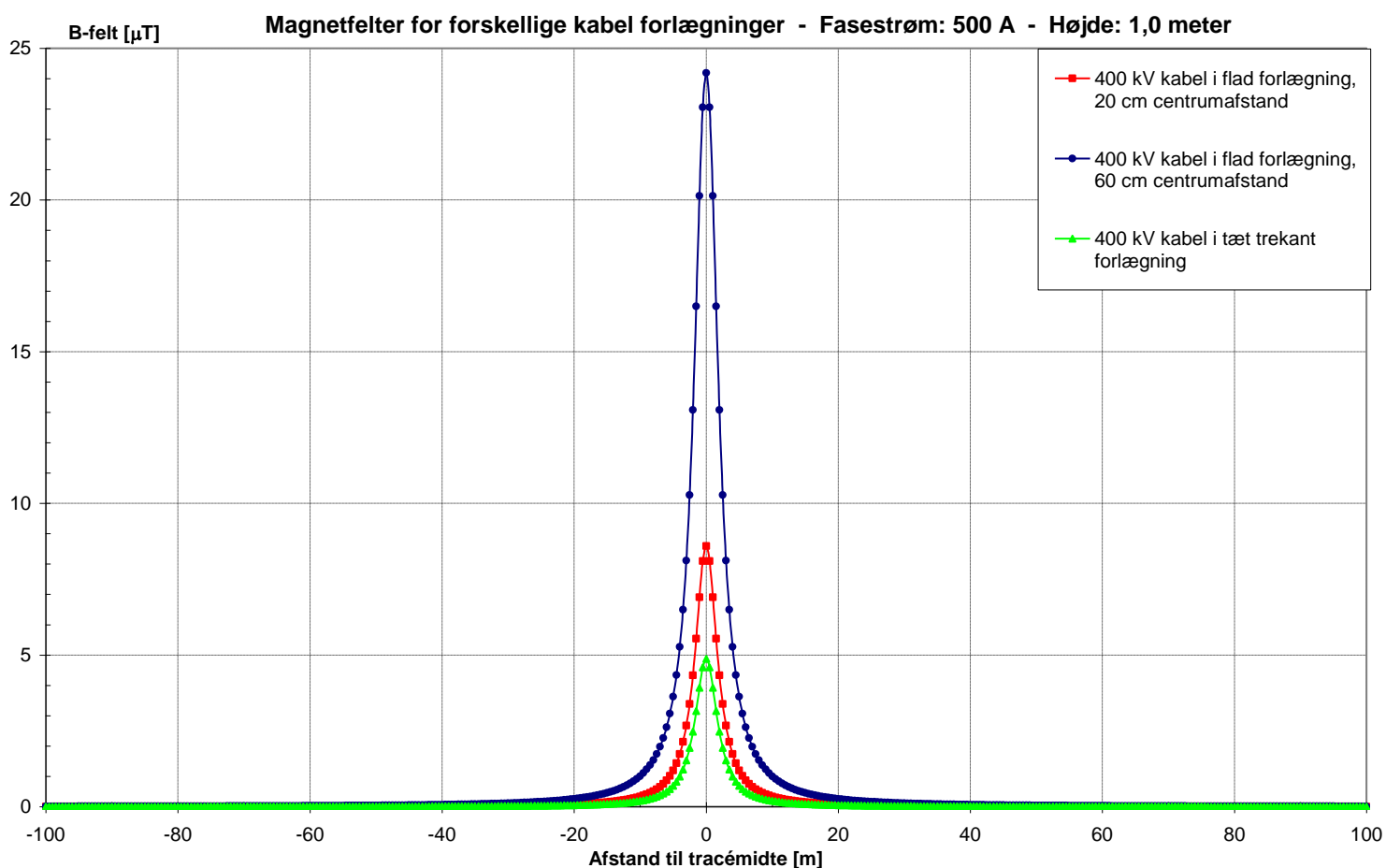
Denne forlægningsmåde anvendes normalt ikke ved udlægning af 400 kV kabler.

Afstand fra tracémidte	Magnetfelt [μT]
25	0,03
10	0,2
6	0,5
3	1,5
1	3,9
0	4,9

Bilag 1o

Sammenligning af forskellige metoder ved forlægning af 400 kV kabler

Sammenligning af forskellige forlægninger for et 400 kV kabel system med fasestrømmen 500 A.

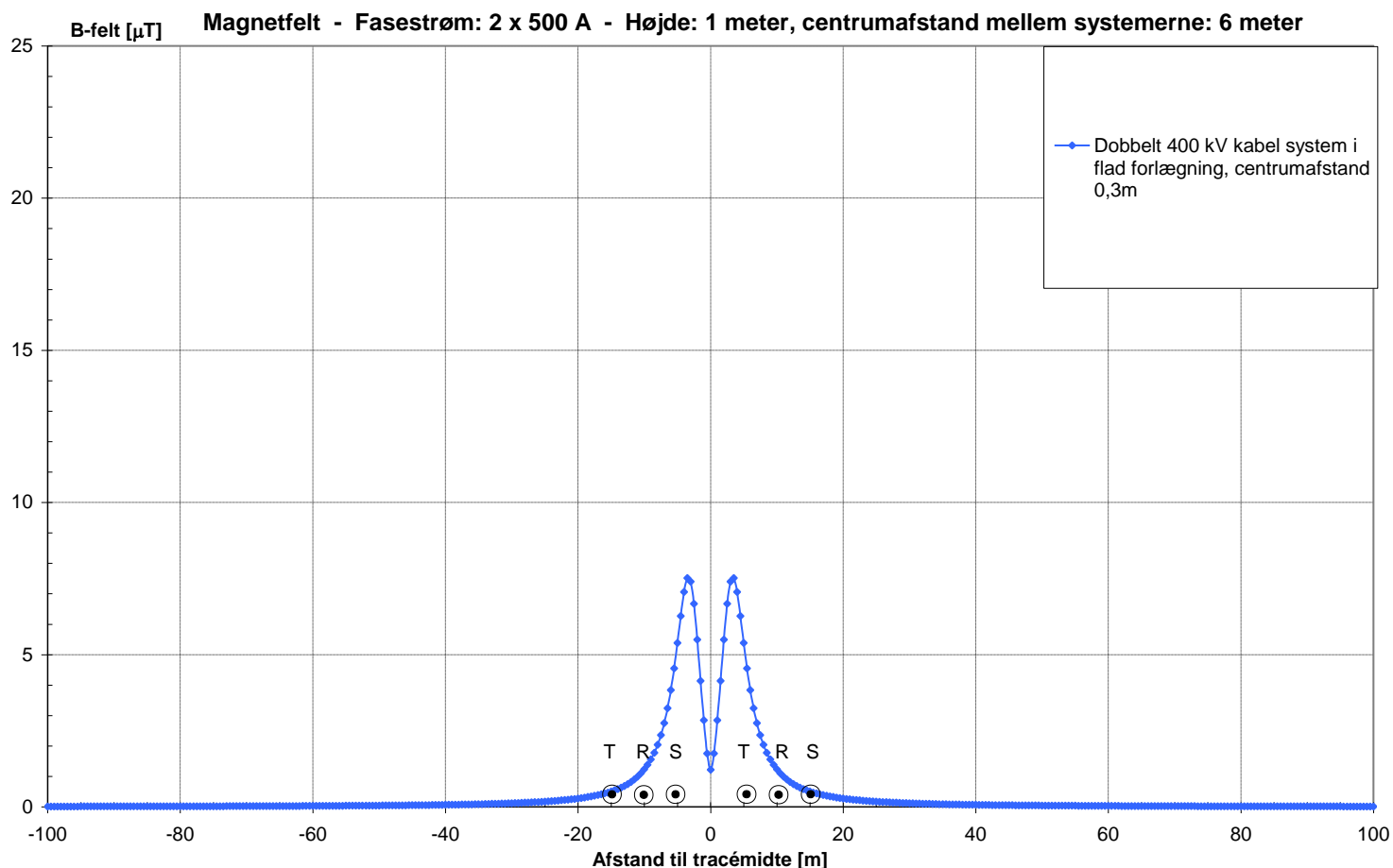


Flad forlægning er den fremherskende måde at forlægge 400 kV kabler på, da det alt andet lige giver en større overføringsevne.

Bilag 1p

To parallelle 400 kV kabler

To parallelle 400 kV kabler med fasestrømmen 500 A hver. Nedgravningsdybden er 1,5 meter, centrumafstanden mellem den enkelte faser er 0,3 meter og centrumafstanden mellem de to kabelsystemer er 6 meter. Kablerne er krydskoblet for at øge overføringsevnen.



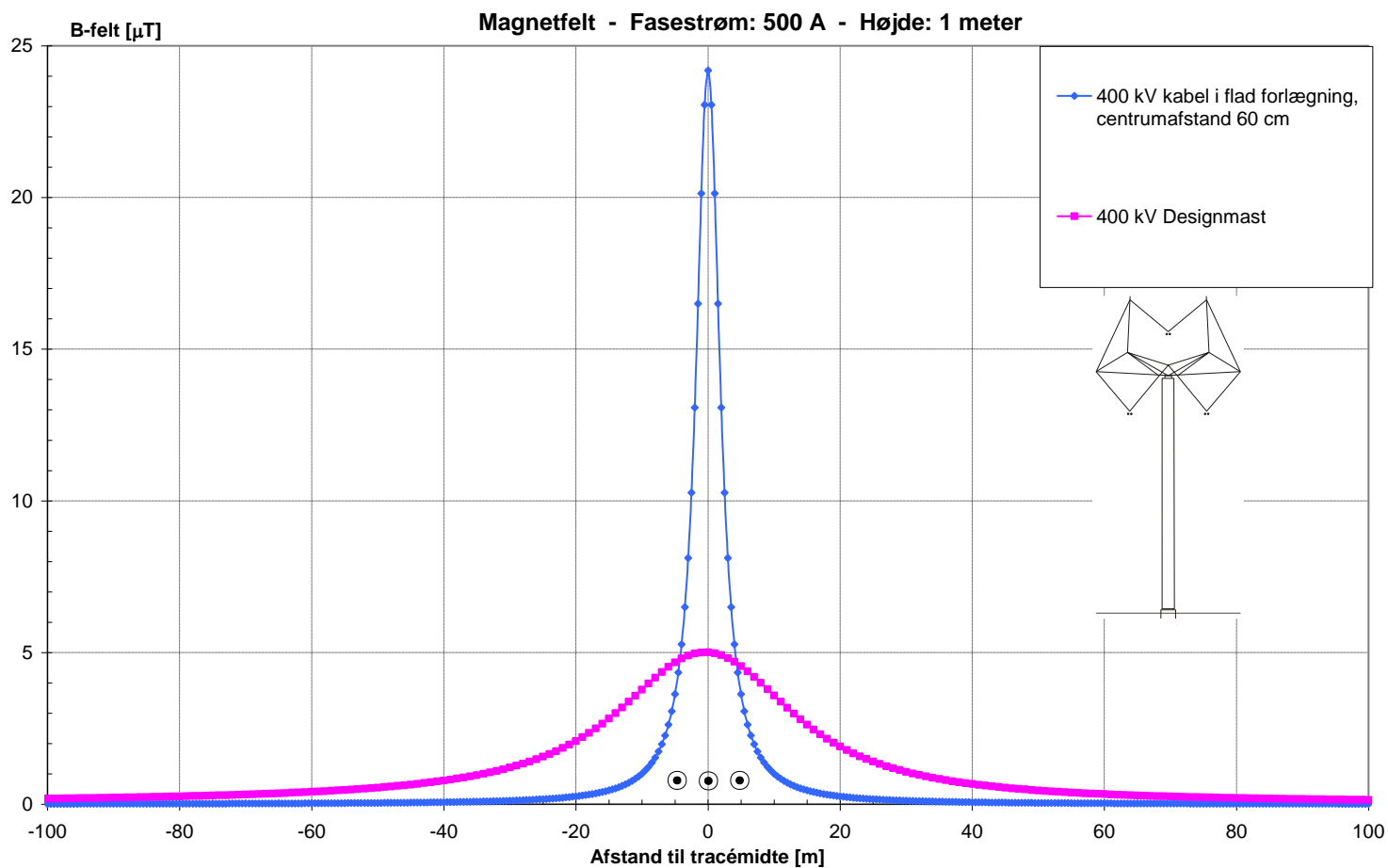
Ovenstående 7,48 km lange kabelforlægning findes i Indkilledalen syd for Aalborg. Modsvarende forlægninger findes under Mariager fjord samt gennem Gudenådalen ved Randers.

Afstand fra tracémidte	Magnetfelt [μT]
25	0,2
10	1,2
6	3,8
3	7,4
1	2,8
0	1,2

Bilag 1q

Sammenligning af magnetfeltet for et 400 kV kabelsystem og et luftledningssystem

Beregning af magnetfeltet for et 400 kV kabelsystem samt en Designmast 1-systemmast, hver med fasestrømmen 500 A. For luftledningen er magnetfeltet beregnet midt i spændet, hvilket giver det største felt.



Afstand fra tracémidte	Magnetfelt luftledning [μT]	Magnetfelt kabel [μT]
25	1,6	0,2
10	3,8	1,0
6	4,5	2,6
3	4,9	8,1
1	5,0	20,1
0	5,0	24,2

400 kV stationer

Grundet forskellige stationers varierende layout er det uladsiggørligt at beregne magnetfeltet i og ved 400 kV stationer. Derfor tager notatet udgangspunkt i målinger i stedet for.

Magnetfeltet uden for stationens hegn/bygning er normalt ikke måleligt grundet den store afstand mellem de elektriske apparater og hegnet. De steder hvor der kan måles magnetfelter uden for stationen, stammer feltet fortrinsvis fra ledningerne der går til og fra stationen. Angående magnetfeltet fra disse, henvises der til de andre afsnit i notatet.

Ved måling 1,8 meters højde i 400/150 kV station Tjele i en normal driftssituation blev følgende målt år 1990:

- Ved hegnet til lagerpladsen syd for 400 kV anlægget er målt 0,14 μT .
- Ved stationshegnet ved filtergården er målt 0,25 μT ud for filter ZA1 og 0,14 μT i det nordvestlige hjørne.

Baggrundsfeltet udendørs i stationen er 0,4-0,8 μT .

Feltet ved hegnet (til offentligheden) ligger mellem 0,14-0,25 μT og er størst ved filtergården. Der er ingen naboer, der bor tæt ind til stationsanlæggene.

Målingerne blev udført før Skagerrak 3 blev bygget.

Bilag 2a

132 kV 1-systemmast

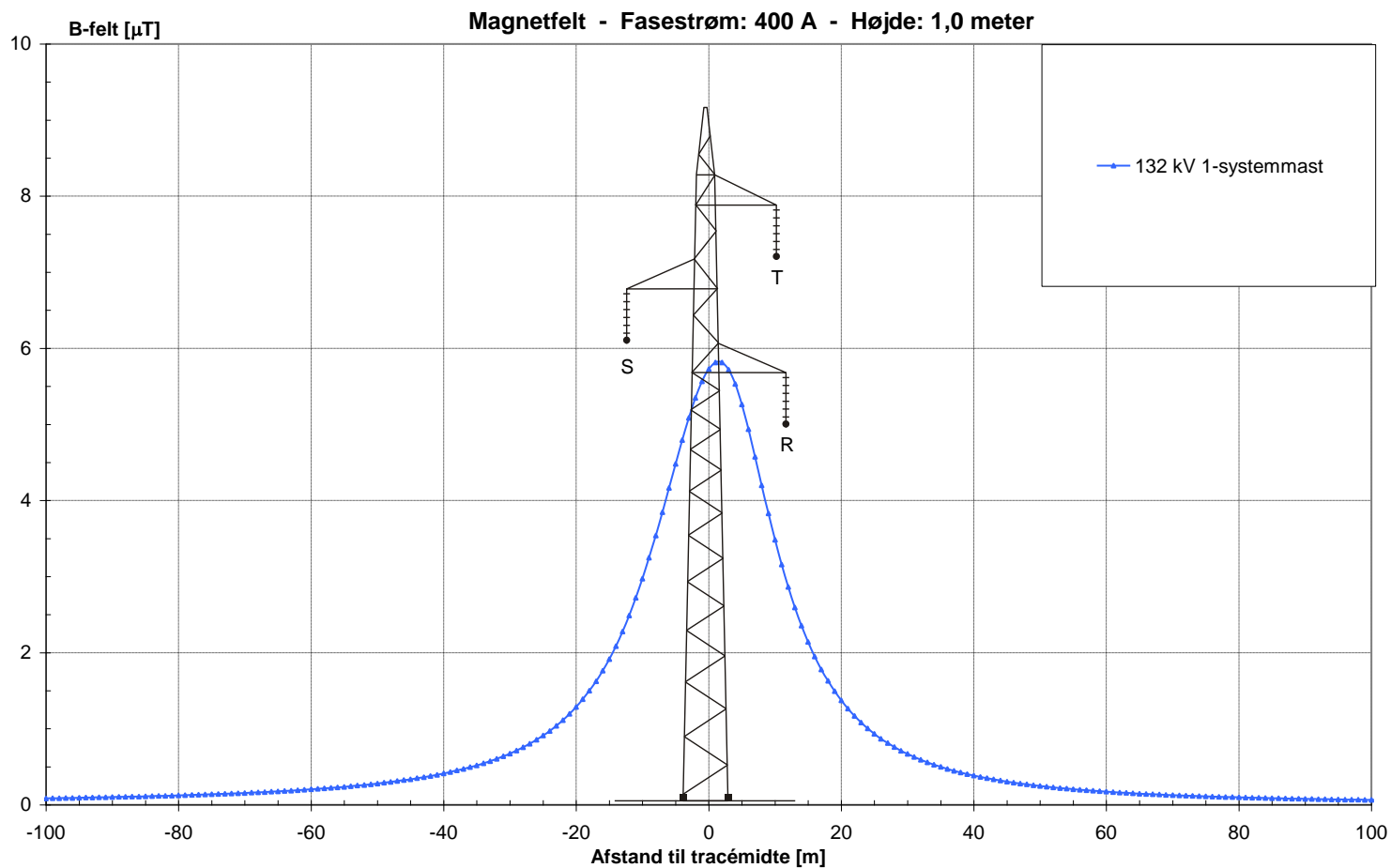
132 kV 1-systemmast, med fasestrømmen 400 A, hvor faserne og jordlederen hænger i følgende koordinater (x;y):

R (3,3;8,9)

S (-3,3;11,65)

T (3,3;14,4)

Jordleder (0,0;19,2)



Afstand fra tracémidte	Magnetfelt [μT]
100	0,1
50	0,3
25	0,9
10	3,0
5	4,5
0	5,7

Bilag 2b

132 kV 1-system portalmast

132 kV 1-system portalmast, med fasestrømmen 400 A, hvor faserne og jordlederen hænger i følgende koordinater (x;y):

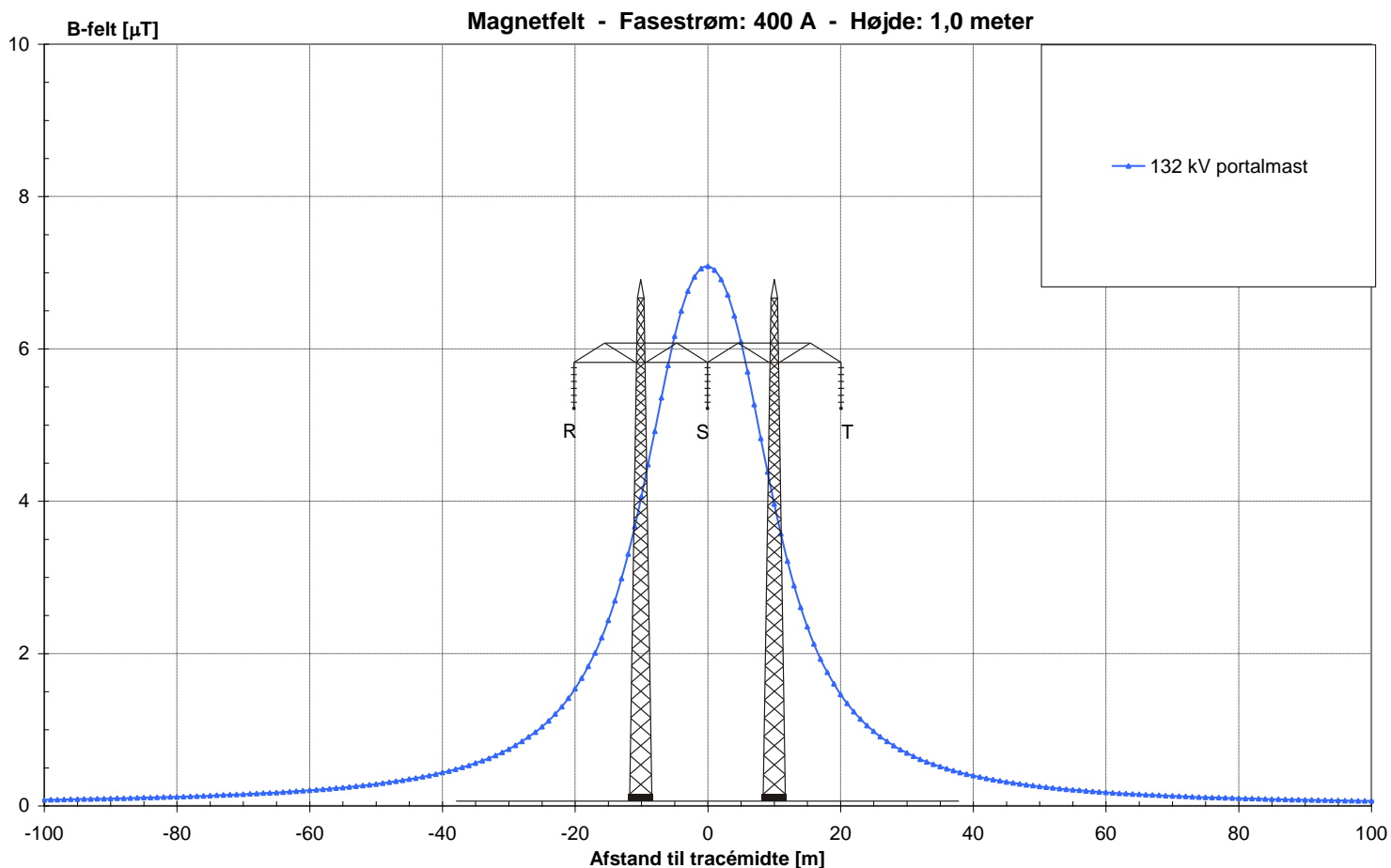
R (-5;9,7)

S (0;9,7)

T (5;9,7)

Jordleder (-2,5;14,5)

Jordleder (2,5;14,5)



Afstand fra tracémidte	Magnetfelt [μT]
100	0,1
50	0,3
25	1,0
10	4,1
5	6,2
0	7,1

Bilag 2c

150 kV 2-systemmast

150 kV 2-systemmast, med fasestrømmen 2 x 400 A, hvor faserne og jordlederen hænger i følgende koordinater (x;y):

System 1:

R (-3,4;13,0)

S (-4,55;17,2)

T (-3,4;21,4)

Jordleder (0,0;30,5)

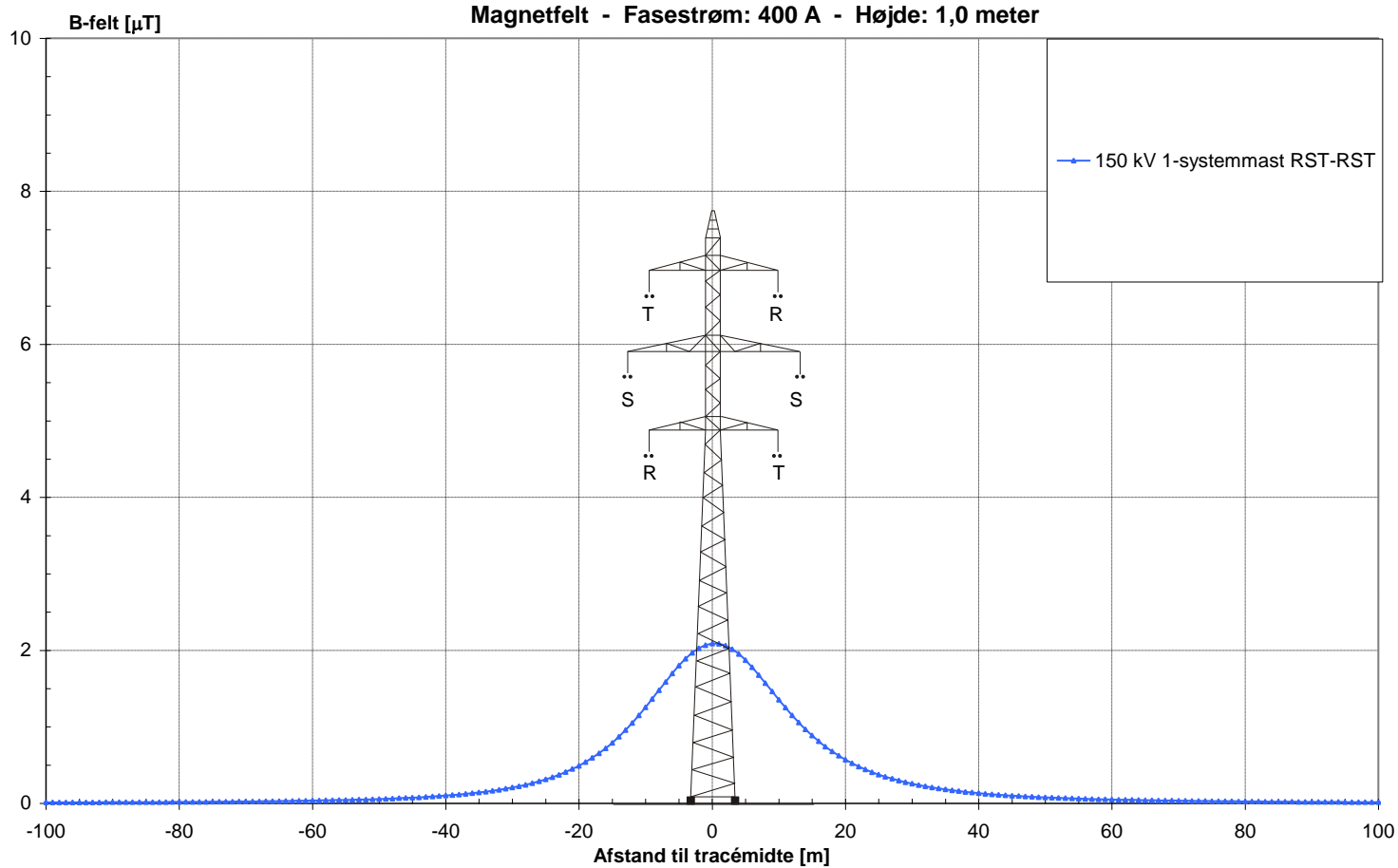
System 2:

R (3,4;21,4)

S (4,55;17,2)

T (3,4;13,0)

Magnetfelt - Fasestrøm: 400 A - Højde: 1,0 meter

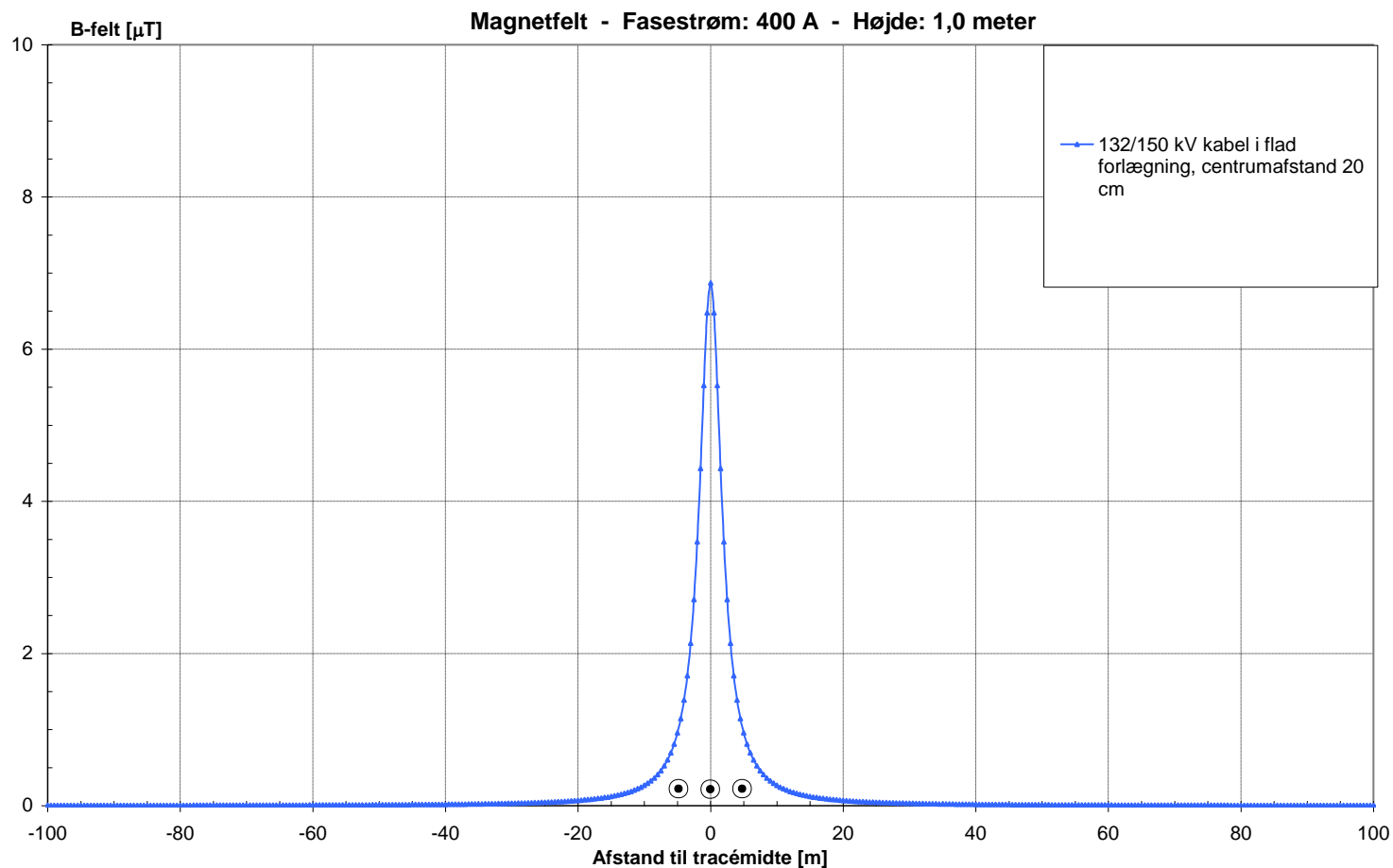


Afstand fra tracémidte	Magnetfelt [μT]
100	0,01
50	0,1
25	0,3
10	1,3
5	1,8
0	2,1

Bilag 2d

132-150 kV kabelsystem i flad forlægning

132 eller 150 kV kabel i fald forlægning med fasestrømmen 400 A og centrumafstand 20 cm.

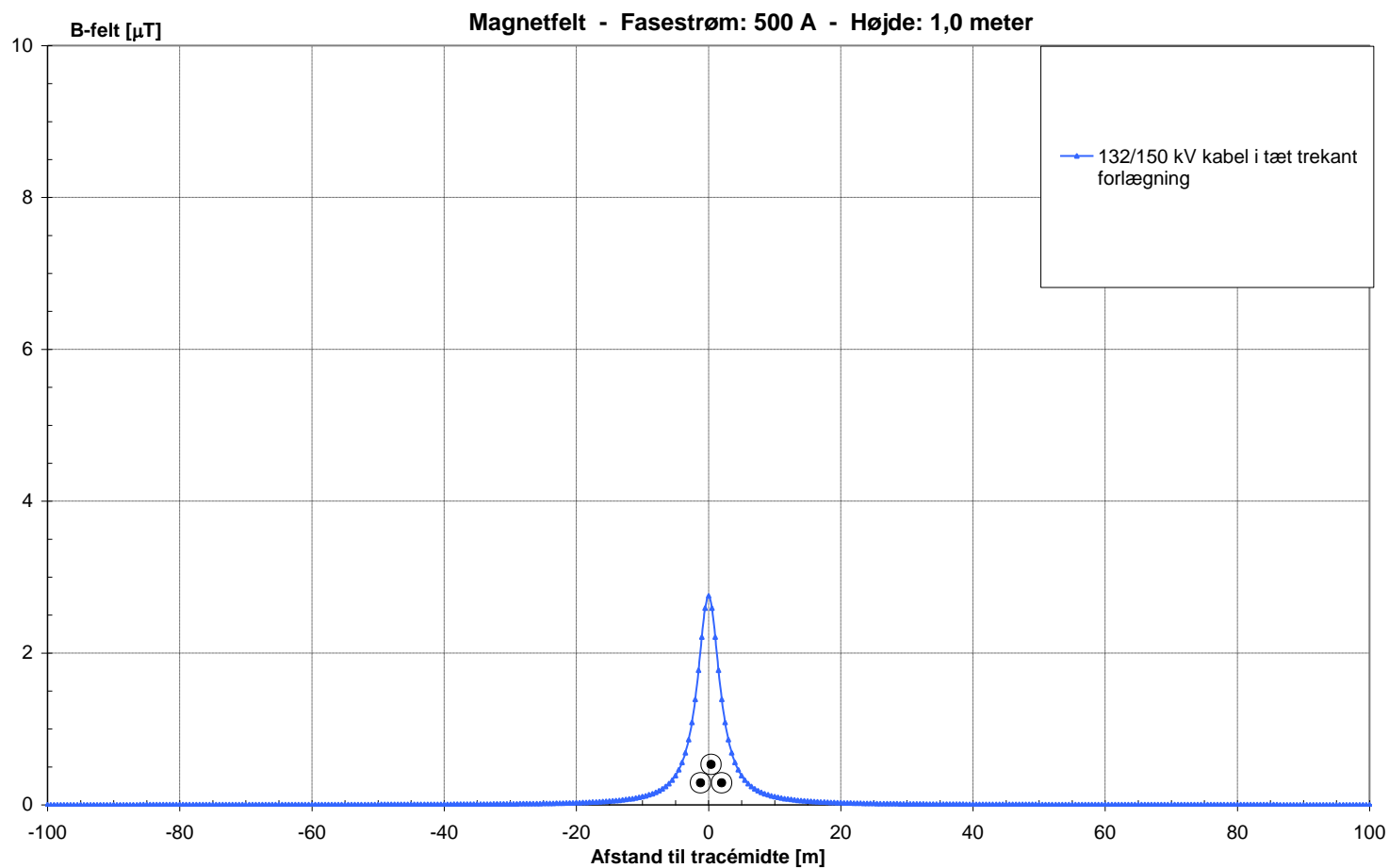


Afstand fra tracémidte	Magnetfelt [μT]
25	0,04
10	0,3
6	0,7
3	2,1
1	5,5
0	6,9

Bilag 2e

132-150 kV kabelsystem i tæt trekant forlægning

132 eller 150 kV kabel i tæt trekant forlægning med fasestrømmen 400 A.

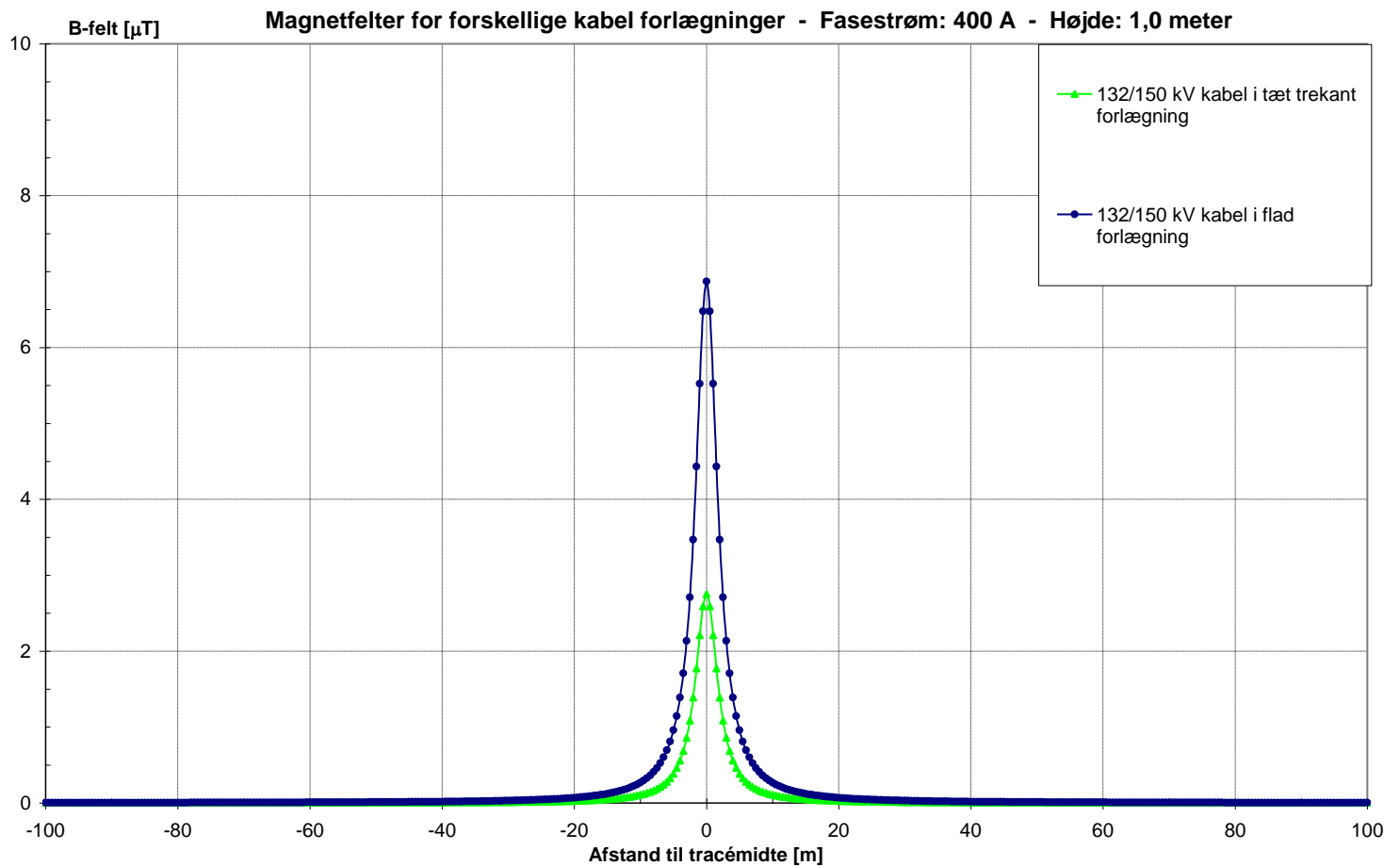


Afstand fra tracémidte	Magnetfelt [μT]
25	0,02
10	0,1
6	0,3
3	0,9
1	2,2
0	2,8

Bilag 2f

Sammenligning af forlægning af 132-150 kV kabelsystemer

Sammenligning af forskellige forlægninger for et 132 eller 150 kV kabelsystem med fasestrømmen 400 A.



Trekantforlægning er den mest almindelige måde at forlægge 132 og 150 kV kabler på.

132/150 kV stationer

Grundet forskellige stationers varierende layout er det uladsiggørligt at beregne magnetfeltet i og ved 132 og 150 kV stationer. Derfor tager notatet udgangspunkt i målinger i stedet for.

Gennemgående er magnetfeltet uden for stationens hegn/bygning normalt meget lille. De magnetfelter der kan registreres stammer sædvanligvis især fra ledningerne der går til og fra stationen. Angående magnetfeltet fra disse, henvises der til de andre afsnit i notatet. Se eksempler under 400 kV og 60/10 kV.

Bilag 3a

50 kV 1-systemmast

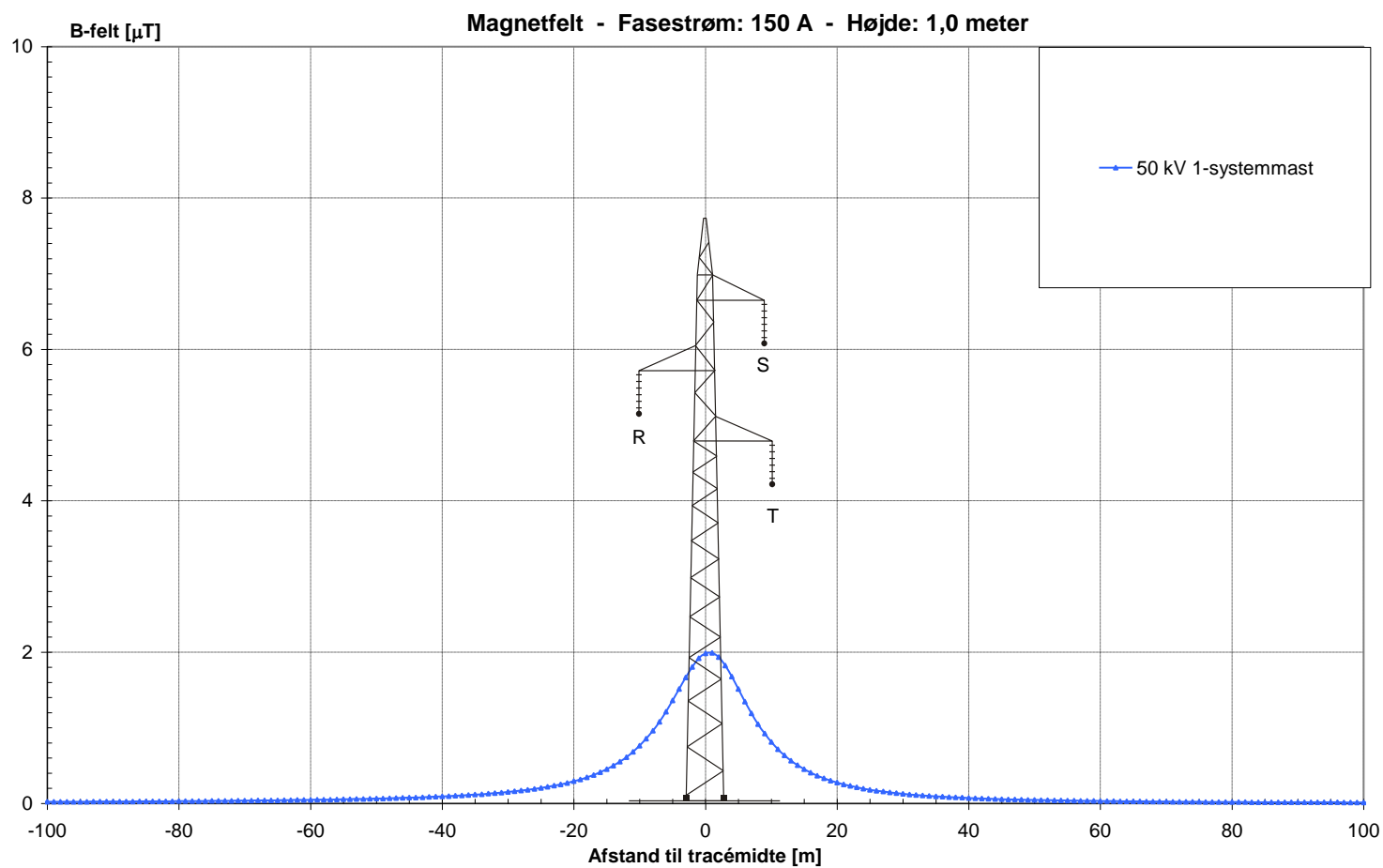
50 kV mast, med fasestrømmen 150 A, hvor faserne og jordlederen hænger i følgende koordinater (x;y):

R (-1,25;9,3)

S (1,25;11,3)

T (1,25;7,3)

Jordleder (0,0;14,4)



Afstand fra tracémidte	Magnetfelt [μT]
100	0,01
50	0,05
25	0,2
10	0,8
5	1,5
0	2,0

Bilag 3b

60 kV 1-system portalmast

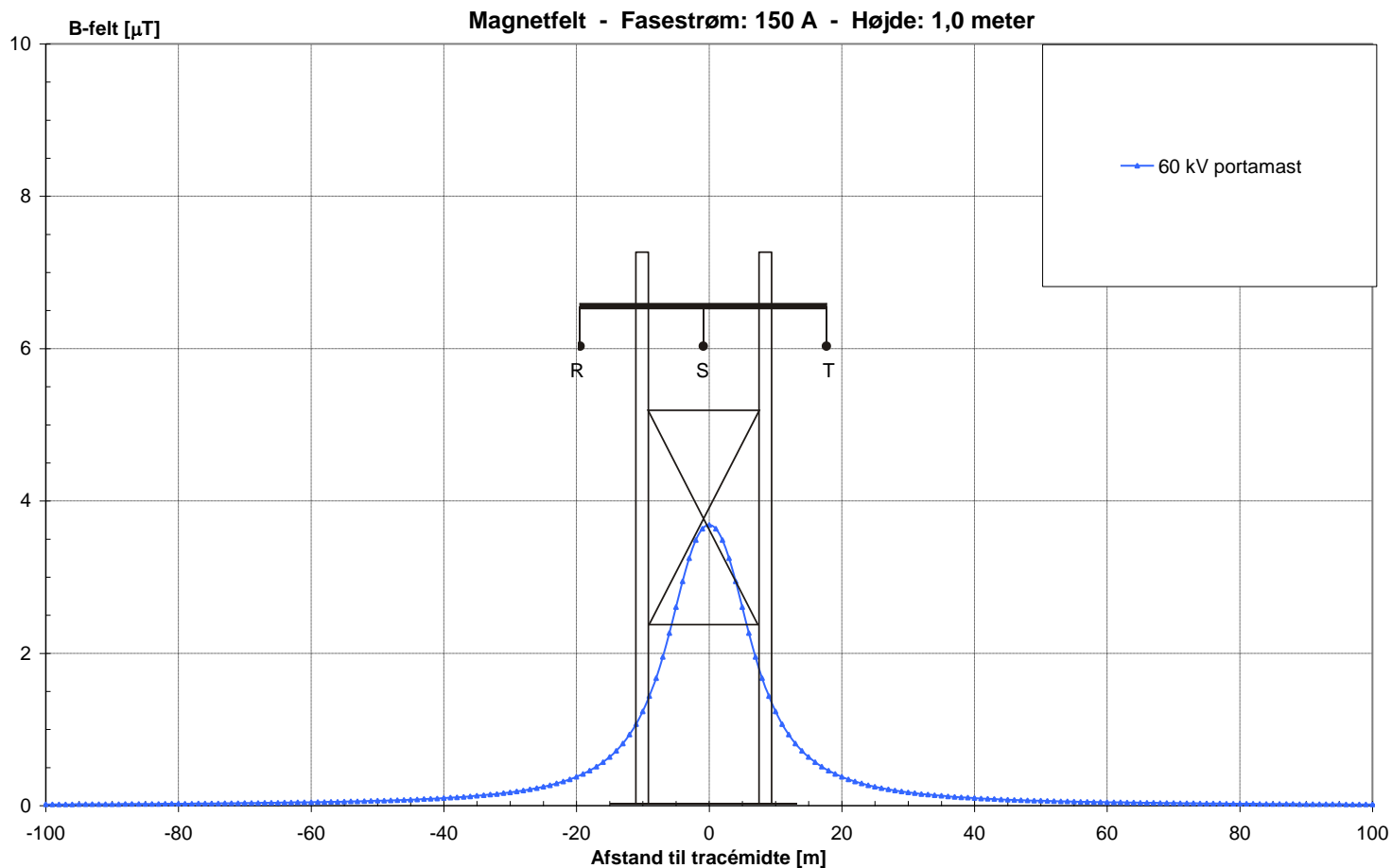
60 kV portalmast, med fasestrømmen 150 A, hvor faserne befinder sig i følgende koordinater (x;y):

R (-3,1;7,0)

S (0,0;7,0)

T (3,1;7,0)

Der er ingen jordleder medtaget i beregningen.



Afstand fra tracémidte	Magnetfelt [μT]
100	0,02
50	0,1
25	0,2
10	1,2
5	2,6
0	3,7

Køreledninger til fjernbaner

Køreledningerne ejes af Banedanmark og drives ved 25 kV.

Der er ikke til dette katalog foretaget konkrete beregninger af felterne, men Banedanmark oplyser, at felterne tæt ved køreledningerne kan være 2 -5 μT , mens de i ca. 10 m's afstand forventes at være omkring 0,4 μT . Nærmere oplysninger fås hos Banedanmark.

Bilag 3c

30-50-60 kV fladkabel

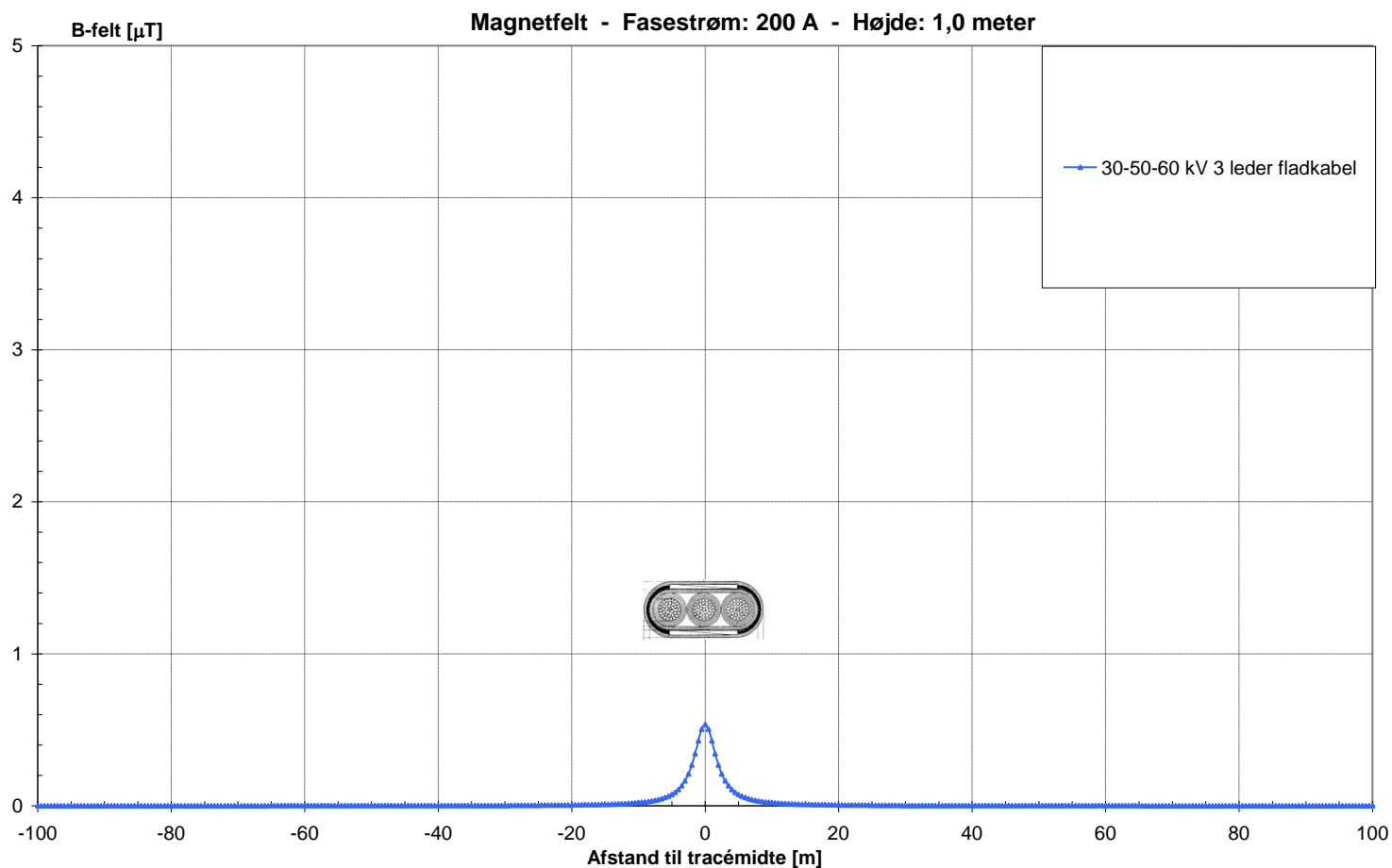
30, 50 eller 60 kV 3-leder fladkabel, med fasestrømmen 200 A, hvor faserne befinder sig i følgende koordinater (x;y):

R (-0,03;-1,0)

S (0,00;-1,0)

T (0,03;-1,0)

Bemærk at skalaen for magnetfeltet går op til 5 μT .



Bemærk at fasestrømmen på 200 A er højere end de 150 A som ellers er brugt i notatet. Dette begrundes med, at ovenstående kabel typisk anvendes i byområder som f.eks. København og Århus med dertilhørende højere gennemsnitlig belastning.

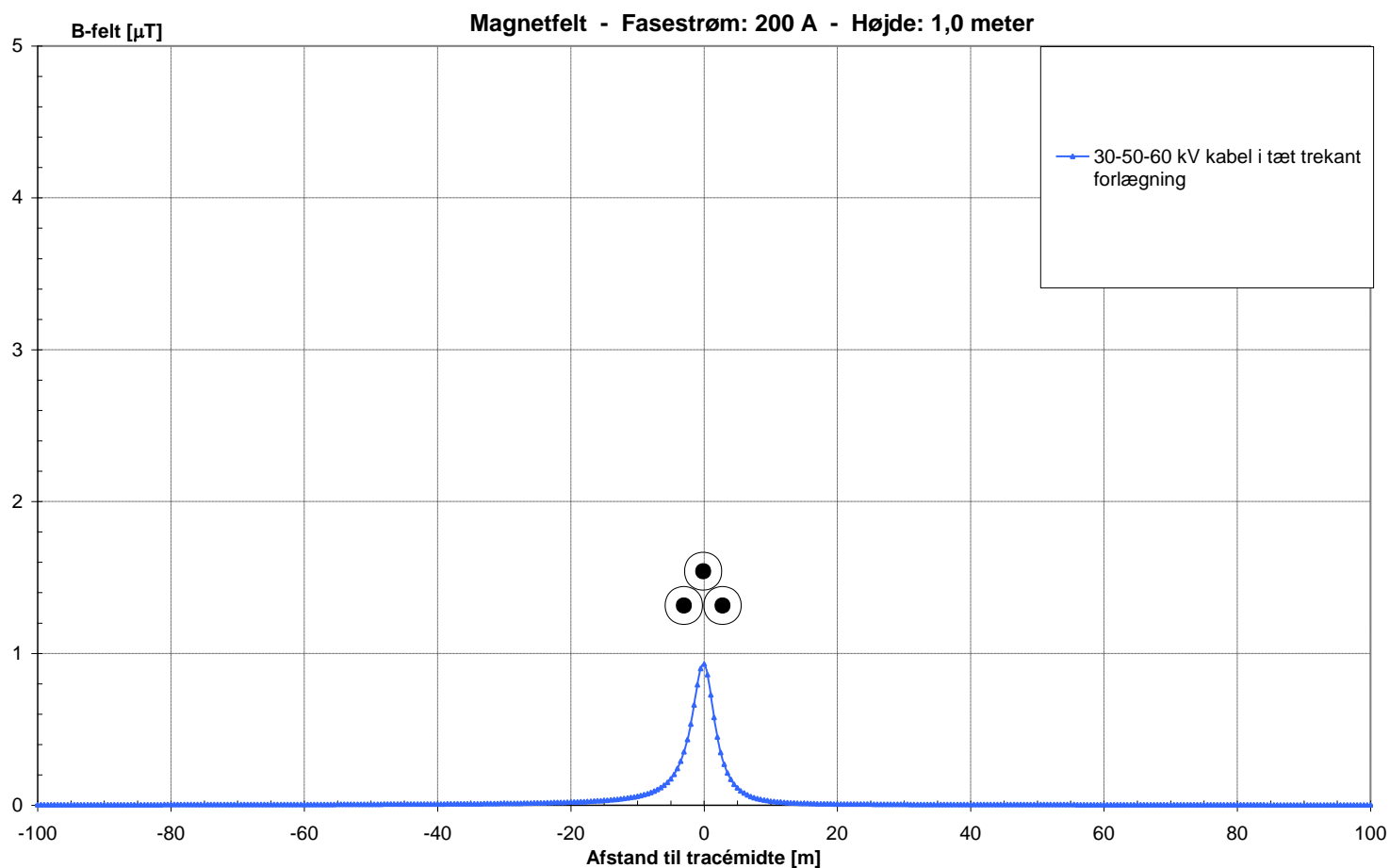
Afstand fra tracémidte	Magnetfelt [μT]
25	0,003
10	0,02
6	0,1
3	0,2
1	0,4
0	0,5

Bilag 3c

30-50-60 kV kabelsystem i tæt trekant

30, 50 eller 60 kV kabel i tæt trekant forlægning med fasestrømmen 200 A.

Bemærk at skalaen for magnetfeltet går op til 5 μT .



Bemærk at fasestrømmen på 200 A er højere end de 150 A som ellers er brugt i notatet. Dette begrundes med at ovenstående kabel typisk anvendes i byområder som f.eks. København og Århus med dertilhørende højere gennemsnitlig belastning.

Afstand fra tracémidte	Magnetfelt [μT]
25	0,02
10	0,1
6	0,1
3	0,4
1	0,8
0	0,9

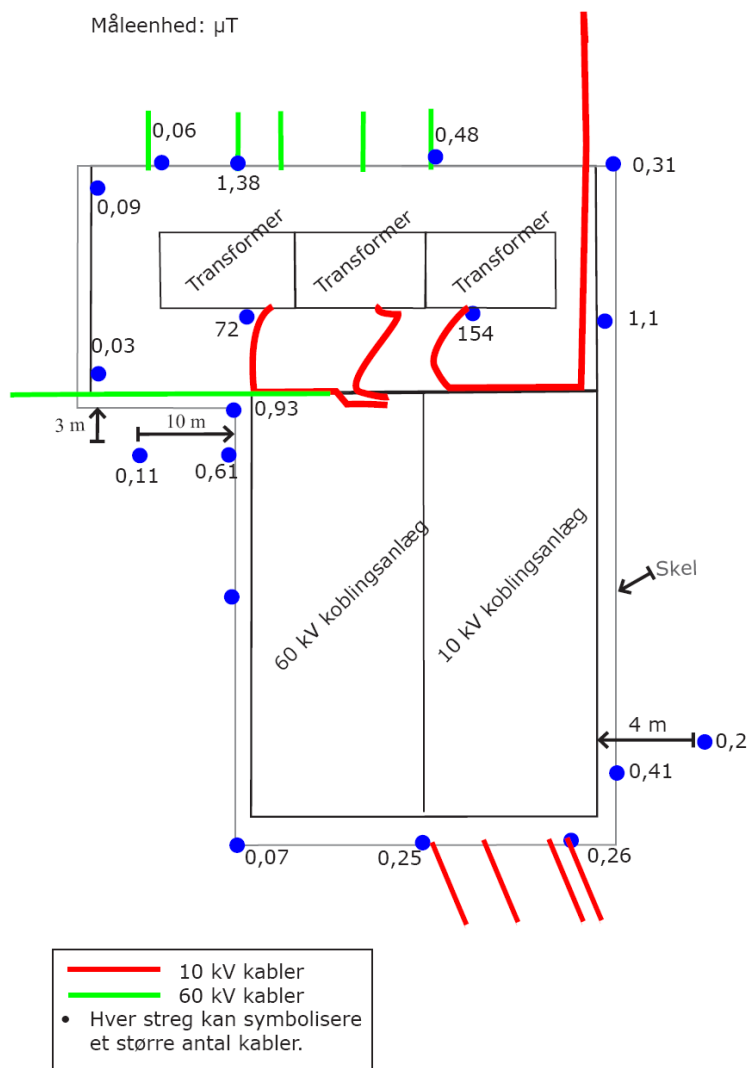
30/10, 50/10 og 60/10 kV stationer

Grundet forskellige stationers varierende layout er det ikke muligt at beregne magnetfeltet i og ved 50 og 60 kV stationer. Derfor tager notatet udgangspunkt i målinger i stedet for.

Gennemgående er magnetfeltet fra selve transformeren uden for stationens hegn/bygning normalt meget lille. De magnetfelter, der kan registreres stammer sædvanligvis fra ledningerne der går til og fra stationen. Angående magnetfeltet fra disse, henvises der til de andre afsnit i notatet.

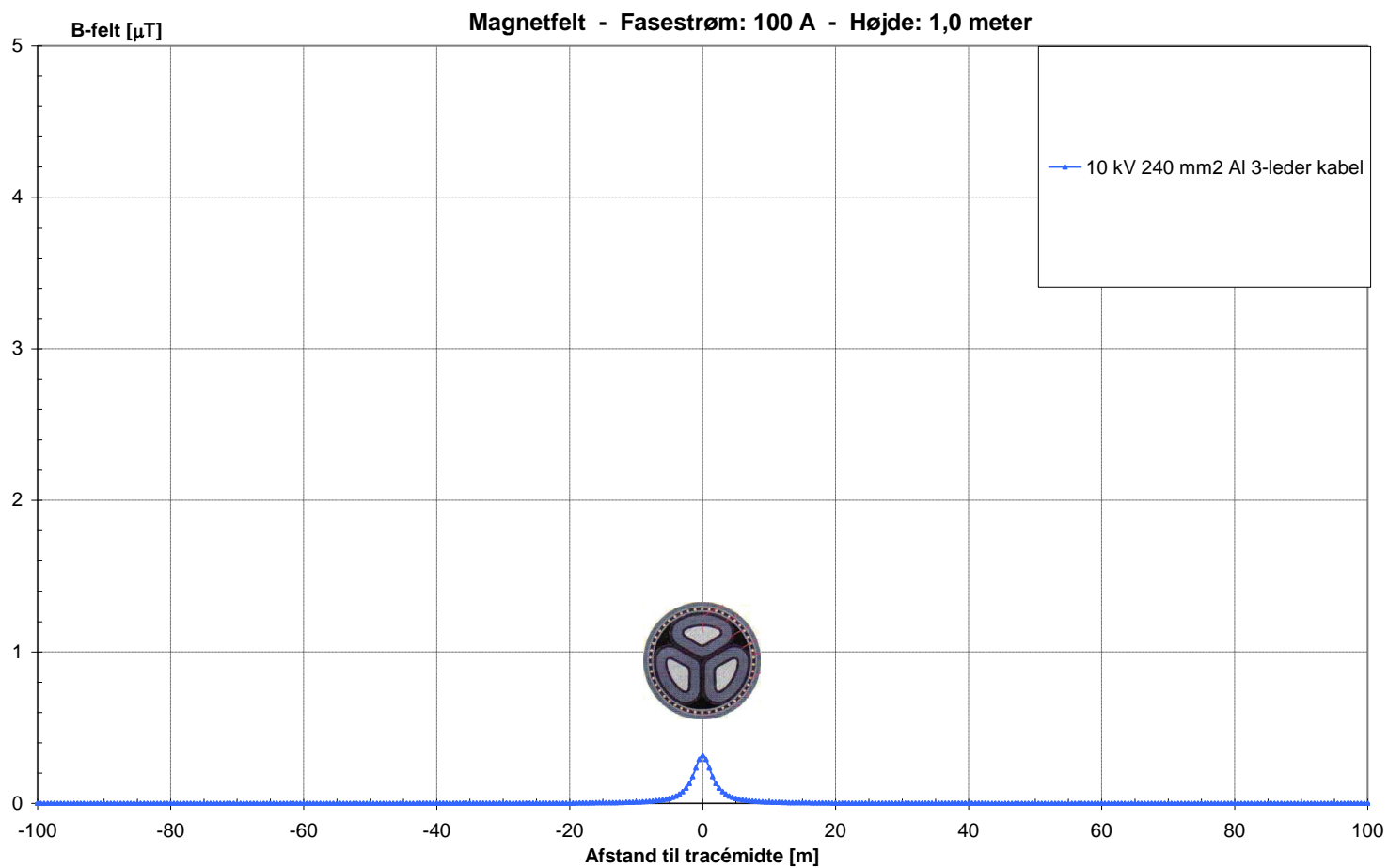
Måleeksempel fra større 60/10 kV station.

Generelt kan man sige om felterne fra stationen at ved hegnet eller muren kan man opleve felter der overstiger 0,4 mikrottesla, men at man få meter fra hegnet eller muren kan regne med at være under. På større afstande er det som nævnt de kabler der går ind til stationen, som har betydning for de målte magnetfelter, se bilag 3c.



Bilag 4 10 kV kabelsystem

10 kV 3-leder kabel med fasestrømmen 100 A. Bemærk, at skalaen for magnetfeltet her går op til 5 μT .



Afstand fra tracémidte	Magnetfelt [μT]
25	0,001
10	0,01
6	0,02
3	0,1
1	0,2
0	0,3

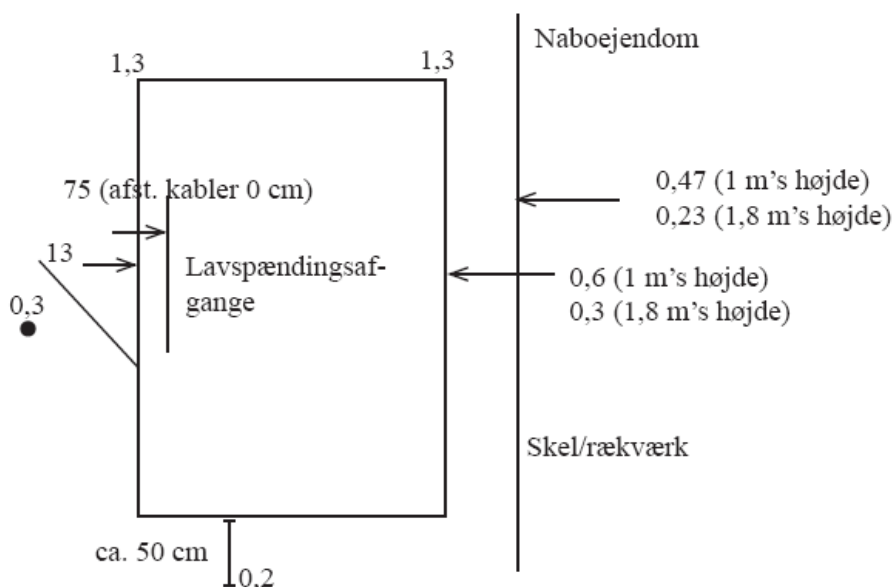
10/0,4 kV stationer

Grundet forskellige stationers varierende layout er det ikke muligt at beregne magnetfeltet i og ved 10 kV stationer. Derfor tager notatet udgangspunkt i målinger i stedet for.

Stationerne kan være anbragt i bygninger eller inddækket i fx trykimprægneret træ. Gennemgående er magnetfeltet i kort afstand uden for stationens inddækning normalt ganske lille. De magnetfelter, der kan registreres stammer i højere grad fra ledningerne der går til og fra stationen. Angående magnetfeltet fra disse, henvises der til de andre afsnit i notatet.

Magnetfeltet fra 10/0,4 kV stationer er normalt størst tæt på føringsvejen for 0,4 kV kablerne. Udenfor en muret station kan der typisk måles 20-40 mikrottesla tæt på muren dvs. i en afstand på ca. 25 cm fra kablerne som går op i bygningen. En meter over jord er feltet fra kablerne sjældent over 2-5 mikrottesla.

Planskitse og eksempler på målte felter ved en 10/0,4 kV station.



I nogle byområder kan sådanne stationer være anbragt i bolig- eller erhvervsbygninger. Afhængigt af stationens konstruktion kan der være ganske store felter tæt ved væg eller loft, som grænser op til stationen.

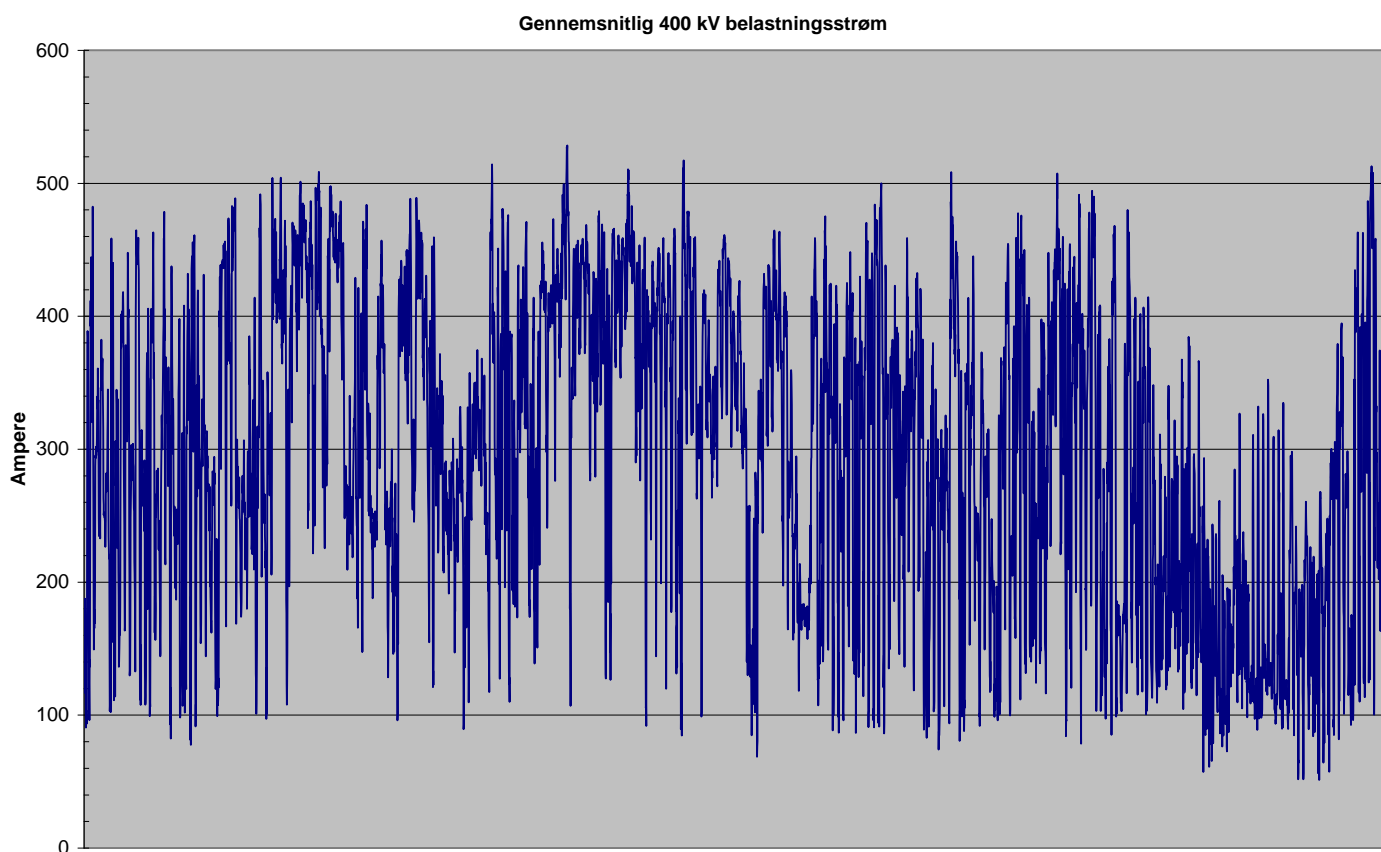
Ved åbne 10 kV anlæg giver den store faseafstand på ca. 30 cm nogle steder anledning til felter op til 20-40 mikrottesla tæt ved væg eller loft i det tilstødende lokale (set i lokale over station med åbent 10 kV anlæg i loftet).

Som en tommelfingerregel kan man antage, at nyere stationer ofte er mere kompakte konstruktioner end ældre og derfor har mindre magnetfelter.

Bilag 5

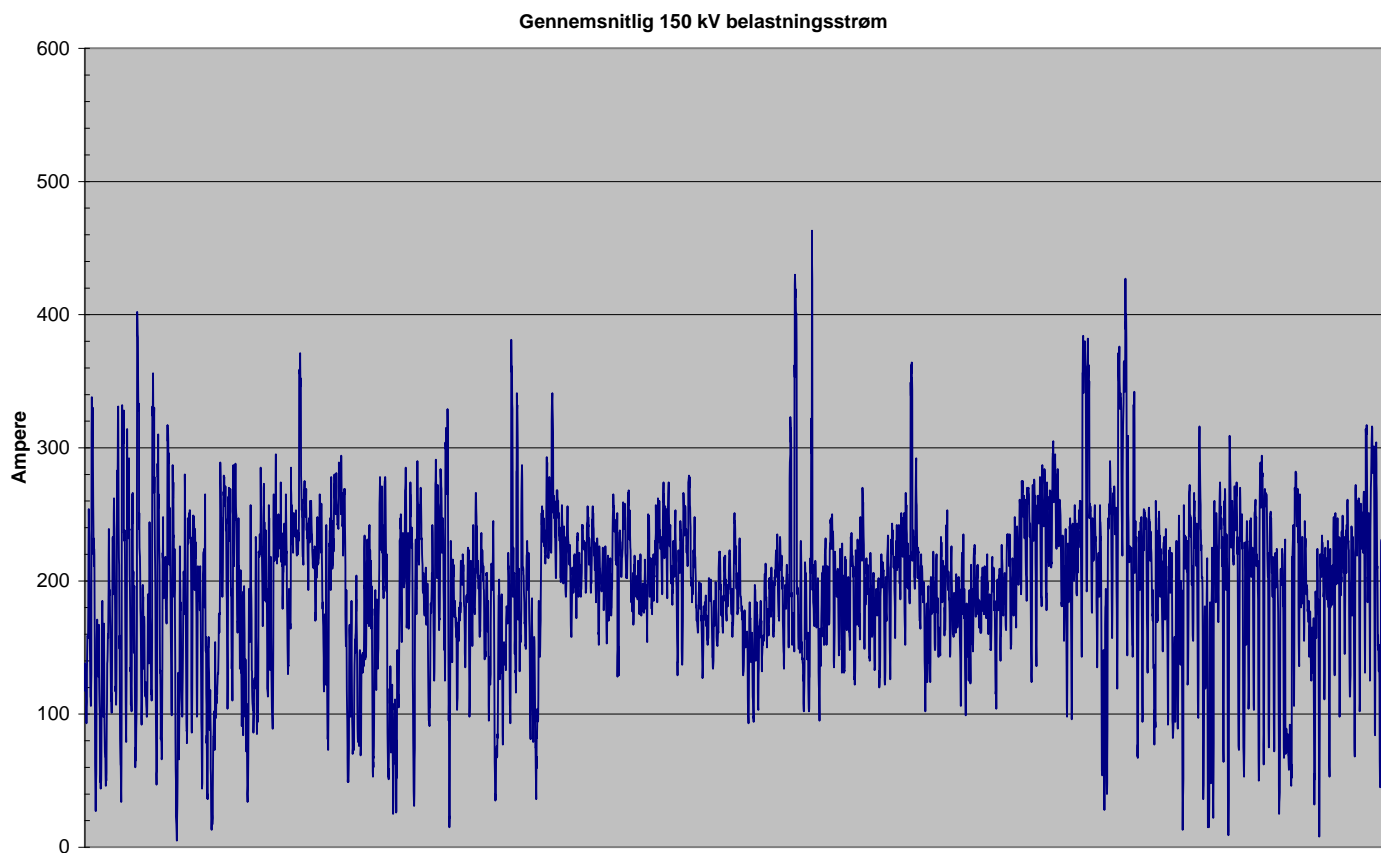
Tilfældige 400 og 150 kV ledningers historiske strømbelastning

Nedenstående graf illustrerer den gennemsnitlige belastningsstrøm for tilfældigt udvalgte 400 kV ledninger i perioden 1/1 - 14/9 2008.



Gennemsnitlig belastningsstrøm for 400 kV ledningerne Askær-Revsing, Endrup-Revsing, Audorf-Kassø, Kingstrup-Landerupgård, NVV-Ferslev, Idomlund-Tjele, Malling-Trige og NVV-Vester Hassing

Nedenstående graf illustrerer den gennemsnitlige belastningsstrøm for tilfældigt udvalgte 150 kV ledninger i perioden 1/1 - 14/9 2008.



Gennemsnitlig belastningsstrøm for 150 kV ledningerne Bredebro-Lykkegård, Ferslev-Mosbæk, Frauge-Svendborg, Hvorupgård-Fredensdal, Kassø-Magstrup, Askær-Thyregod og Trige-Åstrup

Appendix: 400 kV Kassø-Tjele

Tilføjelse i 2. reviderede udgave, oktober 2010

Udformningen af denne forbindelse er i skrivende stund endnu ikke endeligt vedtaget. Dette forventes at ske i løbet af efteråret 2010. I planlægningsfasen er flere mastetyper præsenteret, og det ventes at der vil blive anvendt jordkabler på et antal kortere strækninger i nærmere definerede fokusområder. I dette appendix præsenteres derfor magnetfelter ved de mastetyper, som kan blive aktuelle samt ved de planlagte kabelstrækninger.

Bemærk, at denne forbindelse adskiller sig ved en større overføringsevne end de i kataloget hidtil omtalte 400 kV-forbindelser.

Belastningsstrømme

Beregningerne for de nye 2-systemsledninger er derfor foretaget ved en gennemsnitlig (årsmiddel) symmetrisk fasestrøm på 750 A per ledningssystem. Denne værdi baserer sig på gennemsnitlige fremtidige belastningsstrømme. Disse fremtidige strømme bygger på SIVAEL prognoser for år 2015, hvor udvekslingen med udlandet og vindkraftproduktionen er øget i forhold til i dag, hvilket medfører højere strømværdier, og dermed højere magnetfelter, end på nuværende tidspunkt. Til sammenligning er middelværdien af strømmen i ledningen Kassø-Tjele i dag 400 A.

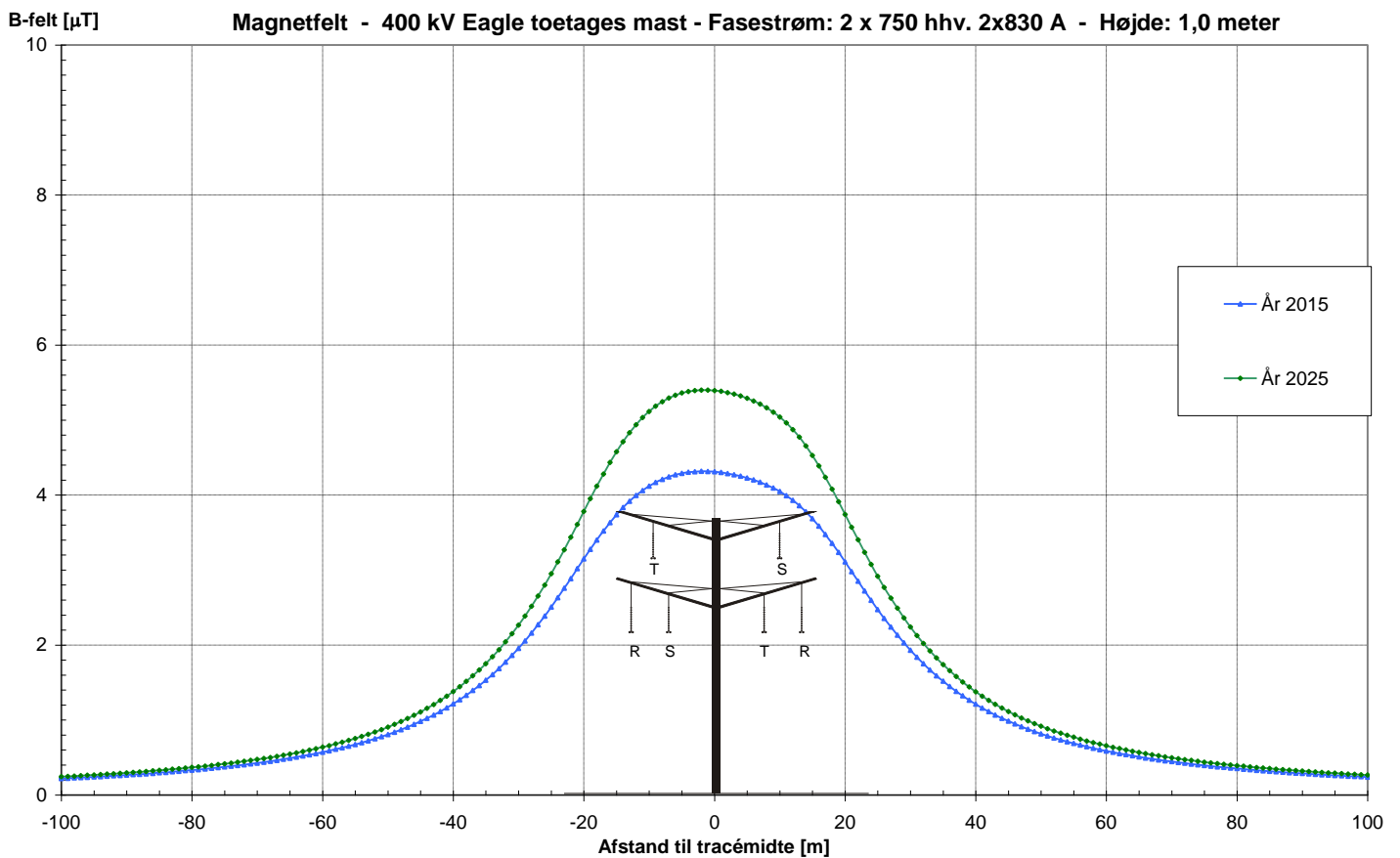
Der er ligeledes lavet en beregning for år 2025, hvor SIVAEL prognosen forudsiger en gennemsnit belastning på 830 A for hvert ledningssystem.

Bilag 1a - Magnetfelt for eagle to-etages mast og den typiske fremtidige belastning i år 2015 og 2025

400 kV eagle to-etages mast, med fasestrømmen 2 x 750 hhv. 830 A, hvor faserne og jordlederen hænger i følgende koordinater (x;y):

System 1:	System 2:
R (-13,4;15,8)	R (13,4;15,8)
S (-7,5;15,8)	S (9,9;27,1)
T (-9,9;27,1)	T (7,5;15,8)

Jordleder 1 (-15,2;35,0) Jordleder 2 (15,2;35,0)



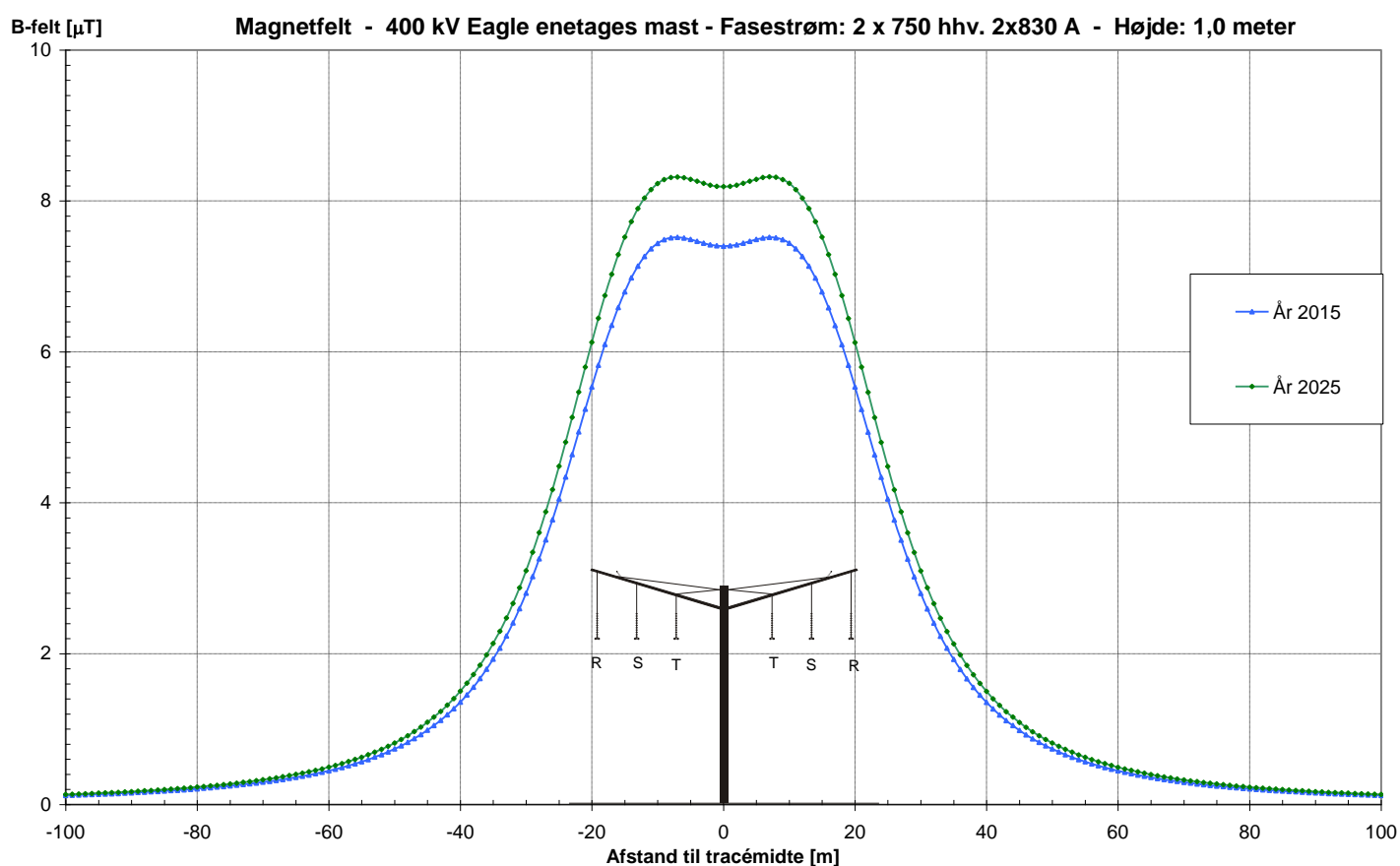
Afstand fra tracémidte	Magnetfelt 2015 [µT]	Magnetfelt 2025 [µT]
100	0,2	0,2
50	0,8	0,9
25	2,5	2,9
10	4,1	4,6
5	4,3	4,7
0	4,3	4,8

Bilag 1b - Magnetfelt for eagle en-etages mast og den typiske fremtidige belastning i år 2015 og 2025

400 kV eagle en-etages mast, med fasestrømmen 2 x 750 hhv. 830 A, hvor faserne og jordlederen hænger i følgende koordinater (x;y):

System 1:	System 2:
R (-19,3;15,8)	R (19,3;15,8)
S (-13,4;15,8)	S (13,4;15,8)
T (-7,5;15,8)	T (7,5;15,8)

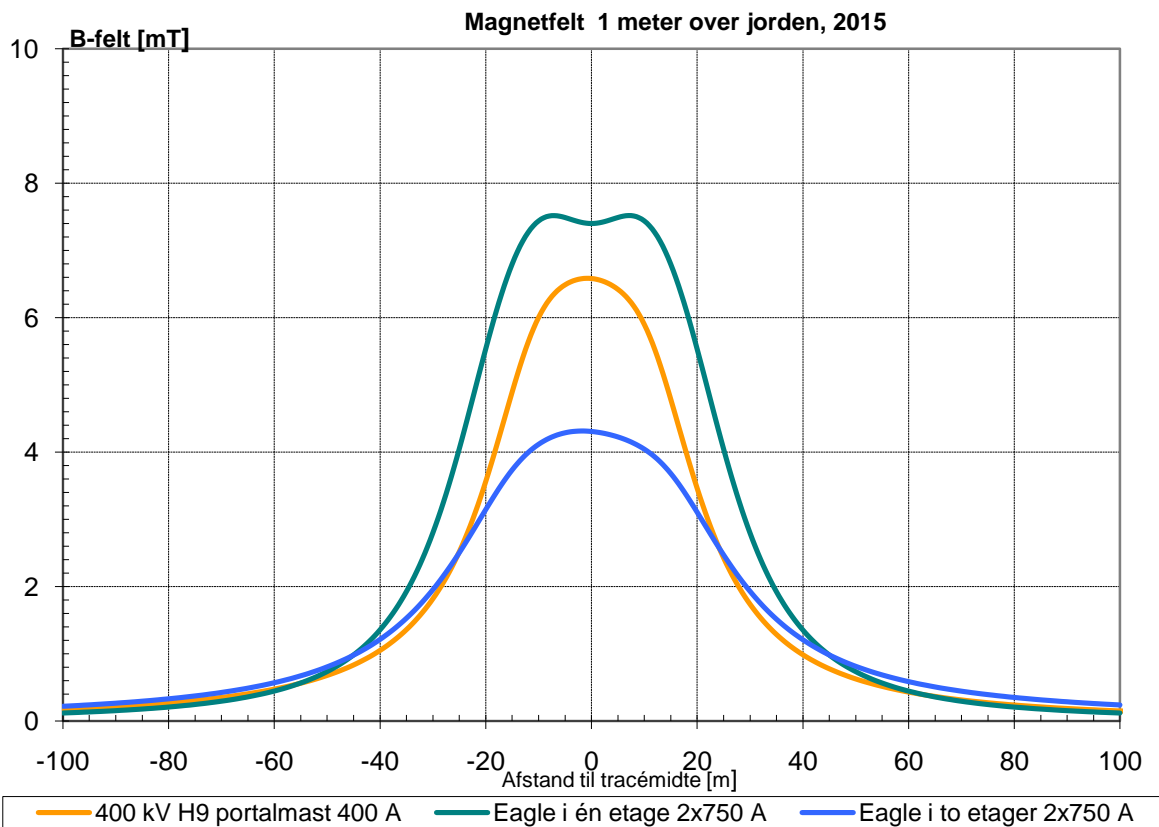
Jordleder 1 (-15,8;25,3) Jordleder 2 (15,8;25,3)



Afstand fra tracémidte	Magnetfelt 2015 [μT]	Magnetfelt 2025 [μT]
100	0,1	0,1
50	0,7	0,8
25	4,1	4,5
10	7,4	8,2
5	7,5	8,3
0	7,4	8,2

Bilag 1c – Sammenligning mellem magnetfelt ved de forskellige mastetyper.

Den eksisterende mastetype er en H9 portalmast, og der er her regnet med en gennemsnitlig årlig belastning for den eksisterende forbindelse på 400 A.

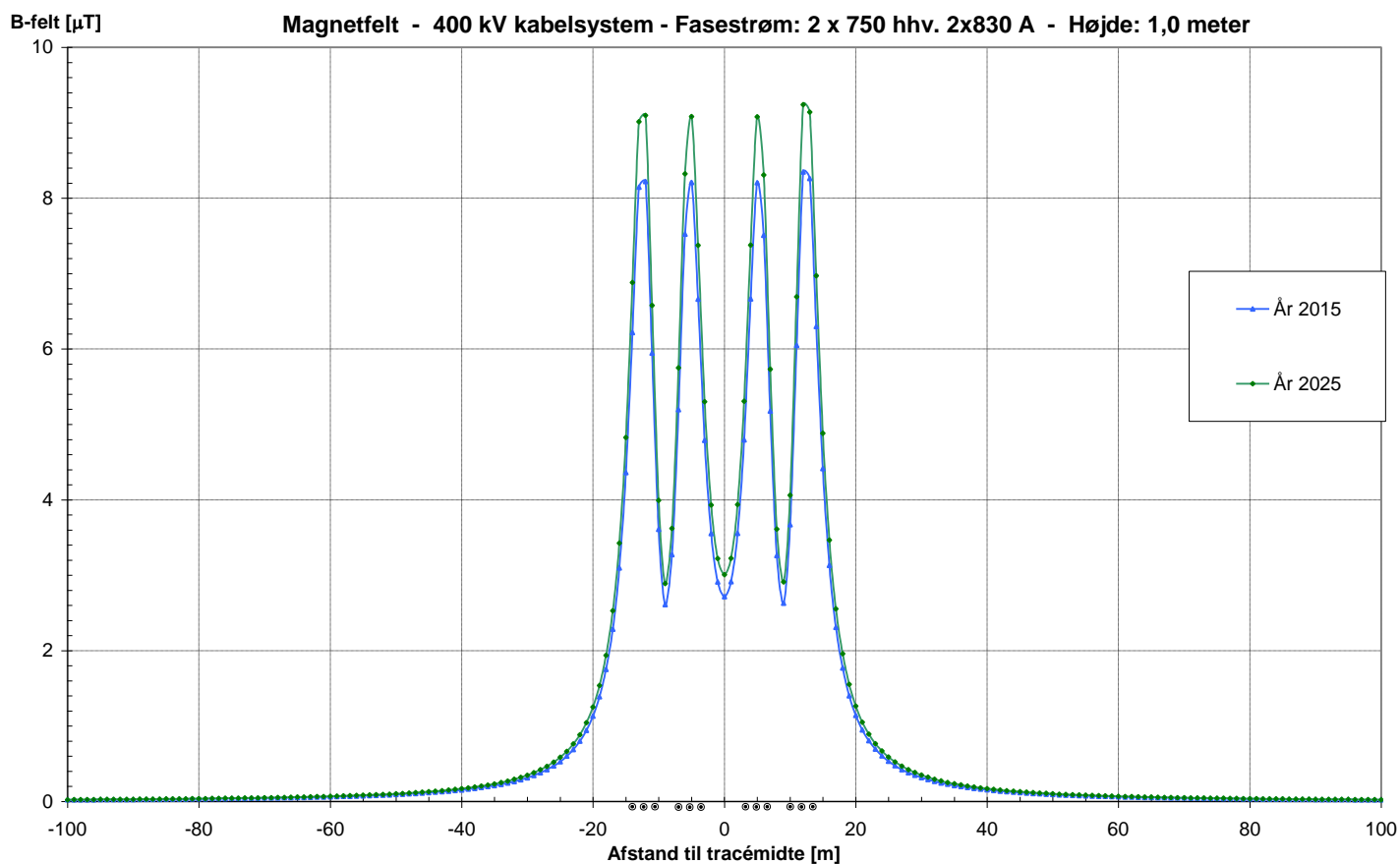


Bilag 2 - Magnetfelt for to parallelle kabelsystemer og den typiske fremtidige belastning i år 2015 og 2025

Fire 400 kV kabelsystemer, med fasestrømmen 2 x 750 A hhv. 830 A, hvor kablerne ligger i følgende koordinater (x;y):

System 1:	System 2:
R (-12,6;-1,3)	R (-5,8;-1,3)
S (-12,2;-1,3)	S (-5,4;-1,3)
T (-11,8;-1,3)	T (-5;-1,3)

System 3:	System 4:
R (5,0;-1,3)	R (11,8;-1,3)
S (5,4;-1,3)	S (12,2;-1,3)
T (5,8;-1,3)	T (12,6;-1,3)



Afstand fra tracémidte	Magnetfelt 2015 [μT]	Magnetfelt 2025 [μT]
50	0,1	0,1
25	0,5	0,6
10	3,6	4,0
5	8,2	9,1
0	2,7	3,0