Katalog: Magnetfelternes størrelse ved forskellige typer højspændingsanlæg



Katalog: Magnetfelt ved højspændingskabler og -luftledninger

3. udgave. April 2013

I denne udgave er fx tilføjet kabelsystemer, som er anvendt i nyere forbindelser samt en mere detaljeret beskrivelse af Banedanmarks kørestrømsanlæg.

Indledning

Måleenheden for magnetfelter er mikrotesla (μ T). 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 μT^1 eller mere.

Nye maste-/kabeltyper, som adskiller sig væsentligt fra de omtalte, indføjes ved førstkommende revidering af kataloget, når det er besluttet at anvende dem i praksis.

Felter, der slet ikke skifter retning kaldes statiske felter. Jordens magnetfelt er et statisk felt. Det samme er magnetfelter ved jævnstrøm. Statiske felter ved elforsyning er ikke omfattet af forsigtighesprincippet og de 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 μT 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 kræftrisiko.



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 en nedgravningsdybde på 1 meter på alle spændingsniveauer. Nedgravningsdybden kan i praksis variere. Typisk vil nedgravningsdybden øges 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

Virkningen af den tekniske udformning på det resulterende magnetfelt eksemplificeret 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 SIVAEL-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

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

I bilag 5 redegøres for nogle tilfældige 400 kV og 150 kV ledningers historiske strømbelastning i perioden 1/1-14/9 2008. Af bilaget fremgår fx, 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 (forrige side) 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 luftledning og kabel samt 220 kV (kabel)

Bilag 2 - 132/150 kV

- Bilag 3 30/50/60 kV
- Bilag 4 10 kV

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

Appendiks om kørestrømsanlæg til fjernbaner

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 x 500 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 givet 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 x 500 A, beregnet midt i spændet i jordhøjde (0 meter), taljehøjde (1 meter) samt i hovedhøjde (1,8 meter).



Magnetfelt - Fasestrøm: 2 x 500 A - Højde: 0 meter, 1 meter og 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 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 (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 Nordjyllandsvær-ket-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)	Т (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 fasernes ophængning. De forskellige fasekombinationer sammenlignes på næste side.

Bilag 1e Sammenligning af forskellige fasekonfigurationer

Sammenligning af forskellig fasekombination for en 400 kV Donau 2-systemmast, med fasestrømmen 2 x 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):	System 2 (150 kV):	System 3 (150 kV):
R (-13,0;15,5)	R (4,1;26,5)	R (4,3;17,7)
S (-10,4;24,3)	S (7,7;26,5)	S (9,3;17,7)
Т (-7,2;15,5)	T (11,3;26,5)	T (12,9;17,7)
Jordleder 1 (8,35;32,4)	Jordleder 2 (-8,35;32,4)	



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)
Т (-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)
Т (-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

Magnetfelt - Fasestrøm: 2 x 500 A - Højde: 1,0 meter B-felt [µT] 10 ← 400 kV 2-systemmast RST-RST 8 400 kV 2-systemmast RST-TSR, optimeret fasekombination 6 4 2 0 --100 -80 -60 -40 -20 0 20 40 60 80 100 Afstand til tracémidte [m]

Manual (Self Decoder and Dec 500 A Hadde d Orace (an

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

Som det fremgår af ovenstående figur kan 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 [µT]
100	0,2
50	0,9
25	3,2
10	7,5
5	8,1
0	8,2

Bilag 1k: 400 kV Kassø-Tjele

På den følgende sider vises en beregning af den nye forbindelse mellem Kassø og Tjele som eksempel.

Den er primært en luftledningsforbindelse, men der er anvendt jordkabler på et antal kortere strækninger i nærmere definerede fokusområder. En beregning af magnetfelter ved kablerne ses i Bilag 1q.

Til Kassø-Tjele blev flere nye mastetyper overvejet. Udfra et helhedssyn valgte man eaglemasten i to etager. I overvejelserne indgik størrelsen af magnetfelter, visuelt udtryk, borgersynspunkter m.v.

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 den tidligere luftledning. Til sammenligning var middelværdien af strømmen i ledningen Kassø-Tjele inden udbygningen 400 A.

Der er ligeledes lavet en beregning for år 2025, hvor SIVAEL-prognosen forudser en gennemsnitsbelastning på 830 A for hvert ledningssystem.

Bilag 1k - 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 2:
R (13,4;15,8)
S (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	Magnetfelt 2025
	[µT]	[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 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 μ T.



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

Bilag 1l 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 μ T.



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 μ T.



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 μ T.



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.



Magnetfelt - Fasestrøm: 2 x 500 A - Højde: 1 meter, centrumafstand mellem systemerne: 6 meter B-felt [µT]

Ovenstående 7,48 km lange kabelforlægning findes i Indkildedalen 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 - Magnetfelt for to parallelle kabelsystemer og den typiske fremtidige belastning i år 2015 og 2025 (Kassø-Tjele, delstrækninger)

Magnetfelt - 400 kV kabelsystem - Fasestrøm: 2 x 750 hhv. 2x830 A - Højde: 1,0 meter Flad forlægning xxxx



Afstand fra tracémidte	Magnetfelt 2015	Magnetfelt 2025
	[µT]	[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

Denne type kabelforbindelse anvendes på flere delstrækninger af Kassø-Tjele. Felterne er beregnet i 2015 og 2025 som beskrevet i "Vejledning: Forvaltning af forsigtighedsprincippet ..."

Bilag 1r 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	Magnetfelt kabel
	[µT]	[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

Bilag 1s 220 kV kabel

1 220 kV kabelsystem med fasestrøm på 500 A målt i 1 m over jorden. Kabelforbindelsen er lagt i flad forlægning med 30 cm mellem de enkelte ledere.



B-felt [µT]	Magnetfelt – fasestrøm: 500 A – Højde: 1 mete

Afstand fra tracémidte	Magnetfelt kabel
	[µT]
20	0,17
15	0,3
10	0,7
6	1,7
3	3,8
1	12,5
0	13,1

Denne type kabelforbindelse anvendes som landkabel i forbindelsen mellem ilandføringen fra havvindmøllepark Anholt og station Trige.

400 kV stationer

Grundet forskellige stationers meget 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. På 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 driftsituation blev følgende målt i 1990:

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

Baggrundsfeltet udendørs i stationen er 0,4-0,8 μ T.

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

Målingerne blev udført før Skagerrak 3 blev bygget, men der er ingen grund til at formode, at felterne fra selve stationsanlægget er væsentligt øget.

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

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) Magnetfelt - Fasestrøm: 400 A - Højde: 1,0 meter B-felt [µT] 10 ----- 132 kV portalmast 8 6 XXXXXXXXXX R S T 4 2 0 -100 -80 -60 -40 -20 0 20 40 60 80 100 Afstand til tracémidte [m]

132 kV 1-system portalmast, med fasestrømmen 400 A, hvor faserne og jordlederen hænger i følgende

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:	System 2:
R (-3,4;13,0)	R (3,4;21,4)
S (-4,55;17,2)	S (4,55;17,2)
T (-3,4;21,4)	T (3,4;13,0)
Jordleder (0,0;30,5)	



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



Magnetfelt	-	Fasestrøm: 400	Δ	-	Høide	1 () mete
magneticit					ine jac.	.,.	, ,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,

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 kV 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 kV eller 150 kV kabelsystem med fasestrømmen 400 A.



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

132/150 kV stationer

Grundet forskellige stationers varierende layout er det uladsiggørligt at beregne magnetfeltet i og ved 132 kV 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

25 kV kørestrømsanlæg til fjernbaner

Kørestrømsanlæggene ejes af Banedanmark og drives ved 25 kV.

Da kørestrømsanlæggene konstruktionsmæssigt adskiller sig en del fra elforsyningsanlæg, behandles de særskilt i Appendiks 1 sidst i dette dokument. Yderligere 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 μ T.



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 kV, 50/10 kV 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 mikrotesla, 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 μ T.



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 mikrotesla 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 mikrotesla.

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 mikrotesla 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 150 kV belastningsstrøm

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

Appendix 1

Kørestrømsanlæg 25 kV, 50 Hz til fjernbaner.

I Danmark anvendes vekselstrøm ved en frekvens på 50 Hz og en spænding på 25 kV til drift af fjernbaner. S-baner og Metro drives ved jævnstrøm og omtales ikke i denne sammenhæng. Anlæggene ejes af Banedanmark.

Kørestrømsanlæggene adskiller sig både i opbygning og driftsmønster fra elforsyningens højspændingslinjer. Magnetfelter ved et kørestrømsanlæg vil derfor også adskille sig noget fra felterne ved en sædvanlig højspændingsledning. I det følgende beskrives opbygningen i et kørestrømsanlæg. Derefter gives et eksempel på magnetfelter ved et typisk anlæg i en typisk situation.

1. Opbygning

Master og tilhørende komponenter i et køreledningsanlæg vil typisk være:

- 1. Mast
- 2. Køretråd
- 3. Returleder
- 4. Skinner
- 5. Nedleder
- 6. Sugetransformator (ikke hovedstadsområdet og Storebælt).

Strømmens vej i køreledningsanlægget er vist på næste side.

2. Reduktion af magnetfelter

Kørestrømsanlæg er på forskellig vis indrettet på en måde, der minimerer tekniske gener (elektriske forstyrrelser m.v.), som kan opstå på grund af magnetfelter fra de strømførende ledere.

Returlederen er anbragt så tæt på køreledningen som muligt. Det resulterende magnetfelt bliver derved mindst muligt.

Illustrationen på næste side viser, hvordan store dele af kørestrømsanlægget endvidere er opdelt i sektioner (maksimalt 3 km), der hver især er udrustet med såkaldte sugetransformatorer og nedledere. Inden for hovedstadsområdet og på Storebæltsforbindelsen anvendes sugetransformatorer ikke. På Storebæltsforbindelsen er de unødvendige, og i hovedstadsområdet kan de af tekniske årsager ikke fungere, hvor der er parallelle s-togsforbindelser (jævnstrøm).

Sugetransformere bevirker:

- 1. At gener i form af vagabonderende strømme og jordstrømme minimeres. (Returstrømmen "suges" op til returlederen.)
- 2. At magnetfelter, som skyldes et kørende tog, kun forekommer i afstanden mellem toget og den nærmeste nedleder, dvs. over en strækning på maksimalt 1,5 km ad gangen og kun i den korte tid, toget passerer denne strækning.
- 3. At forstyrrelser på anden elektronik/installationer derfor minimeres.

Illustration: Strømmens veje i et kørestrømsanlæg med sugetransformer:



Situation 1: Der kører ikke tog i dette afsnit. Skinne og køretråd fungerer som to ledere med ca. samme strøm (gns. 100 A) med modsat retning. Der er relativt lille afstand mellem lederne (3 m).

Målepunktets afstand: 1 m over skinne ca. og 4 - 5,5 m fra køreledning. Afstand til returleder lidt større. **Situation 2:** Der kører tog i dette afsnit. Skinne og køretråd fungerer som to ledere med ca. samme strøm (gns. 100 A) med modsat retning. Der er stor afstand mellem køretråd og returledere (5,0 -6,5 m). Afstanden mellem returledere (skinner) er 1,5 m.

Målepunktets afstand: 1 m over skinne ca. og 4 - 5,5 m fra køreledning.



3. Belastningsmønster og magnetfelt:

På en typisk strækning vil der i gennemsnit (over året) køre op til 10-12 eltog i timen. De vil hver især opholde sig i ganske få minutter i hver af de adskilte sektioner mellem nedlederne.

Der vil for hver sektion være to forskellige situationer:

Når der ikke kører tog i en sektion:

Strømmen i køreledning og returleder vil være ens og modsatrettede og i væsentlig grad udligne hinanden, fordi de to ledere er tæt på hinanden. Magnetfelterne vil derfor være små og aftage hurtigt med afstanden.



Magnetfelt beregnet ved: 100 A, køretråd 5 m over jorden og målehøjde 1 m over jorden.

Afstand i m	Magnetfelt (µT)	Magnetfelt (µT) (masteside)
0	3	3
5	1	2
10	0,4	0,7
15	0,21	0,3

Når der kører tog i en sektion:

Den normale strøm, el-tog og el-togsæt trækker, er fra 80 A og op til maksimalværdien på 500 A. Togenes strømforbrug er størst under acceleration og ved høje hastigheder. Beregningerne er udført med en værdi på 100 A, da dette i almindelig praksis og beskrivelse af anlæggene anvendes som en typisk situation. På strækningen mellem toget og nærmeste nedleder (maks. 1,5 km), vil skinnerne fungere som returleder. Da der i dette tilfælde er en relativt stor afstand mellem køretråd og de to returledere (skinner) vil feltet i disse ganske kortvarige perioder være lidt større end i situationen, hvor der ikke kører tog i sektionen.

Afstand i m	Magnetfelt (µT)
0	17,8
5	3,1
10	0,9
15	0,4

På de strækninger, hvor der ikke er installeret sugetransformere, vil magnetfelterne være meget lig de ovenfor beskrevne, idet returstrømmen over en strækning (ca. 200 m) vil gå i skinnerne, men efter en kort vej i skinnerne vil strømmen igen bevæge sig op i returlederen. Der er forbindelse fra returskinnen til returlederen ved hver tredje mast.