

PathFinder

PathFinder © is een baanbrekend planconcept van Bosvariant ScheppingsStrategen.

Achtergrond

De magneet zweefbaan (MZB) naar het noorden van het land staat al lang ter discussie. Ook elders in de wereld komt de magneet zweef trein (MZT) moeizaam van de grond.

De hoge investeringen van de infrastructuur zijn een groot struikelblok. Dat geldt ook voor andere vormen van snel vervoer vanwege de omgekeerde relatie tussen reissnelheid en baanbenutting. Hoe sneller de trein, hoe korter de tijd dat elke meter fysiek bereden wordt. Bij 300 km/h en een half uursfrequentie is de benuttingsgraad slechts 0,03 %.

Het geringe rendement blijkt de grote investeringen steeds moeizamer te rechtvaardigen. De MZB vraagt een doorgaande stijve betonbaan. Een alternatief als de snelbus met een relatief goedkopere asfaltbaan schuift zich nu naar voren. Welk antwoord kan de MZB hierop geven?

De MZB wordt wel vergeleken met "aards vliegen". Het grote verschil is echter dat vliegen uitsluitend een start- en landingsbaan vergt. De lucht gedurende de tussenvlucht is gratis. Inspiratie is hieraan ontleend voor het concept van de PathFinder ©.

Pathfinder

De trein zelf tot een brug te maken, is het concept van de PathFinder ©. De MZT is de overspanning van de brug die van steunpunt naar steunpunt zweeft. De steunpunten geven zweefvermogen en aandrijving. De doorgaande betonbaan van de brug vervalt. Alleen de steunpunten tussen de overspanning resteren: pijlers voor hoge trajecten en padstenen op maaiveld.

Treinlengte en overspanning staan in minimumrelatie tot elkaar. Bij 30 meter overspanning meet de trein minimaal tweemaal deze afstand. De PathFinder © rust dan steeds op tenminste twee steunpunten. Bij een traject op maaiveld is de overspanning te verkorten, zodat de trein op meer punten tegelijk rust.

De PathFinder © heeft een gelede treinromp. De geledingen dragen elkaar in de afwisselende uitkraging tussen de steunpunten. Onderling zijn de geledingen ook beweegbaar en draaibaar waardoor horizontale en verticale wendingen in het tracé zijn te nemen door uitoefening van stuurkrachten op elkaar.

Behalve de kostenreductie in de infrastructuur is een ander groot voordeel dat de balkloze baan minder opvallende horizonvervuiling geeft. De PathFinder © past daarmee beter in het landschap.

Zweven en aandrijven

Het zweven en aandrijven van een MZB is gebaseerd op het principe van de uitgerolde lineaire motor. Er zijn mondiaal echter verschillende systemen ontwikkeld: afstoting of aantrekking tussen trein en baan, en de passieve of actieve wisselwerking daartussen, evenals de wijze van treinvoeding.

Anders dan het Japanse systeem van inductieve afstoting bij supergeleiding, richt het Europese systeem zich op actieve aantrekking van elektro-magneten. De primaire aandrijfcomponent ligt in de baan, en het voertuig is de secundaire component. Stroomvoorziening gaat via inductie door lineaire generators.

Het zweef- en aandrijfsysteem van de PathFinder © dient nog verder ontwikkeld te worden. Uitgangspunt is een zo groot mogelijke (kosten)reductie van de infrastructuur. Afstoting komt het dichtst in de buurt van het echte zweven. Het gehele bovenvlak van een steunpunt is dan te benutten als draagvlak. Ook zou de zweef- en aandrijfcomponent zoveel mogelijk in de trein moeten liggen.

Permanente magneten in de trein kunnen het primaire draagvermogen geven, die te combineren zijn met elektro-magneten voor de regeling van stabiliteit en stuurbaarheid. In de baan liggen elektro-magneten. Instabiliteit en geleiding is een belangrijk punt van onderzoek bij dit afstotingsmechanisme. Horizontale geleiding via wandmagneten in u-betonbakken is ongewenst vanwege minimalisatie infrastructuur. Een noppen-patroon van individueel aanstuurbare elektro-magneten over de breedte van het steunpunt kan de trein mogelijk horizontaal én vertikaal geleiden.

Zoetermeer, 12 november 2005

ir. Willem Bos

Bijlage 1: Referentiegegevens Transrapid

Referentie zweeftrein (Transrapid)

Lengte:	75 m (per sectie ca 25 m)
Breedte:	3,7 m
Bezetting:	310 stoelen (per sectie ca 100 stoelen)
Leeggewicht:	159 ton (per sectie ca 53 ton)
Volgewicht:	ca 185 ton (incl. 310 plaatsen x 85 kg)
Leeggewicht:	ca 500 kg/stoel
Bedrijfsweerstand:	200 N/stoel bij 400 km/h
Energieverbruik:	22 Watt-uur/(stoel.km) bij 200 km/h 34 Watt-uur/(stoel.km) bij 300 km/h 52 Watt-uur/(stoel.km) bij 400 km/h

Referentie betonconstructie zweefbaan

Afmetingen brugdeel:	2 m hoog bij 1,5 m breed (3 m ³ /m ¹)
Overspanning:	31 m
Gewicht:	7,2 ton/m ¹ ofwel 216 ton per pijler

Referentie zweef- en aandrijfsysteem

1. elektronisch bestuurd elektromagneet in voertuig en ferromagnetische (reactie)rails in baan
 2. primaire aandrijfcomponent in de baan: statorspoelen met driefasenmotorwikkeling
 3. variërend elektro-magnetisch veld: wisselstroom in baan bekrachtigd in baan/treinmagneet
 4. hefsysteem voertuig: contactloos van energie voorzien via lineaire generators in treinmagneten.
-

Bijlage 2: Verkenning zweef- en aandrijfsysteem

1 Zweefbaansystemen

Europees systeem

Zweven en aandrijven op basis van lineaire motor en het aantrekkingsmechanisme van magneten en zijwaartse stabilisatie met extra magneten, met de baanuitvoering in T-ligger:

1. elektronisch bestuurd elektromagneet in voertuig en ferromagnetische (reactie)rails in baan
2. primaire aandrijfcomponent in de baan: statorspoelen met driefasenmotorwikkeling
3. variërend elektro-magnetisch veld: wisselstroom in baan bekrachtigd in baan/treinmagneet
4. hefsysteem voertuig: contactloos van energie voorzien via lineaire generators in treinmagneten.

Reactierails ad 1. lijkt niet geheel juist, omdat reactie associeert met inductie en het aantrekken van Siemens gebeurt op grond van het opgedrukte magnetische veld, in tegenstelling tot het japanse afstoten dat gebaseerd is op het veld als gevolg van de aan de overzijde geïnduceerde stroom.

Japans systeem

Japanees systeem is gebaseerd op afstoting en zijwaartse stabilisatie met extra magneten. Dit systeem is blijkbaar gebaseerd op Amerikaans maglev-principe. "als magneten dichterbij komen wordt veld groter" en "draaistromen die worden opgewekt op het moment dat trein voorbijkomt". Vergelijkbaar concept als met de "achtjes" die echter niet tweepolig behoeven te zijn. Werkt als volgt: Een naderende magnetische noordpool wekt een stroom op in een stil liggende electromagneet die als reactie de naderende magneet een noordpool toekeert. Supergeleiding schept ruimte waardoor afstand tussen baan en trein mogelijk is van 10 cm. In de tijd van Siemens' aantrekkende bestond supergeleiding nog niet bij de hogere temperatuur van vloeibare stikstof.

Amerikaans systeem

Form of stable magnetic levitation based on the induction of repulsive forces between a mobile magnetic field provided by the superconducting coils on the vehicle and a static electrical conductor built into the track in the form of plates or coils. Since a repulsive force, which is sufficiently large for levitation, can be obtained only at or above a critical speed, the transition velocity, complementary auxiliary wheels are also necessary. In general, EDS is combined with steelless long-stator linear motor propulsion. Air gap values vary from about 100 mm to 150 mm.

De maglev-trein heeft dus een bepaalde afstand nodig om voldoende snelheid voor het zweven te bereiken. Daarbij probeert men ook de wieltjes nog in te zetten terwijl die dus juist van de grond beginnen te komen.

2 Magnetische krachswerking

De magnetische krachten worden bepaald door drie factoren:

- B-veld

De kracht neemt kwadratisch met het B-veld toe. Het weekijzer kan ongeveer 2 Tesla hebben. Dat zal dus ongeveer het gekozen werkpunt zijn. Nog meer veldsterkte dwingt richting luchtspoelen en doet het stroomgebruik exploderen. De winst is dus beperkt.

- Breedte luchtspleet

Minder luchtspleet betekent minder stroomverbruik maar ook minder mechanische marge. Bij Transrapid is de luchtspleet circa 1 cm, en bij het Japanse systeem 15 cm.

Bij een uiterst kleine luchtspleet stabiliseert de beschikbare hefkracht zich op een theoretisch maximum van B^2/u_0 [N/m^2] ($= 8 \cdot 10^5 N/m^2 @ B=1$). Een speelgoedmagneet doet bijvoorbeeld $3 \cdot 10^5 N/m^2$

- Actieve oppervlak

Hoe groter het actieve oppervlak, hoe meer kracht en/of hoe minder vermogen nodig.

ad B-veld

Koelkastmagneten voor de boodschappenlijstjes vast te klikken doen 0,4 Tesla. De zachte flexible strips in de deurpost van de koelkast doen 0,2 Tesla.

Een goede gesinterde magneet kan tot 1,4 Tesla. (neodymium-iron-boron = NdFeBo)

Een electromagneet met weekijzer kan meer dan 1,5 Tesla aan.

ad Breedte luchtspleet

Het magnetisme heeft een analogon met spanning, stroom en weerstand. De magneet zorgt voor een magnetisatie-"spanning" die bij een electromagneet gelijk is aan windingtal N maal stroom I.

Er geldt $N \cdot I = \text{lengteintegraal van } B/u_0/ur.dL = \text{magneetveld} \times \text{sommatie}(L_{\text{ijzer}}/10000 + L_{\text{lucht}}/1) / 4E-7/\pi$

Zoiets als: magnetisatie-"spanning" gedeeld door totale magnetische weerstand = stroom = B-veld

De magnetische weerstand van de padlengte door ijzer is verwaarloosbaar door de grote $U_r = 10000$.

Daarom doet een platte sandwich het zo goed: de weglengte door lucht neemt een factor 9 af en al het veld gaat langs één zijde in plaats van twee. Zo ontstaat een 18x zo groot krachtenveld.

ad Actieve oppervlak

De spoelen in de trein worden slechts belast bij de pijlerkoppen. Voordeel is de afkoeling tussentijds, nadeel is echter de vormfactor:

De kracht is evenredig met de stroom. De dissipatie in de spoel met de stroom in het kwadraat. Als je 90% van de tijd niets doet, moet er gedurende 10% van de tijd 10 x zoveel stroom lopen. Dit kost gemiddeld $10\% \times 10^2 = 10$ maal zoveel energie. Deze paal-naar-paal strategie wordt dus flink bestraft. Dat betekent nog niet dat het niet kan.

Zweven op permanente magneten is gratis. Voortstuwing kost stroom. Het rendement is niet best. Zeker bij stilstand. Het geïnvesteerde elektrische vermogen levert wel kracht maar geen mechanisch vermogen.

Alles als electromagneet lijkt het meest praktisch en robuust, hoewel permanente magneten in de trein mogelijk een thermisch probleem vereenvoudigen. Of het minder energie vergt is nog maar de vraag. Permanente magneten zullen een ijzeren rails met onbekrachtigde electromagneten van nature wellicht aantrekken, zelfs als het twee noordpolen betreft. Die electromagneten in de rails zullen dan extra hun best moeten doen om dat om te draaien. Enkel electromagneten levert minder luchtspleet in de lus op en dus misschien een lager stroomverbruik.

3 Krachtenvergelijking

Kracht $F = B \cdot I \cdot L = \text{veldsterkte} \times \text{stroom} \times \text{draadlengte}$.

B-veld weekijzer: maximaal 2 Tesla

Zweven en voortstuwing zijn krachten die loodrecht op elkaar staan. Dat hoeft niet via dezelfde wetten of met dezelfde rendementen te gaan.

Hefkracht: theoretisch maximum: 800 kN/m² bij veldsterkte $B = 1$ Tesla. $\text{Hefkracht} = B^2/u_0 \text{ N/m}^2$.

Stuwkracht: Wikkelingen van 8cm hoog, afwisselend met weekijzer in verhouding 1:1, met stroomdichtheid 5A/mm², dan is dat dus 2^5 Ampere per strekkende meter in rijrichting en per meter treinbreedte. Bij poolschoentjes $L = 0,25$ m in breedte van trein bij veldsterkte $B=1$ T dan wordt $F = BIL = 50$ kN/m. Voortstuwvraag dan een lap motor van 1 meter in rijrichting en 25 cm dwars erop.

Trein van 75 meter lengte

	benodigde kracht	te leveren kracht	noodzakelijk oppervlak
zweven:	750 kN	800 kN/m ² bij 1 Tesla	1,0 m ²
voortstuwvraag:	3,6 kN bij 100 km/h 58 kN bij 400 km/h	200 kN/m ² bij 1 Tesla	0,3 m ²

stuwing: $F = P/V$ ofwel $F = \rho \cdot C_w \cdot V^2$ met $C_w=1$

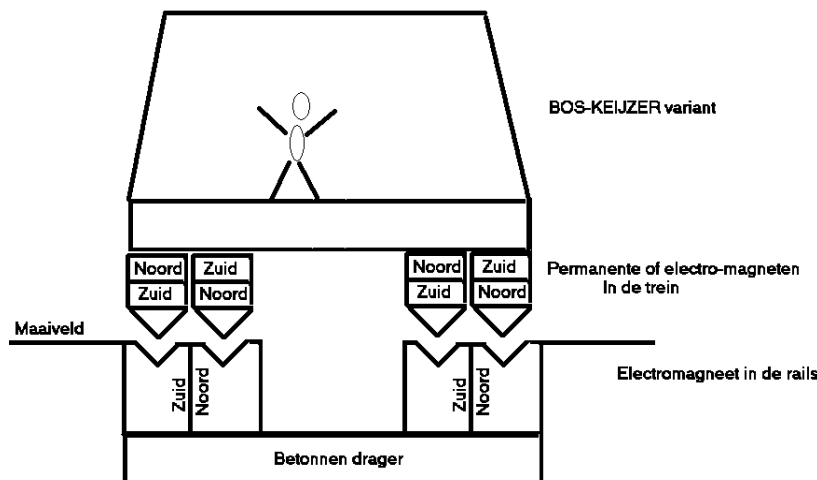
4 Afstotings of aantrekkingsmechanisme

Bij de beide principes van afstoting en aantrekking mogen velden van twee magneten gesuperponeerd worden. Bij afstoting betekent dat aftrekking en op de meeste plaatsen weinig veld. Afstoting vereist magneten neus aan neus. Het gesuperponeerde veld van twee afstotende magneten ziet er heel anders uit, alsof er lokaal kortsluiting is. Bij aantrekking mogen de magneten overal in de lus zitten.

Afstotingsmechanisme:

Voordeel	Nadeel
stabiliteit in verticale richting. meer inzetbaar oppervlak onder de trein Eenvoudiger van rail wisselen Lagere opbouw. Minder horizonvervuiling	zijwaarts willen wegspringen.

Stabiliteit krijgen is de uitdaging. Raakt de trein een beetje uit het midden dan krijg je een stukje van de grote hefkracht als dwarskracht ter compensatie aangeboden. V-vormige sleuven op de pijlerkop bieden mogelijk uitkomst. Onderin de V hangt de treinmagneet en aan de bovenranden van de V is de baanmagneet aangebracht. De beide magneten trekken elkaar aan, en de trein zweeft ogenschijnlijk op basis van afstoten.



5 Voortstuwingsmechanisme

- via lineaire motor

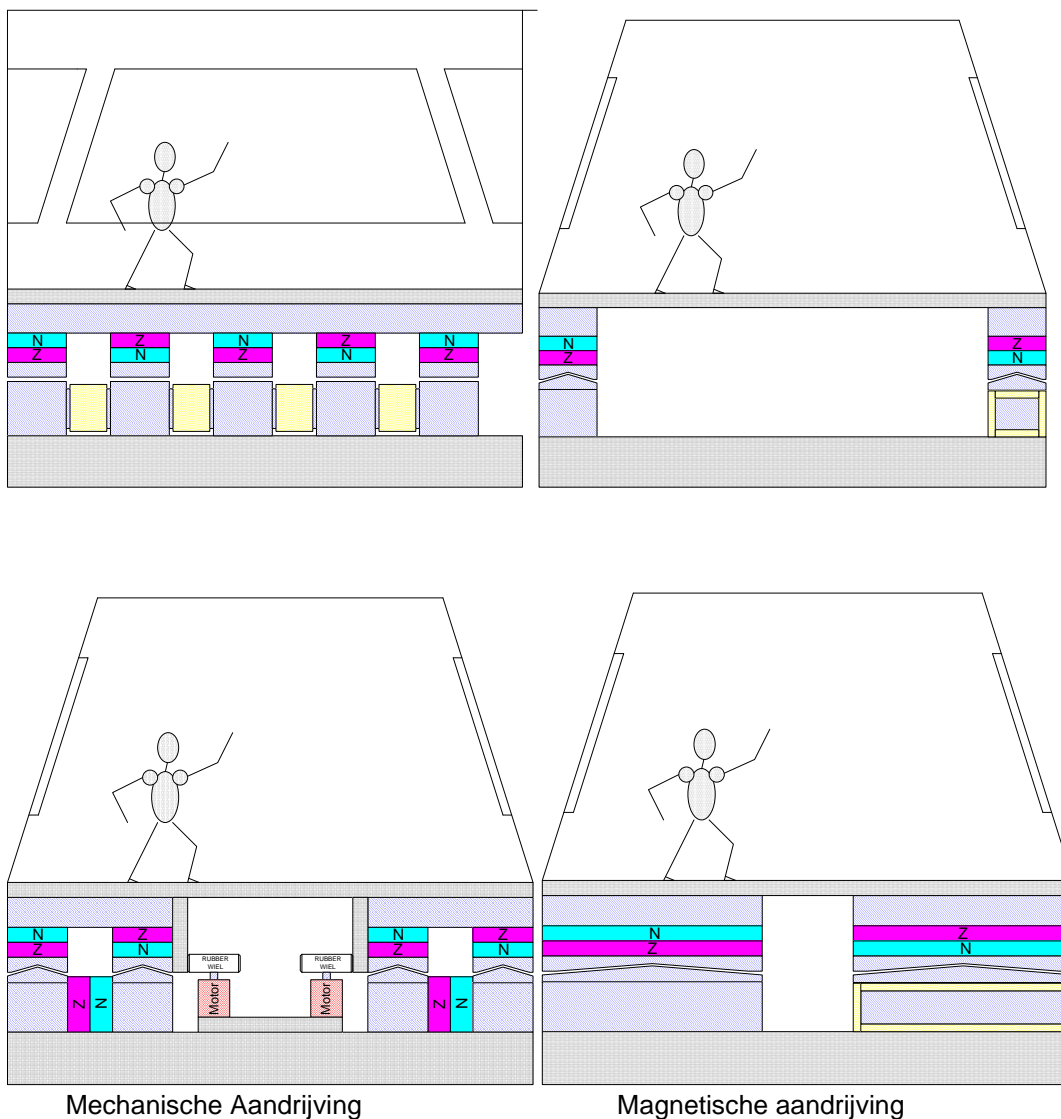
Bij de magnetische aandrijving is de lengte van de wikkelingen onder de trein op te voeren en daarmee evenredig de kracht: $F=B \cdot I \cdot L$.

Treinstel: Permanente magneten (duur, maar worden niet heet). Eventueel ook als basis dienen voor electro-magneten.

Baan: electromagneten in de rails

- via rubber wielen

Door ruimtegebrek op de steunpunten kan het rendement van de voortstuwing dalen. In dat geval is de voortstuwende kracht met rubber wielen te leveren. Dit heeft echter niet de voorkeur.



Overige aspecten

Het doorbuigen van de trein geeft verticale trillingen. Dit is op te vangen door de magneten op de pilaren te ondersteunen met piëzo-electrische actuatoren. Als de kop van de trein bij de pilaar aankomt zijn de actuatoren lang. Tegen de tijd dat het oorspronkelijk doorhangende buikje van de trein voorbijkomt zijn deze actuatoren kort. Het trillen van de trein wordt hiermee gereduceerd.