

EM POWER SYSTEMS
Elektrotechnisch Architecten

DC Tractievoeding Railsystemen: reductie EM emissie



EM Power Systems

Ir. D. van Bekkum
24-04-2013



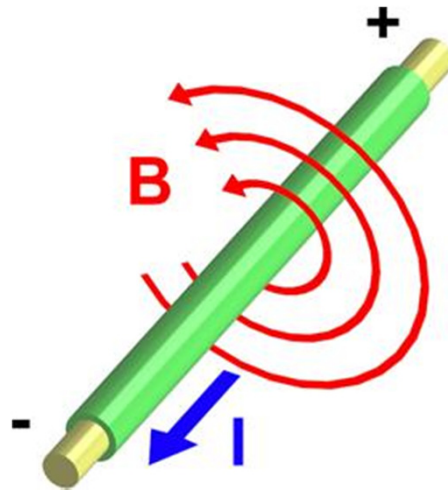
Overzicht

- Elektrisch railvervoer: magnetische velden
- Reductieprincipes
- Voeding railsysteem: schematisch
- B-velden van die voeding
- Reductie: het Delftse SystemConcept
- Conclusies

Stroom en Magnetisch Veld

Natuurkunde:

stroom en magnetisch veld behoren bij elkaar:



I en B zijn in lucht evenredig met elkaar



Stroom en Magnetisch Veld

EM velden veroorzaakt door stromen >
derde wet van Maxwell:

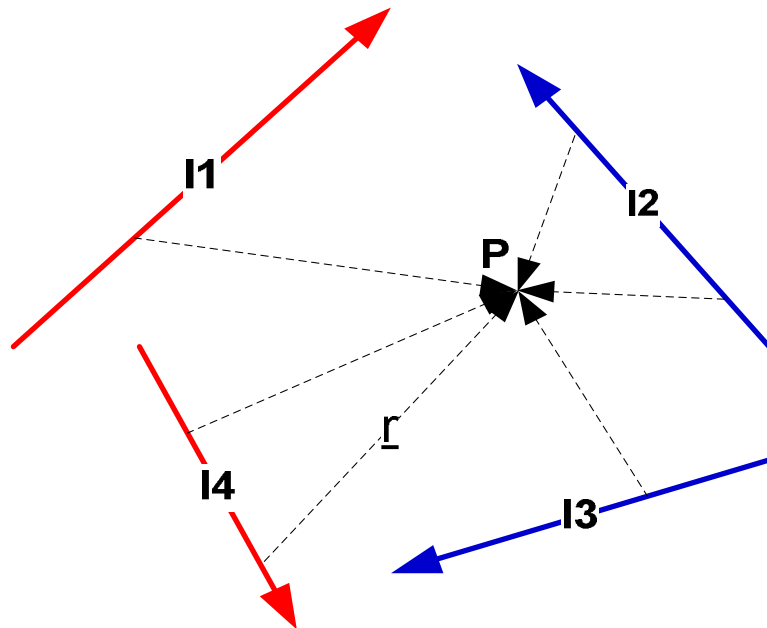
$$\nabla \times \mathbf{B} - \epsilon\mu \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} = \mu \mathbf{J}$$

Bij $E = \text{constant}$ en $J = \text{stroomdichtheid}$ in relatief
dunne geleider in lucht, dan: Biot-Savart

$$\overrightarrow{dB} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I(\overrightarrow{dl} \times \hat{r})}{r^2}$$

EMC: stromen en magnetische velden

- Bij stromen in meerdere geleiders



Het B-veld in een punt P wordt opgebouwd uit alle kleine bijdragen ΔB door alle stromen I in de ruimte. $\Delta B =$ een vector

Opbouw gebeurt door optelling van al die (kleine) vectoren.
Vectoren met dezelfde richting versterken elkaar.
Vectoren met tegengestelde richting verzwakken elkaar.

Als I groter: dan ΔB groter
Als afstand r tot I groter: dan ΔB kleiner

- Er is goed aan te rekenen en te meten
- Dat hebben we allebei gedaan



B-velden van DC tractievoedingen

Voor de omgeving lastige eigenschappen:

- velden veranderen (langzaam) in grootte & richting
 - dus: niet stationair
 - en: (zeer) laagfrequent
- stromen (in voertuig) verplaatsen zich in de ruimte
- lengte van geleiders verandert
- de veranderingen zijn “onvoorspelbaar”

Lastig voor welke omgeving?

- apparaten die zelf een voorspelbaar en nauwkeurig magnetisch veld (moeten) opwekken



Probleemlocaties

- Spoor- en tramlijnen veroorzaken dilemma tussen
 - goed elektrisch vervoer
 - goed functionerende werkomgeving
- Situaties: spoor- en tramlijnen langs
 - ziekenhuizen
 - onderzoeks instituten
 - productie faciliteiten
- Delft, Leiden, Groningen, Utrecht
- Heidelberg, Parijs, Ulm



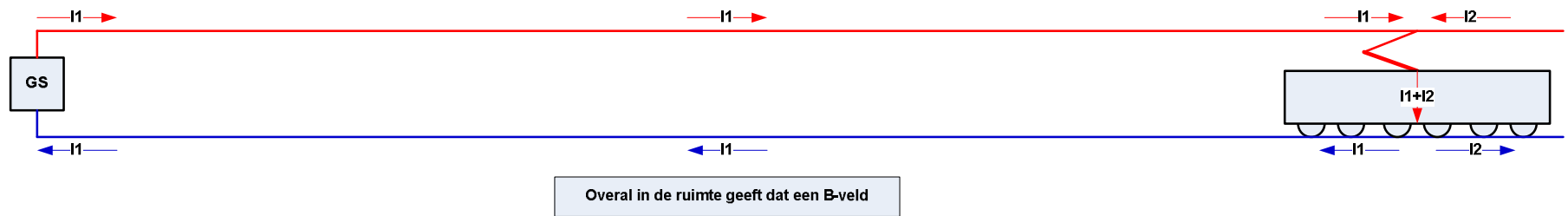
Reductie principes

Verkleinen van het magnetische veld d.m.v.:

- verlagen van de stroom I
 - vergroten van de afstand r
 - verkorten van de geleiderlengte L
 - opwekken B-veld in de tegenrichting
-
- wat zijn de mogelijkheden, uitgaande van een standaard systeem met bovenleiding

Conventionele Tractievoeding

- heengaande stromen door bovenleiding
- retourstromen door spoorstaven en (soms) ten dele door de ondergrond

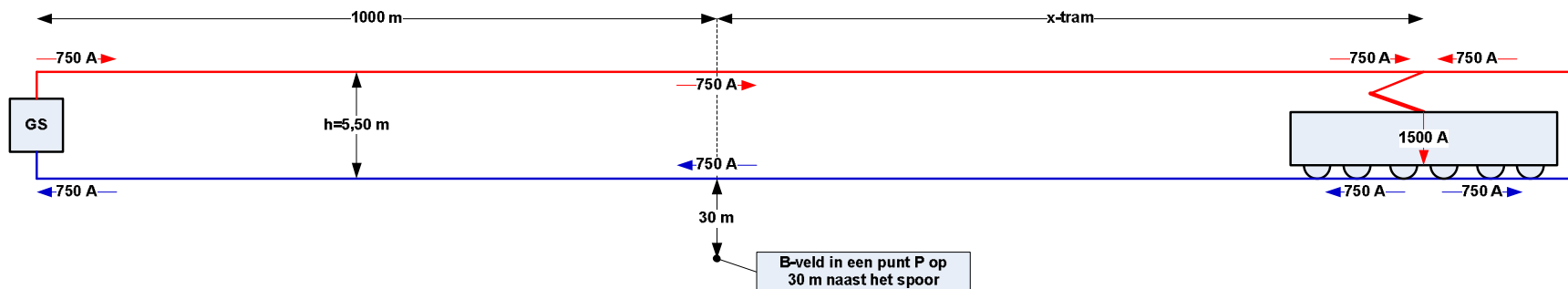


Overal in de ruimte: B-veld

- in elk punt geldt: grootte en richting hangen af
 - positie tram t.o.v. waarnemer
 - grootte van de stromen (bijv. I_1 en I_2)

Getallen

Voorbeeld: grootte van het B-veld in een punt P:



- x-tram = 1000 m - $|B_p| = 906 \text{ nT}$
- x-tram = 500 m - $|B_p| = 909 \text{ nT}$
- x-tram = 100 m - $|B_p| = 943 \text{ nT}$
- x-tram = 25 m - $|B_p| = 1028 \text{ nT}$
- x-tram = 0 m - $|B_p| = 941 \text{ nT}$



Vereenvoudigd model

Als tram ver weg van punt P

(ter plaatse van P enkelzijdige voeding)

- (horizontale) stromen door bovenleiding en spoorstaven zijn dominant

B-vector: $B_x=0$, $B_y=-900$, $B_z=+108$ nT

Als tram dicht bij punt P

(ter plaatse van P tweezijdige voeding)

- (verticale) stroom door de tram is dominant

B-vector: $B_x= +941$, $B_y=0$, $B_z=0$ nT

- B is groot, ook al is tram kilometers ver weg



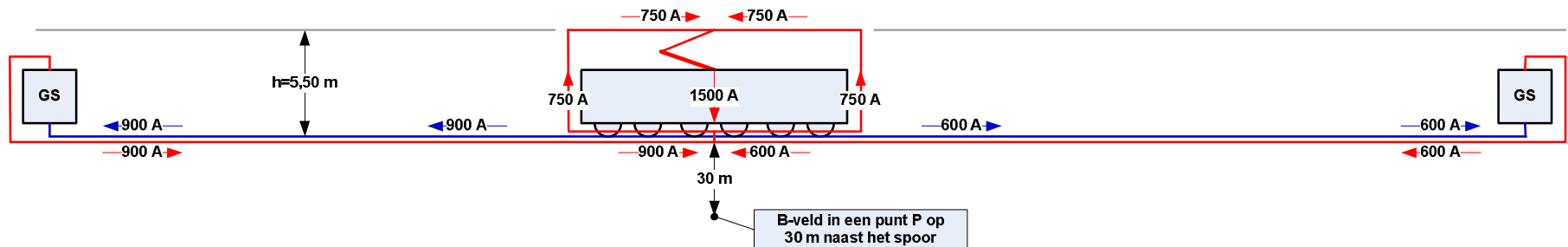
Reductie, maar hoe?

- verlagen van de stroom I
 - kan effect hebben op vervoersprestaties
- vergroten van de afstand r
 - ander trace of verhuizen apparatuur
 - in de meeste gevallen onvoorstelbaar duur
- verkorten van de geleiderlengte L
 - voeden vanaf kortere afstand
 - on-board energie, meer voedingsstations
- opwekken B-veld in de tegenrichting
 - actief systeem voor B-veld compensatie

het Delftse SystemConcept

Combinatie van verschillende principes:

- Voedingskabel op spoorniveau
- Korte secties voeding bovenleiding (10-40 m)
- zeer schematisch voor 1 sectie:



- $|B_p| = 95$ nT ($B_x = +95$, $B_y = 0$, $B_z = 0$)
- **dus reductie tot ongeveer 10%**

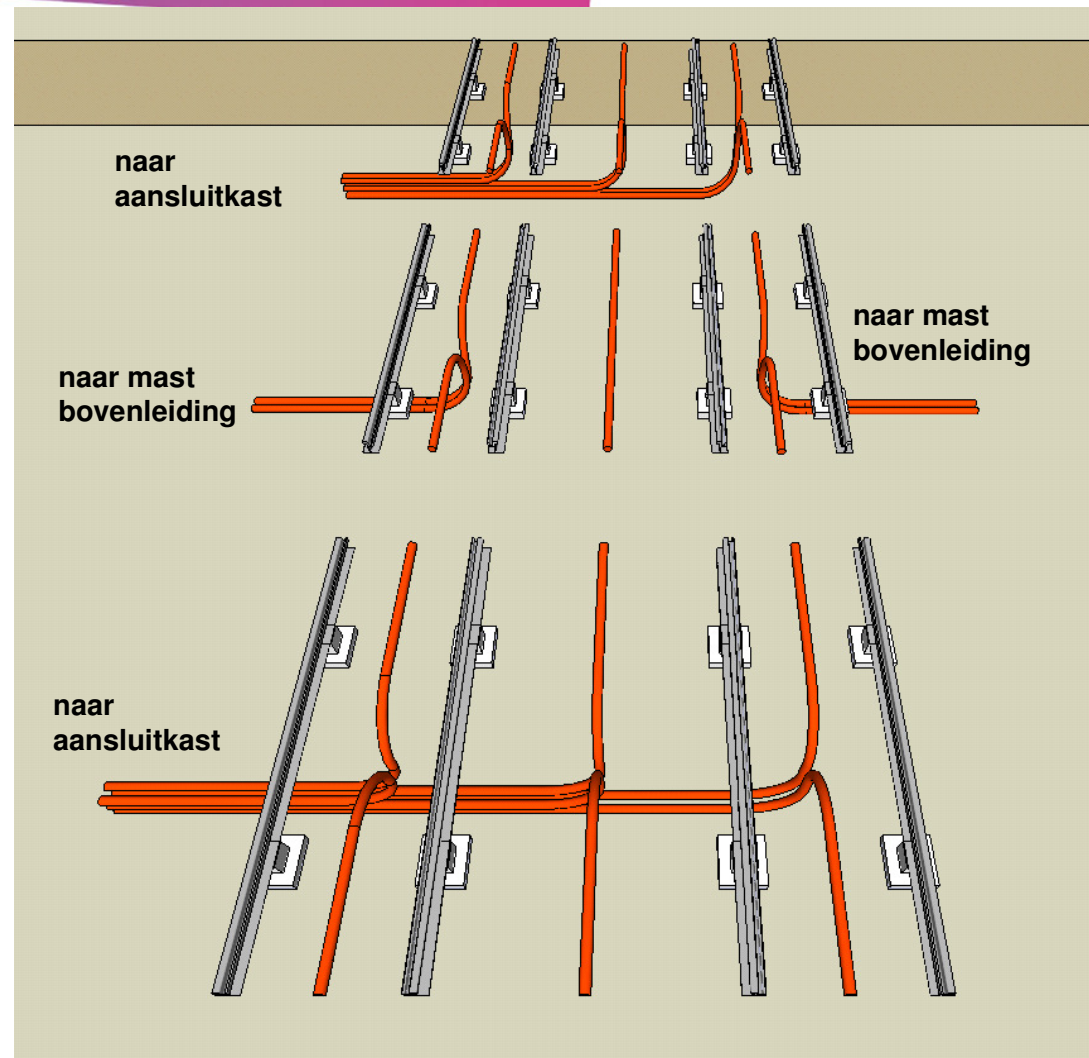


Realisatie

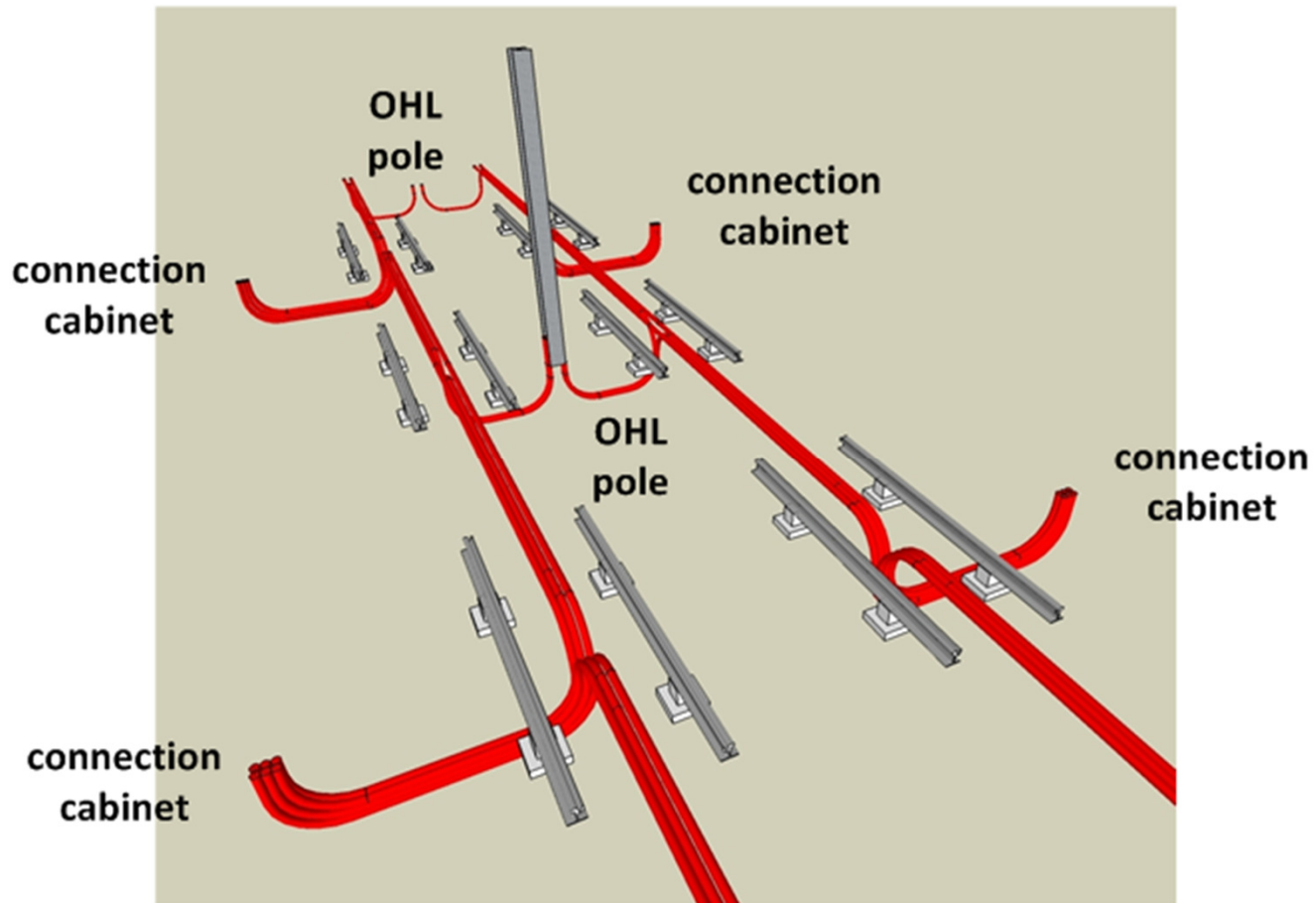
- Variaties op een concept:
 - voedingskabels per spoor of per baan
 - verbindingen met moffen of met aansluitkasten
 - toepassen bij zijmasten of middenmasten
 - posities en grootte voedingsstations
 - lengte van secties
 - wel of geen bovenleiding scheidings
 - elektrische configuratie van voertuigen
 - etc., etc.

Realisatie: Delft

- Projectering kabels in een 3-D ruimte
- Nauwkeurig bouwen



Ontwerp: Utrecht





Rijdraadscheider: IRV

Essentieel onderdeel van het concept: scheider

- geen spanningsscheider
- wel een stroomonderbreker
- passeren met volle tractiestroom
- toepasbaar in grotere aantallen (elke sectie)
- licht gewicht (geen "hard" punt in rijdraad)
- geen slijtage (i.v.m. onderhoud/vervanging)
- geen vonkvorming
- etc., etc.

Rijdraadscheider: IRV

Zelf ontwikkeld: Isolerende Rijdraad Verbinder(IRV)

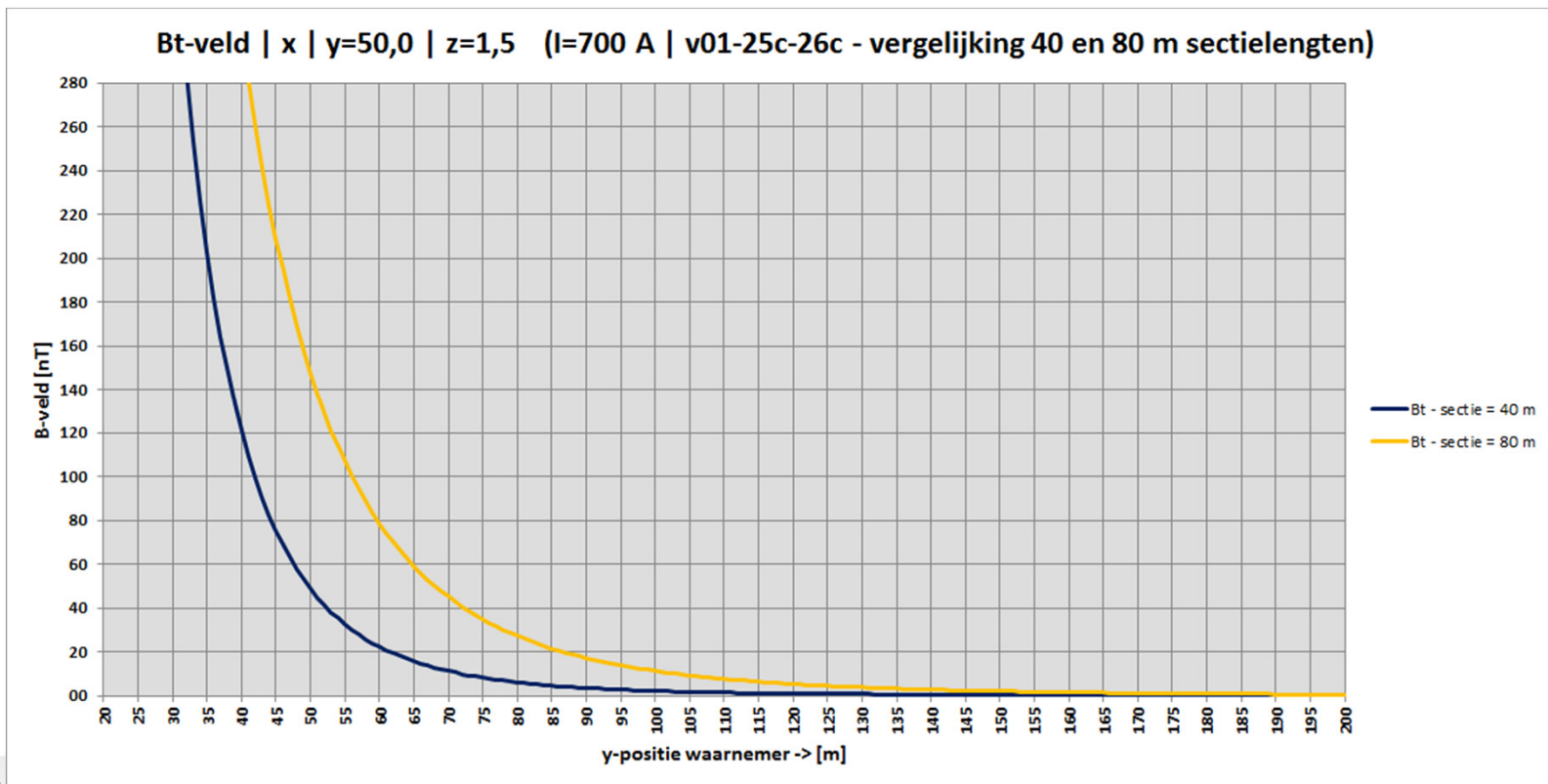
- scheiden van stroom, geen spanning (< 16 Vdc)
- vonkt nauwelijks ($E < 10$ J)
- maak-voor-verbreek (spleet $< 0,05$ m)
- licht gewicht (approx. 1,8 kg)
- eenvoudig te installeren
- geen mechanische slijtage



Functionaliteit

Prestaties van het systeem:

- reductie van het B-veld tot 10% van conventioneel
- grootte B-veld evenredig met $1/r^3$





Conclusie

Eigenschappen Systeem Concept:

- overal in de tramlijn inpasbaar
- geschikt voor "standaard" trams
- robuuste hardware, standaard onderdelen (kabels, kasten, bouten, moeren)
- relatief weinig extra bouwkosten
- nauwelijks extra slijtage
- geen degeneratie
- weinig méér onderhoud dan conventioneel systeem



Conclusie

**Dank voor uw aandacht!
Vragen? Opmerkingen?**

www.empowersystems.nl
DvB@empowersystems.nl