

# Simulatie van de communicatie op landbouwwerktuigen

**Dr. ir. J. W. Hofstee, dr. ir. D. Goense**

*Landbouwwuniversiteit, Vakgroep Agrotechniek en -fysica,*

*Bomenweg 4, 6703 HD Wageningen*

*telefoon 0317 - 48 41 94, telefax 0317 - 48 48 19.*

*e-mail: jan.willembhofstee@user.aenf.wau.nl*

Door de landbouwwerktuigenindustrie is (wereldwijd) CAN gekozen als veldbus voor communicatie op landbouwwerktuigen. Voor deze communicatie is met behulp van Personal Prosim een simulatieprogramma geschreven. Met dit programma kunnen verschillende structuren van gekoppelde veldbussen en de uitwisseling van berichten tussen de met de veldbus verbonden devices gesimuleerd worden. Op deze wijze kan inzicht verkregen worden in de belasting van de verschillende gekoppelde veldbussen, de tijd die het kost om een bericht door het netwerk te versturen en eventueel optredende knelpunten. In het programma zijn de DIN 9684 en de ISO 11783 standaarden geïmplementeerd.

Trefwoorden: simulatie, CAN, veldbus, DIN 9684, ISO 11783

Toepassing van elektronica en het gebruik van geïntegreerde systemen vereisen het uitwisselen van informatie, dat wil zeggen er moet gecommuniceerd worden. Uitwisselen van (digitale) informatie tussen verschillende systemen vindt in de meeste gevallen plaats door de systemen in de vorm van een netwerk aan elkaar te koppelen, zoals bijvoorbeeld een LAN (Local Area Network). Voor de communicatie binnen landbouwwerktuigen is halverwege de jaren tachtig gekozen voor het uit de automobiellindustrie afkomstige en door Bosch ontwikkelde CAN (Controller Area Network) protocol. CAN is een netwerk specifiek voor het koppelen van sensoren en actuatoren voor procescontrole. Zo'n soort netwerk wordt ook vaak aangeduid met de term veldbus.

Hieronder zal ingegaan worden op de implementatie van CAN voor communicatie binnen landbouwwerktuigen. Eerst zal de structuur van de communicatie uiteengezet worden. Vervolgens wordt ingegaan op een simulatieprogramma dat geschreven is om verschillende netwerk configuraties en implementaties door te rekenen ten aanzien van de snelheid van data overdracht.

## Communicatie binnen landbouwwerktuigen

Communicatie in een landbouwwerktuigen omgeving vindt plaats op twee niveaus.

- Communicatie tussen het management-informatiesysteem (MIS) en een landbouwwerktuigencombinatie (inclusief trekker).

De uitgewisselde informatie heeft betrekking op de taak of de bewerking die uitgevoerd moet worden (vanuit het MIS naar de werktuigencombinatie) of die uitgevoerd is (vanuit de werktuigencombinatie naar het MIS)

- Communicatie tussen de verschillende eenheden van een landbouwwerktuigencombinatie. Door de landbouwwerktuigen industrie is (wereldwijd) CAN (Controller Area Network) gekozen als netwerk voor gebruik binnen landbouwwerktuigen en combinaties van landbouwwerktuigen. Op dit moment wordt er gewerkt aan twee implementaties. De eerste implementatie is gebaseerd op CAN Versie 2.0A en volgt de DIN 9684 standaard. De tweede implementatie is uitgebreider en is gebaseerd op CAN Versie 2.0B en volgt de ISO 11783 standaard. De DIN 9684 en de ISO 11783 zijn ten aanzien van een aantal aspecten identiek maar verschillen ook ten aanzien van een aantal aspecten aanzienlijk. Uitwisseling zonder meer zal in veel gevallen dan ook

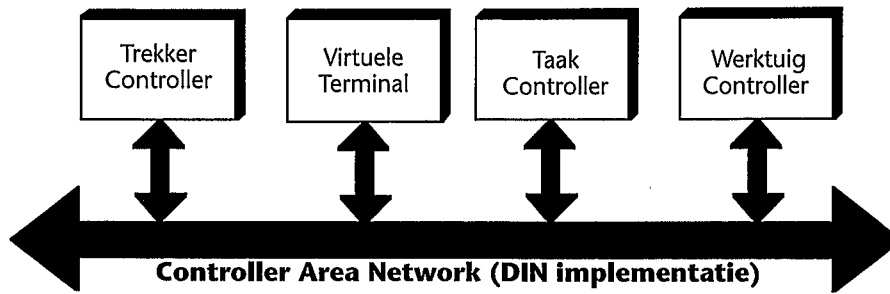
niet mogelijk zijn. In de bijdrage van Goense (Standaardisatie van de communicatie op landbouwwerktuigen) wordt uitgebreider ingegaan op de verschillende communicatiestandaarden.

De informatie die op dit niveau uitgewisseld wordt, heeft betrekking op de procesbesturing van een landbouwwerktuigencombinatie. Dit zijn bijvoorbeeld setpoint waarden voor een bepaald gedeelte van een landbouwwerktuig (bijvoorbeeld een sectie van een veldspuit) of gemeten waarden van een sensor op een bepaalde plaats in een landbouwwerktuig (bijvoorbeeld de gemeten flow van een sectie van een veldspuit). De ISO 11783 standaard omvat ook de informatie uitwisseling ten behoeve van het aandrijfgedeelte van een trekker (motor, remmen, koeling, hefinrichting, hydrauliek).

## CAN

De uitwisseling van informatie op basis van het CAN protocol vindt plaats door middel van berichten die uitgewisseld worden. De belangrijkste onderdelen van een bericht zijn de identifier (11 bit voor CAN versie 2.0A en 29 bit voor CAN versie 2.0B) en het data veld (64 bit voor beide versies). Daarnaast bevat een bericht nog bits voor controle en foutdetectie. De totale lengte van een bericht varieert tussen de 44 (leeg dataveld) en 130 bits voor CAN Versie 2.0A en 62 en 150 bits voor CAN Versie 2.0B.

Een kenmerk van CAN is dat alle devices die aan een bepaalde bus gekoppeld zijn alle berichten die verstuurd worden ontvangen en dan bepalen of een bericht voor hen bestemd is of niet. Als een device zelf een bericht wil versturen, 'luistert' het naar de bus en wacht totdat deze vrij is en begint dan met het versturen van het bericht. Door middel van 'bit-by-bit arbitration' wordt



**Figuur 1 – Schematische weergave van een realistische CAN configuratie volgens de DIN standaard.**

De data overdrachtssnelheid is voor CAN Versie 2.0A 50 kbit/s (sinds eind 1995 is deze voor landbouwtoepassingen opgevoerd naar 125 kbit/s) en voor CAN Versie 2.0B is de snelheid 250 kbit/s.

voorkomen dat twee berichten tegelijkertijd verstuurd worden. De identifier bepaalt de prioriteit van het bericht en het device dat het bericht met de hoogste prioriteit (laagste waarde voor de identifier) verzendt, mag doorgaan met verzenden; alle andere devices moeten stoppen met verzenden van een bericht.

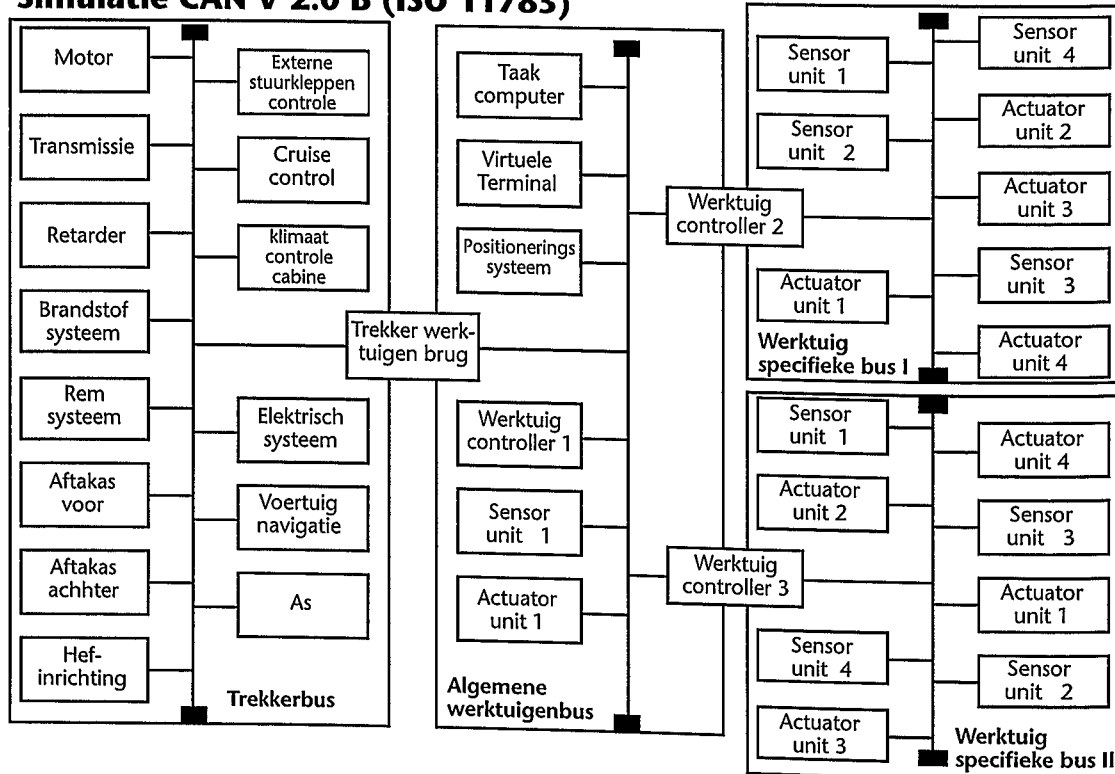
**DIN 9684**

Bij de DIN-standaard wordt in principe uitgegaan van een fysieke bus. Via de mogelijkheid van het zogenaamde 'partner systeem' is het mogelijk een soort sub netwerk te realiseren; het blijft echter één fysieke bus.

Een realistische configuratie (figuur 1) zal bestaan uit een trekker controle unit, een virtuele terminal, een taakcomputer en één of meerdere controle units voor werktuigen. Een trekker controle unit zal informatie over de trekker zoals rijsnelheid, motor-toerental, aftakstoerental, etc. in de vorm van berichten doorgeven aan de andere participanten. Een virtuele terminal is een beeldscherm dat door alle participanten gebruikt kan worden voor communicatie met de operator. Een taakcomputer is voor het bijhouden van de uitvoering van de taak. Dit kan zijn het registreren van informatie maar ook het versturen van berichten met informatie voor bijvoorbeeld werktuigen (setpoints). Een controle unit van een werktuig voert de procescontrole van het werktuig uit en communiceert met de andere gebruikers (via de bus).

**Figuur 2 – Schematische weergave van een realistische CAN configuratie volgens de ISO standaard.**

**Simulatie CAN V 2.0 B (ISO 11783)**



## ISO 11783

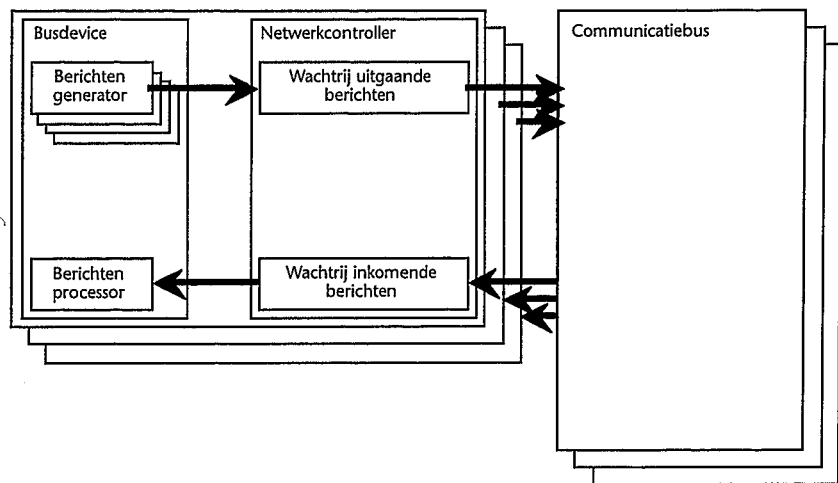
Binnen de ISO standaard is het mogelijk dat meerdere bussen aan elkaar gekoppeld zijn via 'bridges'. Een 'bridge' geeft berichten (selectief) door van de ene bus naar de andere bus. In de meeste gevallen is het noodzakelijk een filterfunctie in te bouwen.

Een mogelijke realistische configuratie (Figuur 2) zal bestaan uit een trekkerbus, een algemene werktuigenbus en één of meerdere werktuig specifieke bussen. Deze bussen zijn via zogenaamde bruggen met elkaar verbonden. Op de trekkerbus zitten devices voor de controle van het trekker gedeelte. Op de werktuigenbus zitten devices voor algemeen gebruik zoals bijvoorbeeld een taakcomputer en een virtuele terminal. Deze bus kan ook door een werktuig gebruikt worden voor de procescontrole van dat werktuig. De werktuig specifieke bussen worden gebruikt voor de controle van de sensoren en actuatoren van een bepaald werktuig.

## Simulatieprogramma

Om beide CAN implementaties te kunnen analyseren is met behulp van Personal Prosim een simulatieprogramma geschreven. De belangrijkste karakteristieken waar een implementatie op beoordeeld kan worden is de belasting van de bus en de tijd die een bericht er over doet om van de zender bij de ontvanger te komen. Deze tijd hangt mede samen met de belasting van de bus en moet aan bepaalde eisen voldoen om er voor te zorgen dat bepaalde informatie op basis waarvan een proces gestuurd moet worden (bijvoorbeeld een klep die verder open of dicht moet), op tijd beschikbaar is. Met behulp van het simulatieprogramma is het mogelijk verschillende implementaties te beoordelen ten aanzien van de eerder genoemde aspecten.

De basisstructuur van het simulatieprogramma (figuur 3) is identiek voor de DIN en de ISO implementatie. Voor zowel de verschillende bussen als de devices worden bij de start instances van de respectievelijke classes aangemaakt. Onderdeel van een device zijn één of meerdere instances van de berichtengenerator en één instance van de berichtenprocessor. Verder hoort bij elk device een netwerkcontroller die het inter-



Figuur 3 – Structuur van het simulatieprogramma.

face vormt tussen een device en een communicatiebus. Het device, de netwerkcontroller en de communicatiebus zijn gescheiden om het eenvoudiger te maken andere veldbussen te implementeren. Een berichtengenerator genereert één soort berichten. Dit kan eenmalig zijn, of met een vaste frequentie (met eventueel een kleine variatie) of met een variabel interval. De berichtengeneratoren worden niet op  $t=0$  gestart maar op een willekeurige tijd tussen  $t=0$  s en  $t=1$  s. In de praktijk zullen ook nooit alle devices exact op hetzelfde tijdstip beginnen. Deze vertragingstijd voor het starten wordt getrokken uit een uniforme verdeling. Het gegenereerde bericht wordt in de wachtrij van de corresponderende netwerkcontroller gezet waarbij de berichten met de hoogste prioriteit telkens vooraan gezet worden. Een netwerkcontroller wordt dus gevoed door één of meerdere berichtengeneratoren. De netwerkcontroller heeft verder een wachtrij waarin alle ontvangen berichten gezet worden en daar door de berichtenprocessor uitgehaald worden.

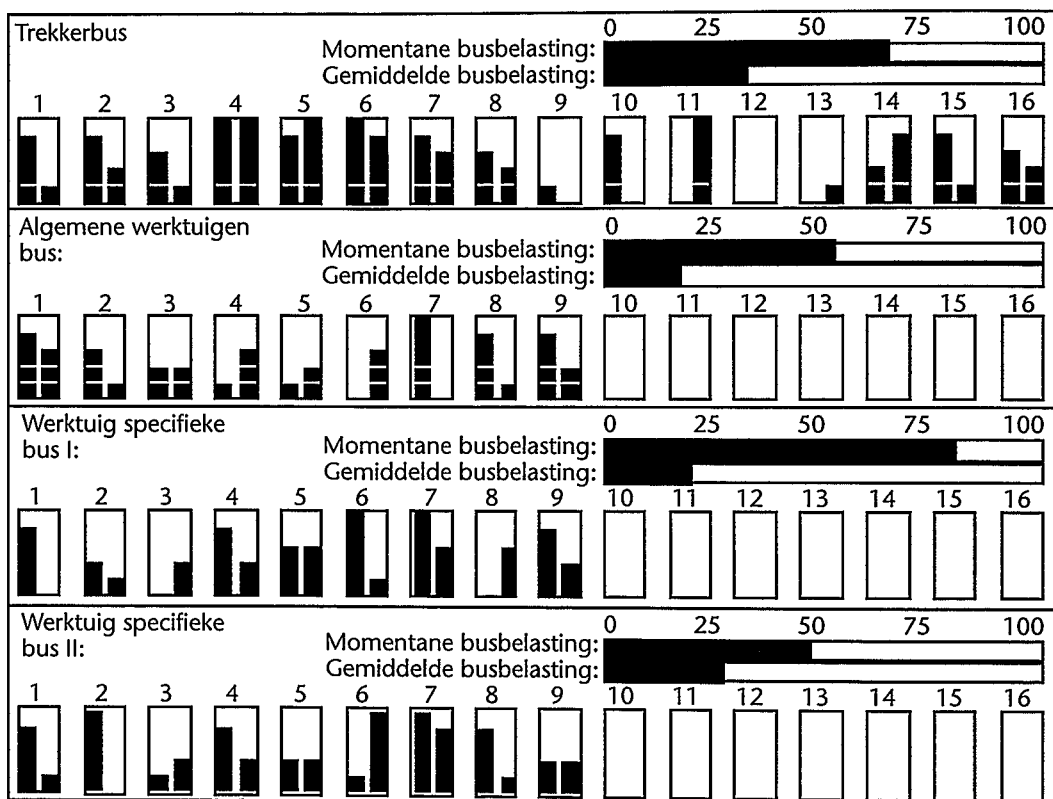
Op het moment dat de communicatiebus passief is, worden de wachtrijen met te verzenden berichten van alle netwerkcontrollers geïnspecteerd en de netwerkcontroller met een bericht met de hoogste prioriteit, mag dit bericht verzenden. De communicatiebus wordt dan passief voor de duur van de transmissietijd van het bericht (aantal te verzenden bits gedeeld door de transmissiesnelheid). Hierna wordt het bericht in de wachtrij voor ontvangen berichten van de andere netwerkcontrollers geplaatst. De berichtenprocessor van elk device wordt,

als deze al niet actief is, geactiveerd en verwerkt het bericht. Dit kost een bepaalde hoeveelheid tijd gedurende welke de berichtenprocessor passief is.

Het communicatieverloop is aanschouwelijk gemaakt met behulp van de animatie mogelijkheden van Personal Prosim. De wachtrijen van de netwerkcontrollers worden hierbij samen met de busbelasting getoond (figuur 4). Op deze manier kan snel gezien worden wat de belasting van een bus op een bepaald moment is en of er bij bepaalde devices lange wachtrijen ontstaan, hetzij voor het verzenden van berichten hetzij voor het verwerken van ontvangen berichten.

Voor beide implementaties is als uitgangspunt gekozen voor een realistische trekker-werktuigcombinatie en voor deze combinatie is het bijbehorende berichtenverkeer geïmplementeerd. Gedurende de simulatie wordt vervolgens een meetopdracht gesimuleerd waarbij een grote hoeveelheid data via berichten van het ene device naar het andere device verzonden wordt. Vervolgens wordt gekeken naar de belasting van de bus en hoe lang het duurt om andere berichten over de bus te versturen.

Voor de DIN implementatie is gekozen voor een trekker met een veldspuit. Deze veldspuit heeft in totaal 14 secties waarvan de volumestroom onafhankelijk gecontroleerd kan worden. Elke seconde wordt voor elke sectie een nieuwe setpoint waarde door de



**Figuur 4 – Weergaven van de wachrijen van de netwerkcontrollers en de belasting van de bus tijdens de simulatie. Elk blokje in de wachrij vertegenwoordigt één bericht. De linker kolom is de wachrij voor de uitgaande berichten en de rechterkolom voor de inkomende berichten.**

taakcomputer gegenereerd. Verder worden de standaardberichten zoals beschreven in de DIN standaard over de bus verstuurd (gemiddeld 26.5 berichten per seconde) en worden door de trekkercontroller en de werktuigcontroller elk 24 berichten per seconde naar de virtuele terminal gestuurd.

Voor de ISO implementatie is gekozen voor een trekker met twee identieke (fictieve) werktuigen. De trekker heeft een trekkerbus en een algemene werktuigenbus. Beide zijn verbonden door een brug die selectief berichten doorlaat. Elk van de werktuigen heeft een eigen werktuigenbus met elk vier sensordevices, vier actuatordevices en een werktuigcontroller. Deze werktuigcontroller is ook aangesloten op de algemene werktuigen-

bus. Elk sensordevice heeft vier sensoren en elk actuatordevice heeft vier actuatoren. Op de algemene werktuigenbus zitten een soortgelijk sensor- en actuatordevice. Gedurende de simulatie worden 12 sensorberichten per sensordevice gegenereerd en dit resulteert dan ook in 12 berichten per seconde van de werktuigcontroller naar de actuator devices. Het werktuig kan gezien worden als een werktuig met een effectieve werkbreedte van 36 m. Per meter werkbreedte is er een sensor en een actuator en per m<sup>2</sup> wordt een sensorwaarde uitgestuurd en een actuatorwaarde gegenereerd. Verder is er uitgegaan van een rijsnelheid van 3 m/s. Over de trekkerbus en de algemene werktuigenbus worden verder de standaardberichten zoals in de ISO voorstellen beschreven, uitgewisseld.

## Resultaten

Met het simulatieprogramma is voor beide implementaties een reeks simulaties uitgevoerd. Vooral belangrijk zijn de busbelasting en de tijd tussen genereren van een bericht en de aankomst bij de ontvanger. Omdat bij de DIN implementatie de bussnelheid lager is en daardoor eerder de maximum busbelasting bereikt wordt, is daar vooral de aan-

dacht gericht geweest op het gedrag bij verschillende busbelastingen. Bij de ISO implementatie is de bussnelheid hoger en is er meer sprake van een netwerk. Hier is de aandacht vooral gericht geweest op het versturen van berichten door het netwerk.

## DIN 9684 implementatie

Bij de DIN implementatie is vooral gekeken naar de benodigde tijd voor het versturen van een bericht. Dit is gedaan voor verschillende belastingen van de bus. Binnen de DIN implementatie is het mogelijk om procesdata, dit is data voor het besturen van een proces (setpoints), te versturen met een hoge prioriteit en met een lage prioriteit. De simulaties zijn uitgevoerd voor zowel de transmissiesnelheid van 50 kbit/s als die van 125 kbit/s. Het accent heeft in eerste instantie gelegen op 50 kbit/s en vervolgens is gekeken naar de resultaten van de verhoging na 125 kbit/s. De belasting van de bus voor de uitgangssituatie (normale berichtenverkeer) is 28% (50 kbit/s) en 11% (125 kbit/s).

Om de invloed van de busbelasting te bepalen is gesimuleerd dat een reeks meetdata (omvang 8, 16 en 32 kbyte) over de bus gedurende korte tijd verstuurd wordt. Deze

**Tabel 1 – Overzicht van de wachttijden van procesdata berichten voor verschillende bussnelheden, prioriteit van de berichten, hoeveelheid 'extra' meetdata en de wijze van aanbieden van meetdata.**

Snelheid kbit/s	Prioriteit	Hoeveelheid meetdata kbyte	Aanbod meetdata	Eerste bericht				Veertiende bericht			
				Min. ms	Max. ms	Gem. ms	St.dev. ms	Min. ms	Max. ms	Gem. ms	St.dev. ms
50	Hoog	0	-	0,0	0,0	0,0	0,0	17,8	19,5	18,6	0,4
			-	0,0	0,0	0,0	0,0	69,9	75,2	73,2	1,6
	Laag	8	Burst	0,0	1,9	0,1	0,4	17,6	20,9	18,8	0,6
			Verdeeld	0,0	0,0	0,0	0,0	18,0	19,9	18,6	0,4
			Burst	0,0	2399,1	108,6	442,0	70,4	2429,6	178,5	432,5
			Verdeeld	0,0	0,0	0,0	0,0	70,4	84,4	80,1	4,1
	Hoog	16	Burst	0,0	2,2	0,2	0,5	17,6	20,9	18,7	0,7
			Verdeeld	0,0	0,0	0,0	0,0	17,6	19,4	18,6	0,4
			Burst	0,0	5188,1	421,3	1198,7	70,1	5215,6	488,5	1186,3
			Verdeeld	0,0	0,0	0,0	0,0	70,4	96,7	90,4	8,8
	Laag	32	Burst	0,0	2,0	0,4	0,6	18,0	21,2	18,9	0,8
			Verdeeld	0,0	0,9	0,6	0,3	18,0	20,2	19,1	0,6
Burst			0,0	10701,0	1645,2	3124,6	69,8	10731,4	1706,8	3110,3	
Verdeeld			0,0	0,9	0,6	0,3	69,8	140,2	117,2	23,1	
125	Hoog	0	-	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0
			-	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0
	Laag	8	Burst	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,1	0,1
			Verdeeld	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0
			Burst	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	34,4	1,9	7,6
			Verdeeld	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0
	Hoog	16	Burst	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	0,1	0,2
			Verdeeld	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	0,6	0,4
			Burst	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	34,7	3,6	10,4
			Verdeeld	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,6	0,3
	Laag	32	Burst	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	0,2	0,3
			Verdeeld	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	0,6	0,3
Burst			0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	34,7	6,6	13,1	
Verdeeld			0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,9	0,6	0,4	

hoeveelheid data is hierbij als 'burst' (alle berichten worden direct in de wachtrij gezet) en verdeeld over de tijd (gelijkmatig verdeeld over 32 s) aangeboden. 1 kbyte data komt overeen met 128 berichten. Van berichten met daarin procesdata met een prioriteit hoger dan die van de meetdata en een prioriteit lager dan die van de meetdata is geanalyseerd hoe lang deze berichten in de wachtrij staan voor ze verstuurd worden. Dit is gedaan voor 14 berichten (één voor elke sectie) die met een tussentijd van 1 ms gegenereerd zijn. De resultaten voor het eerste bericht en het veertiende bericht voor de verschillende situaties, staan in tabel 1. Uit de resultaten in tabel 1 blijkt dat lange wachttijden ontstaan als meetdata met een prioriteit hoger dan die van procesdata als 'burst' aangeboden wordt. Als de prioriteit

van deze berichten lager is dan die van de procesdata of als deze meetdata meer verdeeld over de tijd aangeboden wordt (in dit geval verdeeld over 32 s), dan blijven de wachttijden beperkt tot een aantal milliseconden. Ook wanneer de bussnelheid verhoogd wordt, blijven de wachttijden beperkt tot een aantal milliseconden; ook als de data in één keer aangeboden wordt aan de netwerkcontroller. Bij een bussnelheid van 50 kbit/s staat het veertiende bericht altijd een bepaalde tijd in de wachtrij omdat het verzenden van een bericht meer tijd kost dan 1 ms. Bij de hogere bussnelheid is dit niet het geval. Alleen bij het aanbieden van de meetdata als burst treden er korte maximale wachttijden op (ongeveer 34 ms) voor procesdata met een lage prioriteit.

### ISO 11783 implementatie

Bij deze implementatie is vooral gekeken naar de benodigde tijd voor het versturen van berichten door het netwerk, dus bijvoorbeeld van de trekkerbus naar de werktuig specifieke bus. Hierbij is de belasting van de algemene werktuigenbus gevarieerd. Verder is hierbij gekeken naar de situatie waarbij alle sensoren op één bus zitten en alle actuatoren op één bus. Alle sensor berichten moeten dan dus via de algemene werktuigenbus naar de bus met alle actuatordevices gestuurd worden.

Als naar de gemiddelde busbelastingen voor de standaard situatie gekeken wordt dan is deze ongeveer 37% voor de trekkerbus, 9% voor de algemene werktuigenbus en 7% voor de werktuig specifieke bussen. Een

gemiddelde busbelasting van ongeveer 50% is voor de normale praktijk ongeveer het maximum. Het gemiddelde is gebaseerd op het gedeelte van de tijd dat de bus 'actief' is. Het versturen van een bericht naar een ander device op dezelfde bus kost dan minder dan 1 ms. Een bericht versturen naar een device op een aangrenzende bus (via een zogenaamde brug) kost gemiddeld ongeveer 1.6 ms. Wanneer het bericht nog een brug moet passeren, dan komt het gemiddelde uit op ongeveer 2.5 ms. De maximum waargenomen tijd is ongeveer 6 ms.

Vervolgens is de belasting van de algemene werktuigenbus opgevoerd naar ruim 80%. De tijden blijven voor berichten die op dezelfde bus blijven vrijwel gelijk. De benodigde tijd voor de berichten op de algemene werktuigenbus neemt iets toe. De benodigde tijd voor het versturen van een bericht door het netwerk wordt groter. De gemiddelde tijden variëren tussen minder dan 1 ms (zelfde bus) en 5.3 ms (via twee bruggen) met standaardafwijkingen variërend tussen 0.1 en 10.2 ms. De maximum waargenomen tijd is ruim 70 ms.

Als de sensoren en de bijbehorende actuatoren op dezelfde bus staan, kost het tussen de 0.5 en 1.0 ms voordat een bericht bij de werktuigcontroller aankomt. Deze verwerkt het bericht en berekent een nieuwe waarde voor de actuator en stuurt een bericht uit. Op het moment dat de sensoren en de actuatoren gescheiden worden, moe-

ten de sensorberichten via de algemene werktuigenbus naar de tweede werktuigcontroller unit (verbonden met de bus met de actuatoren). De benodigde tijd neemt dan toe tot ongeveer 1.6 ms voor de normale belasting van de algemene werktuigenbus. Bij een gemiddelde belasting van de algemene werktuigenbus van ruim 40% neemt de tijd toe tot gemiddeld 1.6 ms en bij een belasting van ruim 80% tot 1.7 ms. De laagst waargenomen tijd is iets lager dan 1.5 ms en de maximum waargenomen tijd is 3.9 ms. Verder is gebleken uit de simulaties dat een hogere belasting van de algemene werktuigenbus niet a priori resulteert in hogere maximum waarden (wel in hogere gemiddelden).

### Discussie en conclusie

Het simulatieprogramma is opgezet om op een relatief eenvoudige wijze inzichtelijk te maken wat de consequenties van verschillende keuzes zijn die gemaakt moeten worden bij het opzetten van een communicatiesysteem dat gebruik maakt van één of meerdere veldbussen op basis van CAN en volgens de ISO of DIN standaard. Factoren die een rol spelen zijn de prioriteiten van de verschillende berichten, de bus-snelheid, de frequentie waarmee berichten aangeboden worden en de snelheid waarmee ontvangen berichten verwerkt kunnen worden. Deze factoren kunnen snel gevarieerd worden binnen het programma en

eventueel optredende problemen in de communicatie kunnen snel gedetecteerd en geanalyseerd worden.

Het stochastische aspect is bij de CAN bus beperkt, omdat het versturen van de berichten zeer sterk samenhangt met de prioriteit van berichten. Bij andere toegangsmechanismen tot de bus (bijvoorbeeld 'token ring' of CSMA/CD (zoals bij ethernet)) wordt niet met prioriteiten gewerkt maar krijgt elk device geregeld de gelegenheid een bericht te verzenden (token ring) of wordt stochastisch geprobeerd een bericht te verzenden (CSMA/CD).

Uit de resultaten blijkt de wachttijden voor te verzenden berichten in het algemeen beperkt blijven tot een aantal milliseconden. Voor de meeste processen in relatie tot de besturing van landbouwwerktuigen is dit acceptabel. Lange wachttijden treden alleen op bij bepaalde combinaties van bussnelheid, hoeveelheid aangeboden data en prioriteitskeuze van de berichten. Ook bij de hogere belastingen van de bus (>50%) blijven de wachttijden in het algemeen acceptabel. Door een goede keuze van de prioriteit van berichten en goede afspraken hierover kunnen belangrijke berichten binnen een acceptabele tijd verstuurd worden.

### Literatuur

Bij de auteur is een uitgebreide lijst met referenties beschikbaar. @