

De diesel-elektrische trekker komt eraan

Spanning in de transmissie

Belarus verraste op de Agritechnica met de diesel-elektrische 3023.

De transmissie van deze 220 kW/300 pk sterke 'Rus' bestaat uit een generator en een elektromotor. Is de 3023 slechts een aandachtstrekker of binnenkort realiteit? Dat laatste lijkt aannemelijk.

De diesel-elektrische trekker is geen utopie. Dat bewijst Roland Schmetz van het gelijknamige landbouwmechanisatiebedrijf in het Duitse Kleve. Hij rijdt al sinds 1998 met zijn Eltrac, een diesel-elektrische New Holland M135 (zie *LandbouwMechanisatie april 2008*). Deze aandrijfvariant rukt ook op in andere sectoren. Caterpillar heeft de bulldozer D7E, Volvo de El-Forest bosbouwmaschine en Jacobsen de zitmaaier Eclipse 322. Bij alle drie drijft de dieselmotor een generator aan die op zijn beurt één of meerdere elektromotoren voedt. De jongste ontwikkeling op dit front is de ElectRoGator van Agco. Deze zelfrijdende spuitmachine heeft een generator in plaats van een grote oliepomp en vier elektrische wielmotoren in plaats van vier hydromotoren.



Technische gegevens Belarus 3023

Motor	Detroit 8,7 l zescilinder turbo intercooler
Vermogen	220 kW/300 pk bij 2.200 toeren
Maximumkoppel	1.457 Nm bij 1.435 toeren
Transmissie	cvt elektro-mechanisch met twee groepen
Snelheidsbereik	0-18 en 0-42 km/h (optie 0-50 km/h)
Aftakas	mechanisch, 1.000 bij 2.200, 1.000 E bij 1.435
Frontaftakas	elektro-mechanisch
Opbrengst hydrauliek	120 l/min
Maximumhefkracht	achter 9.800 daN (10.000 kg)
Maximumhefkracht	voor 4.900 daN (5000 kg)
Lengte	6.400 mm (incl. fronthead)
Hoogte	3.250 mm
Breedte	2.630 mm op spoorbreedte 1950 mm
Banden	580/70R42 (achter), 540/65R30 (voor)
Wielbasis	3.260 mm

Sterke argumenten

Het voordeel van de diesel-elektrische aandrijving zit in de efficiëntie, in brandstofbesparing. Een dieselmotor kan bij een relatief laag toerental via een generator al veel elektrisch vermogen opwekken. Is er meer nodig, dan wordt het toerental verhoogd. Normaal gesproken draait de diesel echter in de buurt van het maximumkoppel, in zijn gunstige gebied voor wat betreft het verbruik. Door het constante toerental is er goed aan de emissie-eisen te voldoen. Het milieu is dus, mede door de lage geluidsdruk (gering toerental), gebaat bij diesel-elektrisch. Daarnaast zijn er het traploze karakter en de nagenoeg perfecte regelbaarheid. Vanwege het grote koppel dat een elektromotor vanuit stilstand ontwikkelt, is diesel-elektrisch gemeengoed bij locomotieven en in de mijnbouw. Energie die meer geleverd wordt dan

noodzakelijk, is op te slaan in accu's. Die energie is op het moment van piekbelastingen terug te voeren in de aandrijflijn en te gebruiken als een 'boost'. De elektrische aandrijfvariant springt verder in het oog door z'n eenvoud: slechts twee componenten en drie lagers. Een nadeel is dat de componenten zwaar zijn en duur. Dat de elektrische mogelijkheden op mobiele machines zich desondanks uitbreiden, komt vooral doordat de elektronica grote sprongen maakt. Daardoor zijn 'spanningsprocessen' beter te sturen.

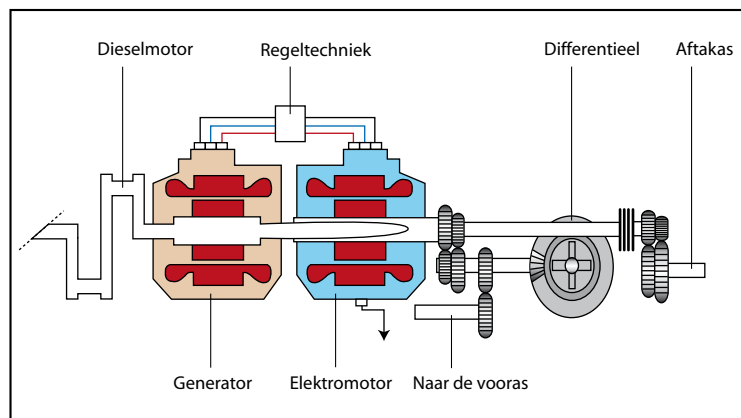
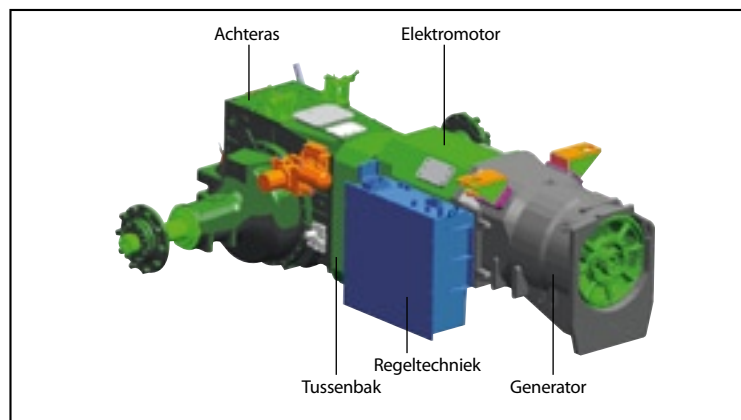
Brandstofbesparing

Caterpillar claimt bij zijn diesel-elektrische bulldozer D7E een brandstofbesparing tot 30 procent ten opzichte van de D7 met de normale powershifttransmissie. Jacobsen spreekt bij zijn diesel-elektrische Eclipse over

een vermindering in het verbruik van 35 tot 45 procent. Die lagere consumptie komt enerzijds van het feit dat de motor in het optimale toerengebied draait en anderzijds van de efficiëntie van de transmissie. Belarus spreekt over een werkingsgraad van 95 procent: van de 220 kW die de generator ingaan, komen er bijna 210 weer uit. Dezelfde efficiëntie is er bij de elektromotor. Het gezamenlijke rendement is daardoor 90 procent. Een 'bak' met tandwielen, planetaire stelsels en platenkoppelingen heeft moeite die 90 procent te halen. De elektrische transmissie haalt z'n efficiëntie doordat de generator zijn energie opwekt via een magnetisch veld. Dat vertaalt zich bij de elektromotor in een draaiing van de rotor. Het enige contact is er bij lagers.

De spannende Belarus

Een generator en een elektromotor hebben geen olie nodig voor smering of voor het activeren van koppelingen. Zo'n transmissie werkt dus probleemloos bij lage temperaturen. Dat speelt een rol bij het feit dat Belarus als eerste komt met de elektrische cvt. In grote delen van Rusland en in het noorden van Scandinavië heeft een trekker met een gangbare hydro-mechanische cvt het 's winters moeilijk om op gang te komen. Niet zo verwonderlijk dus dat de 3023 op de Agritechnica een zilveren medaille kreeg. Zoze tongen beweren dat het goud was geweest als Belarus een Duitse fabrikant zou zijn. De afwezigheid van olie heeft ook het voordeel dat vervangen niet nodig is, net zo min als het vervangen van filters. Die zijn er simpelweg niet. De elektrische transmissie is in dat opzicht onderhoudsvrij. Wel heeft



▲ De generator en de elektromotor liggen bij de Belarus net zoals bij de Eltrac in lijn achter de motor en drijven via een tussenbak met twee groepen het differentieel aan. De aftakas krijgt z'n aandrijving rechtstreeks vanaf de motor.

▲ Het interieur van de cabine van de Belarus 3023. Het kleine hendeltje rechts onder het stuurwiel bedient de voor-/achteruit. Via de monitor rechts kan de chauffeur de elektrische aandrijving controleren en beïnvloeden.

de 3023 net zoals de Eltrac nog een veld-/transportgroep. Het schakelen van die groepen doet de techniek zelf, maar het kan ook handmatig. De chauffeur regelt de snelheid

met de voet en de fijn-afstemming met de hand. Het voordeel daarbij is de precisie. Een elektrische cvt is nauwkeuriger te regelen dan een hydro-mechanische. Ook is het

vermogen aan te passen bij de gevraagde hoeveelheid en is de actieve stilstand standaard. De elektromotor van de Belarus 3023 drijft (wederom net zoals bij de Eltrac) het differentieel aan. Dat verdeelt de kracht over de wielen. Het kan echter ook anders, zoals bij de Volvo El-Forest en de ElectRoGator. Daar levert de generator stroom voor elektrische wielmotoren. Bij de ElectRoGator zijn dat er vier en bij de El-Forest zes. De tractie van de wielen is op deze manier perfect op elkaar af te stemmen, zodat er ook in bochten nagenoeg frictieloos te rijden is. Wielmotoren zijn echter minder geschikt voor het leveren van veel trekkracht.

Driveline-kwesties

De motor van de Belarus 3023 is een Detroit Diesel zescilinder in lijn, type S40E 8.7 LTA M146. Het alternatief is een zescilinder krachtbron van Deutz met de aanduiding BF06 M 1013 FC. De motor draait bij trekwerk in het veld en bij transport constant in de buurt van zijn maximumkoppel. Op dat punt is de verbranding optimaal. De zelfontbrander springt daar per geleverde kW het zuinigst met brandstof om. Samen met de efficiëntie van de transmissie haalt een



▲ De ElectRoGator heeft elektrische wielmotoren in plaats van hydraulische. Agco claimt ten opzichte van de gewone RoGator 1386 een 36 procent hoger weggrijpingskoppel, 35 procent meer trekkracht, 20 procent hogere brandstofefficiëntie en 70 procent minder hydrauliekolie.

diesel-elektrische trekker over de hele linie en hoog rendement. Bij aftakaswerk op 1.000 is het aandeel van de motor daarin minder, omdat die dan bij nominaal toerental draait. Het vermogen dat hij daar levert ligt hoger, maar het specifiek verbruik ook. Dat laatste stijgt sneller dan het vermogen. Toch is de keuze voor 1.000 bij nominaal toerental logisch, omdat de aftakas dan bij zwaar werk beschikt over de koppelreserve van de motor. Voor minder heftig pto-werk heeft de Belarus een 1.000 E; die ligt bij 1.435 motortoeren in de buurt van het maximumkoppel. De koelventilator heeft een elektrische aandrijving

kanten mee bezig zijn over. Zo is er bij de normale cvt de mogelijkheid om de hydro-motor die zorgt voor de variatie in snelheid te vervangen door een elektromotor. JCB en Fendt experimenteren daar mee. Case IH toonde op de Agritechnica 2005 zijn EECVT: een MXM 155 met een generator die een accupakket (dat dienst doet als frontgewicht) op spanning houdt. Hij kan daar eventueel een tijdlang zonder hulp van de diesel op rijden. Rond deze experimentele hybride van Case IH is het weer rustig geworden. Dat geldt niet voor de 7530 E van John Deere. Die heeft een 20 kW generator op de plek

Elektriciteit veroudert niet, vervuult niet, vraagt geen verversing en is efficiënter dan olie

en kan ook andersom draaien om de radiator schoon te blazen. Als optie heeft de 3023 een aparte elektromotor voor de frontaftakas. Z'n toerental is daarmee onafhankelijk van de aftakas achter. Wanneer de beproevingsfase van de 3023 afgerond is, kan Belarus nog niet zeggen. Ook over het prijskaartje doet de fabrikant nog geen uitspraken. De elektrische componenten van de Belarus 3023 zijn afkomstig van Ruselprom, een Russische industriegroep die in 1991 werd opgericht.

Tussenwegprincipes

Belarus trok op de Agritechnica in Hannover de aandacht, omdat de Witrussische fabrikant in één keer een grote stap zet. Belarus slaat de tussenvormen waar andere trekkerfabri-

waar normaal het vliegwiel zit. Deze grote dynamo laadt via 12 volt net zoals bij een normale trekker de accu op en voedt de verlichting. Hij levert via 400 volt ook de 'stroom' voor de elektromotor die de compressor en de koelventilator aandrijft. Dat gaat efficiënter dan met de gebruikelijke riem. De 7530 E is daardoor in het dagelijks gebruik volgens John Deere duidelijk zuiniger dan de gewone 7530. De meerprijs van zo'n tien mille is daardoor, wederom volgens John Deere, op de levensduur van de trekker ruim terug te verdienen. Dezelfde 400 volt is ook te gebruiken voor het aandrijven van elektrische functies op werktuigen. Het Duitse jaarboek Agrartechnik 2007 omschrijft de 7530 E van John Deere als wereldwijd de

Vader van de Eltrac

"Uiteraard ben ik blij", zegt Roland Schmetz, "dat mijn diesel-elektrische Eltrac, die ik in 1998 bouwde, nu via Belarus navolging krijgt. De markt is rijp voor een efficiënte traploze transmissie. Dat kan ook via een fabrikant die tot nu toe niets op het gebied van cvt's deed."



▲ Roland Schmetz van de Eltrac: 'Een bevestiging van mijn idee.'

eerste trekker met een geïntegreerd elektrisch systeem voor nevenaggregaten en externe gebruikers. De Eltrac had dat ook al, maar dat is geen product van een bekende fabrikant.

Buiten de trekker

Rauch speelt als een van de eerste werktuigfabrikanten in op extra 'trekker-elektriciteit' met zijn kunstmeststrooier Axis EDR. Voordelen zijn onder andere het makkelijke aankoppelen (een stekker in plaats van een

Caterpillars diesel-elektrische D7E



Caterpillars diesel-elektrische D7E is sinds 2007 op de markt. De Amerikaanse fabrikant van bouwmachines wilde een zuinige bulldozer met een perfect regelbare traploze transmissie. De keuze viel op diesel-elektrisch. De elektromotor levert zijn energie aan een differentieel. Kleinere elektromotoren met planetaire stelsels op elk van de beide uitgaande assen regelen de besturing.

Technische gegevens Caterpillar D7E

Motor	zescilinder
	CAT C9.3 Acert
Cilinderinhoud	9,3 l
Max. vermogen	173 kW/235 pk
Generator	480 V
Tankinhoud	410 l (optie 475 l)
Bedrijfsgegewicht	25,7 ton



▲ De El-Forest heeft een diesel-elektrische aandrijving met wielmotoren. De tractie is via elektronica perfect over de zes wielen te verdelen, waardoor deze Volvo 'forwarder' frictieloos over de kwetsbare bodem rijdt.

ook een stimulans door de komst van lichte en verhoudingsgewijs sterke accu's. Denk daarbij aan de spectaculair toegenomen potentie van draadloos elektrisch gereedschap.

Elektriciteit in het kort

De kans dat er de komende jaren een waterstofftrekker op de markt komt à la de NH2 van New Holland (zie het kader hiernaast) is klein. De kans daarentegen dat er een diesel-elektrische trekker zoals de 3023 van Belarus op de markt komt, is aanzienlijk groter. Nog groter is de kans op elektrische hybrides als de 7530 E van John Deere. Het feit dat componentenbouwer ZF gericht op die trend inspeelt, toont aan dat er op elektrisch gebied bij de trekker het nodige op ons afkomt. De zelfrijder ElektRoGator en de Rauch kunstmeststrooier ondersteunen dat

tussenas) en de perfecte regelbaarheid. De draaisnelheid van de schijven komt los te staan van het toerental van de motor. Het echte voordeel is echter dat 'stroom' in een elektriciteitskabel minder weerstand heeft dan olie in een slang. Functies op een werktuig zijn elektrisch met minder vermogen aan te drijven dan hydraulisch. Verder is elektriciteit flexibeler te gebruiken (makkelijker bij de constructie) en is er geen kans op lekkage. Volgens het wetenschapscentrum Weihenstephan (WZW) van de universiteit van München ligt de efficiëntie van een elektrische aandrijving tot 30 procent boven een vergelijkbare hydraulische aandrijving. WZW deed vorig jaar onder andere proeven met een Krone hakselaar. Van 2002 dateert het Mela-project van de hogeschool in Regensburg (D). Mela staat voor 'Mobil-Elektrische Leistungs- und Antriebstechnik'. Ook in dit project, waarbij elektriciteit alle olie-functies (cilinders en hydromotoren) op werktuigen verving, kwam naar voren dat de efficiëntie en de regelbaarheid van elektriciteit beduidend beter is dan van hydrauliek.

ZF speelt in op de toekomst

Transmissie- en componentenbouwer ZF toonde eind vorig jaar op de Agritechnica zijn Terra. Deze generator wekt enerzijds stroom op en kan anderzijds met voeding vanuit accu's functioneren als elektromotor. De Terra is zowel letterlijk als figuurlijk een tussenoplossing. Figuurlijk omdat de toekomst richting diesel-elektrisch gaat en letterlijk omdat de Terra een plaats krijgt tussen het koppelingshuis en de transmissie. De werking van de Terra is te vergelijken met die van de

Elektrische aandrijving is beter regelbaar dan hydraulische of mechanische

hybrides bij personenauto's: de ene vorm van aandrijving gaat naadloos over in de andere. De Terra kan continu 50 kW aan elektrisch vermogen leveren en kortstondig (als boost) tot 120 kW. De belangstelling voor elektrisch aandrijven, in welke vorm dan ook, krijgt

beeld. Hetzelfde doen de D7E van Caterpillar, de El-Forest van Volvo en de Eclipse van Jacobsen. Elektriciteit is flexibeler, beter regelbaar en efficiënter dan hydrauliek. Door de hoge efficiëntie is diesel-elektrisch minder schadelijk voor het milieu dan diesel-mecha-



▲ De Jacobsen Eclipse 322 heeft als krachtbron een tweecilinder Kubota met een vermogen van 8,8 kW/12 pk. Deze diesel drijft op een laag toerental de generator aan die een accupakket op spanning houdt. De elektromotoren voor de wielen en voor de aandrijving van de maaikooien, putten uit deze accu's. Op hellend terrein of in een zwaar gewas verhoogt de motor zijn toerental. Jacobsen claimt ten opzichte van de normale diesel-hydrostatische uitvoering een brandstofbesparing tussen 35 en 45 procent.

NH2 waterstofftrekker van New Holland



De ultieme elektrische trekker is de waterstofftrekker van New Holland. Brandstofcellen zetten waterstof om in elektriciteit, die vervolgens een elektromotor aandrijft. De verbrandingsmotor is bij de NH2 niet meer aanwezig. Daarmee zijn ook schadelijke emissies uit de wereld. Deze 80 kW/106 pk toekomsttrekker stoot alleen maar waterdamp uit. Allis Chalmers bouwde in 1959 al een trekker met brandstofcellen, maar de cellen van destijds waren te groot en te duur naar het vermogen dat ze leverden. Ook de regelende elektronica ontbrak toen nog. De toekomst van een halve eeuw

geleden redde het daardoor niet. John Deere pakte het principe in 2002 weer op via zijn Gator met brandstofcellen. Toro deed hetzelfde in 2005 met een golfbaanmaaier. Drie transporters van Toro werken sedert 2007 op waterstof in het Niagara Falls State Park. New Holland ziet bij zijn NH2 een agrariër die compleet zelfvoorzienend is voor wat betreft z'n energie. Windmolens, zonnepanelen en/of mestvergisters wekken de elektriciteit op die nodig is om water te ontleden in waterstof en zuurstof. De H₂ wordt opgeslagen in hogedruktanks vanwaaruit

de trekker tankt. De NH2 kan met z'n tank van 100 liter op 350 bar twee uur rijden op vol vermogen. Bij 700 bar is een tank van 200 liter voldoende voor een lange dag.

Visie op de NH2

Robert Pieri is als professor aan de universiteit van Noord-Dakota al lang en veel met waterstof bezig. Hij ziet veel toekomstperspectief voor de NH2. Oliver Neumann van John Deere denkt dat de hoge kosten van brandstofcellen en de moeilijke te organiseren distributie van waterstof een grootschalige toepassing in de weg staan. Mauno Ylivakeri van Agco Sisu Power gaat ervan uit dat de 'elektrische trekker' alleen toekomst heeft zoals de Belarus: met een dieselmotor als energieleverancier. Barry Eagle van New Holland houdt alle opties open en ziet in de toekomst ook een plaats weggelegd voor de NH2. Naast het feit dat de waterstofftrekker technisch fascinerend is, is hij ook ideaal voor het milieu vanwege de nul-emissie. De weg er naar toe via elektrolyse, hogedrukopslag van waterstof en brandstofcellen is echter omslachtig en duur. Als de boer op zijn bedrijf elektriciteit op gaat wekken via biogas om vervolgens waterstof uit water te halen, waarom gebruikt hij dat biogas dan niet rechtstreeks als brandstof voor de trekkermotor? Dat scheelt een aantal prijzige stappen en is CO₂-neutraal.

nisch of diesel-hydraulisch. Nadeel zijn nu nog de relatief hoge kosten van de elektrische componenten.

Slimme Nederlandse techniek

Dat er veel ontwikkelingsruimte in de elektrische aandrijving zit, blijkt onder andere

uit de elektrisch continu variabele transmissie van het onderzoeksinstituut TNO. Bij deze EVT zijn de twee delen van de generator en de twee delen van de elektromotor (twee keer een stator en twee keer een rotor) samengebouwd tot drie delen: een stator, een rotor en daartussen een interrotor.

Laatstgenoemde fungeert voor de generator als stator en voor de elektromotor als rotor. Deze Nederlandse vinding combineert volgens het maandblad 'De Ingenieur' een compacte bouwwijze met een zeer hoge efficiëntie. [L](#)



▲ De 7530 E van John Deere heeft een geïntegreerd elektrisch systeem voor nevenaggregaten en externe gebruikers. Deze hybride heeft op de korte termijn de beste toekomstkansen.

Trekker van het jaar 2020

Dit artikel is onderdeel van de tot december durende zoektocht van LandbouwMechanisatie naar de trekker van het jaar 2020. Ongetwijfeld heeft u goede ideeën die het werken met en op de trekker veel plezieriger maken. Stuur ons uw mening of frustraties over de huidige trekkers. Dat mag middels een artikel of essay maar het mag ook een puntenlijstje of (eenvoudige) tekening zijn. Stuur uw ideeën naar redactie@landbouwmechanisatie.nl of naar: Redactie LandbouwMechanisatie, Postbus 42, 6700 AA Wageningen.