

Ontwikkeling van een modulair systeem voor kwaliteitsmeting van laanbomen

Automatisering van de diktemeting

Ton Baltissen, Bart van der Sluis, Bart van Tuijl

Praktijkonderzoek Plant & Omgeving,
Business Unit Bloembollen, Boomkwekerij & Fruit
PPO nr: 32 360533 00 PT nr: 12344.02
Lisse, April 2011

© 2011 Wageningen, Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek (DLO) onderzoeksinstituut Praktijkonderzoek Plant & Omgeving. Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van DLO.

Voor nadere informatie gelieve contact op te nemen met: DLO in het bijzonder onderzoeksinstituut Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Bloembollen, Boomkwekerij & Fruit

DLO is niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen die kunnen ontstaan bij gebruik van gegevens uit deze uitgave.

Europees Landbouwfonds voor Plattelandsontwikkeling: Europa investeert in zijn platteland



Financiering

Directie Regelingen (Ministerie van EL&I)

Flowers en Food (F&F)

Stichting Innovatie Platform Boomkwekerij (IPB)

Huverba BV

M. van den Oever Boomkwekerijen BV

met ondersteuning en medewerking van

Productschap Tuinbouw (PT)

Stuurgroep Landbouw Innovatie Noord-Brabant (LIB)

Projectnummer: 32 360533 00

Projectnummer PT: 12344.02

Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, onderdeel van Wageningen UR
Business Unit Bloembollen, Boomkwekerij & Fruit

Sector Bomen

Adres : Professor van Slogterenweg 2, 2161 DW Lisse

: Postbus 85, 2160 AB Lisse

Tel. : 0252 – 462121

Fax : 0252 – 462100

E-mail : infobomen.ppo@wur.nl

Internet : www.ppo.wur.nl

Inhoudsopgave

pagina

SAMENVATTING.....	7
1 HET PROJECT	9
1.1 Inleiding	9
1.2 Doelstelling	10
1.3 Aanpak	10
1.4 Beoogd resultaat	10
1.5 Uitvoering	11
2 VERKENNING.....	13
2.1 De meetlintmethode.....	13
2.2 Huidige meet methode en werkproces.....	13
2.2.1 Eisen aan de meting.....	13
2.2.2 Beschrijving huidig werkproces	13
2.2.3 Van meetresultaat naar klasse bepaling	15
2.3 Betrouwbaarheid en nauwkeurigheid.....	16
2.4 Testen	17
2.4.1 Inleiding	17
2.4.2 Beschrijving testen.....	17
2.4.3 Resultaten	18
2.4.4 Conclusies op basis van alle experimenten	19
2.5 Principes diverse meetmethoden	19
2.5.1 Inleiding	19
2.5.2 Bepaling van de omtrek van een perfect rond voorwerp.	19
2.5.3 Bepaling van de omtrek van een niet perfect rond voorwerp.....	20
2.6 Foutanalyse naar het gebruik van het aantal meetpunten en gevolgen voor het meetinstrument .	21
2.6.1 Schatting van oppervlakte door driepuntsmeting, CAD analyse met cirkel model.....	21
2.6.2 Schatting van oppervlakte door driepuntsmeting, CAD analyse met ellips model.	22
2.6.3 Geometrische reconstructie van stamoppervlakte door drie- en vier puntsmeetmethoden...	23
2.7 Conclusies	26
3 HAALBAARHEID	27
3.1 Inleiding	27
3.2 Voorstudie drie puntsmeetmethode door Perimeter	27
3.2.1 Betrouwbaarheid van de perimeter in theorie	28
3.2.2 Betrouwbaarheid van de perimeter in de praktijk	28
3.2.3 Betrouwbaarheid van de perimeter in de praktijk	29
3.2.4 Vergelijking van de benodigde tijd met de centimeterband	29
3.2.5 Meetfout van de perimeter analyse.....	29
3.2.6 Analyse van de klasse indeling van de meetresultaten met de perimeter	29
3.3 Voorstudie drie puntsmeetmethode door Mitutoyo meetklok.....	30
3.3.1 Betrouwbaarheid in theorie van de meetklok	31
3.3.2 Betrouwbaarheid in de praktijk van de meetklok	31
3.3.3 Betrouwbaarheid in de praktijk van de meetklok	32
3.3.4 Vergelijking van de gemeten tijd met de meetklok.	32
3.3.5 Meetfout van de meetklok	32
3.3.6 Analyse van de klasse indeling naar meetresultaten van de meetklok	33

3.4	Voorstudie tweepuntsmeting door schuifmaat.....	33
3.4.1	Betrouwbaarheid in theorie van de schuifmaat.....	34
3.4.2	Betrouwbaarheid in de praktijk van de schuifmaat, resultaten	34
3.4.3	Meetfout van de schuifmaat.....	35
3.4.4	Analyse van de klasse indeling naar meetresultaten van de schuifmaat.....	35
3.5	Voorstudie BSC studenten TU Delft	36
3.6	Afstudeeropdracht TU Delft	37
3.7	Haalbaarheid x-lijn/puntsmetingen	39
3.8	Verkenning contactloze meting	41
3.8.1	Proefopzet	41
3.8.2	Resultaten.....	43
3.8.3	Discussie en conclusie	43
3.9	Evaluatie	44
4	ONTWIKKELING VAN CONCEPTEN	45
4.1	Inleiding	45
4.2	Ontwikkelde concepten	45
4.2.1	Epicom	45
4.2.2	Vier-puntmeting (gelijktijdige dubbele diametermeting)	50
4.2.3	Meetklok	51
4.2.4	Perimeter.....	53
4.2.5	Laser-triangulatie	55
4.2.6	Digitale centimeterband.....	56
4.2.7	Tallymaster	59
4.3	Afweging concepten.....	60
4.4	De apparaten	61
4.5	Testen meetprincipes.....	62
4.6	Conclusie testen.....	66
4.7	Afweging concepten en keuze.....	66
4.8	Merken	66
4.8.1	Inleiding	66
4.8.2	Voorstudie.....	67
4.8.3	Brainstorm	67
4.8.4	Haalbaarheid markering.....	68
4.9	Conclusies	69
5	ONTWERPFASE	71
5.1	Inleiding	71
5.2	Voorstudie modellen	71
5.3	Modelkeuze.....	72
5.4	Keuze one handed versus two handed.....	73
5.5	Testen en afweging one versus two handed	74
5.6	Ontwikkeling two handed	75
5.7	Resultaten.....	77
6	WERKPROCES EN GEVOLGEN VOOR METER.....	79
6.1	Inleiding	79
6.2	Digitaal boomdikte meten in de praktijk.	79
6.2.1	De boomdikte meter.	80
6.2.2	Verzamelen van meetgegevens uit het veld.	80
6.3	Identificatie van de locatie	81
6.4	Conclusie.....	82
7	HARDWARE EN SOFTWARE.....	83

7.1	Inleiding	83
7.2	Embedded software en hardware	83
7.3	PC applicatie	84
7.4	Protocol	85
7.5	Conclusie	85
8	HET EINDRESULTAAT	87
8.1	Inleiding	87
8.2	Resultaat	87
8.3	Art Impressie	87
8.4	Conclusie	89
9	MARKTIMPLEMENTATIE	91
9.1	Inleiding	91
9.2	Aanpak	91
9.3	De markt	91
9.4	Businessplan	91
10	EVALUATIE EN COMMUNICATIE	93
10.1	Inleiding	93
10.2	Evaluatie	93
10.3	Kennis en informatie	94
10.4	Communicatie	94
11	LITERATUUR	95
	BIJLAGE 1 DEELNEMERS WORKSHOP EN BEDRIJVEN	97
	BIJLAGE 2 MEETRESULTATEN DUBBEL, GELIJKTIJDIGE DIAMETERMETING	99
	BIJLAGE 3 WORKSHOP AFWEGING CONCEPTEN	101

Samenvatting

Meten, merken, tellen en registreren zijn vier arbeidsintensieve handelingen in het werkproces “diktemeting laanbomen” in de laanboomsector. Doel van die diktemeting (beter omtrekmetering) is het vaststellen van de omtrek van de boom (basis voor de prijs), het bepalen van het aantal verkoopbare bomen en het voorbereiden van het logistieke proces van verkoop en aflevering.

De deskundigheid en de toenemende kosten voor de inzet van de arbeid in het werkproces omtrekmetering zijn een toenemend probleem voor laanboombedrijven. Automatisering van de diktemeting heeft een groot aantal voordelen:

- Arbeidsbesparing en daarmee kostenbesparing
- Sneller en beter inzicht in voorraad
- Kwaliteitsverbetering (minder tel- en meetfouten)
- Minder afhankelijk van deskundigheid medewerker

Twee laanboombedrijven, Huverba BV en M. van den Oever Boomkwekerijen BV, startten daarom het project “ontwikkeling van een modulair systeem voor kwaliteitsmeting van laanbomen”. Praktijkonderzoek Plant en Omgeving – Boomkwekerij was projectleider. Verder was WUR-Glastuinbouw in de projectgroep vertegenwoordigd.

Doel van het project is het ontwikkelen van een modulair meetsysteem voor diktemeting van laanbomen, waarbij de meetgegevens digitaal beschikbaar komen voor de bedrijfsmanagementsystemen zoals de diverse administratieve en commerciële systemen (verkoop, voorraad, teeltresultaat). Het ontwikkelen van dit systeem is uitgevoerd middels een gestructureerde aanpak met de volgende fasering:

1. Haalbaarheid en oriëntatie
2. Ontwerpfase: ontwikkeling van de concepten
3. Bouw en testen van de prototypes van de concepten
4. Eindfase: ontwerp en design van het gekozen concept

In de haalbaarheidsfase is er veel aandacht gegeven aan de huidige werkwijze en meetmethode. In samenwerking met diverse organisaties en instellingen zijn meetmethoden verkend en testen uitgevoerd in het laboratorium en het veld. Een aantal meetmethoden is (theoretisch) nader uitgewerkt om een betere inschatting van de haalbaarheid te geven. Uit die analyse blijkt dat gebruik van meer meetpunten een kwalitatief betere benadering geeft van de omtrek van de stam. Meetmethoden met 2,3 en 4 contactpunten zijn getest en beoordeeld in vergelijking met het meten van de hele omtrek.

In de ontwerpfase zijn concepten ontwikkeld en prototypes gebouwd om de meetprincipes van die concepten te testen. De concepten werden mede ontwikkeld in samenwerking met bedrijven en TU Delft. De nadruk heeft in deze fase gelegen op het ontwikkelen van het meetprincipe, als belangrijk onderdeel van het totale concept. In deze fase zijn door PPO acht concepten ontwikkeld:

<u>Concepten:</u>	<u>In samenwerking met</u>
1. Laser/triangulatie	TU Delft
2. Digitale perimeter	WUR Glas
3. Moderne epicom	WUR Glas
4. Dubbele digitale diameter	Rokatec
5. Mitutoyo concept	WUR Glas
6. Digitale centimeterband	Datacontrol/Wireless Value
7. Tally Master	Amerika/PPO
8. TOF Imaging	Biometrys/WUR Glas (afstandsmeter)

Op basis van de test resultaten met de prototypes en aanvullende beoordelingen (zoals robuustheid, bedieningsgemak, kosten) is er door de opdrachtgevers en begeleidingsgroep gekozen om de perimeter te moderniseren en te digitaliseren.

In de eindfase van het project is er gewerkt aan de verdere beschrijving en uitwerking van de digitale perimeter. Daarbij hoorde ook het verder moderniseren en vorm geven van de perimeter in samenwerking met diverse bedrijven. Na testen met de boomkwekers is er gekozen voor de "two handed" versie. Deze versie is daarna verder uitgewerkt en beschreven. Op basis van het ontwikkelde en beschreven werkproces is een systeem ontwikkeld waarbij de digitale perimeter gekoppeld moet worden aan een PC. De benodigde hard- en software (embedded en op PC) zijn beschreven.

Het merken van de bomen na het meten is een belangrijk onderdeel van het werkproces. In dit project zijn er verkenningen uitgevoerd en er lijken mogelijkheden om het merken te integreren in de moderne perimeter. De haalbaarheid moet verder uitgezocht worden.

Losstaand van het ontwikkelen van de contactmeter is er ook beperkt onderzoek verricht naar de contactloze (afstandsmeting). Daarbij is gekeken naar de mogelijkheden van een normale kleurencamera in combinatie met een range camera op basis van het time of flight principe (TOF imaging). Op ronde voorwerpen gemeten onder laboratorium omstandigheden werd een voldoende nauwkeurigheid bereikt. Het totale concept kan potentie hebben, echter gezien de ontwikkelingskosten van deze techniek en de vereiste deskundigheid bij de kwekers is dit concept niet verder uitgediept.

Het project heeft de volgende resultaten geboekt:

- een beschrijving van het nieuwe werkproces
- een getest prototype van een moderne contactmeter
- een beschrijving van het model en een art impressie van het model
- een beschrijving van hard- en software op de meter en op de PC
- een (voorstudie naar een) merksysteem
- een dataprotocol voor uitwisseling van data tussen meter en PC
- een verkenning naar een contactloze meting

Nu nog de stap naar verdere implementatie.

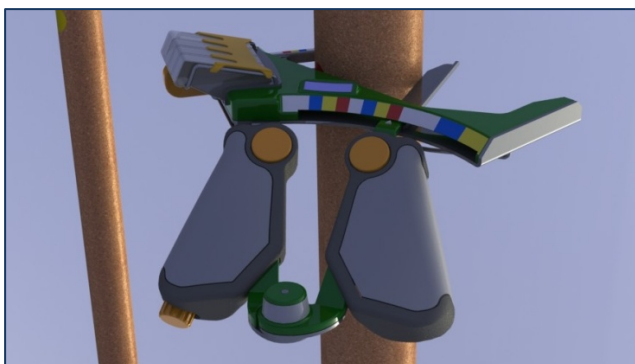


Foto 1. Impressie digitale perimeter met markering.

1 Het project

1.1 Inleiding

Kwaliteit leveren en de kosten beheersen (concurrentie) zijn voor de teeltbedrijven belangrijke aspecten in de huidige bedrijfsvoering. De deskundigheid en de toenemende kosten voor de inzet van de arbeid zijn een toenemend probleem voor deze bedrijven. Juist problemen op gebied van arbeid was de drijfveer voor de bedrijven om samenwerking te zoeken. Daarbij kwam al snel naar voren dat automatisering van de diktemeting laanbomen een groot aantal voordelen heeft:

- Arbeidsbesparing en daarmee kostenbesparing
- Sneller en beter inzicht in de beschikbaarheid van de (verkoopbare) bomen op het bedrijf
- Kwaliteitsverbetering (minder tel- en meetfouten)
- Minder afhankelijk van deskundigheid medewerker

Tellen, meten, merken en registreren zijn nu vier arbeidsintensieve handelingen in het werkproces “diktemeting laanbomen” in de laanbomensector. Deze handelingen worden door alle bedrijven uitgevoerd. Doel van de diktemeting is om de omtrek van de boom vast te stellen. De dikteklasse bepaalt mede of een boom leverbaar is en zo ja, wat de prijs is. Indien een boom aan de kwaliteitseisen voldoet bepaalt de dikteklasse de prijs.

Het meten wordt nu door alle laanbomenkwekers uitgevoerd m.b.v. een meetlint. Gegevens worden handmatig genoteerd en in het voorraadsysteem ingevoerd. Plaatsbepaling wordt slechts globaal gedaan (perceel- en rij niveau).

Een vooronderzoek naar de technische en economische mogelijkheden voor automatische diktemeting van laanbomen, gefinancierd door Productschap Tuinbouw (PT), heeft reeds plaatsgevonden. De resultaten van de studies zijn vastgelegd in 2 rapporten.

1. Hemming, Jochem en Jan Bontsema, 2007. Automatisering van de diktemeting bij de teelt van laanbomen. Verslag van laboratoriumexperimenten. Jochen Hemming en Jan Bontsema. Wageningen UR Glastuinbouw, nota 462.
2. Van der Sluis Bart en Ton Baltissen, 2007. Automatisering van de meting van de stamomvang van laanbomen. Wageningen UR - PPO.

Deze rapporten zijn in twee workshops besproken met een aantal kwekers. Zij hebben zich duidelijk uitgesproken voor voortzetting van de ontwikkeling van de automatisering van de diktemeting. Huverba BV en M van den Oever Boomkwekerijen BV hebben samen met Wageningen UR – Praktijkonderzoek Plant en Omgeving, business unit Bloembollen, Boomkwekerij & Fruit (PPO) een projectplan opgesteld voor een vervolg traject. Dit project is uitgevoerd in de periode 2007 – 2010. Dit rapport brengt verslag uit van het vervolg traject.

In dit rapport wordt het doorlopen traject weergegeven. Hoofdstuk 2 beschrijft de uitgevoerde verkenningen, waarbij vooral aandacht is gegeven aan de achtergronden van de verschillende meetmethodieken (x-punts metingen). In hoofdstuk 3 en 4 worden diverse meetprincipes verder beschreven, gebouwd en getest. Hoofdstuk 5 beschrijft de ontwerpfase van het gekozen concept en in hoofdstuk 6 wordt het werkproces gekoppeld aan dit nieuwe concept beschreven. Hoofdstuk 7 beschrijft de benodigde software bij het werkproces en de embedded software van de meter. In de hoofdstukken 8 t/m 10 wordt beschreven wat bereikt is en hoe de implementatie in de praktijk verder wordt vorm gegeven.

1.2 Doelstelling

Het ontwikkelen van een modulair meetsysteem voor diktemeting van laanbomen, waarbij de meetgegevens digitaal beschikbaar komen voor de bedrijfsmanagementsystemen t.b.v. de diverse administratieve en commerciële systemen (verkoop, voorraad, teelresultaat).

Het modulaire meetsysteem bestaat uit de volgende onderdelen:

- modernisering van een bestaande contactmeter (minimaal 3-puntsmeting), dan wel een nieuw ontwikkelde contactmeter.
- het ontwikkelen van een single view camerasysteem ("2 puntsmeting") waarbij contactloos de dikte van de bomen vastgelegd wordt (voorraadmeting: telling en verdeling in dikteklassen).
- het ontwikkelen van een merksysteem. Naast meten moeten de bomen ook gemerkt worden. De meting geeft een dikte (= omtrek) aan en op basis van deze meting wordt de boom in een klasse ingedeeld. Die klasse aanduiding wordt op dit moment visueel gemaakt met een gekleurd bandje om of gekleurde stip op de boom.
- het ontwikkelen van een dataprotocol, om de in het veld gemeten data op gestandaardiseerde wijze beschikbaar te laten komen voor de in de markt aanwezige Bedrijfs Management Systemen (BMS).
- automatisch tellen, een afgeleide doelstelling van het single view camerasysteem is dat er ook een telling plaatsvindt. Elk meetresultaat is een object (boom).

1.3 Aanpak

Het ontwikkelen van genoemd systeem vergt een duidelijke gestructureerde aanpak. Door de volgorde van de activiteiten, strakke aansturing van die activiteiten, de organisatiestructuur en een sterk projectmanagement wordt de borging gerealiseerd van de integratie van de onderdelen tot een systeem. De verschillende onderdelen verschillen in de mate van complexiteit en risico. Vooral de merktechniek moet nog helemaal ontwikkeld en geïntegreerd worden met het meetsysteem.

De aanpak van het project op hoofdlijnen:

Project fasering:

1. Verkenning
2. Haalbaarheid
3. Ontwikkeling van concepten
4. Bouwen en testen prototypes concepten
5. Ontwerpfase gekozen meetinstrument
6. Van ontwikkeling naar realisatie

Nadruk heeft gelegen op de contactmeting vanwege de grotere kans op succes en marktpotentie.

1.4 Beoogd resultaat

Het project beoogde de volgende resultaten:

- een beschrijving van het nieuwe werkproces
- een getest prototype van een moderne contactmeter
- een beschrijving van hard- en software op de meter en op de PC
- een (voorstudie naar een) merksysteem
- dataprotocol voor uitwisseling data tussen meter en PC
- een verkenning naar een contactloze meting

1.5 Uitvoering

Het projectteam bestond uit medewerkers van PPO Bloembollen, Boomkwekerij & Fruit en WUR-Glastuinbouw. In de verschillende fasen van het project zijn diverse partijen benaderd. Genoemd kunnen worden: TU Delft (A team), Wireless Value, Mututoyo, Rokatec, Inspiro, Data Control Transponder Technology, Jacques Verbeek, de producent van Epicom, Imix, Linx Solutions. Verder is uitgebreid gebruik gemaakt van de twee uitgevoerde voorstudies en de daarin genoemde technische mogelijkheden en apparaten.

2 Verkenning

2.1 De meetlintmethode

In dit hoofdstuk wordt de huidige meetmethode beschreven en nader onderzocht. Verder wordt aandacht gegeven aan de vraag waarom een omtrekmetering van een boom een complex probleem is. Ook zal duidelijk worden dat de handeling "uitvoeren van de diktemeting", slechts een deel van het gehele werkproces is.

2.2 Huidige meet methode en werkproces

2.2.1 Eisen aan de meting

Bij de kwaliteit van laanbomen wordt onderscheid gemaakt in uitwendige en inwendige kwaliteit. Onder uitwendige kwaliteit wordt verstaan: rechte stam, aantal, lengte en plaats van de gesteltakken, dikte-lengte verhouding, kluitomvang (hoeveelheid wortels), veredelingsplaats. Onder inwendige kwaliteit wordt o.a. verstaan: erfelijke factoren (goede herkomst, selecties), virus status, vitaliteit (uitdrogen e.d.), juiste onderstam keuze (onverenigbaarheid). De kwaliteitsnormering staat beschreven in 'Kwaliteitsnormen boomkwekerijproducten', een uitgave van de Raad voor de Boomkwekerij, (2010). Hierin zijn de algemeen geaccepteerde en gebruikte kwaliteitsnormen en omschrijvingen opgenomen. De meeste laanbomen worden geleverd als hoogstambomen in klassen van diktematen van de stam. Hierbij geldt de volgende indeling:

- a) De bomen worden tot de stamomtrek van 20 cm, in klassen van 2 cm stamomtrek (op 1 meter vanaf de stamvoet) ingedeeld en daarboven in klassen van 5 cm: maten 6/8, 8/10, 10/12, 12/14 enz. en 20/25, 25/30 cm enz.
- b) Zij moeten een stamhoogte hebben van minstens 180 cm, bij bomen met een stammaat van 6/8 cm. mag de vertakking op 150 beginnen.

De omtrek van bomen wordt met een centimeterbandmaat gemeten en niet met een schuifmaat of metalen steekmaat.

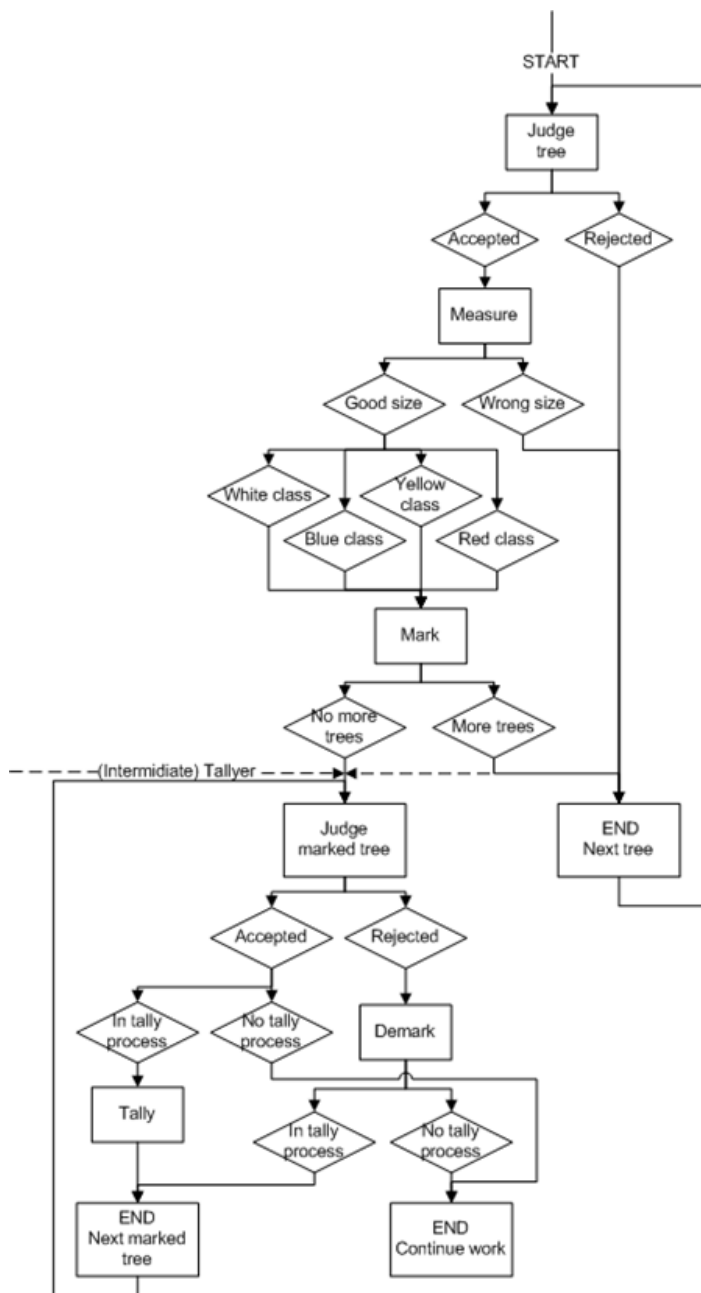
Met een kleur (verf stip of lintje) wordt de diktemaat aangegeven van laanbomen (tabel 1).

Tabel 1. Maat en kleur. (Raad voor de Boomkwekerij, 2010).

5- 6	Wit
6- 8	Blauw
8- 10	Geel
10- 12	Rood
12- 14	Wit
14- 16	Blauw
16- 18	Geel
18-20	Rood
20-25	Wit
25-30	Blauw
30-35	Geel
35-40	Rood
40-45	Wit

2.2.2 Beschrijving huidig werkproces

In het rapport "Automatisering van de meting van de stamomvang van laanbomen (PPO, 2007) is het werkproces beschreven en gekwantificeerd naar (arbeids)inzet.



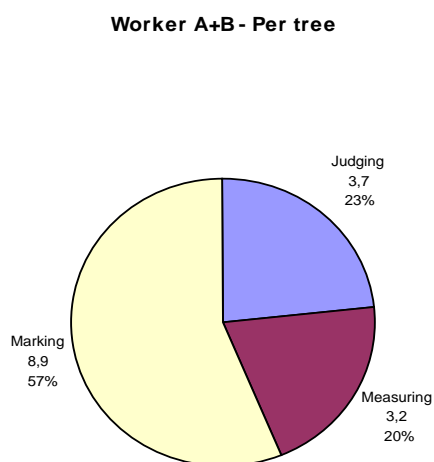
Figuur 1. Werkproces diktemeting (Nachenius, 2010).

Het huidige werkproces bij diktemeting, in combinatie met andere werkzaamheden die daar direct aan verbonden zijn, staat in schema figuur 1 weergegeven. In september worden alle leverbare bomen gemeten en gemerkt. In de praktijk is een groep (of meerdere groepen) van 2-3 medewerkers hier wekenlang mee bezig (van der Sluis, 2007). Twee ‘merkers’ kunnen één ‘meter’ bijhouden. Op vrijwel alle bedrijven vindt het meten plaats met een centimeterbandmaat. De gemeten omtrek wordt meteen omgezet in een maatklasse (tabel 1) . De ‘meter’ roept de maat of brengt een eenvoudig teken aan bij de boom. De ‘merkers’ volgen met de kleurlintjes (dit kan eventueel ook op een later tijdstip plaatsvinden). Soms worden de bomen met watervaste stippen (eenzijdig) gemerkt. Op de meeste bedrijven wordt met kleurlintjes gewerkt.

Het tellen (tweede deel schema) van de bomen gebeurt in de meeste gevallen later. Hulpmiddelen hierbij zijn telbordjes, telklokjes etc. De aantallen bomen worden op perceelsniveau op papier gezet en later in het voorraadprogramma ingevoerd. Dit kan variëren van een eenvoudige zelfontworpen spreadsheet tot gespecialiseerde software. Zeker bij de telling in het veld, is het risico op het maken van telfouten groot of het risico op verlies van de data (op papier) groot.

Er wordt met vrij grote nauwkeurigheid gemeten. Bij de vroege metingen, begin september, wordt een inschatting van de verdere groei in groeiseizoen gemaakt. Daarbij wordt 2 tot 4 mm nagroei als reëel beschouwd; dit is soortafhankelijk. Bij het merken van de bomen wordt rekening gehouden met de ingeschatte nagroei.

In een studie van de TU-Delft (Nachenius, 2010) is de verdeling in tijdsbesteding over de onderdelen meten-merken en beoordelen gemeten. Zie figuur 2.



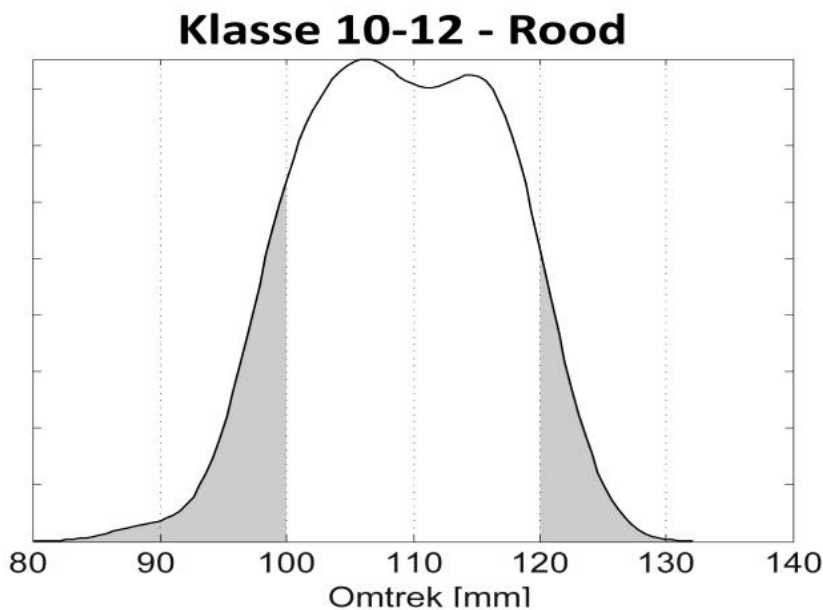
Figuur 2. Tijdsverdeling binnen het werkproces.

Het beoordelen van de bomen (judging) behoort tot de persoonlijke vaardigheden van de medewerker. De tijdsbesteding aan dit onderdeel kan per medewerker sterk variëren. Gemiddeld bedraagt het 23% van de tijd. De meeste tijd wordt besteed aan het knopen van het merklintje.

2.2.3 Van meetresultaat naar klasse bepaling

Door Mank et.al.(2008) zijn in een experiment ruim 600 bomen op 6 kwekerijen gemeten. Dit experiment had tot doel inzicht te krijgen hoe de spreiding van de stamontrek per klasse eruit ziet en welke aandeel van de bomen in een verkeerde klasse terecht komt.

Er zijn ongeveer 125 bomen per kweker gemeten (6 kwekers). De bomen zijn ingedeeld naar klassen, zoals beschreven in tabel 1. De boomsoorten die in het onderzoek zijn meegenomen zijn: Malus, Betula, Fraxinus, Acer, Tilia en Platanus. Per kweker is een aantal bomen uit verschillende klassen meegenomen. De resultaten zijn naar verdelingen gefit met kernel-sensity functies om een grafische interpretatie van de metingen te krijgen. Dit is uitgevoerd per kweker per klasse, per boomsoort per klasse en totaal per klasse. Een voorbeeld van de verkregen verdelingen is in grafiek (figuur 3) weergegeven en geeft inzicht hoe de spreiding van de bomen in de klasse 10-12 eruit ziet.



Figuur 3. Spreiding bomen binnen een klasse.

De algemene variabele in het onderzoek bestaat uit de kans op een fout in de volledige populatie, ongeacht de klasse, de boomsoort of de kweker. De klasse-indeling in september, uitgevoerd door de kwekers, is in het volgende voorjaar getoetst. De berekende waarde met 95% betrouwbaarheid ligt tussen de 18 en 24% van de totale populatie laanbomen. Het totale aantal laanbomen dat in een verkeerde klasse is ingedeeld is significant. De totale fout kan worden opgesplitst in een groep bomen die te klein zijn voor de klasse en een groep bomen die te groot zijn voor de klasse. Bij een te kleine boom betaalt een klant teveel voor de boom, terwijl bij een te grote boom de kweker omzet misloopt.

Voor te kleine bomen en te grote bomen is dit 15 tot 21% en respectievelijk 1 tot 4% van de totale populatie. Hieruit kan geconcludeerd worden dat in dit specifieke onderzoek een deel van de laanbomen in een te grote klasse wordt ingedeeld.

2.3 Betrouwbaarheid en nauwkeurigheid

In het project moeten een aantal uitgangspunten betreffende de huidige en gewenste meetnauwkeurigheid goed worden beschreven en vastgelegd. De huidige werkwijze van diktemeting vindt plaats door middel van een contactmeting met een meetlint.

Bij de automatisering van de diktemeting spelen o.a. de volgende vragen een rol:

- Hoe rond is een boom?
- Hoe nauwkeurig is de huidige meting?
- Welke meetmethoden zijn er en hoe nauwkeurig zijn ze?
- Hoe nauwkeurig is de huidige klasse indeling?
- Hoe nauwkeurig moet de nieuwe methode zijn?
- Moeten we exact de omtrek meten of is een klasse-aanduiding voldoende?
- Welke meettechnieken zijn er en welke willen we toepassen?

Bij de contactmeting is de meettechniek een discussiepunt. Behoort naast de centimeter-meetlint de schuifmaat tot de mogelijkheden, al of niet 'overkruis' (loodrecht op elkaar) toegepast of zijn er nog andere technieken? Deze vragen hangen samen met het gegeven dat de stam van de boom niet zuiver rond is.

Huidige meetmethode: het meetlint

De omtrekmetering met het meetlint (centimeterbandje) neigt naar overschatting van de werkelijke omtrek.

Namelijk niet recht en niet strak aanleggen van meetlint leidt altijd tot overschatting, maar ook de dikte van het meetlint zelf leidt tot een overschatting. Bij een gemiddelde dikte van het meetlint van 0.4 mm is de omtrek 2,4 mm groter. Bij een boommaat van 16 cm is dit een afwijking van 1,5%. De werkelijk meetlintmeting resulteert in een gemiddelde afwijking van 4,2 mm. Andere fouten zijn:

- afleesfouten
- meetverschillen tussen personen onderling
- meetverschillen van één persoon bij meerdere metingen aan één boom.
- fouten in meetlint
- administratieve fouten in de verwerking van de meetgegevens.

2.4 Testen

2.4.1 Inleiding

Om meer zicht te krijgen op de betrouwbaarheid en nauwkeurigheid van de huidige meetmethode in relatie tot andere methoden zijn verschillende experimenten uitgevoerd (Baltissen et.al., 2010). In deze experimenten zijn met verschillende meetmethoden dezelfde bomen verschillende malen gemeten.

De onderzoeksresultaten, hebben vooral betrekking op de vergelijking van de contactmeting met het meetlint (omtrekmeting) met de diametermeting (eventueel overkruis = dubbele 2-puntsmeting = 4-puntsmeting).

2.4.2 Beschrijving testen

Experiment 1

In 1990 is door de Groep Landbouwwiskunde een vergelijking gemaakt van verschillende omtrekmetingen (Thissen, 1990):

- diktemeter (o.b.v. diameter metingen);
- omtrekmeter (met een touwtje);
- schuifmaat (dubbele 2-puntsmeting = 4-puntsmeting);
- een centimetermaat.

In totaal is van 25 verschillende voorwerpen de omtrek vastgesteld. De voorwerpen werden onderverdeeld in 2 klassen: voorwerpen met een volledige ronde vorm en iets minder ronde voorwerpen, zoals boomstammen.

Experiment 2

In 2008 is in een studie (TU Delft) een inventarisatie uitgevoerd naar bestaande en denkbare meetmethodieken en is een onderzoek uitgevoerd naar de haalbaarheid van die meetmethoden (Mank et al., 2008). Met betrekking tot de meetnauwkeurigheid zijn de volgende experimenten uitgevoerd: Vergelijking van de diametermeter; (2- en 4-puntsmeting) met het meetlint bij 112 bomen (vier boomsoorten).

De volgende varianten zijn met elkaar vergeleken:

- o Berekende omtrek op basis van diameter 1
- o Berekende omtrek op basis van diameter 2 (haaks op diameter 1)
- o Berekende omtrek op basis van gemiddelde diameter (diameter1 & diameter2)
- o Berekende omtrek op basis van ellipsformule.

Daarnaast is berekend of een systematische correctie van 5 mm resulteert in meer vergelijkbare meetresultaten van beide meetmethoden. De volgende hypothese is getoetst:

Een correctie van de gemiddelde diametermeting met +5 mm is gelijk aan meetlint meting' (Withagen, 2009).

De kwekers eisen een meetnauwkeurigheid van 1 mm. Op een boom met een omtrek van 20 cm is dit 0,5%.

Experiment 3

In 2009 heeft PPO een veldproef uitgevoerd op twee bedrijven (Van den Oever Boomkwekerijen en Huverba) met als doel het bepalen van de betrouwbaarheid van de huidige meetmethode t.o.v. andere meetmethoden en meer inzicht te krijgen in de reproduceerbaarheid van de metingen binnen bomen over personen (Withagen, 2009), maar ook de reproduceerbaarheid tussen en binnen personen ('interne fout').

Proefopzet

Door vijf ervaren omtrekmeters per bedrijf is in juli 2009 de omtrek van 3 x 25 bomen tweemaal gemeten met het meetlint en eenmaal met de schuifmaat (4-puntmeting).

2.4.3 Resultaten

Experiment 1

Uit de studie van Thissen (1990) bleek dat het meetlint in vergelijking met van de andere meetmethoden de volgende verschillen oplevert:

- T.o.v. de omtrekmeter ca. +1 mm;
- T.o.v. de diktemeter gebruikt in 1990 ca. +3 mm;
- T.o.v. de schuifmaat (dubbele meting) ca. +2 mm.

Belangrijke conclusie uit dit onderzoek is dat het meetlint in veel gevallen resulteert in een hogere meetwaarde van circa 2 mm ten opzichte van de gemiddelde (dubbele) diametermeting, zowel voor zuiver ronde voorwerpen als voor boomstammen.

Experiment 2

De conclusie uit de studie van Mank et. al. (2008) ten aanzien van de betrouwbaarheid van een twee bovengenoemde experimenten was:

- De 2- en 4- punts- diameter-metingen (schuifmaat) voldoen niet aan de vereiste nauwkeurigheid van 1 mm. Dat is bij een boomomtrek van 60 mm 1,7%. De afwijking bedroeg resp. 9,1% bij de 2-puntsmeting en 6,4% bij de 4-puntsmeting.

In een nadere statistische analyse (Withagen, 2008) is het meetlint vergeleken met de 4-puntsmeting (schuifmaat). Dit leverde de volgende conclusies op:

- Er geen significant verschil is tussen de gemiddelde (dubbele) diameter-meting en de meetwaarden op basis van de ellipsformule.
- De gemiddelde (dubbele) diametermeter is significant lager dan meting met het meetlint. In deze analyse komt 2% van de gemeten bomen met het meetlint in lagere maatklasse terecht (i.v.m. de diametermeting) en 18% in een hogere klasse terecht (en 80% in dezelfde klasse).
- Een correctie van de klassengrenzen van 5 mm bij de diametermeting levert op dat 91% in dezelfde klasse valt, 4% in een te hoge klasse valt en 5% in een te lage klasse.

Experiment 3

De verschillen in meetresultaat tussen verschillende personen loopt uiteen en hangt samen met de dikte van de bomen. Op bedrijf 1 werd door vijf personen gemeten aan drie boomsoorten in de maatklasse 12/14. Het verschil tussen de hoogste en laagste gemiddelde meting per persoon bij het meten van 25 bomen per soort liep uiteen van 0,7 tot 1,7 mm. Op het andere bedrijf, met drie soorten zwaardere bomen maatklasse 18/20 - 20/25 was dit 3,3 tot 3,9 mm.

Bij de lichtere laanbomen (12/14-14/16) worden met het meetlint, in vergelijking met de 4-puntmeting, 8% van de bomen in een lagere klasse ingedeeld en 1% in een hogere. Dit is tegen de verwachting! Wordt de meting met het meetlint gecorrigeerd met -5 mm dan wordt 35% in een lagere klasse ingedeeld en 0% in een hogere.

Bij de zwaardere laanbomen (18/20-20/25) worden met het meetlint, in vergelijking met de 4-puntmeting,

21% van de bomen in een hogere klasse ingedeeld en 0% in een lagere. Wordt de meting met het meetlint gecorrigeerd met -5 mm dan wordt 1,4% in een lagere klasse ingedeeld en 2,8% in een hogere.

2.4.4 Conclusies op basis van alle experimenten

De volgende conclusies worden getrokken op basis van de beschreven experimenten:

- Bij een afleesnauwkeurigheid van 1 mm voldoet zowel de meetlintmeting als de 4-puntsmeting (schuifmaat) niet aan norm.
- Meten met centimeterband geeft een meetoverschatting van 2-3 mm in vergelijking met de dubbele diametermeting. Dit wordt veroorzaakt door foutief gebruik (leesfouten, scheef omleggen e.d.) van het meetlint, maar ook doordat de dikte van het meetlint 'mee-gemeten' wordt.
- De reproduceerbaarheid van de huidige meetmethode (meetlint) correspondeert niet met de vereiste meetnauwkeurigheid. Wanneer meerdere personen aan dezelfde boom meten, loopt de meetfout uiteen van gemiddeld 0,7 –1,7 bij de kleine maten (14/16, 16/18) en 3,3 - 3,9 mm bij de grotere maten (18/20, 20/25).
- Een systematische correctie van de meetlint-meting met $\pm 3-5$ mm resulteert bij bomen vanaf de maatklasse 16/18 in meer vergelijkbare waarden met 4-puntsmeting (en andere meetmethoden).

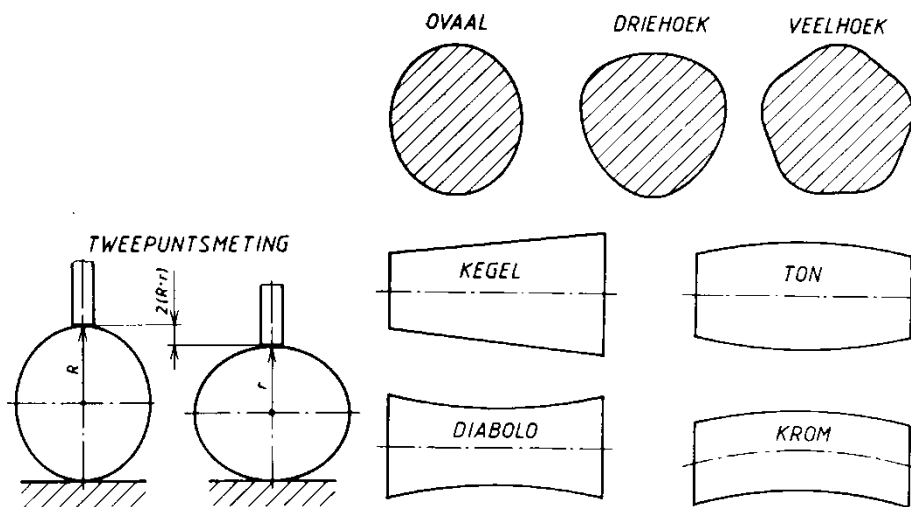
2.5 Principes diverse meetmethoden

2.5.1 Inleiding

Het meten van de omtrek van cirkel vormige en afwijkend ronde voorwerpen is een belangrijk aspect van dit project. In het volgend deel worden meetprincipes besproken, die in de meetindustrie worden gebruikt om de rondheid van cirkelvormige en afwijkend cirkel vormige voorwerpen te meten. Hierin worden meetprincipes besproken die gebruik maken van een twee, drie of meerpunts meetmethode.

2.5.2 Bepaling van de omtrek van een perfect rond voorwerp.

In de industrie zijn veel meetinstrumenten in omloop om de diameter van bijvoorbeeld assen, buizen en staven te bepalen. Deze meetinstrumenten zijn schuifmaten, micrometers, meetklokken in statieven, meetklokken in meetbruggen etc. De meeste instrumenten raken op 2 of 3 plaatsen het voorwerp om de diameter te bepalen en kunnen dat met hoge nauwkeurigheid doen, een goed gekalibreerde micrometer haalt een nauwkeurigheid van 0,001 mm. Deze nauwkeurigheid is alleen te behalen onder bepaalde omstandigheden. De oppervlakken moeten schoon zijn, het meetinstrument moet door een ijkdienst gekalibreerd zijn in een machine waarin op een 10 maal betere nauwkeurigheid de afstand bepaald kan worden (voor een micrometer met 0,001 mm schaal betekent dit dat de ijkmachine tenminste 0,0001 mm moet kunnen meten). Daarnaast kunnen er nog fouten ontstaan doordat het instrument niet goed wordt aangelegd (niet haaks op het te meten oppervlak), als er grote temperatuurs verschillen zijn of als het instrument niet goed is onderhouden. De meetinstrumenten raken het voorwerp maar op 2 of 3 plaatsen omdat de fabrikant er van uit gaat dat het ronde voorwerp ook daadwerkelijk rond is. Een bekende meetfout ontstaat vaak doordat assen niet goed zijn geslepen en daardoor ellipsvormig zijn of een driehoekvorm hebben.



Figuur 4. Meting diameter en rondheid voorwerp.

Ook hier gaan industriële meetinstrumenten in de fout en dat is in de praktijk zeer moeilijk te constateren of te meten. Er zijn gespecialiseerde meetinstrumenten die op meetkamers worden gebruikt in dit soort gevallen waarbij een totaal beeld gevormd kan worden van het werkelijk beeld van de rondheid van een as.

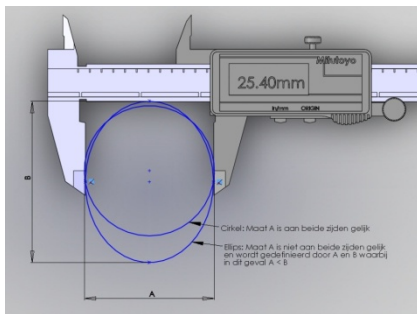


Foto 2. Nauwkeurig meetapparaat.

2.5.3 Bepaling van de omtrek van een niet perfect rond voorwerp.

De discussie in 2.5.2 ging over perfect ronde voorwerpen waarvan de diameter bepaald kan worden door op 2 of 3 punten te meten. Door de niet rondheid van industriële producten en de bepaling daarvan moet gebruik gemaakt worden van instrumenten die een volledig beeld kunnen vormen van het verloop van het niet rond zijn langs de gehele omtrek van het product. Alleen op die manier is dan een maat van de diameter of omtrek te bepalen.

In de praktijk wordt de omtrek van een boom bepaald door een centimeterband. Het uitgangspunt hiervan is goed. Als de omtrek bepaald moet worden van een niet perfect rond voorwerp moet de omtrek bepaald worden door langs de gehele omtrek te meten. Alle niet-rondheden tellen dan mee in de bepaling van de omtrek. Uiteraard zal de centimeterband fouten introduceren door: rek in de centimeterband, het niet recht aanleggen van de band, productiefouten van de band zelf, slijtage, afleesfouten en de dikte van de band zelf. Andere meetmethoden die langs 2, 3, 6 of meerdere aangelegde meetpunten de omtrek bepalen van een niet perfect rond voorwerp gaan in meer of mindere mate in de fout. Ieder punt waar het instrument de boom raakt is vatbaar voor een meetfout door vervuiling, niet juist of recht aanleggen en tussen meetpunten is het onbekend wat het niet-ronde voorwerp doet. Het kan zijn dat na een meetpunt het voorwerp een heel ander pad gaat lopen en de werkelijke omtrek anders is dan wat de andere meetpunten zien.



Figuur 5. Schuifmaat als meetinstrument.

Zoals bij bovenstaande schuifmaat (figuur 5) waar het te meten voorwerp geraakt wordt op twee punten, maar het voorwerp een ellips beschrijft, wat de schuifmaat niet kan “zien”.

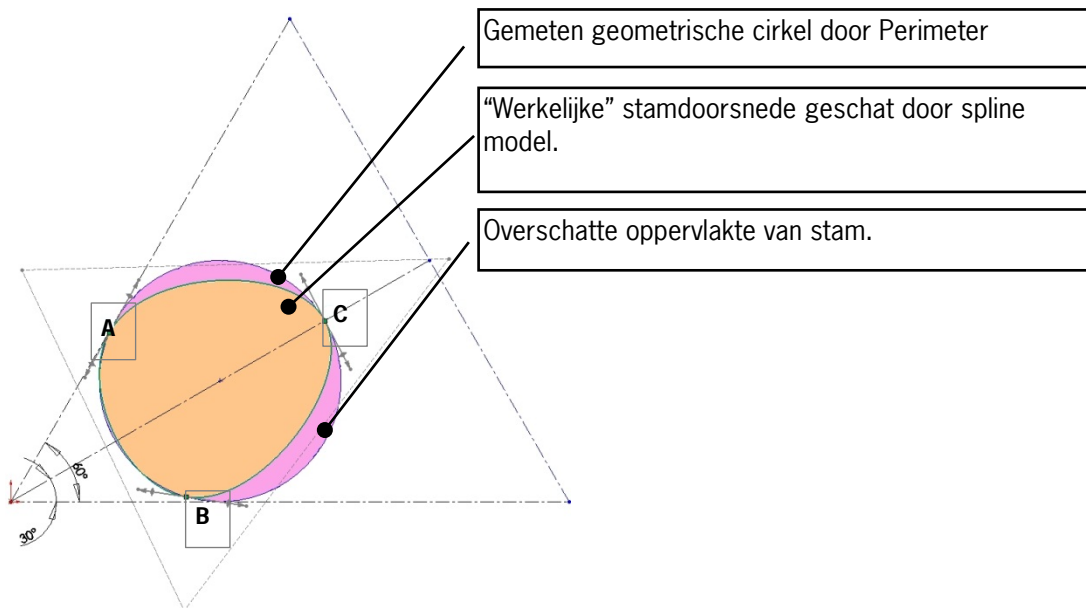
Door meerdere meetpunten in het apparaat op te nemen wordt de bepaling van de omtrek ontegenzeggelijk beter, de beste methode is om de gehele omtrek aan te leggen in het meetinstrument. De totale uitvoering van deze instrumenten, dus inclusief de bedieningswijze, de wijze hoe de totale omtrek gevat wordt en de opslag en verwerking van het meetresultaat, wordt meegenomen.

2.6 Foutanalyse naar het gebruik van het aantal meetpunten en gevolgen voor het meetinstrument

In het algemeen wordt in de praktijk gesproken van bomen met een uitgesproken cirkelvormig of afwijkend (zoals ellipsvormig) oppervlak. Een meetinstrument zou in beide gevallen een goede schatting moeten kunnen maken van bomen met beide vormen. In dit hoofdstuk worden een aantal bekende meetprincipes geanalyseerd naar het aantal meetpunten dat wordt gebruikt om een inschatting te maken van de omtrek van een voorwerp. Met gebruik van CAD modellen wordt geanalyseerd wat in principe de meetfout is van de meetprincipes en worden conclusies getrokken naar het gebruik in de praktijk. In het volgende deel wordt een 2D CAD model gebruikt van een virtuele boomstam doorsnede in de vorm van een cirkel, ellips en spline (spline is een functie die bestaat uit een aaneenschakeling van stukjes van polynomen). Dit model wordt dan gebruikt om te analyseren welke meetfout ontstaat zodra er een meetinstrument een benadering maakt van de omtrek van dit model met 2, 3 of meer contactpunten.

2.6.1 Schatting van oppervlakte door driepuntsmeting, CAD analyse met cirkel model.

Met een CAD model is de boomdwarsdoorsnede gereconstrueerd. Hiervoor is het 3D CAD pakket Solidworks gebruikt. Hierin is een schets opgezet waarin het model van de Perimeter (zie ook figuur 16) is opgenomen. In dit model is een cirkel getekend zoals dit door de perimeter door drie contactpunten van de twee vaste en bewegende zijde zou worden gemeten. Door deze drie contactpunten zijn in het CAD pakket een spline getekend. Een spline is een interpolatie van polynomen die door een aantal punten loopt en moet in deze geometrische studie een meer natuurlijke benadering geven van een werkelijke boomstam in vergelijking met een cirkel.

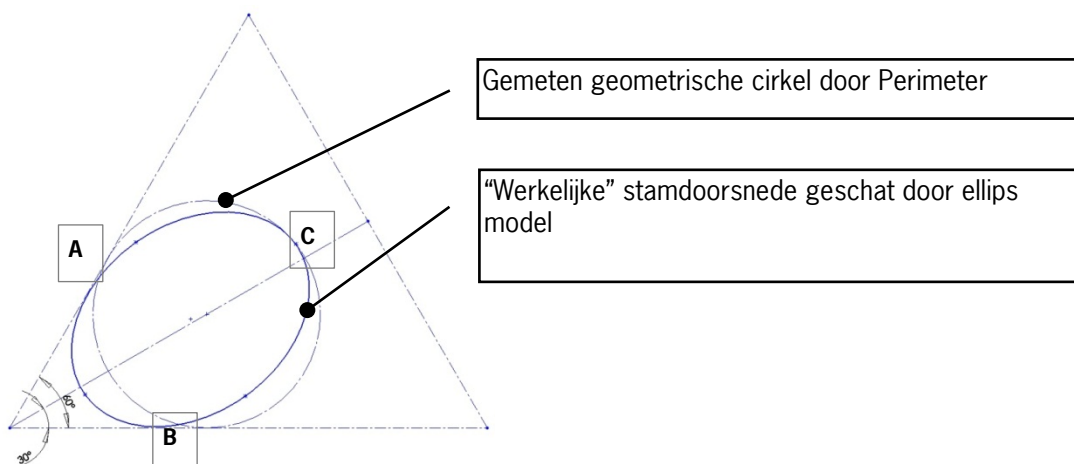


Figuur 6. CAD model driepuntsmeting cirkel. A,B= aanlegpunt van Perimeter door vast been waar tussen een vaste hoek van 60° . C= Aanlegpunt van Perimeter door bewegend been.

In het CAD model zijn de oppervlakten van de cirkel en spline gevonden, het verschil in oppervlakten bedraagt: $D_{\text{cirkel}} = 57 \text{ mm}$, $A_{\text{cirkel}} = 2551 \text{ mm}^2$, $A_{\text{spline}} = 2141 \text{ mm}^2 = 16.1 \%$ te laag

2.6.2 Schatting van oppervlakte door driepuntsmeting, CAD analyse met ellips model.

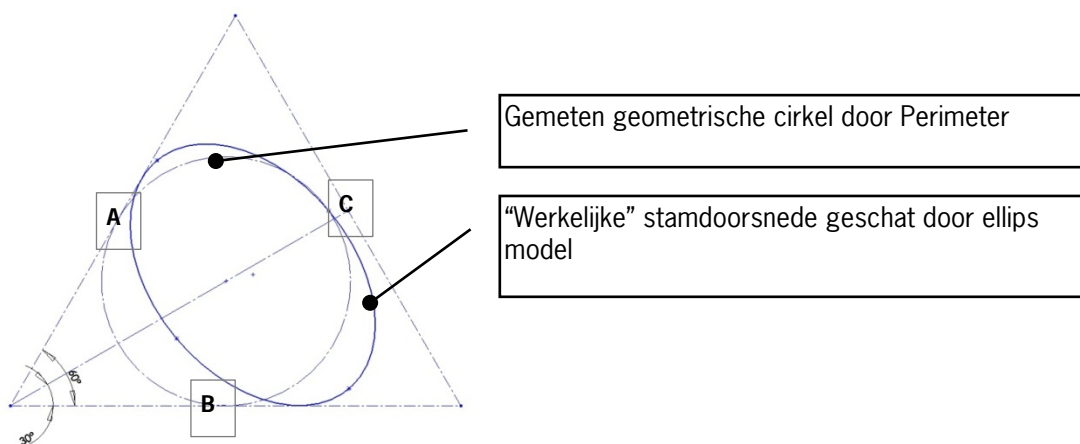
Reconstructie van boomdwarsdoorsnede met ellips model 1 (hoofdas van ellips parallel aan halve hoek van de vaste benen van Perimeter).



Figuur 7. CAD model en driepuntsmeting ellips. A,B= aanlegpunt van Perimeter door vast been waar tussen een vaste hoek van 60° . C= Aanlegpunt van Perimeter door bewegend been.

In het CAD model zijn de oppervlakten van de cirkel en de ellips gevonden, het verschil in oppervlakten bedraagt: $A_{\text{cirkel}} = 3050 \text{ mm}^2$, $A_{\text{ellips}} = 2885 \text{ mm}^2 = 5.4\%$ te laag.

Reconstructie van boomdwarsdoorsnede met ellips model 2, (hoofdas van ellips 90° gedraaid ten opzichte van halve hoek van de vaste benen van Perimeter).



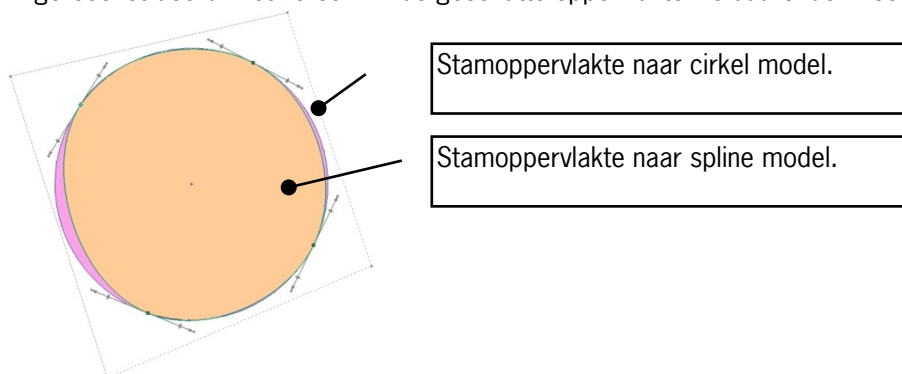
Figuur 8. CAD model en driepuntsmeting ellips model 2. A,B= aanlegpunt van Perimeter door vast been waar tussen een vaste hoek van 60° . C= Aanlegpunt van Perimeter door bewegend been.

In het CAD model zijn de oppervlakten van de cirkel en de ellips gevonden, het verschil in oppervlakten bedraagt: $A_{\text{cirkel}} = 3050 \text{ mm}^2$, $A_{\text{ellips}} = 2914 \text{ mm}^2$, = 4.4% te laag

2.6.3 Geometrische reconstructie van stamoppervlakte door drie- en vier puntsmeetmethoden.

Schatting van boom doorsnede oppervlakte door vierpuntsmeting.

Een meerpunts meetmethode zou een betrouwbaarder beeld op kunnen leveren van de werkelijke vorm van de dwarsdoorsnede van de stam. Een dergelijk (nog fictief) meetapparaat zal vanuit een bepaald coördinatenstelsel een aantal meetpunten op de boomstam vastleggen en vandaaruit een inschatting moeten kunnen maken van de stamomtrek. De 4 of meer xy coördinaten kunnen gebruikt worden door de stam te reconstrueren met gebruik van een hiervoor beschreven spline model. Onderstaand model geeft een cirkel weer waarop 4 fictieve meetpunten zijn opgenomen. Met deze 4 meetpunten is via een spline een boomstam gereconstrueerd. Het verschil in de geschatte oppervlakten is daaronder weergegeven.

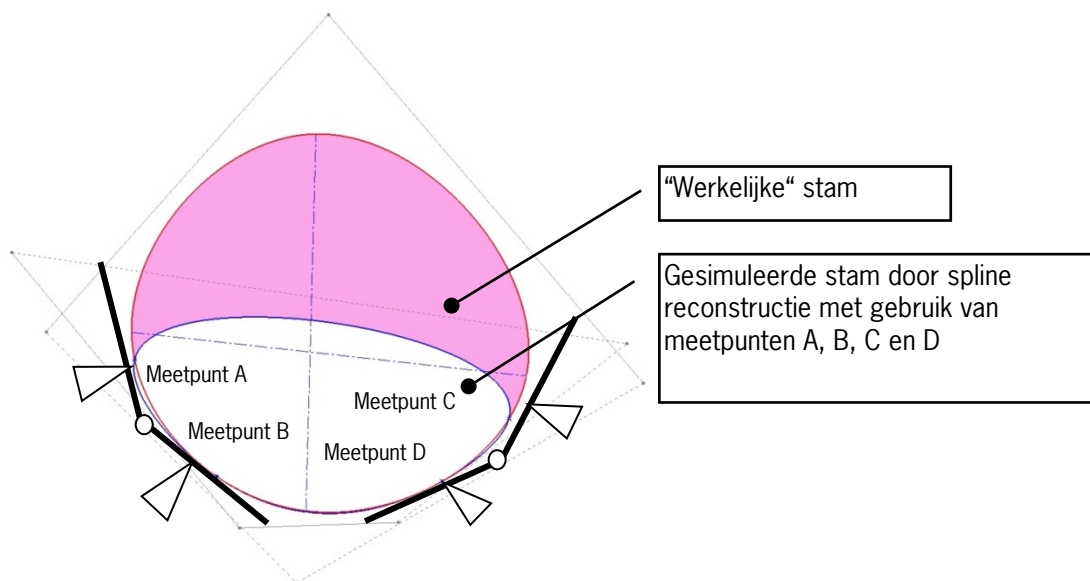


Figuur 9. Vierpuntsmeting model vergelijking van een cirkel en meer natuurgetrouw model van een spline.

In het CAD model zijn de oppervlakten van de cirkel en de spline gevonden, het verschil in oppervlakten bedraagt: $D_{\text{cirkel}} = 57.6 \text{ mm}$, $A_{\text{cirkel}} = 2565 \text{ mm}^2$, $A_{\text{spline}} = 2512 \text{ mm}^2$, = 2.1% te laag.

Meetfout bij aanleggen 4 puntsmeting onder middelpunt van de stam

Onderstaand model geeft een spline model weer van een fictieve boomstam (weergegeven als “werkelijke” stam). Met een fictieve 4 puntsmeting die onder het middelpunt van de stam valt is op te maken hoe meetfouten kunnen ontstaan. Dit model geeft weer dat een 4 puntsmeting goed moet worden uitgevoerd dat wil zeggen 2 meet punten onder en 2 boven het middelpunt van de stam. Voor de uitvoering van de toekomstige meter dienen wellicht de armen van de meter instelbaar te zijn voor verschillende klassen van stamdiameters. Het verschil in de geschatte oppervlakten is daaronder weergegeven.

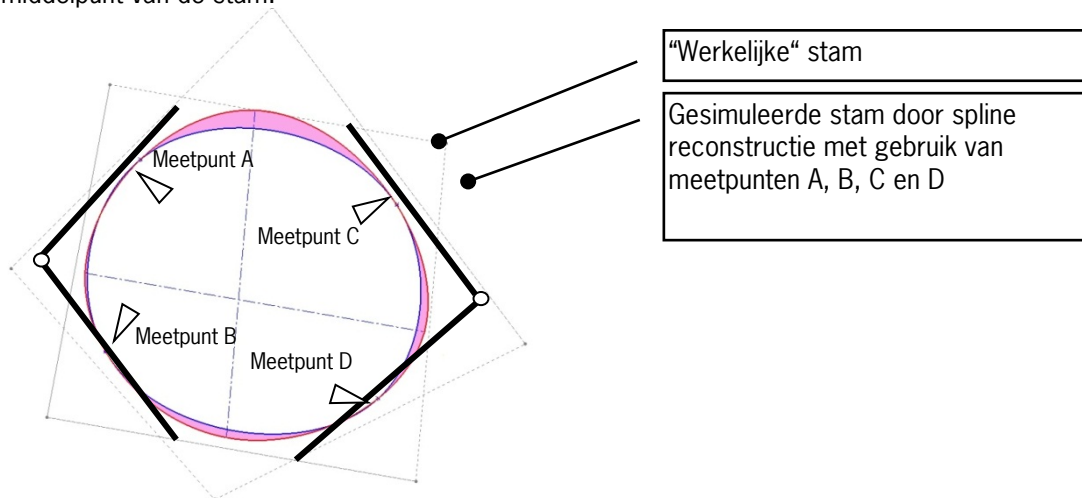


Figuur 10. Vierpuntsmeting onder middelpunt van de stam.

In het CAD model zijn de oppervlakten van de cirkel en de spline gevonden, het verschil in oppervlakten bedraagt: $A_{\text{werkelijk}} = 1602 \text{ mm}^2$, $A_{\text{fout}} = 722 \text{ mm}^2$, = 55% te laag.

Meetfout bij aanleggen 4 puntsmeting boven middelpunt van de stam

Dit is dezelfde figuur als bovenstaande alleen grijpen de 4 meetpunten nu juist aan onder en boven het middelpunt van de stam.

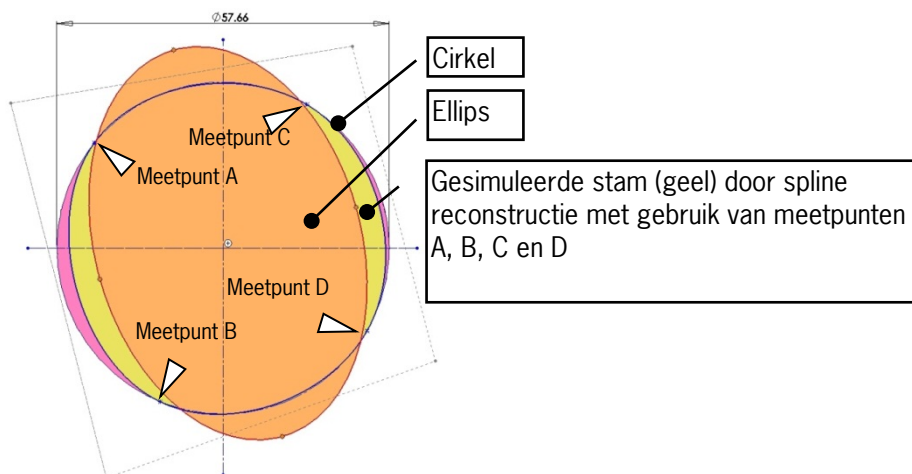


Figuur 11. Vierpuntsmeting boven middelpunt van de stam.

In het CAD model zijn de oppervlakten van de cirkel en de spline gevonden, het verschil in oppervlakten bedraagt: $A_{\text{werkelijk}} = 1602 \text{ mm}^2$, $A_{\text{gemeten}} = 1509 \text{ mm}^2$, = 5.8% te laag.

Vergelijking van oppervlakten met 4 puntsmeting van cirkel, spline en ellips.

Voor het berekenen en reconstrueren van de stamdoorsnede kan naast (de rekenintensieve) spline model ook een ellips model worden gebruikt. Volgend model laat zien dat deze benadering tot grote fouten kan leiden.

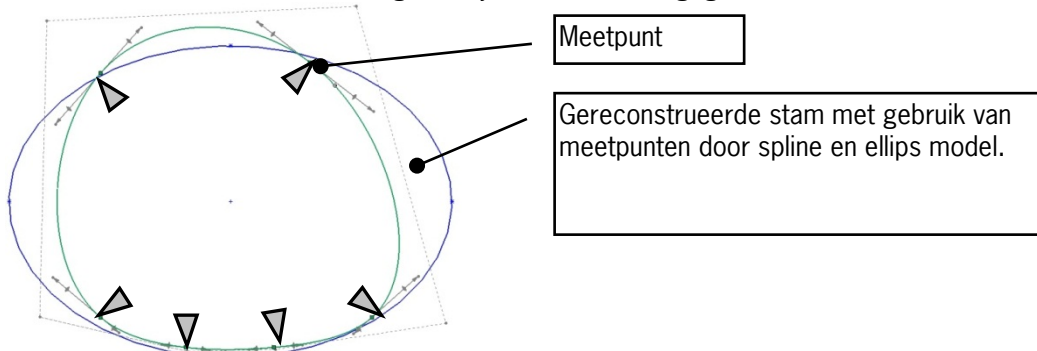


Figuur 12. Vergelijking cirkel, spline en ellips.

In het CAD model zijn de oppervlakten van de cirkel, ellips en de spline gevonden, het verschil in oppervlakten bedraagt: $A_{\text{Ellips}} = 2529 \text{ mm}^2$, $A_{\text{Spline}} = 2512 \text{ mm}^2$, $A_{\text{Cirkel}} = 2611 \text{ mm}^2$.

Meerpuntsmeting ellips en spline model.

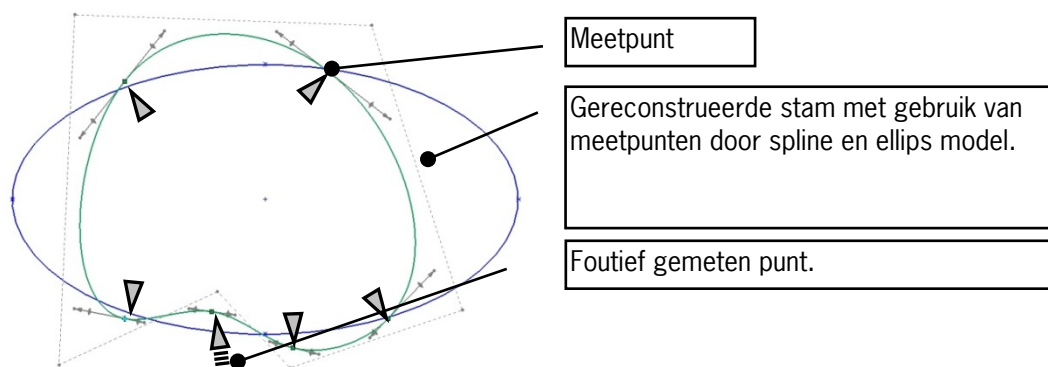
In onderstaande figuur is uit 6 punten een spline opgemaakt en daarin is een ellips gefit. Afhankelijk van het gebruikte model (ellips of spline) geeft een verzameling meetpunten een grote variatie op de berekende omtrek. De omtrekken van beide figuren zijn hieronder weergegeven.



Figuur 13. Meerpuntsmeting ellips en spline model.

In het CAD model zijn de oppervlakten van de ellips en de spline gevonden, het verschil in oppervlakten bedraagt: Omtrek ellips = 214 mm Omtrek Spline = 190 mm Verschil = 11.2%

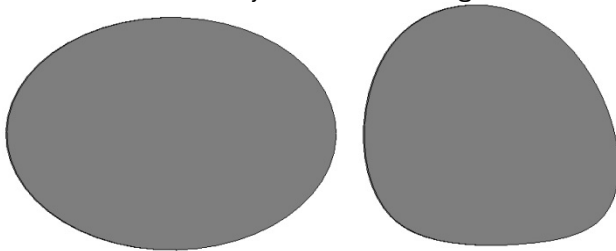
De volgende figuur simuleert een meerpuntsmeting waarbij 1 punt niet in lijn ligt met de daar naast liggende punten. Dit zou in de praktijk veroorzaakt kunnen worden door een meetfout of de werkelijke boomvorm. Als deze meetpunten worden gebruikt om een spline of een ellips in te passen is het verschil in de berekende omtrek groot doordat inpassing van de ellips gevoeliger is voor variaties. Dit is weergegeven in onderstaande figuur.



Figuur 14. Gevoeligheid meerpuntsmeting in afhankelijkheid van vorm.

In het CAD model zijn de oppervlakten van de ellips en de spline gevonden, het verschil in oppervlakten bedraagt: Omtrek ellips = 231 mm Omtrek Spline = 193.6 mm Verschil = 16.2%

De oefeningen met de modellen laten zien dat er fouten kunnen ontstaan door het ontwerp, meetmethode, rekenmodelkeuze en de vorm van de te meten stam. De vraag is, wat is nu een goed model voor de omtrek van een boom? Een ellips of spline? Zoals de modellen laten zien ontstaan er inschattingfouten als de boom omtrek meter niet het juiste rekenmodel gebruikt.



Figuur 15. Model boom: ellips of spline?

2.7 Conclusies

Uit de analyse blijkt dat het gebruik van meer meetpunten een kwalitatief betere benadering geeft van de omtrek van de stam. In theorie kunnen er zeer grote afwijkingen ontstaan als de meetpunten niet op de juiste plek aangrijpen op de stam of als de werkelijke doorsnede van de stam zeer grillig is. De grilligheid is de oorzaak dat een te klein aantal meetpunten niet goed kan worden ondervangen en vertaald naar de werkelijke omtrek. Meer meetpunten betekent ook een ingewikkelder meetinstrument waarbij het gevaar kan optreden dat in ieder meetpunt er potentieel een willekeurige meetfout ontstaat. Misschien is in de praktijk een klein aantal meetpunten robuuster dan een zeer groot aantal. In de modellen is de maat van niet rondheid geschat, in hoeverre dat overeenstemt met de praktijk zal proefondervindelijk bepaald moeten worden. Als in de praktijk blijkt dat de meeste nog jonge bomen redelijk rond zijn kan wellicht een meetinstrument met 2 of 3 contactpunten volstaan om de omtrek van een boom te bepalen.

3 Haalbaarheid

3.1 Inleiding

Het meten van de omtrek van bomen is slechts een van de handelingen binnen het werkproces “opname voorraad laanbomen”. Het werkproces “opname voorraad” is besproken in het rapport “automatisering van de meting van de stamomvang van laanbomen” (PPO, 2007). Kort samengevat bestaat het proces uit: In de meeste gevallen gaat een groep (of meerdere groepen) van 2-3 personen in de maand september de bomen meten en merken. Twee ‘merkers’ kunnen één ‘meter’ bijhouden. Op alle bedrijven vindt het meten plaats met een centimeterbandmaat. De ‘meter’ roept de maat of brengt een eenvoudig teken aan bij de boom. De ‘merkers’ volgen met de kleurlintjes. Een enkele keer wordt er gemerkt met watervaste stippen (eenzijdig).

Het tellen van de bomen gebeurt in de meeste gevallen later. Hulpmiddelen hierbij zijn telbordjes, telklokjes etc. De aantallen bomen worden op perceelsniveau op papier gezet en later in het voorraadprogramma ingevoerd.



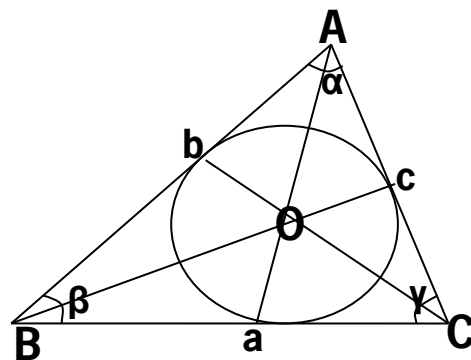
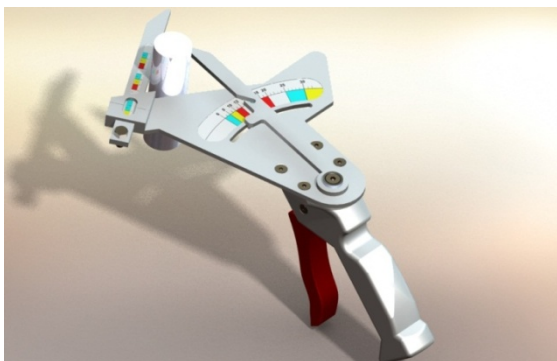
Foto 3. Meten, merken, tellen, handelingen van het werkproces.

Bij de diktemeting wordt op perceelsniveau per boomsoort de stammaat (omtrek op 1 meter) gemeten en genoteerd. Tijdens of voor het meten vindt echter ook een algemene kwaliteitsbeoordeling plaats. De bomen met een afwijking of onverkoopbare bomen worden apart gemerkt (of overgeslagen). De meetgegevens van de verkoopbare bomen worden ingevoerd in een registratieprogramma.

In dit hoofdstuk beschrijven we de verkenningen en oriëntaties die uitgevoerd zijn. Dat zijn berekeningen, testen, studies, etc. geweest, waarbij de nadruk sterk op het meetprincipe gericht was.

3.2 Voorstudie drie puntsmeetmethode door Perimeter

De perimeter is een bestaand apparaat in de boomkwekerij en is gebaseerd op een driehoeksmeting waarbinnen een cirkel valt waarvan de drie zijden van een driehoek de cirkel tangenteel op drie punten raken.



Figuur 16. De perimeter (links) en het onderliggende meetprincipe (rechts) via een driehoeksmeting.

Hoek β (in figuur 16) is een vaste hoek van 60° vectoren BC en BA liggen vast. Vector CA is de roterende arm van de perimeter. In elke positie zijn de twee hoeken (β en γ) en de zijde (a) bekend, daardoor kan de hoek (α) en zijden (b en c) berekend worden via:

$$\alpha = 180^\circ - (\beta + \gamma)$$

$$\frac{\sin \alpha}{a} = \frac{\sin \beta}{b} = \frac{\sin \gamma}{c}$$

$$b = \frac{c \sin \beta}{\sin \gamma} \quad \text{en} \quad a = \frac{c \sin \alpha}{\sin \gamma}$$

Nu deze bekend zijn kan de oppervlakte van de driehoek berekend worden door:

$$A = \sqrt{s(s-a)(s-b)(s-c)}$$

$$\text{waarin } s = \frac{1}{2}(a+b+c)$$

Omdat het centrum van de driehoek samenvalt met het centrum van de cirkel de radius van de cirkel is gelijk aan de hoogte van de drie kleinere driehoeken AOB, AOC, en BOC. Daardoor is de radius van de cirkel bekend en de omtrek door de relatie:

$$A = \frac{1}{2}r(a+b+c)$$

De perimeter is gebaseerd op de bovenstaande wiskundige afleidingen en daardoor alleen via de driepuntsmeting de oppervlakte van een geometrische cirkel te bepalen. De perimeter is daardoor minder geschikt voor het in schatten van de oppervlakte van ellips- of andere vormen.

3.2.1 Betrouwbaarheid van de perimeter in theorie

Voor een juiste bepaling van de klasse waarin een boom dient te vallen is een afleesnauwkeurigheid benodigd van 1 mm (eis van de kwekers). Vooral in die gevallen waar een boom op de rand van een bepaalde klasse ligt is een betrouwbare meting een vereiste. De schaalverdeling, zie figuur 17, op de perimeter geeft de omtrek van de stam weer in gekleurde gebieden met een maatverdeling in cm. Door de grove maatverdeling in combinatie met mogelijke afleesfouten van de gebruiker is de vereiste nauwkeurigheid niet te halen.



Figuur 17. Schaalverdeling van de perimeter

3.2.2 Betrouwbaarheid van de perimeter in de praktijk

De betrouwbaarheid is in een praktijk experiment bepaald door de resultaten van het meten met de perimeter te vergelijken met de resultaten behaald met de centimeterband. Het meten met een centimeterband geeft, mits goed uitgevoerd, het beste meetresultaat. De band kan zich plooiën om oneffenheden en volgt de omtrek van de stam als de band goed op de stam aansluit.

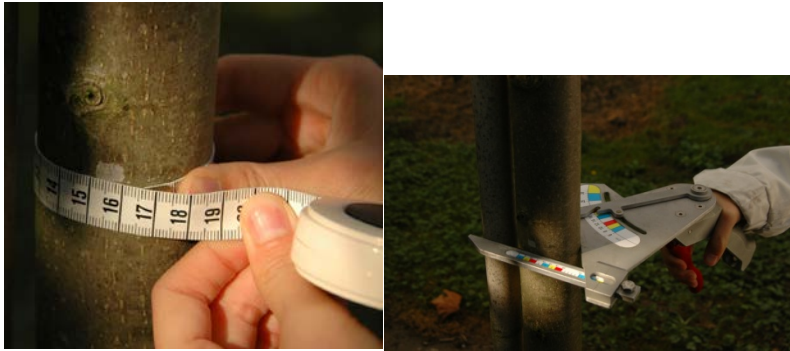
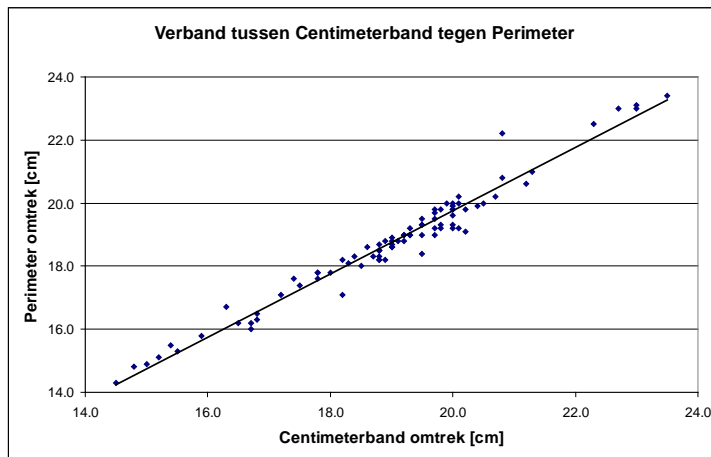


Foto 4. Praktijk vergelijking centimeterband en perimeter.

3.2.3 Betrouwbaarheid van de perimeter in de praktijk

In totaal zijn er 86 bomen gemeten en zijn de resultaten statistisch vergeleken. Ten eerste is de correlatie tussen de twee meetmethoden vastgelegd, onderstaande figuur 18 geeft dit weer. De gevonden correlatie is 0,9634 wat aangeeft dat de resultaten van de meetmethoden goed met elkaar te vergelijken zijn.



Figuur 18. Correlatie tussen de centimeterband en de perimeter, $R^2=0.9634$

3.2.4 Vergelijking van de benodigde tijd met de centimeterband

De benodigde tijd om met beide methoden 86 bomen te meten is genoteerd. Het bleek dat het meten met de perimeter 25% sneller gaat dan in vergelijking met de centimeterband.

3.2.5 Meetfout van de perimeter analyse

In Excel zijn de meetwaarden onderling met elkaar vergeleken en daaruit zijn de afwijkingen bepaald, Tabel 2 geeft de resultaten weer.

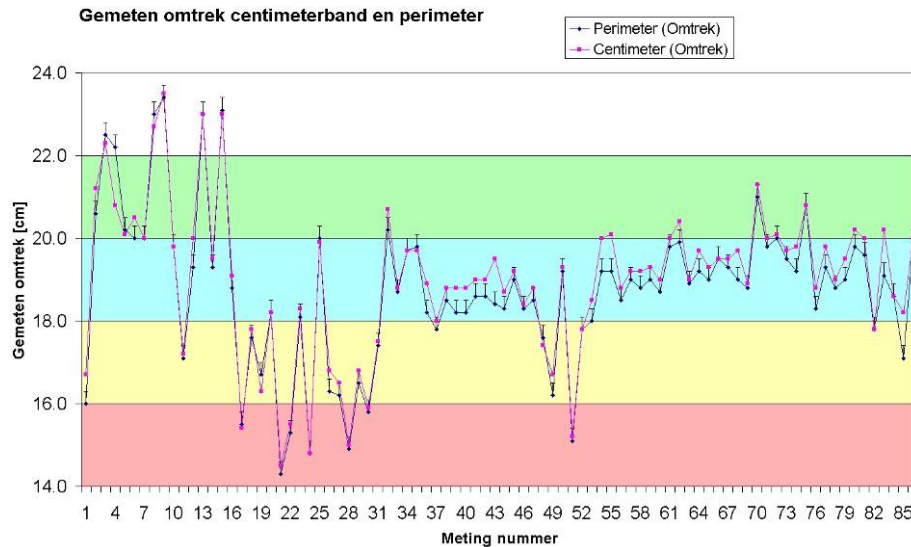
Tabel 2. Afwijkingen van verschillende meettechnieken in cm t.o.v. meten met centimeterband.

	Vershil Perimeter-centimeter band [cm]
Gem. afwijking	-0.3
Minimale afwijking	-1.1
Maximale afwijking	1.4
Standaard deviatie	0.35

3.2.6 Analyse van de klasse indeling van de meetresultaten met de perimeter

In figuur 19 zijn de meetresultaten weergegeven van de perimeter in relatie tot de meting met de centimeterband. In gekleurde banden is aangegeven in welke klasse de gemeten omtrek valt. Bovenop de metingen met de perimeter zijn de meetfouten opgeteld en is daarna geanalyseerd in welke klasse zij na

deze correctie vallen. Dit geeft aan in hoeverre de meetfout van de desbetreffende meettechniek de beoordeling naar klasse beïnvloedt. De punten zijn verbonden om de grafiek leesbaar te maken, maar dat heeft geen betekenis.



Figuur19: klasse verdeling na meting met de perimeter in vergelijking met de centimeterband.

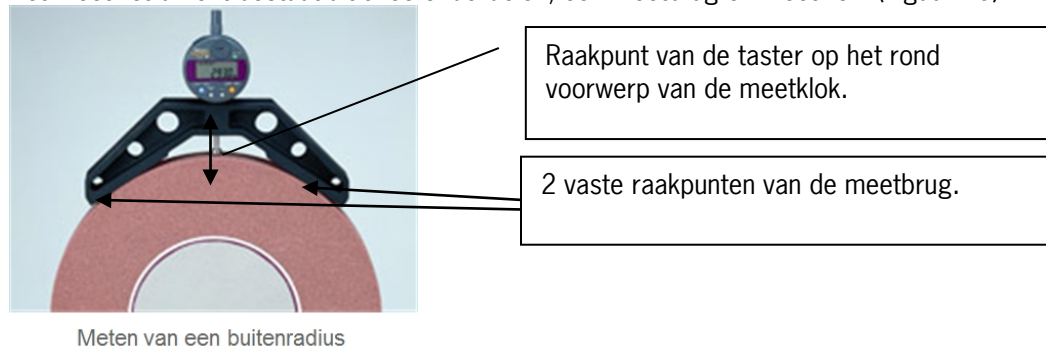
Uit figuur 19 volgt een nieuwe indeling van klasse zoals weergegeven Tabel 4. (In de tabel is er bij de berekening rekening mee gehouden dat bomen die in een hogere klasse terechtkomen, niet meer voorkomen in de lagere klasse). De rij perimeter “verrekend” geeft het resultaat weer als de meting met de perimeter gecorrigeerd wordt met de standaard deviatie ten opzichte van de centimeterband.

Tabel 3. Verdeling van de klasse na verrekening van de meetfout.

Aantal in klasse	24-22cm	22-20cm	20-18cm	18-16cm	16-14cm
Centimeterband [n]	5	19	43	12	7
Perimeter werkelijk [n]	6	9	50	14	7
Perimeter verrekend [n]	6	17	45	12	6
Fout	+20%	-10.5%	+4.5%	0%	-14.5%

3.3 Voorstudie drie puntsmeetmethode door Mitutoyo meetklok.

Mitutoyo is een bedrijf gespecialiseerd in meetgereedschappen voor bijvoorbeeld meetkamers en werkplaatsen waarmee geometrische eigenschappen van producten kunnen worden vastgelegd. Mitutoyo heeft een meetinstrument ter beschikking gesteld waarmee de radius van een rond voorwerp te meten is. Het meetinstrument bestaat uit twee onderdelen, een meetbrug en meetklok (Figuur 20).

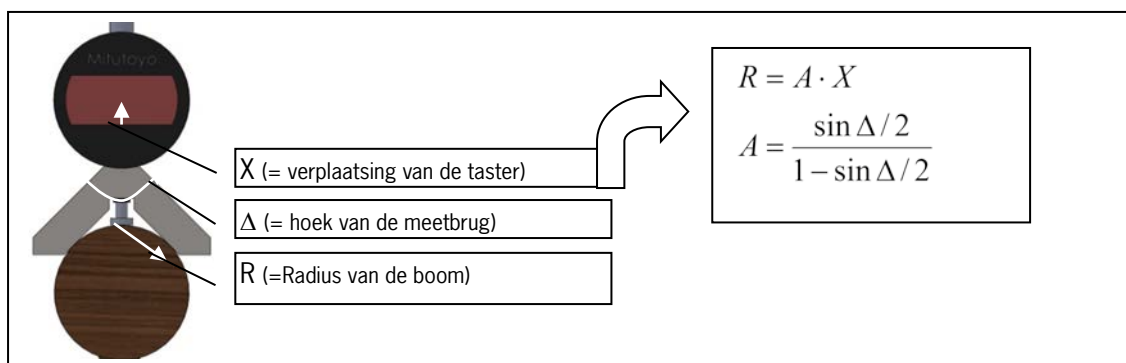


Figuur 20. Mitutoyo meetklok en –brug voor het meten van een buiten radius.

Het meetinstrument (hierna klok genoemd) geeft zonder vertraging de radius op een display weer. De afgelegde weg van de taster wordt in de klok, via een in te geven formule, omgerekend naar een radius. De meetklok wordt in combinatie met de meetbrug vooraf door Mitutoyo geijkt. Door de geometrie van de meetbrug heeft deze een beperkt meetbereik. De meetbrug, die getest is, kan in theorie diameters van 28 tot 75 mm meten (omtrek tussen de 90 en 210 mm). De klok is een interessante kandidaat voor de bepaling van de boomomtrek, doordat de meting zeer snel is uit te voeren. Men drukt de klok tegen een stam en de waarde is direct van het display af te lezen. Daarnaast biedt Mitutoyo ook de technische mogelijkheid om de meetgegevens draadloos naar een PDA of laptop te sturen waardoor de gegevens in het veld direct kunnen worden verwerkt.

3.3.1 Betrouwbaarheid in theorie van de meetklok

Voor een juiste bepaling van de klasse waarin een boom dient te vallen is een afleesnauwkeurigheid benodigd van 1 mm (eis van de kwekers). Vooral in die gevallen waar een boom op de rand van een bepaalde klasse ligt is een kwalitatieve en betrouwbare meting een vereiste. De klok gebruikt een interne formule om de uitslag van de taster te vertalen naar een radius. De formule met berekeningsvoorbeeld is in figuur 21 weergegeven.



Figuur 21. Omrekening van tasteruitslag van de meetklok.

Stel $\Delta = 90^\circ$, dan wordt $A=2,3$. Als de verplaatsing van de taster 1 mm is wordt volgens $R=AX$ de radius 2,3 mm groter. Een boom met een omtrek van 150 mm met een willekeurige meetfout van 1 mm op de klok zal dan gemeten worden op 164,5 mm, een fout van +/- 9%.

3.3.2 Betrouwbaarheid in de praktijk van de meetklok

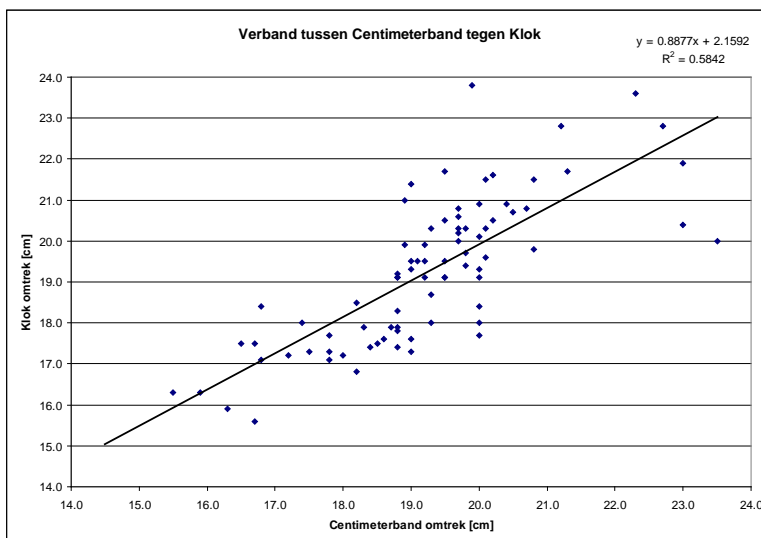
De betrouwbaarheid is in een praktijk experiment bepaald door het meten met de klok te vergelijken met een centimeterband meting. Het meten met een centimeter band geeft, mits goed uitgevoerd, het beste meetresultaat. De band kan zich plooiën om oneffenheden en volgt de omtrek van de stam als de band goed aangesloten is. Daarom is de centimeterband gekozen als referentie meting. Vanwege de gevoeligheid voor willekeurige meetfouten, is gekozen om de boomstam op drie plaatsen te meten. De drie metingen zijn tijdens de verwerking van de meetresultaten gemiddeld. Hierdoor wordt het resultaat minder gevoelig voor afwijkingen veroorzaakt door oneffenheden op de boomstam, zie onderstaande foto 5.



Foto 5. Praktijk vergelijking centimeterband en klok.

3.3.3 Betrouwbaarheid in de praktijk van de meetklok

In totaal zijn er 86 bomen gemeten en zijn de resultaten statistisch vergeleken in Excel. Correlatie: ten eerste is de correlatie tussen de twee meetmethoden vastgelegd, onderstaande figuur geeft dit weer. De gevonden correlatie is 0,58 wat aangeeft dat de resultaten van de meetmethoden slecht met elkaar te vergelijken zijn.



Figuur 22. Correlatie tussen de centimeterband en de klok, $R^2=0.58$

3.3.4 Vergelijking van de gemeten tijd met de meetklok.

De benodigde tijd om met beide methoden 86 bomen te meten is genoteerd. Het bleek dat het meten met de klok 50% langzamer gaat dan in vergelijking met de centimeterband.

3.3.5 Meetfout van de meetklok

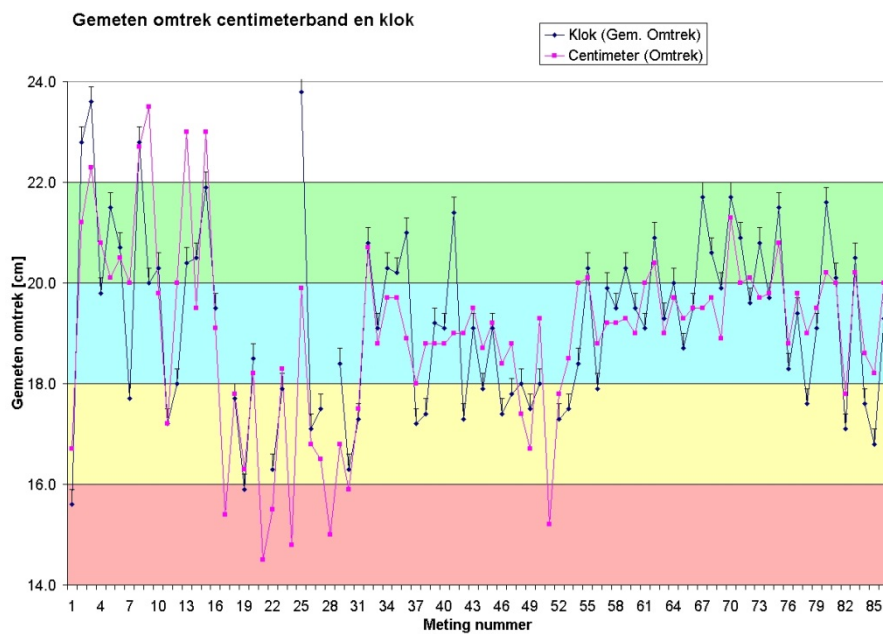
De meetwaarden zijn onderling met elkaar vergeleken en daaruit zijn de afwijkingen bepaald, Tabel 4 geeft de resultaten weer.

Tabel 4. afwijking van de klok in cm t.o.v. meten met centimeterband.

	Verschil klok-centimeter band [cm]
Gem. afwijking	-0.1
Minimale afwijking	-3.5
Maximale afwijking	3.9
Standaard deviatie	1.16

3.3.6 Analyse van de klasse indeling naar meetresultaten van de meetklok

In onderstaande figuur 23 zijn de meetresultaten weergegeven van de klok in relatie tot de meting met de centimeterband. In gekleurde banden is aangegeven in welke klasse de gemeten omtrek valt. Bovenop de metingen met de klok zijn de meetfouten opgeteld en is daarna geanalyseerd in welke klasse zij na deze correctie vallen. Dit geeft aan in hoeverre de meetfout van de desbetreffende meettechniek de beoordeling naar klasse beïnvloedt.



Figuur 23. Klasse verdeling na meting met de klok in vergelijking met de centimeterband.

Uit figuur 23 volgt een nieuwe indeling van klasse zoals weergegeven in Tabel 5. (In de tabel is bij de berekening rekening gehouden dat bomen die in een hogere klasse terechtkomen niet meer voorkomen in de lagere klasse). De rij "klok verrekend" geeft het resultaat weer als de meting met de klok gecorrigeerd wordt met de standaard deviatie ten opzichte van de centimeterband.

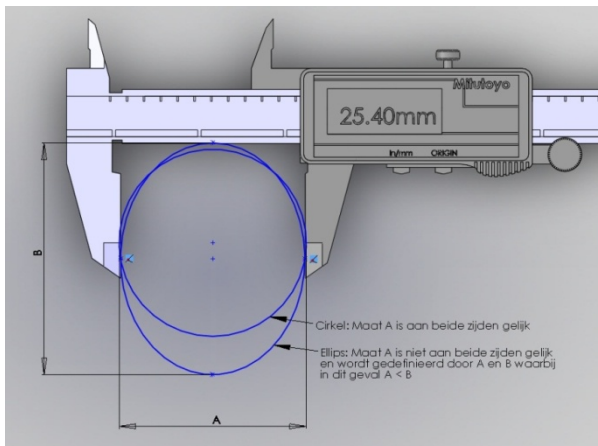
Tabel 5: verdeling van de klasse na verrekening van de meetfout.

Aantal in klasse	24-22cm	22-20cm	20-18cm	18-16cm	16-14cm
Centimeterband [n]	5	19	43	12	7
Klok werkelijk [n]	4	25	27	23	2
Klok verrekend [n]	4	23	26	26	2
fout	-20%	+21%	+40%	+116%	-72%

De resultaten laten zien dat deze gekozen oplossing niet geschikt is met de huidige vorm van de meetklok en meetbrug. De klok is te gevoelig voor oneffenheden en het niet rond zijn van de bomen waardoor er te grote willekeurige meetfouten ontstaan.

3.4 Voorstudie tweepuntsmeting door schuifmaat.

Een schuifmaat is een veel gebruikt instrument om de diameter van een rond voorwerp te bepalen.



Figuur 24. Schuifmaat.

Zoals te zien is in figuur 24, is een schuifmaat niet in staat om een sterk ellipsvormige vorm in een meting vast te stellen. De oplossing is om de schuifmaat 90 graden te draaien en een tweede meting uit te voeren. Hierbij wordt gezocht naar de kortste en langste as van de ellips en is de omtrek van de ellips te bepalen door:

$$O \approx \pi \sqrt{2(a^2+b^2)} - (a-b)^2/2$$

Waar a en b resp. de kortste en langste as zijn van de ellips. Door in theorie tweemaal te meten op de kortste en langste gevonden as van de boom kan, mits deze inderdaad ellips vormig is, de omtrek van de ellips bepaald worden. Het tweemaal meten met een schuifmaat kan ook op een andere wijze van nut zijn. Het doen van een tweepunts meting om van daaruit de omtrek te bepalen brengt het gevaar met zich mee dat een meetfout in deze ene meting veel bijdraagt aan een eventuele meetfout. Het doen van een tweevoudige meting kan bijdragen om een toevallige meetfout op de te vangen door de twee metingen te middelen en deze te gebruiken als een maat voor de omtrek. De omtrek kan dan als volgt worden berekend:

$$O = \pi \times (D_1 + D_2) / 2$$

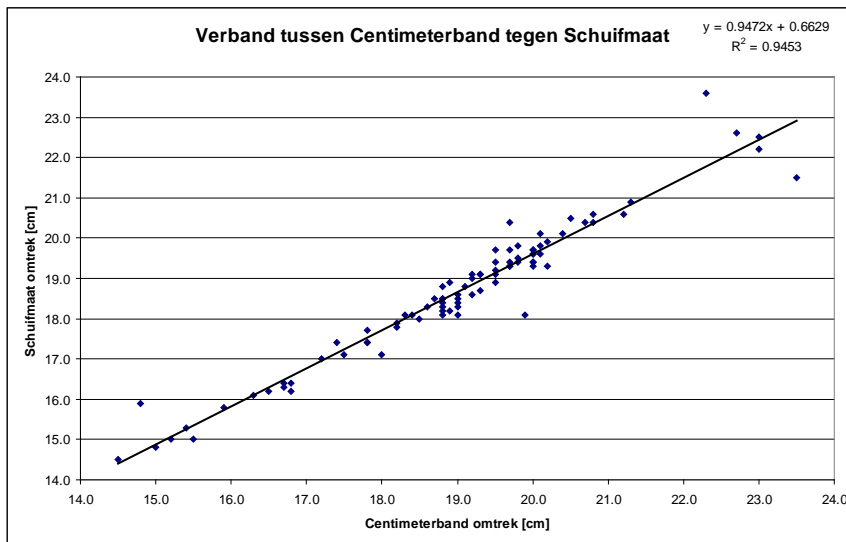
3.4.1 Betrouwbaarheid in theorie van de schuifmaat

De schuifmaat metingen zijn via het cirkel model ($O = \pi \times D$) naar omtrek (in Excel) berekend. Het cirkelmodel kan in dit geval gebruikt worden omdat na analyse van de schuifmaat data bleek dat Linden bomen sterk cirkelvormig zijn. Hiervoor zijn de uitkomsten van de twee schuifmaatmetingen genomen die 90 graden ten opzichte van elkaar gedraaid zijn. Als de boom sterk ellipsvormig is, is er een groter verschil tussen beide metingen. Een kleiner verschil geeft aan dat de boom meer cirkelvormig is. Het gevonden gemiddeld verschil, na analyse in Excel, tussen de serie schuifmaat metingen is 2 mm.

3.4.2 Betrouwbaarheid in de praktijk van de schuifmaat, resultaten

In totaal zijn er 86 bomen gemeten met schuifmaat en meetlint en de resultaten zijn statistisch vergeleken in Excel.

Correlatie: ten eerste is de correlatie tussen de twee meetmethoden vastgelegd, onderstaande figuur geeft dit weer. De gevonden correlatie is 0,9453 wat aangeeft dat de resultaten van de meetmethoden goed met elkaar te vergelijken zijn.



Figuur 25. Correlatie tussen de centimeterband en de schuifmaat, $R^2=0.9453$

3.4.3 Meetfout van de schuifmaat

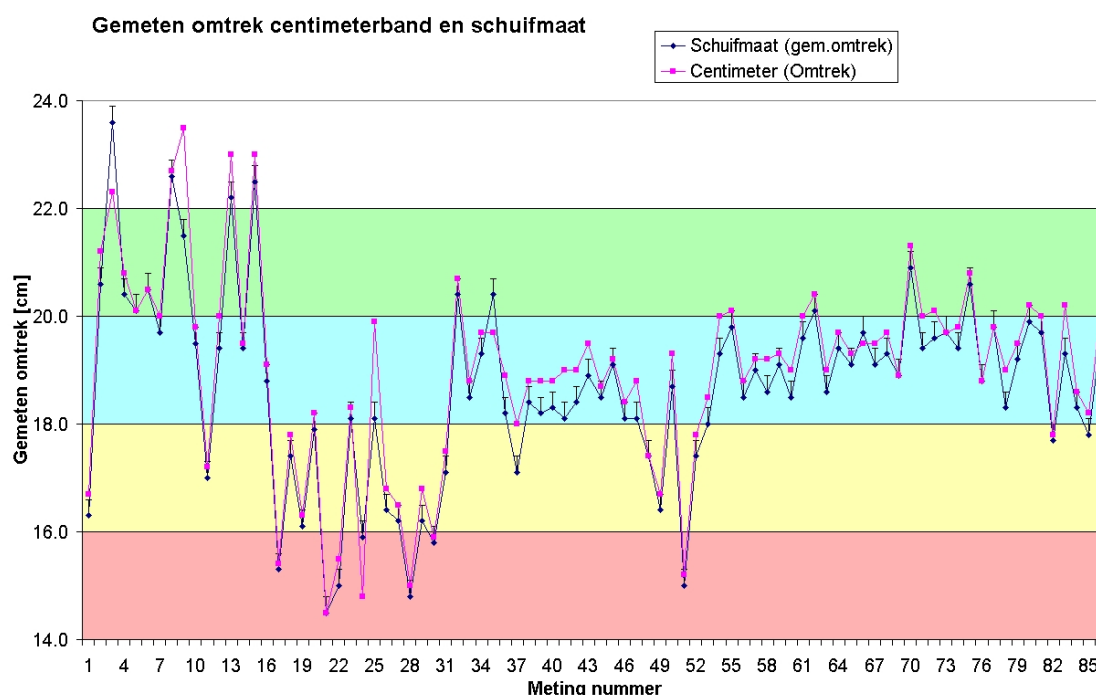
In Excel zijn de meetwaarden onderling met elkaar vergeleken en zijn daaruit de afwijkingen bepaald, Tabel 7 geeft de resultaten weer.

Tabel 6. Afwijking van de schuifmaat in cm t.o.v. meten met centimeterband.

	Vershil Schuifmaat gem.-centimeter band [cm]
Gem. afwijking	-0.3
Minimale afwijking	-2.0
Maximale afwijking	1.3

3.4.4 Analyse van de klasse indeling naar meetresultaten van de schuifmaat

In onderstaande figuur 26 zijn de meetresultaten weergegeven van de schuifmaat in relatie tot de meting met de centimeterband. In gekleurde banden is aangegeven in welke klasse de gemeten omtrek valt. Bovenop de metingen met de schuifmaat zijn de meetfouten opgeteld en is daarna geanalyseerd in welke klasse zij na deze correctie vallen. Dit geeft aan in hoeverre de meetfout van de desbetreffende meettechniek de beoordeling naar klasse beïnvloedt.



Figuur26. Klasse verdeling na meting met een schuifmaat in vergelijking met de centimeterband.

Figuur 26 volgt een nieuwe indeling van klasse zoals weergegeven in tabel 8. (In de tabel is bij de berekening rekening gehouden dat bomen die gepromoveerd worden na een hogere klasse niet meer voorkomen in de lagere klasse). De rij “schuifmaat werkelijk” geeft het resultaat weer als de meting met de schuifmaat gecorrigeerd wordt met de standaard deviatie ten opzichte van de centimeterband.

Tabel 7. Verdeling van de klasse na verrekening van de meetfout.

Aantal in klasse	24-22cm	22-20cm	20-18cm	18-16cm	16-14cm
Centimeterband [n]	5	19	43	12	7
Schuifmaat [n]	4	10	50	15	7
Schuifmaat werkelijk [n]	4	17	46	14	5

De resultaten laten zien dat deze gekozen berekenings oplossing geschikt is.

3.5 Voorstudie BSC studenten TU Delft

Een groepje studenten van de TU Delft heeft ook een voorstudie uitgevoerd. Voor de volledige rapportage wordt verwezen naar hun rapport. Enkele conclusies waren:

- Het onderzoek biedt een aanknopingspunt voor verder onderzoek en het ontwerp van nieuwe meetmethoden voor de klasse bepaling van Laanbomen in Nederland. In dit onderzoek is de nauwkeurigheid van de huidige metingen in beeld gebracht.
- Uit het vooronderzoek is gebleken dat een meting van de diameter, waarmee de omtrek te berekenen is, zeker niet zo nauwkeurig is als de huidige meting van de omtrek met een centimeter. Het combineren van twee diametermetingen is al nauwkeuriger, maar nog steeds niet in staat de huidige kwaliteit van de meting met de centimeter te evenaren.
- Uiteindelijk zullen bespaarde arbeidskosten en de nieuwe mogelijkheden van een meettechniek, als het digitaal opslaan van gegevens en het continu meten, dus afgewogen moeten worden tegen de investeringskosten.

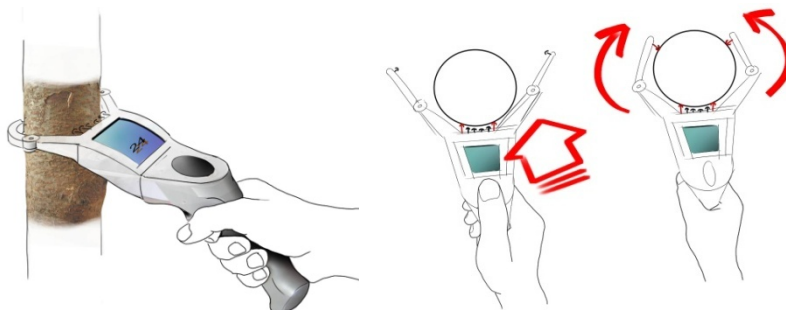


Figuur 27. Impressie van het nieuwe meten.

3.6 Afstudeeropdracht TU Delft

Vanuit het project is ook een afstudeeropdracht geformuleerd voor een student van de TU Delft. Dat traject is in 2008 opgestart, maar helaas nooit afgerond. De student heeft de studie niet afgerond. Zijn inbreng is wel waardevol geweest en van zijn data is goed gebruik gemaakt.

Tijdens de verschillende fases van het traject zijn diverse mogelijkheden verkend. Middels een gestructureerde ontwerp aanpak werd het probleem in beeld gebracht en oplossingen bedacht. Enkele oplossingen, die het vanwege diverse criteria niet gehaald hebben, zijn hieronder weergegeven. In hoofdstuk 4 wordt één concept verder toegelicht.



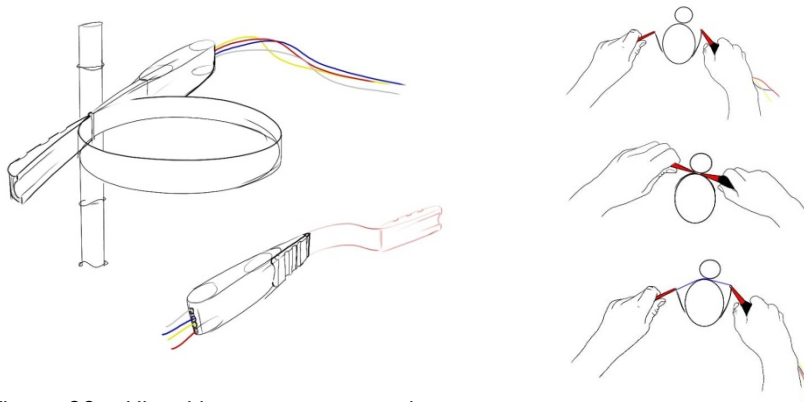
Figuur 28. Vierpuntsmeting

Men zet het apparaat in open stand tegen de stam aan en drukt dan op de meetknop. Er sluiten dan twee drukgevoelige armen achterom tegen de stam aan waarmee de meting is voltooid. Het resultaat wordt direct opgeslagen in het lokale geheugen. Nog een druk op de knop opent de armen weer en is het apparaat klaar voor de volgende meting.

Door het meten van vier punten ten opzichte van elkaar in de 2D ruimte kan men een omtrek simuleren. Door 4 punten te nemen en digitale simulatie toe te passen kunnen er complexere vormen zoals ellipsen gesimuleerd worden. Door onderzoek uit te voeren naar de stamvormen van de verschillende boomvarianten kan men een algoritme vinden die voor elke meting een juiste benadering simuleert. In dezelfde proeven komt ook naar voren hoe betrouwbaar het vierpunts concept werkt bij meer grillige stamvormen of ruwe oppervlakten (bomen met een ongelijk stamoppervlak).

De goede eigenschappen van het concept is dat het fysiek contact maakt met de stam. Dit maakt het minder kwetsbaar voor onregelmatigheden zoals vuil of als de bast loslaat. De resultaten zijn digitaal en

kunnen handig op de computer gezet worden. Metingen kunnen snel en daarom vaker gedaan worden. Automatisering in de toekomst zou goed bij dit concept kunnen passen.



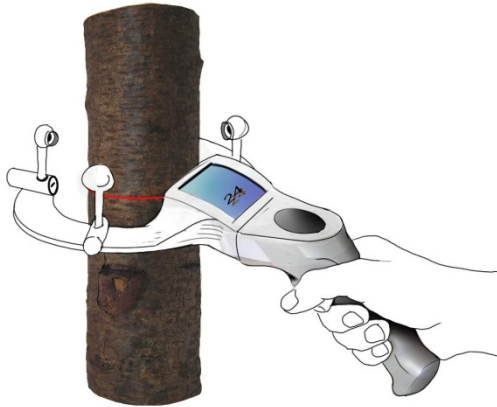
Figuur 29a. Uittrekbaar tape met merken.

Op basis van een Harris profiel (grafische weergave van sterke en zwakke punten) werd een keuze gemaakt. Niet alle concepten worden in dit rapport weergegeven.

Tabel 8. Harris profile, afweging concepten (Nachenius 2010).

			Concept 1				Concept 2				Concept 3				Concept 4			
															Slit Scan			
			-2	-1	+1	+2	-2	-1	+1	+2	-2	-1	+1	+2	-2	-1	+1	+2
R	A1.2	adaptable			■				■	■			■			■		
R	A1.3	automation			■		■	■				■				■	■	
R	A8.1	Weather			■	■			■	■			■		■			
R	C8.1	Digital			■			■								■	■	
R		Safety			■	■			■	■			■		■	■		
R		Operating time			■	■			■				■		■	■		
R		Accuracy		■					■	■			■		■	■		
W	B2.1	< €1000.- Euro			■	■			■	■			■		■	■		
W		Acceptance			■	■			■	■			■		■			
W		Ergonomics			■				■	■			■		■	■		
W		Patentable		■					■	■			■		■	■		
W		Eco friendly			■			■					■		■	■		
W		Robustness			■				■	■			■	■				
		Requirements	9						5					10				
		Wishes	6						7					9				
		Total	15						12					19				

Het beste concept wordt in hoofdstuk 4 verder besproken en is hieronder weergegeven.

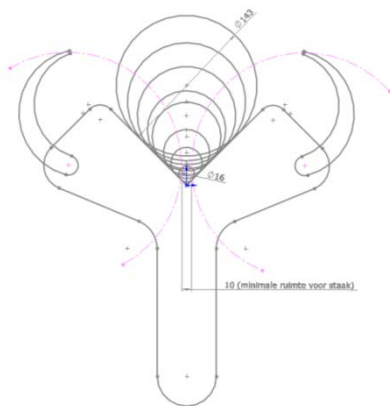


Figuur 29b. Art Impressie
Voor meer details wordt verwezen naar het (niet afgerond, concept) verslag (Nachenius 2010).

3.7 Haalbaarheid x-lijn/puntsmetingen

Bij dit concept is de haalbaarheid van het huidige concept 4-punts-meter verbeterd door het apparaat eenvoudiger uit te voeren met minder sensoren en minder bewegende delen. Bij deze meting gaan we uit van 2 vaste lijnen haaks op elkaar en 2 punten op de scharnierende armen.

De vaste lijnen worden gevormd door de behuizing van het meetapparaat dat robuust kan worden uitgevoerd en kan dienen als aanslag voor de te meten boom. De 2 armen zijn zo gepositioneerd dat de 2 metingen nagenoeg haaks op elkaar staan en er altijd ruimte blijft voor de eventuele stok.



Figuur 30. Meting 2 lijn, 2 punt.

De hoekmeting in de 2 scharnierpunten van de scharen kan worden gedaan met bijvoorbeeld een encoder of een nauwkeurige potmeter. Door het niet exact haaks op elkaar meten en door de niet lineaire verhouding tussen de stamdiameter en de bijbehorende rotatiepositie kan de stamdiameter of omtrek niet direct en exact worden uitgelezen. De meetwaarden zullen eerst moeten worden omgerekend of worden vergeleken met een opgeslagen waarde (tabel). Deze omrekening wordt niet gezien als onmogelijk of verstoring voor de nauwkeurigheid van de meting.

Het niet exact haaks op elkaar meten kan worden verbeterd door middel van een kleine aanpassing aan de

aanlegvlakken. Door de aanlegvlakken de juiste curve te geven is het mogelijk om de metingen nagenoeg haaks op elkaar te maken. Hoe dit uitpakt bij ovale of onronde stammen moet verder worden onderzocht.

Meting met 4 lijnen

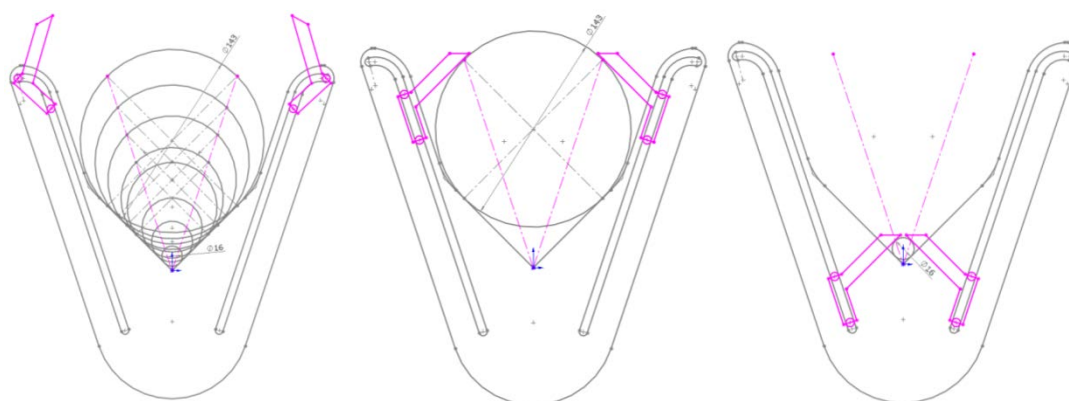
Een ander concept om de stamdiameter 2x haaks op elkaar te meten is door middel van 4 lijnen waarbij 2 lijnen vast staan en dienen als aanslag (zoals bij concept 1) en 2 lijnen die haaks hierop bewegen.

Om de bewegende lijnen achter de boom te krijgen zijn de geleidingen van de "schuifmaten" voorzien van een bocht. In de uiterste stand klappen de meetarmen onder veerdruk vanzelf open.

De meetarmen kunnen worden gezien als de bewegende delen van een schuifmaat waarbij de geleiding wordt verzorgd door 2 nokken/rollen aan de uiteinden i.p.v. een vaste rechte geleiding.

Het resultaat is dat de meetarm omklapt. Op het gedeelte dat niet rechtlijnig is wordt geen positie/waarde uitgelezen.

Voor kleinere bomen is het niet noodzakelijk om de meetarmen helemaal naar de uiterste stand te brengen. De paarse stippellijn in onderstaande figuur geeft de positie van de meetpunten aan bij de verschillende diameters. In alle gevallen is de meting zuiver haaks op elkaar. Tussen de lijnen is ongeveer de ruimte die overblijft voor de staak.



Figuur 31. Vier lijnen meting.

Hieronder een korte vergelijking met voor- en nadelen voor beide concepten.

Tabel 9. Vergelijking concepten uit figuur xx en figuur xx.

	Concept 1 (2x lijn + 2x punt)	Concept 2 (4x lijn)
Nauwkeurigheid meting	+/-	+
Robuustheid	+	+/-
Meetgemak	+	+
Meetsnelheid	+	+
Lineair meetsignaal	-	+
Ijken/Kalibreren	Lastig, niet lineair	Eenvoudig lineair
kostprijs	?	?
Afmetingen meetkop t/m 45cm omtrek	LxB ca. 250x150mm	LxB ca. 250x250mm

Een correcte en snelle digitale meting lijkt met beide besproken concepten mogelijk.

Voor het meet-, electronica- en softwaregedeelte zal één of meerdere externe specialist(en) moeten worden ingeschakeld, bijvoorbeeld een bedrijf als Mitutoyo.

De (meet)electronica en software zullen het meeste geld kosten.

De kosten van het mechanische gedeelte zijn erg afhankelijk van de gevraagde nauwkeurigheid, productieaantallen en het meetbereik.

3.8 Verkenning contactloze meting

In een onderzoek uitgevoerd door WUR-Glastuinbouw en WUR-PRI-Biometris is gekeken of de combinatie van een normale kleurencamera en een range camera op basis van het time of flight (TOF) principe gebruikt kunnen worden om contactloos de dikte van bomen te meten.

3.8.1 Proefopzet

Van 6 cilindrische objecten met bekende diameter (36.6 mm tot 80.4 mm) zijn kleur en range beelden gemaakt op een afstand van 500 – 800 mm, met een interval van 30 mm. Foto 6 en foto 7 tonen de opstelling in het laboratorium.



Foto 6. Foto van de proefopstelling met cilindrische objecten van verschillende diameter

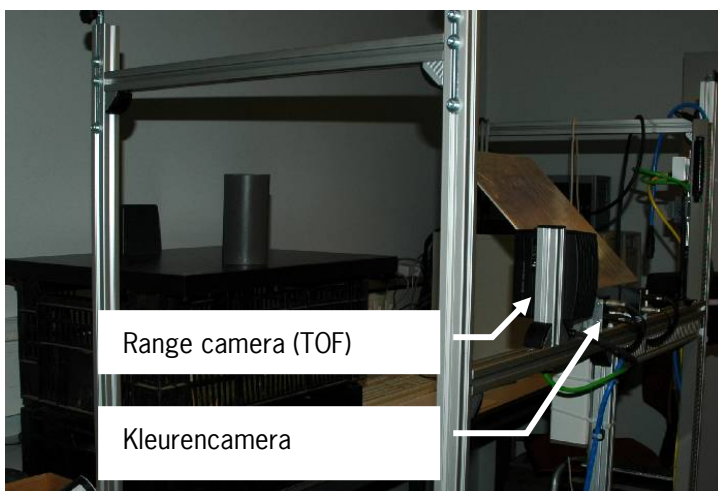
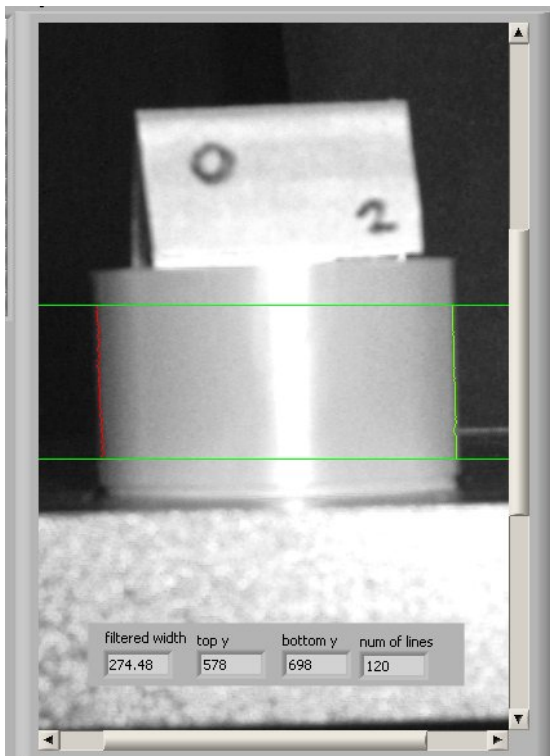


Foto 7. Foto van de proefopstelling met de 2 camera's

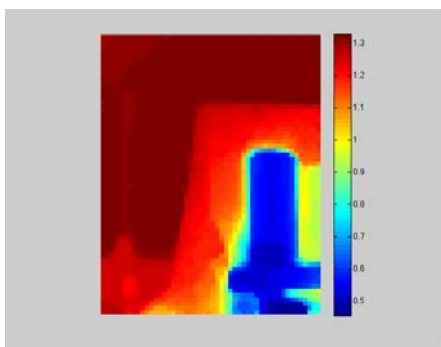
De kleurencamera geeft een hoge resolutie kleurenbeeld waaruit de breedte van de cilinders in pixels zijn gemeten. Hiervoor is het kleurenbeeld getransformeerd naar een grijswaarde beeld en zijn de randen van het object met 'edge detectie' algoritmes bepaald. De breedte van het object is per beeldlijn binnen een zoekkader berekend en van deze waardes vervolgens de gemiddelde waarde (figuur 32). Omdat de afstand van de camera tot het object bekend is kan een regressiemodel gemaakt worden waarmee de dikte van het object wordt afgeleid van de afstand en de breedte gemeten in pixels.



Figuur 32. Hoge resolutie beeld met gemeten breedte van de cilinder

Het TOF beeld is een lage resolutie (64 x 50 pixels) beeld waarin iedere pixel de afstand vertegenwoordigt van deze pixel op het object tot de camera (figuur 4). In de TOF beelden is met de hand het voorste stukje van de cilinder geselecteerd. Van deze geselecteerde pixelwaardes (afstand) is het minimum en het gemiddelde bepaald. Vervolgens is met deze waarde en het model wat gemaakt is op de echte afstand de dikte van het object voorspeld.

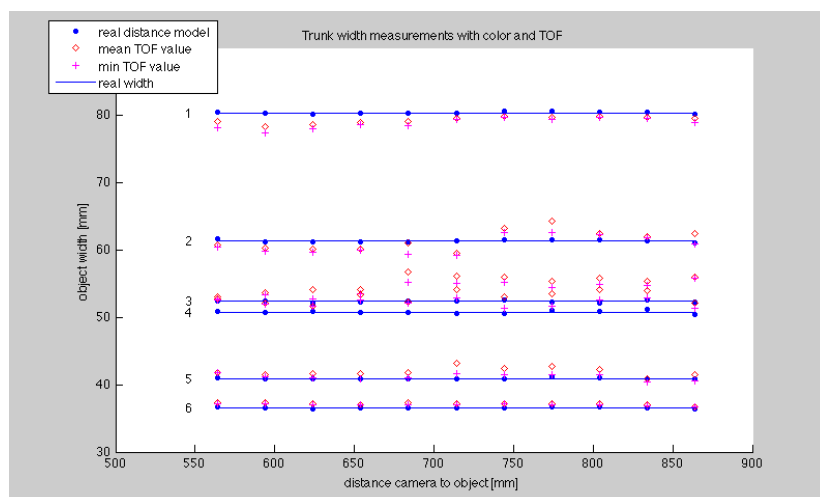
De resolutie van de TOF camera is te laag om zonder hoge resolutie kleurencamera de breedte van de objecten te bepalen. Bij het voorbeeld uit figuur 33, waarbij het object een redelijk deel van het beeld beslaat is de fout 9% (de breedte van het object is 11 pixels, de meetfout is ongeveer 1 pixel). Bij kleinere objecten en/of grotere afstanden zal de meetfout significant toenemen.



Figuur 33. TOF beeld van één van de testobjecten

3.8.2 Resultaten

Hieronder staan de resultaten geplot (figuur 34). Op de x-as staat de afstand tot het object, op de y-as de breedte. Dit voor de zes objecten die zijn gemeten. De blauwe lijn is de echte breedte, de blauwe punten de voorspelde breedte op basis van de echte afstand. De paarse ruit geeft de gemeten afstand op basis van de gemiddelde waarde van de TOF metingen op de voorkant van de cilinder. De rode punten zijn de gemeten waarden op basis van de minimale waarde uit het TOF beeld.



Figuur 34. Resultaten van de boomdikte metingen met kleur en range camera

Tabel 10. Samenvatting resultaten camera experimenten.

object	Real width [mm]	Model width [mm]	error	TOF mean width	Error	TOF min width	error
1	80.4000	80.4003	0.0003	79.3437	-1.0563	78.8964	-1.5036
2	61.4000	61.4003	0.0003	61.4991	0.0991	60.8264	-0.5736
3	52.4000	52.4000	0.0000	55.1328	2.7328	54.3628	1.9628
4	50.7800	50.7802	0.0002	53.0260	2.2460	52.1440	1.3640
5	40.9400	40.9401	0.0001	41.9466	1.0066	41.1906	0.2506
6	36.5700	36.5701	0.0001	37.1436	0.5736	37.0033	0.4333

3.8.3 Discussie en conclusie

Het blijkt dat de breedte van de testobjecten met deze methode vrij goed is te schatten. De kleinste fout is 0.25 mm voor een object van 41 mm (0.6 %) de grootste fout is 2.7 mm voor een object van 52.4 mm (5%). Deze grote fout is waarschijnlijk veroorzaakt door de lage resolutie van de TOF camera. De hoogte van deze objecten was te klein om een betrouwbare afstand uit te lezen. Als deze twee objecten buiten beschouwing worden gelaten is de grootste fout 1.5 mm voor object 1 (80.4 mm), wat neerkomt op 1.9%. De combinatie hoge resolutie kleurencamera en TOF range camera is geschikt voor het meten van boomdiameters.

3.9 Evaluatie

De meetmethode, de nauwkeurigheid en de betrouwbaarheid daarvan, is verder onderzocht en beschreven. De huidige meetmethode (centimeterbandje) is vergeleken met andere methoden. Van belang is ook de interpretatie van het meetresultaat en de klasse indeling. Deze interpretatie wordt beïnvloed door een aantal factoren zoals boomsoort, tijdstip van meten, inschatting van bijgroei en de marktomstandigheden. De resultaten in dit hoofdstuk hebben een belangrijke rol gespeeld in de verdere afweging van de concepten. Het centimeterbandje is en blijft het meetinstrument om resultaten mee te vergelijken.

4 Ontwikkeling van concepten

4.1 Inleiding

Gedurende het project is een aantal concepten ontwikkeld. Daarbij zijn verschillende partijen betrokken geweest. Ook werd in 2010 bekend dat er in Amerika ontwikkelingen waren op gebied van diktemeting (calliper= diameter). Dit apparaat is aangeschaft en getest.

In dit hoofdstuk worden de concepten beschreven en ook het afwegingsproces dat heeft plaatsgevonden om tot één concept voor verdere ontwikkeling te komen. De volgende concepten worden beschreven:

Concepten:	In samenwerking met
1. Laser/triangulatie	TU Delft
2. Digitale perimeter	WUR Glas
3. Moderne epicom	WUR Glas
4. Dubbele digitale diameter	Rokatec
5. Mitutoyo concept	WUR Glas
6. Digitale centimeterband	Datacontrol/Wireless Value
7. Tally Master	Amerika/PPO
8. TOF Imaging	Biometris/WUR Glas (afstandsmeter)

4.2 Ontwikkelde concepten

4.2.1 Epicom

De Epicom heeft een lang ontwikkeltraject achter de rug; eind jaren 70 heeft de TFDL (voor een deel nu de ontwikkelwerkplaats Wageningen) voor PPO een omtrekmeter ontwikkeld, gebaseerd op een uittrekbaar meetlint waarna een bedrijf dit idee heeft uitgewerkt in wat nu de Epicom heet. Deze Epicom had een aantal problemen:

- Het is te groot.
- Voor langdurig gebruik te zwaar.
- De meetgegevens kunnen niet eenvoudig worden opgeslagen (centraal).
- Bomen aangebonden aan tonkin stokken kunnen niet worden gemeten.
- De markering van een boom moet met de hand worden uitgevoerd.

De Epicom is een instrument wat via twee bekken een meetlint rondom een boomstam aanbrengt. De benodigde lengte van het lint om de boom te omsluiten wordt in het apparaat gemeten en is een maat voor de omtrek. De Epicom benadert het meten met de centimeterband maar dan op mechanische wijze.



Foto 8. Epicom.

In de ontwikkelwerkplaats van Wageningen (Tuijl, B. v, 2010) is een aantal verbeteringen aangebracht, zoals moderniseren van de electronica, kleinere behuizing, beter ontwerp van de user interface en een beter ontwerp van de meetbekken (Epicom 2).



Figuur 35. Impressie Epicom 2.

4.2.1.1 Ontwikkelpunten voor de nieuwe Epicom

Vanwege de overeenkomsten met een centimeterband is besloten om de huidige Epicom te moderniseren en te verbeteren. Vanwege het korte tijdsbestek en hoge kosten is besloten om een realistisch 3D model van de nieuwe Epicom te maken en de meest belangrijke elektronica te testen. Er is een aantal ontwerpessies gehouden met de ontwikkelwerkplaats in Wageningen waarbij de belangrijkste knelpunten zijn geïdentificeerd, namelijk:

- Moderniseren van de elektronica van de Epicom. Door gebruik van betere microcontrollers zal de behuizing veel kleiner kunnen.
- Terug brengen van het gewicht door een slimmer ontwerp van de behuizing.
- Beter ontwerp van de user interface.
- Beter ontwerp van de meetbekken zodat aangeboden bomen ook gemeten kunnen worden.

4.2.1.2 Ontwikkeling en test van de kerntechnologie

Voor een juiste bepaling van de klasse waarin een boom dient te vallen is een afleesnauwkeurigheid benodigd van 1 mm (eis van de kwekers). Vooral in die gevallen waar een boom op de rand van een bepaalde klasse ligt is een kwalitatieve en betrouwbare meting een vereiste. De huidige Epicom maakt gebruik van een trekdraad sensor. Trekdraadsensoren zijn er in vele maten en soorten te koop. Het is een draad, meestal van RVS, die op een trommel gewonden zit. Aan deze trommel is een potentiometer of encoder gekoppeld. Als de draad uit de behuizing wordt getrokken wordt door de potentiometer of encoder een analoge of digitale signaal afgegeven wat een maat is voor de lengte van de uitgetrokken draad. De kwaliteit van de behuizing, potentiometer of encoder bepaalt hoe nauwkeurig de draadlengte bepaald kan worden. Dit soort sensoren wordt ook gebruikt om de afgelegde weg te bepalen. Er is in de markt gezocht naar een trekdraadsensor met een goede prijs/kwaliteitverhouding en een juiste nauwkeurigheid om aan de eis van de telers te kunnen voldoen. Dat is de ASM WS31 geworden van AE sensors, zie foto 9.



Foto 9. Trekdraadsensor.

4.2.1.3 Laboratorium test, opzet.

De trekdraadsensor met ingebouwde instrumentale potentiometer is in de test opstelling ingeklemd en de draad is door een schuifmaat in kleine stappen uitgetrokken (foto 10). Om de nauwkeurigheid over de volle lengte van de draad te testen zijn stappen van 10 mm genomen in de schaal van 0 tot 150 mm. De nauwkeurigheid op kleine schaal is getest door de draad in stappen van 0,2 mm uit te trekken over de

schaal van 50 tot 53 mm. De 0,2 mm is gekozen zodat de sensor in ieder geval een 5 maal hogere resolutie kan meten, dan de resolutie eis van 1 mm. Beide proeven zijn 5 maal herhaald om willekeurige meetfouten op een juiste manier in de standaardafwijking mee te kunnen nemen.

4.2.1.4 Lab test, uitvoering en resultaten.

De potentiometer is als spanningsdeler opgenomen in een circuit zodat de relatie tussen de afgelegde weg in mm en volt vastgelegd kon worden. De uitgangsspanning van de voeding en de gedeelde spanning van de potentiometer zijn tijdens de proef gemeten.

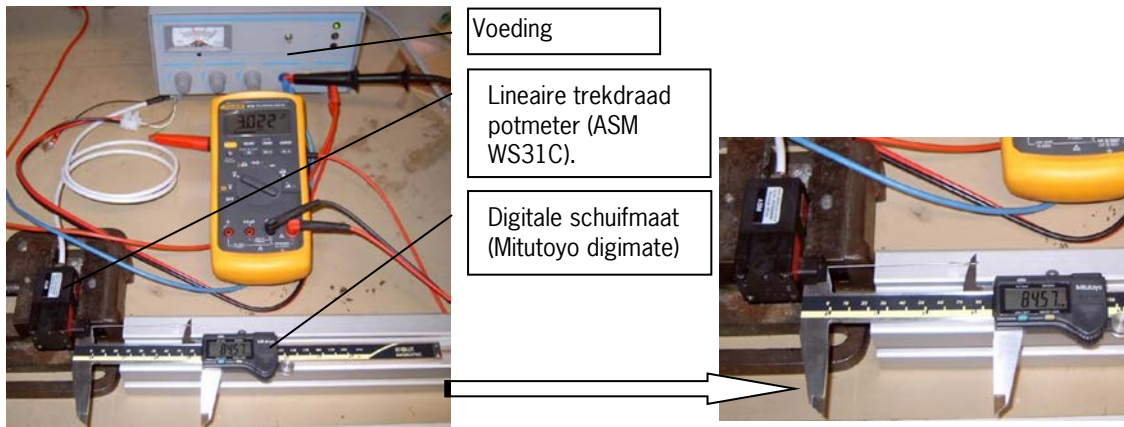


Foto 10. Kalibratie- en testopstelling van een nauwkeurige trekdraadpotentiometer.

De resultaten zijn weergegeven (tabel 11). De standaarddeviaties laten zien dat dit type potmeter over een groot bereik lineair is en gebruikt kan worden om verschillen van tenminste 0,2 mm te meten.

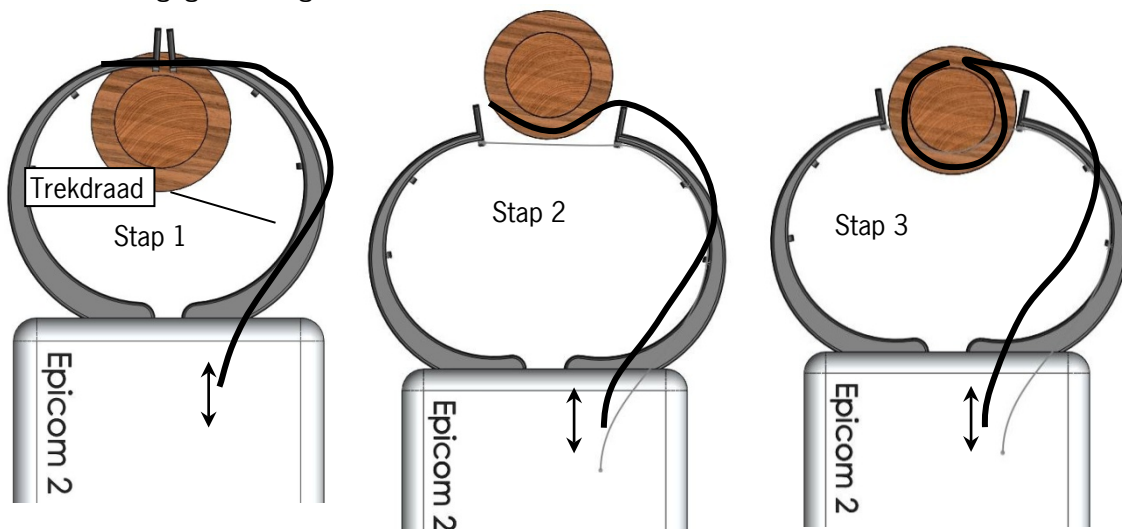
Tabel 11. Resultaat van kalibratie van een nauwkeurige trekdraadpotentiometer.

Verplaatsingsstap [mm]	Trajectlengte [mm]	spanning per stap [V]	Standaarddev
10 mm	0 tot 150 mm	0.357	3.246×10^{-3}
0.2 mm	50 tot 53 mm	0.007	1×10^{-3}

4.2.1.5 Ontwerp van de Epicom behuizing

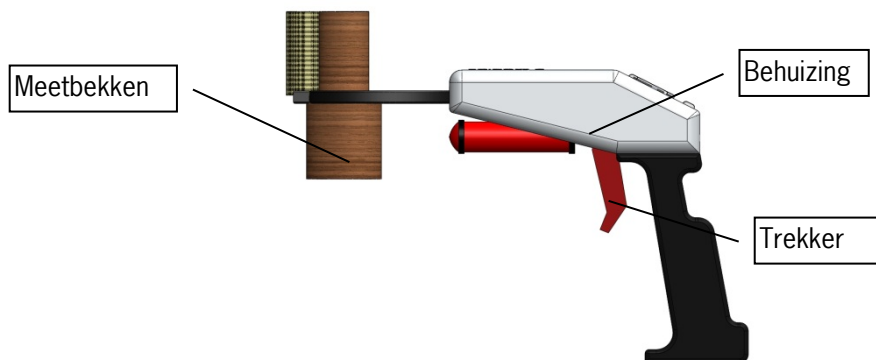
Meetbekken en meetmethode

In samenwerking met de ontwikkelwerkplaats in Wageningen zijn in een aantal korte ontwerpessies ontwerpen gemaakt van de bekken waarin de draad loopt van de trekdraadsensor. Het resultaat en werking is hieronder weergegeven in figuur 36.



Figuur 36. De werking van de bekken in combinatie met de trekdraadsensor van de Epicom in 3 stappen.

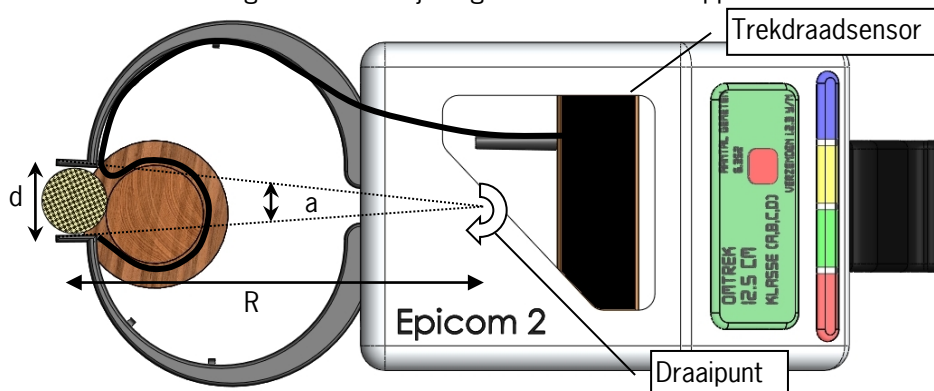
De draad loopt vanuit de sensor door de rechter bek naar een vast punt in de linker bek. Een veer in de behuizing duwt de bekken uit elkaar een tweede veer in de sensor houdt de draad op spanning (stap 1). In stap 2 worden de bekken langs de stam bewogen, de draad plooit zich om de stam. In stap 3 wordt een trekker bediend waardoor de bekken sluiten en de draad geheel om de stam is aangelegd. De afgelegde weg van de sensor kan dan worden weggeschreven in een lokaal geheugen op het apparaat.



Figuur 37. Zijaanzicht van de Epicom 2, bedieningselementen.

Metten van de omtrek met aangebonden stok

In onderstaande figuur 38 is een situatie weergegeven waarbij een aangebonden stok meegenomen moet worden in een meting. De bekken zijn uitgevoerd met kleine lippen waartussen de stok gegrepen wordt.

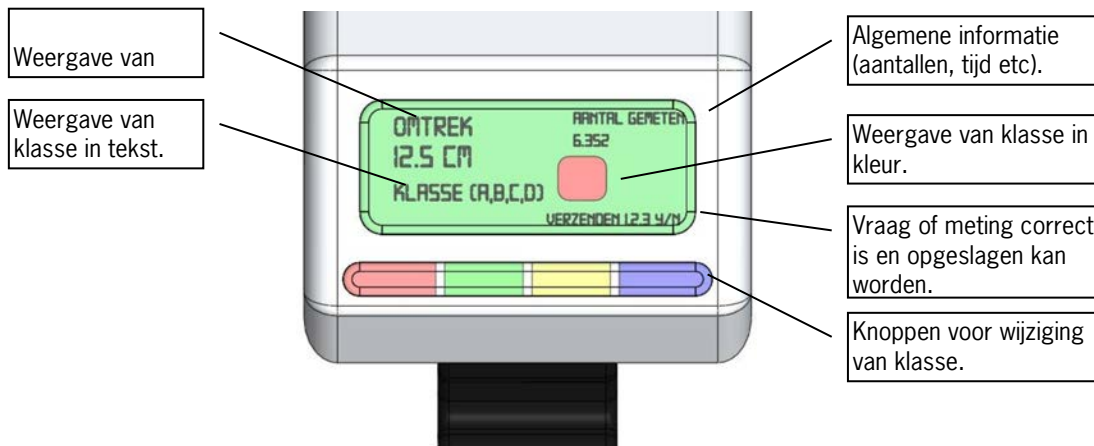


Figuur 38. Metten van de omtrek met aangebonden stok.

De detectie en verrekening van de stok gebeurt in twee stappen. Ten eerste moet na omsluiting van de boom gemeten worden of de bekken gesloten zijn. Ten tweede moet de hoek tussen de bekken gemeten worden (a). Beide stappen kunnen bepaald worden door een van de bekken uit te voeren met een voldoende nauwkeurige hoeksensor. De lengte van het draaipunt tot aan het raakpunt van de bekken (R) met de stok is bekend. Met de bekende hoek (a) kan met de volgende eenvoudige berekening de ontbrekende afstand (d) door de stok bij de omtrek van de boom worden opgeteld. $d = (R \cdot \tan a) \cdot 2$

Bediening van de Epicom

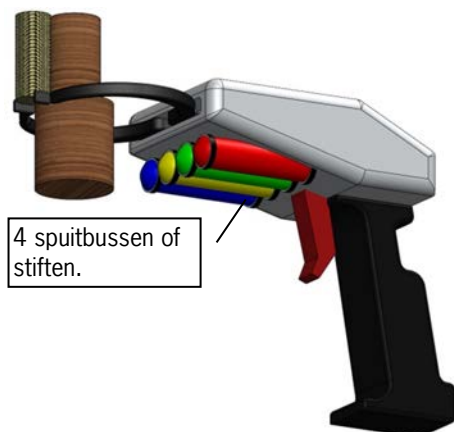
In figuur 39 staat een ontwerp van een interface weergegeven. Het display geeft een aantal zaken weer. Links de actuele waarde van de gemeten omtrek met daaronder in tekst en rechts in kleur de weergave van de klasse. De gebruiker heeft op dit moment via de trekker de bekken gesloten. Als de bediener vindt dat de gemeten boom inderdaad tot deze klasse behoort, kan door de trekker nogmaals aan te trekken de boom direct gemarkeerd worden en worden de meetgegevens opgeslagen of verzonden naar een centraal punt. Als een boom op de rand van een bepaalde klasse valt kan de bediener besluiten om de boom te promoveren naar een hogere klassen door een van de 4 gekleurde knoppen te bedienen en de boom met een andere kleur te markeren.



Figuur 39. De interface van de Epicom2.

Markering van klasse met de Epicom2

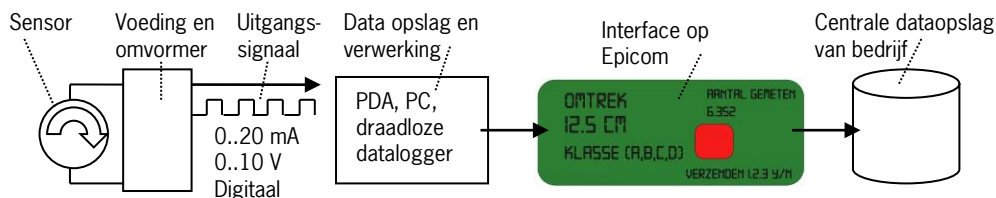
In figuur 40 is een voorbeeld weergegeven van een oplossing om de gemeten boom te markeren. Onder de Epicom 2 zijn 4 spuitbussen of stiften aangebracht die een kleurstof achter laten op de boom.



Figuur 40. Markering van de boom met de Epicom2.

Dataopslag van de Epicom

Een Epicom uitgevoerd met een voldoende nauwkeurige trekdraadsensor kan meten met een resolutie van 0,2 mm. Om de Epicom elektrisch uit te voeren moet de trekdraadsensor voorzien zijn van een voeding. Dit kan een accu of batterij zijn met een spanning tot 32 VDC. Er zijn vele uitvoeringsvormen van sensoren in de handel te verkrijgen met verschillende industriële uitgangssignalen die direct aangeboden kunnen worden aan een microprocessor, (draadloze) datalogger, PDA of kleine computer. Het totaal concept ziet er dan als volgt uit:



Figuur 41. De Epicom 2 opgenomen in een dataverwerking circuit.

4.2.2 Vier-puntmeting (gelijktijdige dubbele diametermeting)

Dit concept berekent de omtrek vanuit vier punten die verdeeld over de stam gemeten worden en is verder uitgewerkt door Rocatec (intern verslag, 2009).

Om op korte termijn en zonder hoge kosten voor prototypes inzicht te krijgen in de haalbare nauwkeurigheid en afwijking ten opzichte van metingen met meetlint zijn in het veld gemeten waarden vergeleken met metingen in het CAD-model.

De vergelijking is uitgevoerd op basis van 86 boommetingen op 2 manieren.

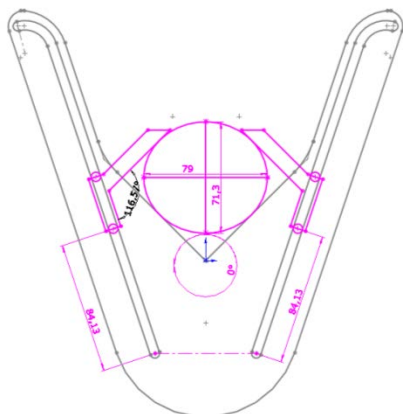
1. Op de huidige manier met een meetlint
2. 2x haaks op elkaar gemeten met een schuifmaat, de gemiddelde waarde is omgerekend tot een omtrek.

Voor de meting in het CAD-model wordt gebruik gemaakt van de meetwaarden uit het veld met de schuifmaat. In het CAD-model wordt met behulp van de ingevoerde meetwaarden een ellips getekend en theoretisch gemeten met het concept 4x lijn. De meetwaarde wordt omgerekend naar de meetwaarde op de schuifmaten in het concept. Omrekenen is noodzakelijk i.v.m. de hoek van 26,57° tussen de schuifmaat en de meetbekken.

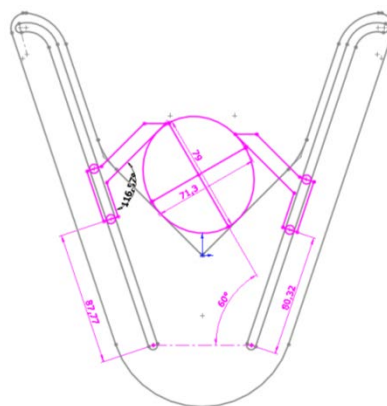
In het model is de meethoek meegenomen. De ellips is op 7 manieren gemeten, de verschillende metingen worden aangegeven met hoeken van 0° t/m 90°, oplopend met 15°.

Op deze manier kan worden gecontroleerd of de manier van meten van (grote) invloed is of niet.

De parse/roze maten in onderstaande tekeningen worden gebruikt voor de berekeningen.



Meting Boom nr. 3 – 0°



Meting Boom nr. 3 – 60°

Figuur 42. Principe vierpuntsmeting.

Voor de meting is een kleine selectie gemaakt uit de 86 metingen in het veld. Bij de selectie is gekeken naar de grootste afwijkingen tussen de 2 schuifmaatmetingen haaks op elkaar, dit zijn de meest niet ronde bomen uit het meetrapport. Er zijn zeven bomen geselecteerd.

De grootste afwijking is gemeten bij boom nr. 25:

- meting 0° : 50,5mm
- meting 90° : 64,6mm

De meetresultaten zijn in een Excel bestand samengevoegd met de ingevoerde 2 schuifmaatmetingen en het resultaat van de metingen met het meetlint. Ook is de exacte omtrek van de ellipsen vermeld.

Opvallend is dat de hoek/positie van de ellips in het meetapparaat nauwelijks van belang is. Bij een niet ronde of zuiver elliptische boom zal dit waarschijnlijk niet het geval zijn. Een praktijkmeting met een prototype moet dit uitwijzen.

Een vergelijking tussen de verschillende metingen is weergegeven in de tabel op de volgende pagina.

De resultaten van de meting met de schuifmaat uit het veld zijn uiteraard gelijk aan de resultaten van het concept 4x lijn, de resultaten van meting in het veld zijn namelijk het uitgangspunt voor de ellips.

Ook de exacte omtrek van de ellips komt natuurlijk precies overeen met de meetwaarde van concept 4x lijn. Deze waarde is toegevoegd om aan te geven dat een ellips te veel afwijkt van een boom.

De resultaten staan vermeld in bijlage 2.

De resultaten van een meting met het concept 4x lijn is uiteraard exact gelijk aan de gemiddelde meting met de schuifmaten.

De positie van de ellips in het meetapparaat (meethoek) heeft nauwelijks invloed op het meetresultaat, de afwijking op de omtrek blijft binnen 1mm gelijk.

Van de 7 metingen is in 2 gevallen de omtrek gemeten met het meetlint kleiner en in 5 gevallen groter dan met de andere metingen. Er is geen duidelijke standaard afwijking tussen de 2 meetmethoden ontdekt.

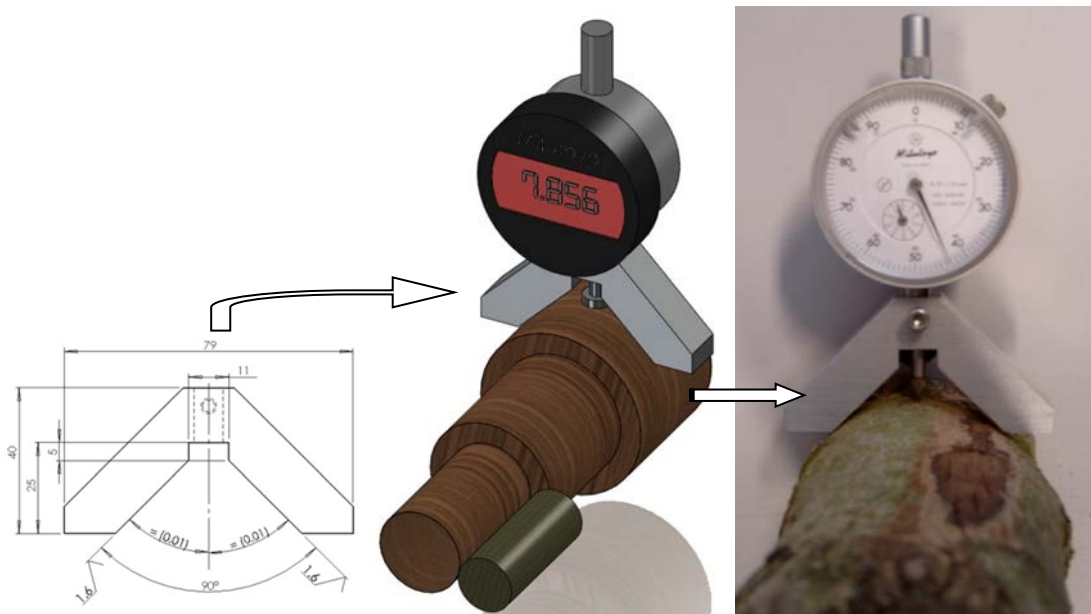
Een verdere controle of vergelijking van de meetsystemen is mogelijk door middel van een functioneel model, voorzien van digitale schuifmaten

4.2.3 Meetklok

In hoofdstuk 3.3 staat het principe beschreven en op basis van de aanbevelingen van de begeleidingsgroep in maart 2010 is er gewerkt aan een verbetering van de klok.

Verbetering aan de klok

Met Mitutoyo (Tuijl, 2009) is gezocht naar een verbetering van de huidige meetbrug en de uitvoering van de taster. In samenwerking met de ontwikkelwerkplaats in Wageningen is een nieuwe meetbrug en taster ontworpen zoals weergegeven in figuur 43.

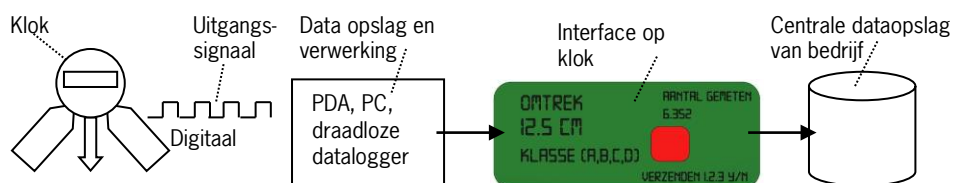


Figuur 43. Nieuwe meetbrug voor een grotere range van boomstam omtrekken.

De verbeterde meetbrug is gekalibreerd door 15 stukken stafmateriaal te nemen waarvan de diameter met een micrometer in herhaalde metingen is bepaald. De stukken stafmateriaal zijn daarna met de klok gemeten en zijn de waarden in Excel berekend en vergeleken met de kalibratie metingen. Het veranderen van de geometrie van de klok heeft niet tot de gewenste verbeteringen geleid. Zoals bij de berekening in 3.3.1 beschreven blijft de klok even gevoelig voor meetfouten.

Elektronisch uitlezen van de klok

De klok is (eventueel draadloos) te koppelen aan een pc/laptop of PDA. Deze techniek is direct bij de toeleverancier te verkrijgen. De meetgegevens kunnen na een druk op de knop direct in Excel worden weggeschreven.



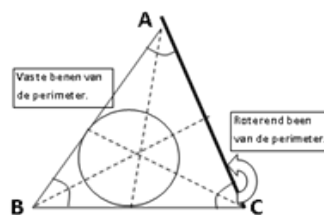
Figuur 44. Overslag van data uit de meetklok naar centrale opslag voor verdere verwerking.

4.2.4 Perimeter

De perimeter is een door een (ex-)boomteler ontwikkeld simpel handapparaat, dat via de zogenaamde driepuntsmeting, de diameter van een laanboom nauwkeurig kan bepalen. Op de meter is een schaalverdeling met kleuren, die overeenkomen met in de sector gebruikte maatkleuren. Het apparaat heeft geen algemene ingang gekregen, doordat de meerwaarde t.o.v. het gangbare meetlint gering is. Kwekers geven aan dat de meetmethode in vergelijking met de centimeterband niet voldoende nauwkeuriger of sneller is en de tonkinstok zit in de weg bij kleine stamdiameters. De administratie (het tellen) moet nog steeds met de hand in een aparte rondgang gebeuren. Daarentegen is de constructie van de perimeter zeer robuust en vereist geen speciale training voor een goed gebruik in de praktijk.

De perimeter is gebaseerd op een driehoeksmeting waarbinnen een cirkel valt waarvan de drie zijden van een driehoek de cirkel tangentieel op drie punten raken. De vaste benen vormen een vaste hoek van 60° met vectoren BC en BA. Vector CA is de roterende arm van de perimeter. Door eenvoudige wiskundige vergelijkingen is dan door een driepuntsmeting de diameter van de omsloten cirkel te bepalen.

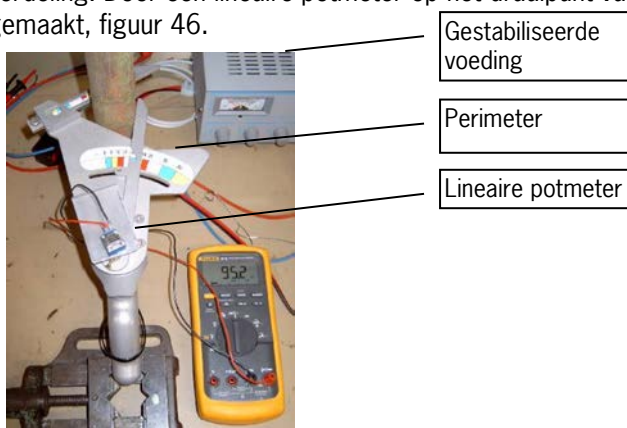
De meting kan in elektronische vorm om gezet worden. Door de constructie, de afleeswijzer scharniert, kan op dit scharnierpunt een potentiometer geplaatst worden. Merken kan in deze optie nog steeds met de hand, d.m.v. een lint, gebeuren. Dit concept is verder uitgewerkt door WUR-Glas (Van Tuijl, 2009).



Figuur 45. Perimeter en meetprincipe.

Elektronisch uitlezen van de perimeter

Bij de praktijk meting bleek de grove schaalverdeling snel te leiden tot afleesfouten. Deze leiden tot meetonnauwkeurigheden. Een oplossing voor het probleem is het elektronisch uitlezen van de schaalverdeling. Door een lineaire potmeter op het draaipunt van de roterende arm te monteren is dit mogelijk gemaakt, figuur 46.



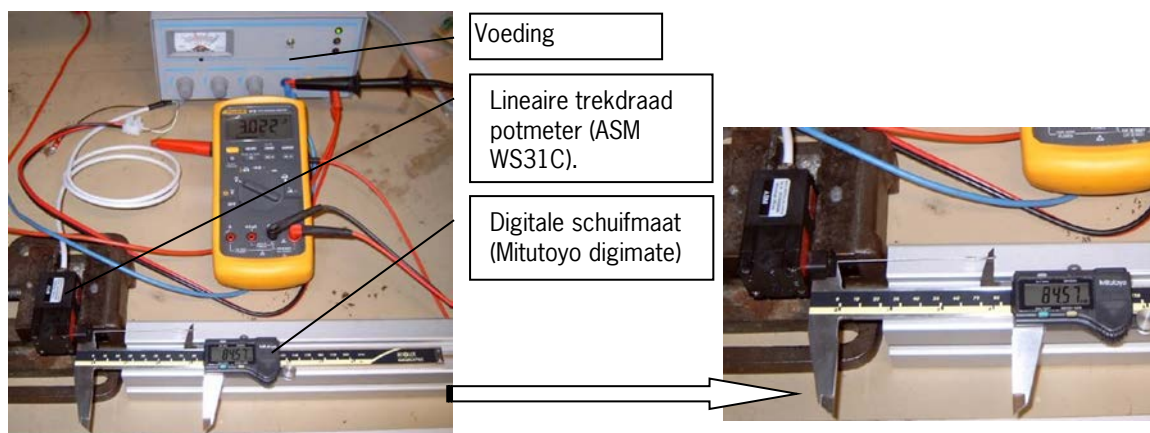
Figuur 46. Elektronisch uitleesbaar maken van de perimeter.

De potmeter is als een spanningsdeler aangesloten op een gestabiliseerde spanningsbron. De potmeter is gekalibreerd door 15 stukken stafmateriaal te nemen waarvan de diameter met een micrometer in herhaalde metingen is bepaald. De stukken stafmateriaal zijn daarna met de perimeter gemeten en de uitgangsspanningen zijn in Excel vergeleken met de kalibratie metingen. Zodoende zijn de uitgangsspanningen te vergelijken met een bepaalde omtrek gemeten door de perimeter. Daaropvolgend zijn 30 boomstammen gemeten met een centimeterband en de elektrische uitvoering van de perimeter. In kolom 3 van Tabel 12 is berekend wat de toegenomen spanning is per mm verplaatsing ten opzichte van de vorige meting. Het verband is duidelijk niet lineair en maakt het gebruik van een industriële lineaire potmeter ongeschikt.

Tabel 12. Kalibratie en test resultaat van elektronisch uitleesbare perimeter.

Testmateriaal	Micrometer [mm]	Perimeter [mm/volt]
AL pijp	30.01	-
POM	36.57	0.445125
PVC	40.94	0.352151
PVC Buis	50.13	0.558788
PVC	50.78	0.306667
PVC	52.07	0.304667
PVC	61.45	0.546768
POM	67.03	0.36957
PVC	80.43	0.456441

In overleg met verschillende industriële toeleveranciers zijn verschillende type potmeters gevonden die geschikt zijn om in een elektronische potmeter toegepast te kunnen worden. Een dergelijk type (geleverd door AE sensoren) is getest onder laboratorium omstandigheden, zie figuur 47.



Figuur 47. Kalibratie- en testopstelling van een nauwkeurige trekdraadpotentiometer.

De trekdraad potmeter is in de test opstelling ingeklemd en de draad is door een schuifmaat in kleine stappen uitgetrokken, dit is 5 maal herhaald. De potmeter is als spanningsdeler opgenomen in een circuit zodat de relatie tussen de afgelegde weg in mm en volt vastgelegd kon worden. Daarna zijn de resultaten verwerkt in Excel, de resultaten zijn hieronder weergegeven.

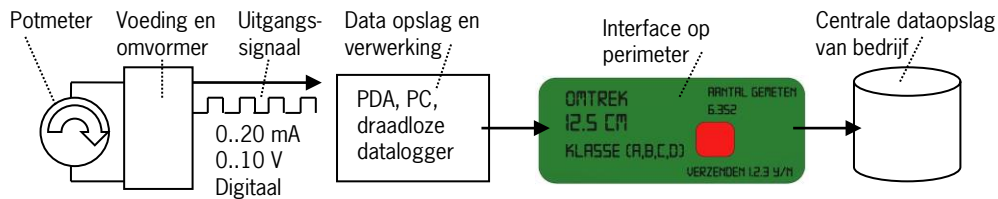
Tabel 13. Resultaat van Kalibratie van een nauwkeurige trekdraadpotmeter.

Verplaatsingsstap [mm]	Trajactlengte [mm]	spanning per stap [V]	Standaard dev
10 mm	0 tot 150 mm	0.357	3.246×10^{-3}
0.2 mm	50 tot 53 mm	0.007	1×10^{-3}

De standaarddeviaties laten zien dat dit type potmeter over een groot bereik lineair is en gebruikt kan worden om verschillen van tenminste 0,2 mm te meten.

Verbeteringen van de elektronische perimeter, totaal concept

Een elektrische perimeter uitgevoerd met een voldoende nauwkeurige potmeter kan in vergelijking met een mechanische meting meten met een resolutie van 0,2 mm, afleesfouten door de schaal behoren dan tot het verleden. Om de perimeter totaal elektrisch uit te voeren moet de potmeter voorzien zijn van een voeding. Dit kan een accu of batterij zijn met een spanning tot 32 VDC. Er zijn vele uitvoeringsvormen van potmeters in de handel te verkrijgen met verschillende industriële uitgangssignalen die direct aangeboden kunnen worden aan een microprocessor, (draadloze)datalogger, PDA of kleine computer. Het totaal concept ziet er dan als volgt uit:



Figuur 48. De perimeter opgenomen in een dataverwerking circuit.

4.2.5 Laser-triangulatie

De werking is gebaseerd op een driehoek meting tussen camera's en lasers en is verder uitgewerkt door een student van de TU in Delft (Nachenius, 2010)

Op het moment dat het apparaat tegen de stam staat voor meting wordt er een laser lijn op een 2D vlak om de gehele omtrek geprojecteerd vanuit 4 punten. Vanuit een iets hoger punt van deze vier plekken wordt de geprojecteerde lijn door vier camera's geregistreerd. Omdat de afstanden tussen camera's en lasermodules bekend is kan er door middel van wiskundige trigonometrie een 2D doorsnede profiel van de stam samengesteld worden. Omdat de tonkinstok ook mee gescand wordt zal deze door een algoritme weg gefilterd moeten worden en het kleine stukje van de stam wat daarom mist gesimuleerd worden.



Figuur 49. Proefopzet laser triangulatie

De software ontwikkeling om op basis van de metingen de omtrek te berekenen is natuurlijk een belangrijk onderdeel. Het algoritme is bekend.

Helaas is het voor zover bekend hiertoe nooit gekomen. Er is wel nog een art impressie gemaakt, zie figuur 50.

Alle resultaten en bijhorende informatie als ID worden digitaal opgeslagen en kunnen op kantoor uitgelezen worden. Om vervanging bij beschadiging te bevorderen bestaat het apparaat uit verwisselbare onderdelen als camera's, lasers, beugel en batterij.



Figuur 50. Art impressie van laser-triangulatie meter.

Omdat het camera's en lasers betreft die relatief fijn opereren en gemonteerd zijn is het concept vatbaarder voor misbruik of ongevallen als een val op harde of natte grond. Verder is onduidelijk wat de kosten zijn van een dergelijk systeem in relatie tot de gewenste resolutie.

4.2.6 Digitale centimeterband

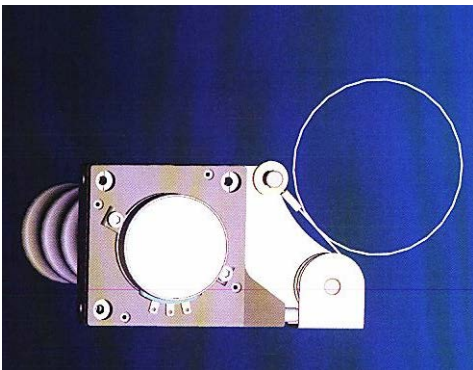
In eerste instantie is het de bedoeling een proof of concept van het meetprincipe te demonstreren. Daartoe zal een meetinstrument gebouwd worden gebaseerd op het concept heel dicht bij de huidige meetmethode (meetlint). In het concept wordt ervan uitgegaan dat met een draad of lint, gespannen rondom de boom direct of indirect een potentiaal verschil kan worden gemeten. Dit verschil is een maat voor de dikte van de boom. Dit concept is verder uitgewerkt tot een prototype door Wireless Value.

Omdat registratie van de boom en classificering van de gemeten boom van belang is wordt gebruik gemaakt van barcode en/of transponders. Markering van de klasse van de boom zal ook moeten plaats vinden

Er is een meetinstrument gebouwd bestaande uit:

- Een elektronisch meetlint
- Ingebouwd in een behuizing waarop een display voor uitlezing van de boomdikte is aangebracht
- De behuizing heeft Led's voor aan/uit indicatie en voor de meetcyclus (start/mmeet/stop)
- Een mini disk voor opslag van data
- Een USB poort voor uitlezen van de minidisk
- Een batterij voor de voeding

Een artist impressie is hieronder weergegeven. Het handvat zal in de proof of concept nog niet worden aangebracht.



Figuur 51. Impressie van digitaal centimeterband concept.

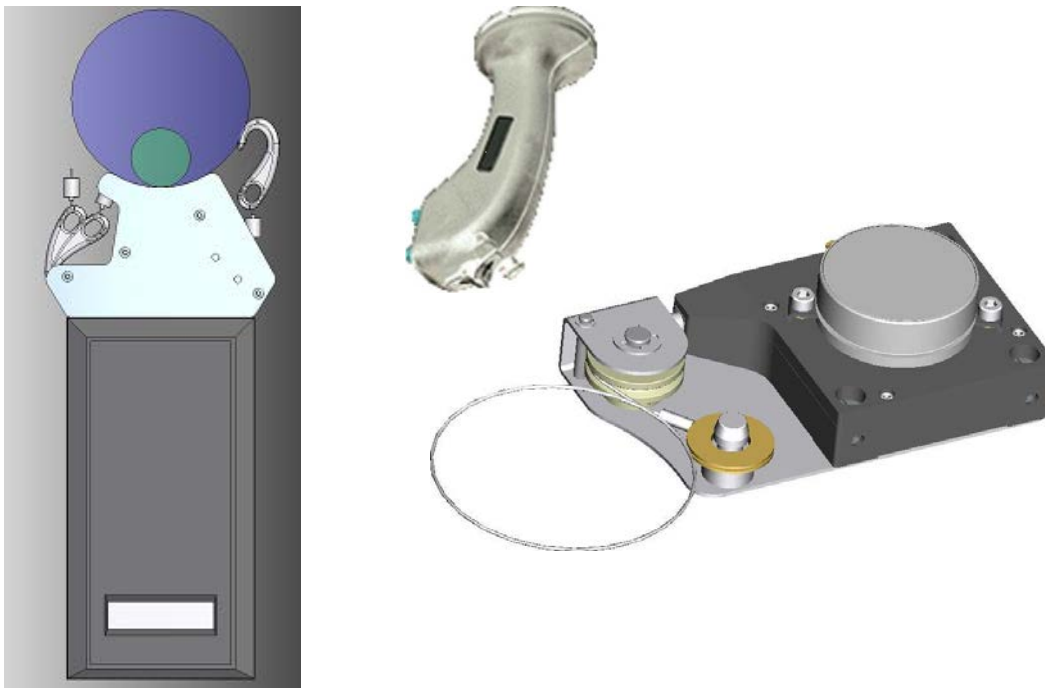
In de volgende fases kan het concept voorzien worden van een Bluetooth verbinding met een handheld. Deze fasering biedt de mogelijkheid noodzakelijke aanpassingen in het eerste concept aan te brengen. De handheld kan worden voorzien van het ABS systeem van DCTT waarmee in de boom geplaatste transponders kunnen worden uitgelezen of aan de boom bevestigde barcodes kunnen worden gelezen.

Voor gebruikers van de boomdikte meter die geen gebruik maken van het ABS systeem zal een software pakket beschikbaar worden gemaakt voor data opslag en data verwerking. Voor de meting van de omtrek van bomen zijn we bij de uitwerking zo dicht mogelijk gebleven bij de traditionele meetmethode van een meetlint. Dit betekent dat de medewerker die de meting verricht dezelfde handeling moet verrichten als bij een meetlint.

In het concept wordt m.b.v. een draad of lint, gespannen rondom de boom een potentiaal verschil gemeten. Dit verschil is een maat voor de dikte van de boom

De bedoeling van het concept is het meetprincipe te demonstreren.

Uitvoering



Figuur 52. Impressie digitale centimeterband.

De figuur 52 geeft schematisch aan hoe de meter werkt. De blauwe en groene bol geven een grote boom (in dit concept 30 cm omtrek) en kleine boom weer (omtrek 2-3 cm)

De haak verbonden aan een draad wordt om de boom gelegd. Via een ingebouwde potentio meter wordt de lengte van de draad gemeten en op het display weergegeven.

Op het punt waar de unit de boom raakt is een schakelaar geplaatst. Zodra deze is ingedrukt is de meter klaar voor de meting. Met een druk op de knop kan de meting wordt bevestigd (goedgekeurd) en wordt de gemeten waarde opgeslagen. Daarmee is de meting beëindigd. Achtereenvolgende metingen worden op nummer opgeslagen. Met behulp van up/down toetsen kan door de data worden gescrolled (zie voor meer informatie hieronder).

In processor van de meetunit is een tabel opgenomen waarbij de meting van de spanning van de potentiometer wordt gekoppeld aan de omtrek. Zonodig kan deze tabel worden vertaald naar een polynoom. Tussenwaarden worden bepaald door middel van lineaire interpolatie of door berekening uit de polynoom. De nauwkeurigheid van de meting wordt bepaald door het aantal meetpunten dat in de tabel wordt opgenomen.

Het is mogelijk aan deze tabel een klasse bepalings tabel te koppelen, zodat meteen naast de meetwaarde ook de klasse kan worden gedisplaysed. In dit eerste concept is dit nog niet opgenomen. Op basis van de klasse kan de boom dan worden gemerkt hetzij met het traditionele lint, een kleur of op een door gebruiker gekozen manier

De meetwaarden kunnen via een op de unit aangebrachte USB connector eenvoudig naar een PC worden overgebracht en zijn daar voor verdere verwerking dan beschikbaar.

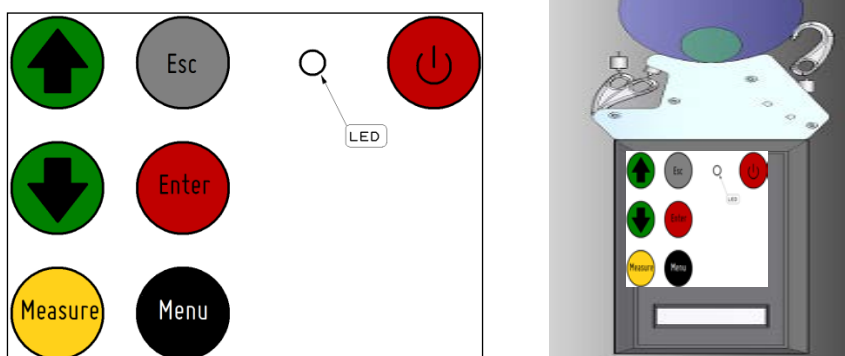
In een volgende versie zal de meetunit worden voorzien van een Bluetooth module en kan de data via de Bluetooth link worden overgestuurd naar een PC of handheld. In de electronica is reeds rekening gehouden met deze functie. Op de plaats waar nu de schakelaar is geplaatst is ook ruimte om een barcode reader of een transponder reader bij te plaatsen. Dit kan registratie en classificering verder vereenvoudigen.

De hierboven getoonde figuur is de uitvoering van het concept. De behuizing is groot uitgevallen omdat we gekozen hebben voor een standaard eenvoudig te verkrijgen behuizing. Tijdens de uitvoering is reeds nagedacht over definitieve uitvoeringsvormen. Wij stellen ons voor dat gekozen kan worden voor een handvat, waarin de electronica is opgenomen met een display, zoals hierna afgebeeld.

Kenmerken:

1. dichtbij karakteristieke lintmeting;
2. eenvoud in bediening;
3. toekomstige uitbreiding met draadloze data overdracht,
4. barcode lezer of transponder bij volgende generaties mogelijk;

Bediening van de omtrekmeter



Figuur 53. Bedieningspaneel digitale centimeterband.

Metten:

Elke boomdiktemeting die wordt gedaan krijgt een volgnummer en wordt tezamen met dat volgnummer opgeslagen in het geheugen. Het display toont normaal tijdens het meten steeds het volgnummer en de waarde van de laatste meting. *(Alleen direct na inschakelen van het apparaat wordt het volgnummer van de komende meting getoond. De meetwaarde is in dat geval leeg.)*

Als de meetdraad vanuit de nulstand opnieuw wordt uitgetrokken (meer dan 5 cm) dan verschijnt een nieuw volgnummer. De meetwaarde volgt meteen de actuele waarde van de boomdikte.

Komt de meetdraad weer in de rustpositie voordat er een meting is gedaan dan blijft het nieuwe volgnummer staan. De meetwaarde is in dat geval leeg. *(Zo is altijd te zien of de meting compleet is of niet)*

Zit de draad om de boom dan moet de boomdiktemeter tegen de boom worden gedrukt totdat deze klikt.

Vanaf dat moment wordt steeds de kleinste waarde van de boomdikte onthouden totdat de knop wordt ingedrukt. Bij indrukken van de knop piept de meter en wordt de waarde vastgelegd. Het display wordt nu niet meer bijgewerkt met de actuele waarde, maar blijft de opgeslagen meetwaarde tonen.

Klaar voor de volgende meting.

4.2.7 Tallymaster

Door de Carnegie Mellon Universiteit (Oregon) is de TallyMaster ontwikkeld (http://www.rcsteam.com/index_TallyMaster.htm). Dit is een meetinstrument waarmee digitaal de diameter van de boomstam kan worden gemeten. De basis voor de meetmethode zijn infrarood stralers en lichtsensoren in een U-vormige behuizing. De U-vorm kan rondom de boom worden geplaatst. Een processor bepaalt de hoeveelheid uitgezonden infrarood en registreert de ontvangen hoeveelheid licht, waarbij de boomstam een schaduw genereert. Deze schaduw matrix wordt verzonden naar de PDA, die de diameter berekent. De dataopslag vindt plaats door middel van een palmpilot. De maximaal te meten diameter bedraagt 9.4 cm (omtrek 30 cm). De tonkinstok wordt niet meegerekend indien er een kleine opening aanwezig is van tenminste 2.5 mm.



Foto 11. Tallymaster

4.3 Afweging concepten

In hoofdstuk 4.2 staan de ontwikkelde concepten beschreven. Deze zijn in februari 2010 voorgelegd aan de begeleidingsgroep.

De concepten zijn op posters gepresenteerd, waarbij per concept een aantal karakteristieken werden weergegeven, gebaseerd op de informatie zoals aangegeven in 4.2. Genoemd kunnen worden: beschrijving van het concept, foto of tekening van het concept, fysiek apparaat of onderdelen indien bestaand, informatie over de nauwkeurigheid van meten, meetresultaten van de testen en een tabel met afweging (best guess) van de concepten t.o.v. een aantal wensen en eisen.

De Tally Master is op dat moment nog niet gepresenteerd, maar wel in vervolg traject meegenomen.

De begeleidingsgroep kon haar voorkeur uitspreken voor de diverse concepten en opmerkingen en aanvullende vragen erbij formuleren (Zie bijlage 3).

Het laserconcept kon op een warme belangstelling rekenen van de begeleidingsgroep, maar ook andere concepten werden positief beoordeeld. In bijlage 3 staan ook de opmerkingen vermeld die door de begeleidingsgroep bij de diverse concepten zijn aangegeven.

Naar aanleiding van de discussie en de verbetermogelijkheden die bij aantal concepten nog mogelijk was, is door de begeleidingsgroep besloten om van alle concepten het meetprincipe te testen. Merken en digitalisering zou toch bij alle concepten dezelfde problematiek zijn.

Door onvoorziene omstandigheden bij de TU Delft is de laser/triangulatie concept helaas niet verder ontwikkeld. Vanuit het project is wel aan andere deskundigen gevraagd naar de haalbaarheid van dit concept. Zo waren er vraagtekens t.a.v. de resolutie en robuustheid van het systeem, zeker in relatie tot kostprijs en dus marktpotentie.

Tabel 14. Afweging concepten tegen wensen en eisen

Criteria, wensen en eisen/concepten	Lint centimeter	laser, triangulatie	Digitale perimeter	moderne epicom	Gelijktijdige dubbele diameter	Mitutoyo concept	digitale centimeter band
Omtrek meting	100%	80-100 %	3 punts	90%	4 punts	3 punts	85%
Meetresultaat digitaal	Neen	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Snelheid meettechniek	referentie	sneller	sneller	langzamer	sneller	sneller	langzamer
Ditale verwerking	Neen	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Telling (rij, plek)	neen	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Meerwaarde uit meetdata	neen	ja	beperkt	ja	beperkt	beperkt	ja
(Kalibratie) software	Neen	ja	ja	ja	beperkt	ja	ja
Robuustheid	++++	+	+++	++	+++	++	++
Gebruikers-gemak	+++	+	+++	++	++	+++	+
Benodigde deskundigheid	0	++	+	+	+	+	+
Extra gewicht (oa accu)	0	+	+	+	+	+	+
Voor grote en kleine bedr.	ja	beperkt	ja	ja	ja	ja	ja
Kosten	0	+++	+	++	++	++	++

Op basis van de aanbevelingen van de begeleidingsgroep werd het traject ingezet om de meetprincipes van de concepten verder te onderbouwen, ontwikkelen en zo mogelijk in de praktijk te testen.

4.4 De apparaten

Onderstaande apparaten zijn in de zomer 2010 verder ontwikkeld en de testen zijn hiermee uitgevoerd. Natuurlijk allemaal in vergelijking met het centimeterbandje.

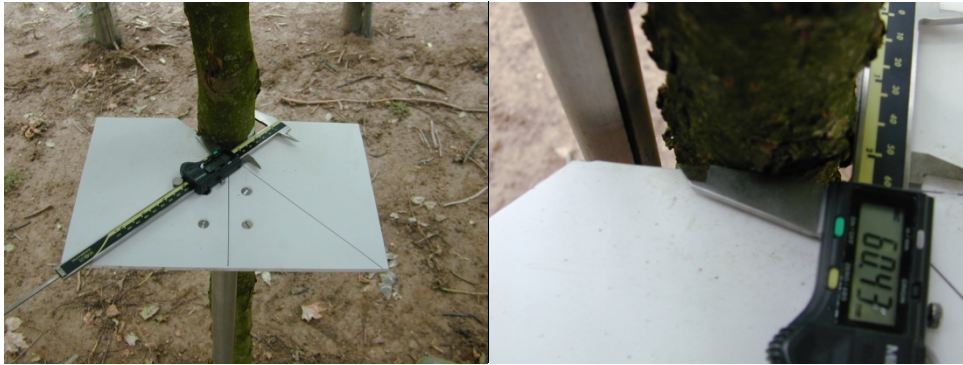


Foto 12. Dubbele gelijktijdige diameter meting



Foto 13. Digitale Epicom 2



Foto 14. Digitale perimeter.



Foto 15. Digitale centimeterband



Foto 16. Tally Master

De meetresultaten worden besproken in hoofdstuk 4.5

4.5 Testen meetprincipes

Op 20 en 22 september 2010 zijn de vijf beschikbare prototypen getest bij 4 boomsoorten. De vijf prototypen zijn:

- Dubbele diametermeting
- Epicom II
- Digitale Perimeter
- Digitale centimeterband
- Tallymaster

De test is uitgevoerd bij vier boomsoorten (30 stuks per soort), nl. *Fraxinus excelsior*, *Carpinus betulus*, *Betula utilis* 'Doorenbos' en *Platanus orientalis*. De boomomtrek liep uiteen van 10 tot 25 cm. De meetresultaten zijn vergeleken met de meetwaarden van het meetlint (referentie). Daarnaast is bij elke boomsoort de benodigde registratietijd per 30 bomen bijgehouden. Alle bomen stonden aangebonden aan een tonkinstok.

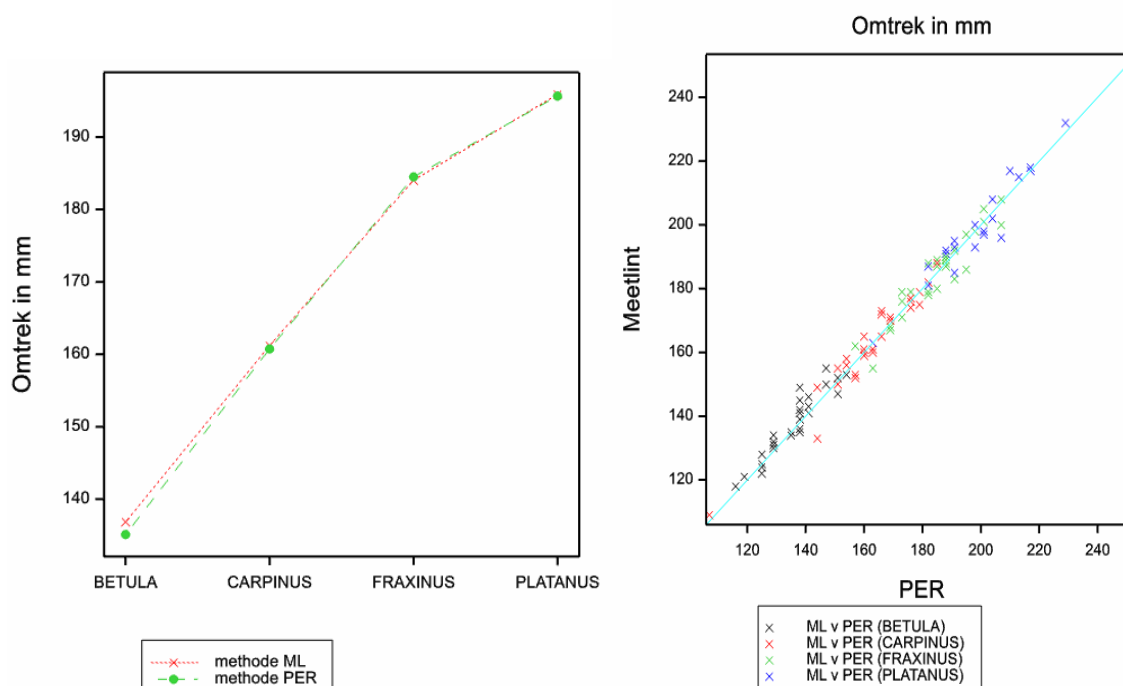
In de analyse van de meetresultaten van de prototypen is een vergelijking gemaakt met de meetlintmeting. Elke meetwaarde is toegekend aan de gebruikelijke maatklasse. In onderstaande tabel staan de percentages bomen die in een andere maatklasse terecht kwamen.

Tabel 15. Meetafwijking prototypen t.o.v. meetlintmeting en benodigde tijd per prototype bij vier boomsoorten (30 stuks/soort)

	Benodigde tijd per 30 bomen (minuten)	% bomen ingedeeld in hogere maatklasse	% bomen ingedeeld in lagere maatklasse	Totaal (% bomen in verkeerde maatklasse)
Dubbele diametermeting	9	3.3%	16.7%	20.0%
Epicom II	6	0.0%	22.5%	22.5%
Digitale Perimeter	2	7.5%	6.7%	14.2%
Digitale centimeterband	6	6.7%	10.0%	16.7%
Tallymaster	7	40.8%	4.2%	45.0%

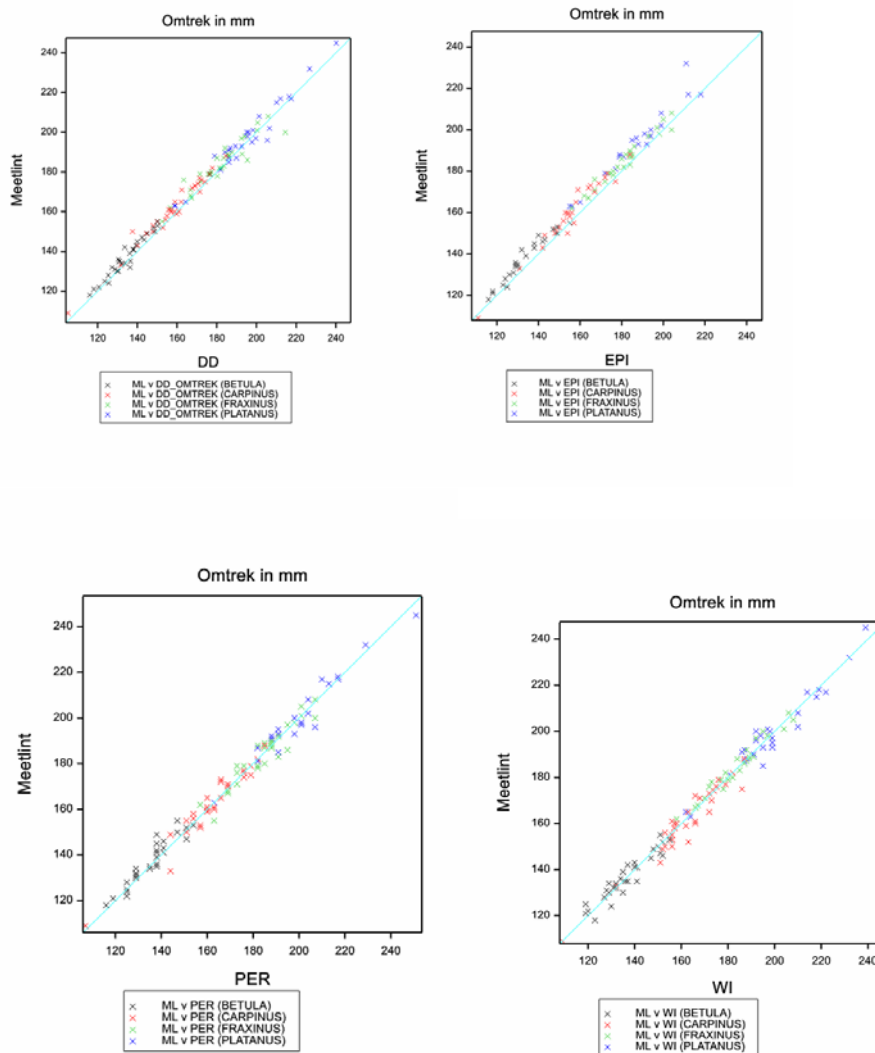
De grootste meetfout is gemaakt met de Tallymaster. De belangrijkste reden is dat bij veel bomen de noodzakelijke ruimte tussen boom en tonkinstok ontbreekt. In dat geval wordt de tonkinstok meegerekend. Maar liefst bij 40% van de metingen valt met deze methode het meetresultaat hoger uit.

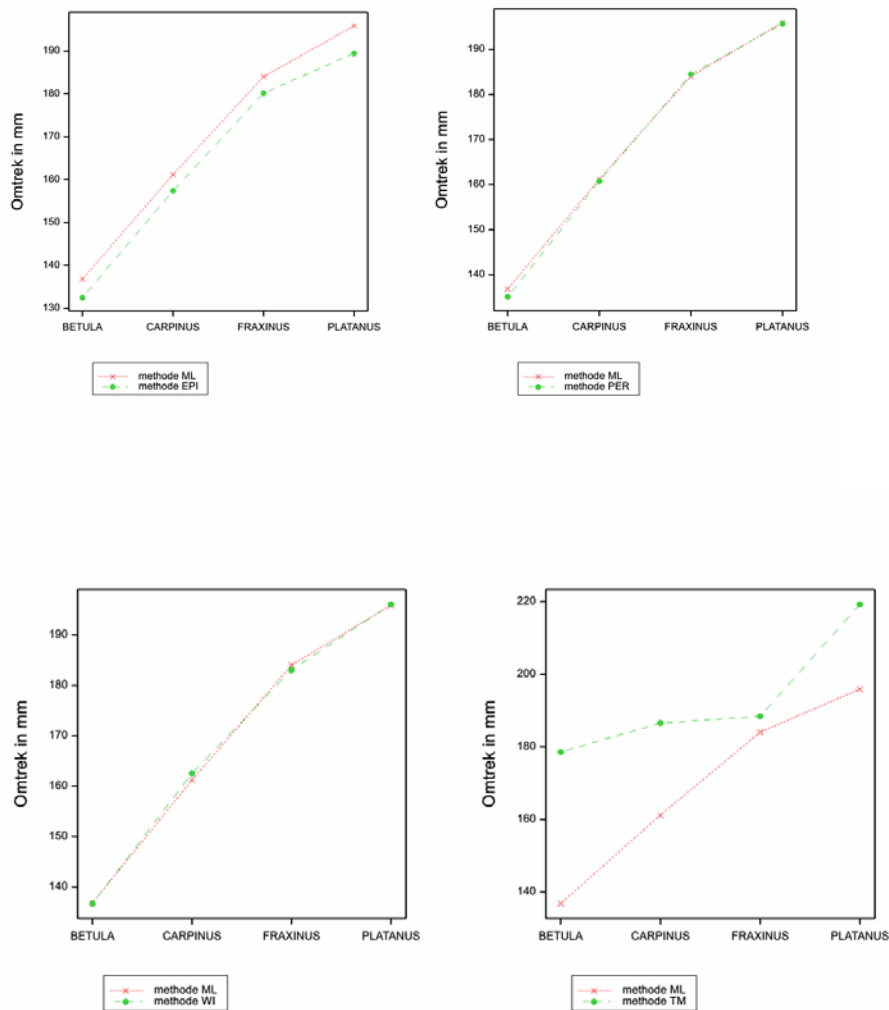
De meetresultaten van de digitale perimeter komen het meest overeen met de meetlintmeting; 14,2% komt in een andere maatklasse. De afwijking naar beneden is even groot als naar boven. Uit de statistische analyse bleek dat de Perimeter geen significante verschillen laat zien in vergelijking met het meetlint. Dit geldt overigens ook voor de Digitale centimeterband. In figuur 54 zijn de verschillen tussen de meetlintmeting en de Perimeter grafisch weergegeven



Figuur 54. Meetlintwaarden uitgezet tegen de meetwaarden met perimeter bij vier boomsoorten

De andere drie prototypen (digitale Epicom, dubbele diametermeting en digitale centimeterband) resulteren in een grotere afwijking. In de meeste gevallen worden de bomen in een lagere klasse ingedeeld. Bij de Epicom II is dit gemiddelde 4.4 mm, en is het gecorreleerd aan boomsoort: bij Platanus zijn de verschillen groter dan bij de andere boomsoorten. Met de dubbele diametermeting wordt gemiddeld 2.5 mm kleinere omtrek gemeten, onafhankelijk van de boomsoort. Deze uitkomsten corresponderen met eerdere testresultaten (Hoofdstuk2). Figuur 55 geeft de resultaten grafisch weer. Zo zijn de resultaten van de verschillende methoden gerelateerd aan het centimeterbandje (eerste 4 grafieken), en middels twee lijnen zijn de resultaten weergegeven voor beide methoden voor de diverse boomsoorten (onderste 4 grafieken).





Figuur 55 . Statistische analyse diverse meetprincipes

Ter oriëntatie is tijdens het testen van de diverse prototypes een tijdmeting uitgevoerd. Hieruit blijkt dat met de perimeter beduidend sneller kan gewerkt kan worden (factor 3-4) dan met de andere prototypen. Dit komt vooral omdat bij met de meetarm van de Perimeter de tonkinstok vermeden kan worden. Bij andere prototypen (digitale centimeterband, digitale Epicom) moet steeds het ruimte gemaakt worden tussen de stok en de boom. Dat vraagt veel tijd.

4.6 Conclusie testen

De meetresultaten van de verschillende concepten zijn vergeleken met het meetlint en daarop statistisch beoordeeld. Er is een variantie analyse uitgevoerd en de waarnemingen en resultaten zijn in de grafieken van paragraaf 4.5 weergegeven.

De conclusie is: de digitale diametermeter meet gemiddeld een 2,46 kleinere omtrek (ML 169.49, DD 167.03). Dit verschil is niet afhankelijk van boomsoort.

De Epicom 2 meet gemiddeld een 4,39 kleinere omtrek maar dit verschil is afhankelijk van boomsoort (interactie sign. $P=0.006$). In de bijbehorende grafiek is te zien dat het verschil voor *Betula*, *Carpinus* en *Fraxinus* vrijwel gelijk is maar voor *Platanus* wat groter.

Voor de digitale perimeter en de digitale centimeterband zijn er geen significante verschillen (zowel voor hoofdeffect als interactie). De Tally Master geeft heel vreemde uitkomsten (zie grafiek 55).

4.7 Afweging concepten en keuze

De resultaten uit hoofdstuk 4.6 werden november 2010 gepresenteerd aan de begeleidingsgroep aangevuld met deskundigen en vertegenwoordigers van diverse bedrijven (Info Groen, Inspiro, Rocatec). Op basis van de resultaten uit 4.6 (de goede meetresultaten en de snelheid van meten) en aanvullende argumenten (bekendheid, robuustheid, eenvoud, marktpotentie) werd de perimeter als het concept gekozen om verder uitgewerkt te worden.

In de workshop werd ook aandacht gegeven aan het werkproces van de digitale perimeter. Zie hiervoor verder hoofdstuk 6.

4.8 Merken

4.8.1 Inleiding

De bomen worden in de huidige situatie gemerkt door er een gekleurd lintje om aan te brengen. De klasse is gebaseerd op het meetresultaat. De kleur van het lintje geeft de klasse (zie tabel 16) aan en het lintje is gedurende het gehele logistieke proces (van order picking tot aflevering bij de klant) zichtbaar vanuit alle zijden. Er zijn ook telers die in eerste instantie een marker gebruiken (soort kleuren viltstift) en later alsnog lintje laten binden. Een enkeling laat het bij die kleurenstip. Nadeel van die kleurenstip is dat hij zichtbaar blijft als de boom niet verkocht wordt en dus blijft staan en doorgroeit naar een andere klasse.

De visuele zichtbaarheid wordt belangrijk gevonden. Dat betekent dat moderne systemen (RFID) moeilijker inpasbaar zijn.

Tabel 16. Meetresultaat en klasseindeling in "kleur".

5- 6	Wit
6- 8	Blauw
8- 10	Geel
10- 12	Rood
12- 14	Wit
14- 16	Blauw
16- 18	Geel
18-20	Rood
20-25	Wit
25-30	Blauw
30-35	Geel
35-40	Rood
40-45	Wit

Het tegelijkertijd meten en merken wordt door de sector belangrijk gevonden en zou een groot (markt)voordeel betekenen voor de te ontwikkelen meter.

Op basis van tabel 16 lijkt het eenvoudig om op basis van het meetresultaat de klasse vast te stellen. Bij de interpretatie van het meetresultaat en het omzetten naar een klasse spelen echter meer factoren een rol. Een belangrijke factor, die vooral een rol speelt als het meetresultaat net onder de klassegrens uitkomt is, de nog te verwachten nagroei. De werkzaamheden worden nu uitgevoerd in het vroege najaar (september). Metingen begin september kunnen te laag zijn vanwege de nog te verwachten groei in de herfst. Daar wordt rekening mee gehouden in afhankelijkheid van de boomsoort en dus het tijdstip van meten.

4.8.2 Voorstudie

In het voortraject is zeer oriënterend naar alternatieven gezocht voor het lintje, zie figuur 56.



Figuur 56. Overzicht alternatieven merken uit voortraject.

Mogelijkheden om te merken zijn: lintje, verf, barcode, RTK-GPS, RFID, ringetje, etc.

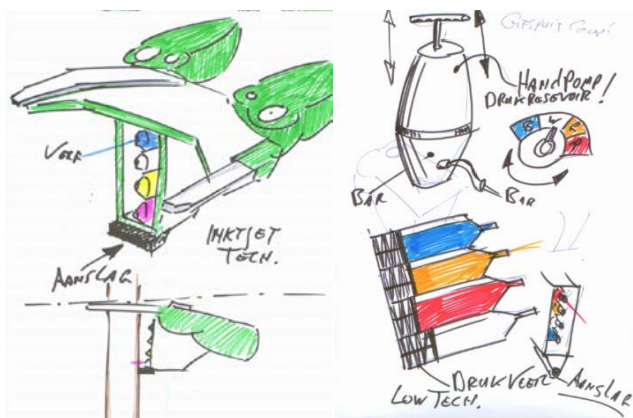
In de laatste fase van dit project is er meer aandacht gegeven aan het merken. Het merken (het visueel zichtbaar maken van de klasse van de boom)

4.8.3 Brainstorm

In een brainstorm sessie zijn de mogelijkheden voor merken onderzocht. Daarbij is naar drie modellen gekeken:

1. Kleurcodering geïntegreerd in de boommeter
2. Kleurcodering apparaat los van de boommeter (2^e apparaat)
3. Kleurcodering zonder gebruik van een apparaat

Conclusie van die brainstorm was dat een kleurcodering geïntegreerd de meeste voordelen heeft, met name omdat meten en merken dan door een persoon wordt uitgevoerd.



Figuur 57. Impressies van een merkprincipe.

Zodra een omtrek bevestigd wordt, wordt direct een “inktshot” op de boom gespoten, de kleur wordt ook softwarematig bepaald.

Voor de kwekers blijft het (visueel!) merken een belangrijk aspect. Verf of inkt gebruiken als merkteken wordt maar door een enkeling toegepast, maar gedurende de projectduur kwam er meer acceptatie voor deze methode. Wel zijn aanvullende eisen en wensen aan de “levensduur” van het merkteken dan van belang. Op basis hiervan is een vervolgstudie uitgevoerd.

4.8.4 Haalbaarheid markering

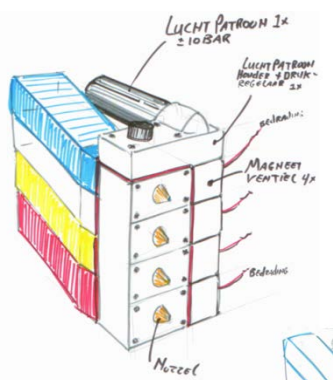
Een markeringssysteem geïntegreerd in de meter is een uniek systeem, er zijn geen vergelijkbare producten. Om inzicht in het systeem te verkrijgen, is het systeem opgesplitst in deelfuncties. De eisen waar de deelfunctie op getoetst worden zijn: formaat, gewicht, leverbaarheid en toepasbaarheid.

Door de deelfuncties/onderdelen te onderzoeken op haalbaarheid is bepaald in hoeverre een geassembleerde configuratie haalbaar is. Zo wordt ook inzicht verkregen in de standaard leverbare onderdelen en welke delen ontwikkeld moeten worden.

- Spuitkop (inktjet technologie, nozzles etc..)
- Verfreservoir (opslag en op druk brengen van verf)
- Luchtdruk (het creëren van luchtdruk)
- Ventielen (het bedienen van de verfstip)
- Verf (wat voor verf)

Op basis van de haalbaarheidsonderzoek lijkt een geïntegreerde markeringssysteem “theoretisch” haalbaar. Als we kijken naar de onderdelen die voldoen aan de wensen (formaat, gewicht, leverbaarheid en toepasbaarheid) blijven er twee systemen over:

- 1) Verfspuittechniek gebaseerd op luchtdragende medium, te vergelijken met airbrush techniek.
- 2) Verfspuittechniek waarbij alleen het verf onder druk staat, lucht geen drager



Figuur 58. Impressie verfmerker.

Een geïntegreerde markering systeem lijkt theoretisch haalbaar, echter, om dit te bewijzen zullen er testen uitgevoerd, keuzes gemaakt en ontwerp consequenties overwogen moeten worden.

Problemen die nog opgelost moeten worden:

- hoeveel druk is er nodig voor beide systemen?
- hoeveel lucht is er nodig?
- hoeveel vloeistof wordt er per markering gebruikt, hoeveel vloeistof is totaal nodig?
- hoe werken de nozzles (spuitpatroon, gaat het druppen)?
- hoe dekkend is airbrush verf?
- hoeveel energie is er nodig (stroomverbruik)?

Aan de hand van deze informatie kunnen overige componenten uitgezocht worden en ontwerp keuzes gemaakt worden.

Een belangrijk aspect is ook de positie van de spuitkoppen. Om de boom altijd met een verfspuit te raken is de meeste voor de hand liggende positie in de hoek van de twee vaste meetpunten. Een brede waaier als verf/nevel straal pakt waarschijnlijk meer van de boom.

4.9 Conclusies

Het ontwikkeltraject van de diverse concepten is een lastig traject geweest. Het traject met de TU Delft heeft lang geduurd en is uiteindelijk stil gevallen vanwege het afhaken van de student. Het laser/triangulatie concept had veel waardering vanuit de begeleidingsgroep, maar de vraag of het technisch en economisch haalbaar was, blijft (voorlopig) onbeantwoord. De uitgevoerde activiteiten beschreven in dit hoofdstuk hebben geleid tot de keuze van de digitale perimeter als meetinstrument. Het merken blijft nog lastig en vergt meer ontwikkeling. In de volgende hoofdstukken wordt de doorontwikkeling van de perimeter beschreven en de consequenties voor het werkproces, het merken en de digitale afwikkeling van de data.

5 Ontwerpfase

5.1 Inleiding

Op basis van de vergelijking met het meetlint en de snelheid van meten is besloten de perimeter verder te ontwikkelen. In samenwerking met Rokatec is verder gewerkt om de oude perimeter (functioneel, maar ergonomisch niet optimaal) te moderniseren en te voorzien van ergonomische verbeteringen. Dit resulteerde in een aantal ontwerpen:

- Handheld-model, handvat onder meet- en afleesgedeelte met beschermbeugel (verhoogde robuustheid).
- Handheld-model, handvat onder meet- en afleesgedeelte en verschoven draaipunt van het handvat t.o.v. het meetgedeelte, waardoor minder polsbelasting (door 'wrikbeweging')
- Low-held model, handvat boven meet- en afleesgedeelte.
- Handheldmodel, waarbij de hoek tussen het handvat en het meetgedeelte gevarieerd kan worden (rotating grip) om goed aan te sluiten bij de lichaamslengte van de medewerker

5.2 Voorstudie modellen

De eerste ontwerpen van Rokatec zijn in een overleg op 3 november 2010 besproken met de projectmedewerkers van WUR. Uit dit overleg kwam naar voren dat een aantal aspecten minder relevant zijn, zoals het beweegbare handvat, de bescherm- en standaardbeugel en het verschoven draaipunt van het handvat ten opzichte van de meetarmen. De voordelen van een two-handed model werden onderkend, maar dit leidde niet tot de expliciete keuze hiervoor. Voorgesteld is om de begeleidingscommissie aangepaste versies van beide ontwerpen voor te leggen (handheldmodel en het two-handed model).



Figuur 59. Concepten one en two handed.

5.3 Modelkeuze

De verschillende prototypes en de testresultaten zijn tijdens een workshop op 10 november 2010 gepresenteerd. Hierbij waren vertegenwoordigers vanuit de sector aanwezig en vertegenwoordigers van bedrijven die betrokken zijn bij de technische ontwikkeling. De meetnauwkeurigheid van de perimeter komt overeen met die van het meetlint. Op basis van de vergelijking met het meetlint en de snelheid van meten wordt besloten de perimeter verder te ontwikkelen.

Met name het laserprincipe wordt ook kansrijk gevonden, maar verdere ontwikkeling binnen dit lopende project zal niet lukken. Dit concept had de voorkeur vanwege het ontbreken van bewegende delen waardoor het minder slijtage gevoelig zou zijn. Of dit voordeel zo groot is wordt betwijfeld door Rokatec; ook bij instrumenten met laserprincipe treedt 'slijtage' op (vervuiling). Verder vraagt hij zich af hoe de robuustheid is.

Vervolgens zijn de nieuwe modellen (hand-held en two handed) gepresenteerd (figuur 59). De keuze was niet eenvoudig omdat de meeste kwekers het apparaat toch graag willen voelen. Na discussie is besloten dat beide concepten verder worden uitgewerkt:

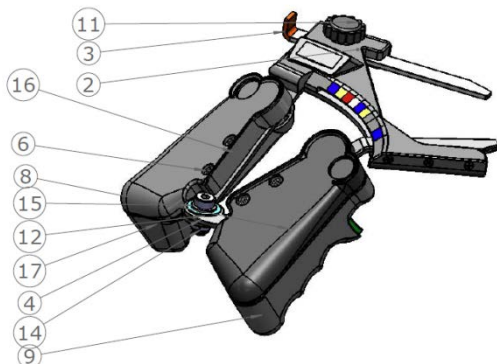
- hand-held – met optimaal zwaartepunt, met bescherming (type C)
- two handed – type E (dus met handgreep onder hoek).

Voordeel van de hand-held tov two-handed instrument is dat de afstand tot de te meten boom groter is waardoor de 'kwaliteitsbeoordeling' beter kan worden uitgevoerd. Het two-handed heeft naar verwachting grote ergonomische voordelen.

Aanvullende eisen die tijdens de workshop naar voren kwamen:

- Merken is onderdeel van BOM; eventueel middels verfstippen die gemakkelijk verwijderbaar zijn. Eventueel worden de bomen later gemerkt d.m.v. kleurlintjes. Verder uitwerken programma van wensen en eisen aan verf.
- Batterij: dezelfde als van het snoeien? Huidige uitrusting sluit hierbij goed aan.
- Kennis medewerker bij gebruik BOM moet aan hogere eisen voldoen.
- Bij handmatige perimeter treedt na verloop van tijd slijtage op. Dit geeft een meetafwijking, dit is een aandachtspunt bij nieuwe concept.
- Calibratie optie opnemen in software.
- Het is wenselijk om ook de kwaliteit van de boom aan te geven tijdens het meten (A en B-kwaliteit).

Van het two-handed prototype wordt een 'leeg' exemplaar gemaakt (rapid prototyping), inclusief knoppen om een goed beeld te krijgen welke het best toepasbaar is. Uit kostenoverwegingen is besloten om voor de one handed de rapid prototyping (nog) niet uit te voeren. De beweging kan goed getest worden met de huidige bestaande versie.



Figuur 60. Ontwerp rapid prototype two handed.

5.4 Keuze one handed versus two handed

Voor een goede beoordeling van de twee gekozen concepten (handheld en two-handed) is door Rokatec een Two-Handed rapid prototyping-model gerealiseerd. Voor de handheld zal de bestaande Perimeter als test model dienen. Voor het prototype is het van belang dat het sterk genoeg is, de materiaalkeuze is hierbij van belang. Een modulaire opbouw heeft de voorkeur, hierdoor kunnen componenten opnieuw getest worden, zonder een geheel nieuw prototype te moeten maken.



Figuur 61. Impressie two handed perimeter.

Ergonomische aandachtspunten bij de ontwikkeling waren:

- Doordat het draaipunt niet verschoven is ten opzichte van de Perimeter is de ergonomische handeling niet optimaal. Hierdoor spelen de handgrepen een extra belangrijke rol.
- De hoek van de hand; Er is gestreefd om de meest natuurlijke houding aan te nemen, hierdoor zijn de handgrepen iets gekanteld.
- De afstand tussen draaipunt en product is minimaal, de handgreep is gecompenseerd door naar buiten en achter te verschuiven.
- Ergonomische vormgeving voor plaatsing handen/vingers en bewegingen (groot oppervlakte)
- Plaatsing knoppen: De knoppen kunnen op verschillende manieren bediend en geplaatst worden. Er is gekeken naar soortgelijke producten waarbij knoppen op dergelijke apparaten veelvuldig worden gebruikt (bijv. Game controllers). Eventueel is het een optie om meerdere knoppen dezelfde functie te geven om de beweging af te wisselen, praktijk onderzoek van de prototype zal meer informatie hierover moeten geven.

Tenslotte is het prototype modulair opgebouwd. De handgrepen bestaan uit twee delen, de body van aluminium (als basis) en een kunststof behuizing. De handgrepen kunnen nu gemakkelijk vervangen worden zonder een geheel nieuwe prototype te moeten maken. De handgreep bestaat uit twee delen (demonteerbaar). De onderkant is uitgevoerd in twee varianten, deze kunnen dus ook alle twee getest worden (met en zonder triggervinger).



Figuur 62. Handvaten in ontwikkeling.



Foto 17. Ontwikkelde prototype met rapid prototyping.

5.5 Testen en afweging one versus two handed

Op de twee deelnemende boomkwekerijbedrijven zijn beide prototypen door een aantal medewerkers getest. De vraag hierbij was welke handeling (model) zij het prettigst vonden werken met in het achterhoofd dat je hier wekenlang (de hele dag) mee moet werken. De aspecten die getest werden waren beweging hand/pols/arm, ergonomie handvatten en knop bediening (van der Sluis, 2011)

Op een bedrijf hadden 5 personen een voorkeur voor het two-handed model en 4 personen voor het handheld-model. Op het andere bedrijf viel de keuze bij alle drie op two handed model. De argumenten die achter de keuze liggen overlappen elkaar echter voor een groot deel.

Argumenten om te kiezen voor het two-handed-model:

- beter recht te houden (dus nauwkeurigere meting)
- biedt mogelijkheid om meerdere knoppen te bedienen
- langer vol te houden
- gebruiksgemak

Argumenten om te kiezen voor het one-handed model:

- goed te combineren met het de kwaliteitsbeoordeling van de boom.
- vanwege de (natuurlijker) houding
- meting is nauwkeuriger
- gebruiksgemak, langer vol te houden

Mogelijke problemen die volgens de medewerkers zich kunnen voordoen bij gebruik van het two-handed model zijn:

- Triggerfinger-knop; deze kan gemakkelijk niet-bedoeld ingedrukt worden
- De hoek van de handvatten was niet gemakkelijk en zou vlakker moeten

Aanvullende opmerkingen die tijdens het testen gemaakt werden:

- alleen knoppen op de bovenkant (zichtbaar, voorkomen van fouten)
- meetnauwkeurigheid perimeter is nog steeds aandachtspunt. Voor de juiste meting moet de omtrekmeter loodrecht op de stam geplaatst worden; volgens de medewerkers veroorzaakt het meetprincipe driepuntmeting bij ovale bomen (iep) een te grote meetfout.

5.6 Ontwikkeling two handed

Het was van belang om zo snel mogelijk een model van de “Two Handed” te realiseren. De beweging die nodig is voor het meten moet hierbij getest kunnen worden, indien mogelijk ook zoveel mogelijk overige functies. Voor een vergelijking tussen de twee modellen is het wenselijk dat ze hetzelfde realisatie niveau hebben: gewicht, materiaal, beweging en opbouw.

Voor de One handed heeft de bestaande Perimeter als testmodel gediend. In een later stadium kan hier een nieuw handvat op getest worden.

Voor het prototype is het van belang dat het sterk genoeg is, materiaal keuze is hierbij van belang. Indien mogelijk heeft een modulaire opbouw de voorkeur, hierdoor kunnen componenten opnieuw getest worden zonder een geheel nieuwe prototype te moeten maken. Dergelijke aanpak zal kosten en tijd besparen!

Om de handheld te kunnen prototypen is het van belang dat bepaalde aspecten verder ontwikkeld worden:

- Ergonomie
- Plaatsing knoppen
- Opbouw prototype
- Uithollen van (SLS) componenten voor prijsreductie

Ergonomie: Bij de “Two Handed” hebben we zoveel mogelijk de functionele geometrie van de Perimeter aangehouden, meetwaarden moeten dus precies gelijk zijn.

Doordat het draaipunt niet verschoven is ten opzichte van de Perimeter is de ergonomische handeling voor het meten niet optimaal, hierdoor spelen de handgrepen een extra belangrijke rol!

- Hoek van de hand.

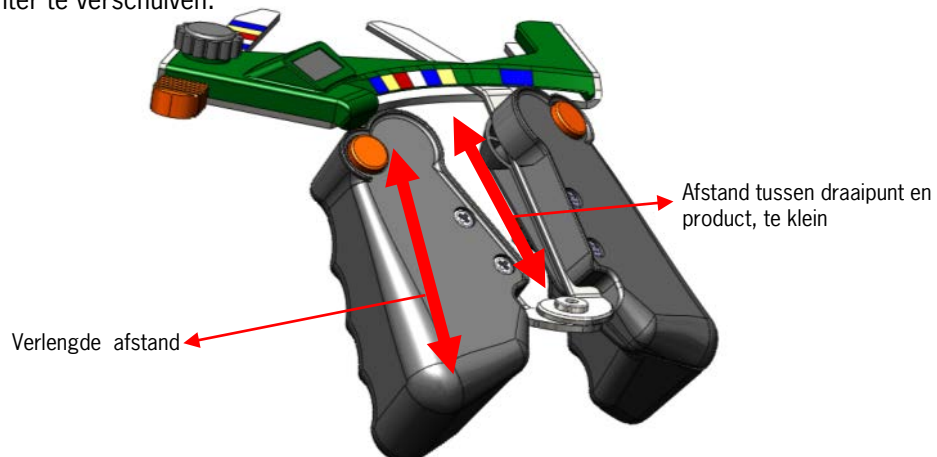
Er is gestreefd om de meest natuurlijke houding aan te nemen, hierdoor zijn de handgrepen iets gekanteld.



Figuur 63. Gekantelde handgrepen

- Ruimte voor de hand.

De afstand tussen draaipunt en product is minimaal, de handgreep is gecompenseerd door naar buiten en achter te verschuiven.



Figuur 64. Hand ruimte.

- Ergonomisch vormgeving voor plaatsing handen/vingers en bewegingen (groot oppervlakte)



Figuur 65. Vormgeving voor vingers.

Plaatsing knoppen: De knoppen kunnen op verschillende manieren bediend en geplaatst worden. Er is gekeken naar soortgelijke producten waarbij knoppen op dergelijke apparaten veelvuldig worden gebruikt (bijv. Game controllers figuur 66) Eventueel is het een optie om meerdere knoppen dezelfde functie te geven om de beweging af te wisselen, praktijk onderzoek van het prototype zal meer informatie hierover moeten geven.

Er zijn verschillende modellen gemaakt (met de hand en CNC) om de concepten te testen op ergonomie en positie knoppen.

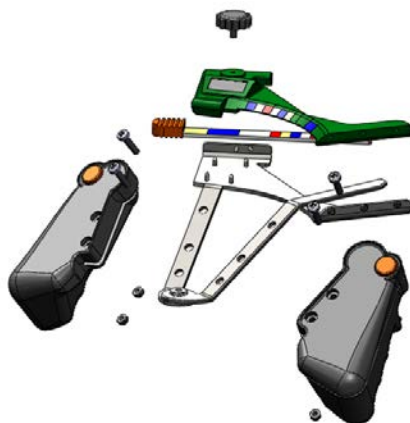


Figuur 66. Game console.

Opbouw prototype :

Het prototype kan modulair opgebouwd worden wat zoveel mogelijk de realiteit benadert, tevens is dit het meest vergelijkbaar met de Perimeter.

De handgrepen bestaan uit twee delen, de body van aluminium (als basis) en een kunststof behuizing



Figuur 67. Onderdelen prototype

De handgrepen kunnen nu gemakkelijk vervangen worden zonder een geheel nieuwe prototype te moeten maken.

De handgreep bestaat uit twee delen (demonteerbaar). De onderkant is uitgevoerd in twee varianten, deze kunnen dus ook alle twee getest worden:

- Met triggervinger
- Zonder triggervinger

Uithollen van proto componenten voor prijsreductie:

De kunststof delen die voor proto in aanmerking komen zijn zoveel mogelijk uitgehold, dit zal meer de realiteit benaderen en kostenbesparend zijn.

Eventuele componenten kunnen dan ingepast worden (accu etc.).

5.7 Resultaten

Bij de verdere ontwikkeling wordt ingezet op het two-handed-model met de volgende verbeteringen t.o.v. het huidige prototype:

- Zonder triggerfinger-knop
- Kleinere hoek van de handvatten/meetarmen
- Knoppen goed zichtbaar aan bovenkant handvat, ook met duim goed te bedienen.
- De verschuifbare arm uitrusten met een scherper uiteinde om beter tussen boom en tonkinstok te komen.

Het succes van het in gebruik nemen van de boomontrekmeter zal sterk bepaald worden door de mogelijkheid om tijdens het meetproces gelijktijdig de bomen te merken (kleurcode). Dat is met name ook een acceptatieproces van de sector.

6 Werkproces en gevolgen voor meter

6.1 Inleiding

Uitgangspunt is dat de meter voor elke kweker (groot en klein) toegankelijk, bereikbaar en toepasbaar moet zijn. Ook meerdere meters per bedrijf moet mogelijk zijn, zelfs 1 meter gezamenlijk voor 2 bedrijven. Zo wordt een groot marktpotentieel mogelijk. Ook de buitenlandse markt kan van belang zijn, maar er is geen studie verricht naar het werkproces in andere landen.

Geconstateerd is dat een aantal kwekers werkt met partijnummers. Diktemeting op basis van partijnummer kan gekozen worden als uitgangspunt.

Definitie partij(nummer):

- a. groep bomen van hetzelfde geslacht, soort en/of cultivar
- b. op hetzelfde perceel.
- c. aaneensluitend geplant
- d. gekoppeld aan rij nummers

(maar rijnummers zijn niet relevant voor BOM (Boom omtrek meter), wel voor order picking of teeltevaluatie)

Registratiesystemen:

Perceel – blok – partijnummer en/of rij – soort
(partijnummer = soort en/of cultivar)

Begin en einde van partij is voorzien van label (meest simpel met nummer, geavanceerd met tag);

Partijafbakening is het minst kwetsbaar als dit een apart 'id-paaltje' wordt (i.p.v. eerste en laatste boom van de partij).

Een kweker kan voordat hij begint met diktemeting een aantal voorbereidende werkzaamheden verrichten in zijn BMS of kwekerijhandboek of de te ontwikkelen PC applicatie, namelijk

- * koppelen partijen (met partijnummers) aan percelen
- * toewijzen boomkenmerken aan partijen (geslacht, soort, cultivar)
- * eventueel koppelen partijnummer aan RFID nummer
- * aantallen percelen, blokken, rijen en bomen per rij

Voor de BOM is partijnummer een uniek nummer en zo kunnen meetdata aan bomen gekoppeld worden. Verdere verfijning naar boomniveau is mogelijk door een RFID per boom op te nemen

6.2 Digitaal boomedikte meten in de praktijk.

Het praktische werkproces in het veld bepaalt in grote mate hoe de boomomtrekmeter moet functioneren. In overleg met de opdrachtgevers en de begeleidingsgroep is gekozen om de basis van de perimeter te gebruiken om de omtrek meting digitaal te gaan uitvoeren. Het volgend stuk beschrijft hoe de Perimeter in het werkproces toe te passen is.

6.2.1 De boomdikte meter.

In foto 18 is een 3D tekening weergegeven van het prototype digitale perimeter.

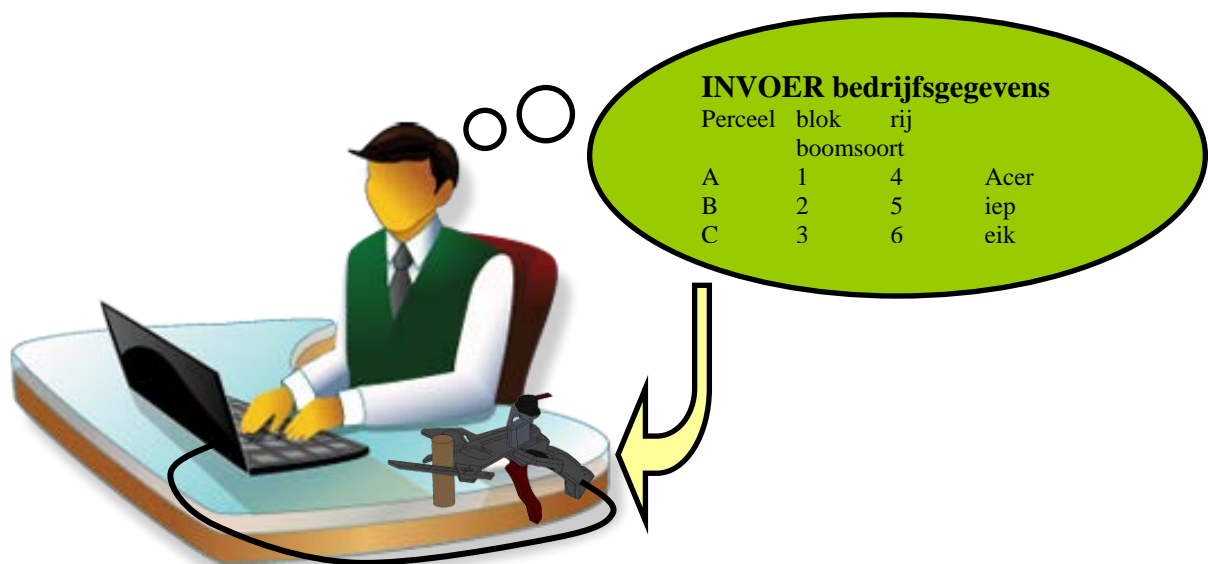


Foto 18. Impressie digitale perimeter.

De volgende stap in het project is om deze digitale boomdikte meter geschikt te maken voor gebruik in de praktijk. Hiervoor is het belangrijk om een werkwijze te ontwikkelen die aansluit bij de praktijk en waarbij het systeem eenvoudig te bedienen is. Het doel is om onder alle omstandigheden op het bedrijf met zo min mogelijk knoppen en instellingen de metingen te koppelen aan de bedrijfsregistratie zodat eenvoudig de voorraad beheerd kan worden.

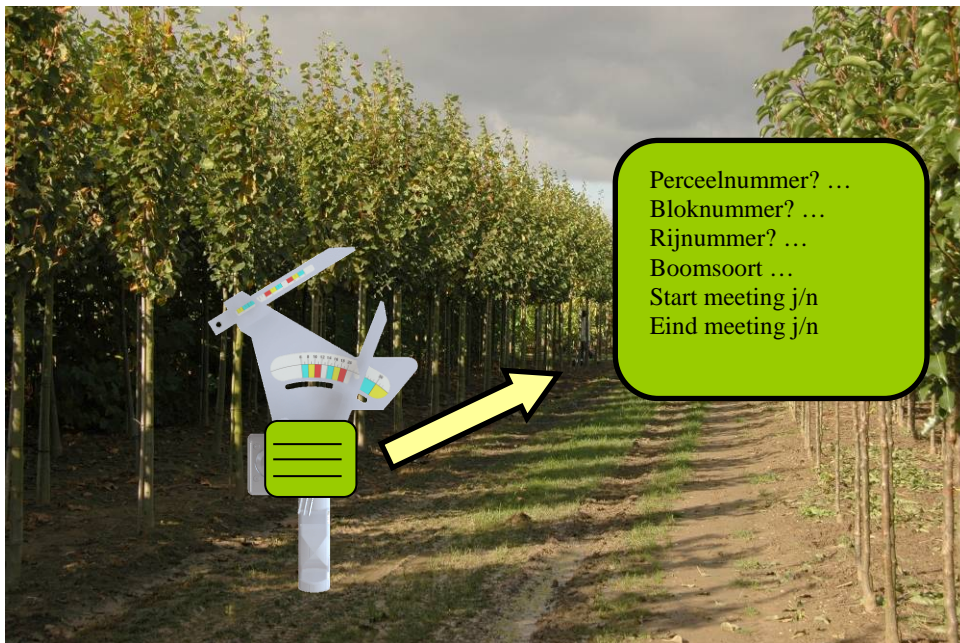
6.2.2 Verzamelen van meetgegevens uit het veld.

De start ligt bij een pc applicatie waarin een aantal gegevens van het bedrijf wordt vastgelegd. Voor een uitgebreide beschrijving wordt verwezen naar de beschrijving van de PC applicatie. Een deel van de gegevens zoals perceelnummer, blokken, rijen en boomsoorten worden naar de boomdikte meter gekopieerd vanuit een bestand met bedrijfsgegevens.



Figuur 68. Invoer gegevens.

In het veld vraagt de boomdiktemeter aan de gebruiker waar hij/zij zich bevindt via een menu op de boomdiktemeter. De keuzes, die in het veld gemaakt kunnen worden door vooraf de percelen en boomsoorten vast te leggen, wordt sterk beperkt. Hierdoor kan de gebruiker in het veld sneller aan de slag.



Figuur 69. De diktemeter in het veld.

Na het ingeven van het start signaal worden de bomen ingemeten en de boomdiktemeter slaat de gegevens op in een bestand. Tijdens het meten kan de gebruiker de gemeten klasse verhogen of verlagen, dit wordt opgeslagen op het apparaat. Als een bepaalde rij is doorgemeten kan de gebruiker aangeven dat met een andere rij of boomsoort wordt verder gemeten. Op het eind van de dag wordt de boomdikte meter gekoppeld aan de pc en worden de gegevens naar de applicatie in een database verstuurd.

Voorgaande beschrijving laat zien dat de meter niet op zich zelf staat en dat er een nauwe samenwerking nodig is tussen de pc applicatie, de praktijk situatie (hoe is de teler gewend te werken) en de boomomtrek meter. In het volgend deel worden deze stappen besproken.

Voor alle duidelijkheid: deze functionaliteit is verder uitgewerkt en beschreven in de PC applicatie.

6.3 Identificatie van de locatie

Gekozen is voor de insteek perceel, blok, rij, soort als locatie bepaling van de boom.

Mogelijke alternatieven:

- RTK-GPS
- RFID, barcode

Deskundigen hebben aangegeven dat plaatsbepaling middels GPS technisch op problemen stuit onder de bomen. Het bladerdek kan het signaal verstoren en dat is ongewenst. Een tweede afweging is de mate van acceptatie door de kweker. Er zijn nog niet veel laanboomkwekers die met RTK-GPS werken. De acceptatie van de meter zou dus te beperkt zijn, of er zou te weinig vraag zijn naar de modulaire GPS applicatie (te kleine markt).

RFID zou als techniek wel bruikbaar kunnen zijn. In het ontwerp is er rekening mee gehouden. De RFID techniek zou gebruikt kunnen worden om perceel, blok, rij, soort en zelfs boom te identificeren. De kweker zou de voorbereidende werkzaamheden voor het diktemeting proces op een rustig moment in het jaar kunnen uitvoeren. Deze applicatie is momenteel ook niet verder uitgewerkt, maar is zeker interessant en zal de werkzaamheden op het perceel vereenvoudigen.

6.4 Conclusie

De implementatie van de omtrekmeter zal ingrijpen in het huidige werkproces van de laanboomkweker. Hoe precies en de mate waarin is sterk afhankelijk van het werkproces op het huidige bedrijf en de verschillen per bedrijf. De introductie van de diktemeter zal een verdere standaardisatie noodzakelijk maken, ook voor de toeleveranciers van managementpakketten. Een positieve ontwikkeling voor de sector.

Het beschreven proces is verder vertaald naar wensen en eisen aan de PC applicatie en de software op de diktemeter. Uitgangspunt is zo weinig mogelijk software op de diktemeter. In de nieuwe situatie werkt de diktemeter zelfstandig (na gevoed te zijn vanuit een pc applicatie). Een en ander betekent dus, dat veel meer embedded software in de meter moet worden opgenomen.

Om de uitwisseling tussen applicatiesoftware (zoals van TSD, Info Groen) en de diktemeter mogelijk te maken, is een PC applicatie nodig, die de communicatie tussen pc en diktemeter verzorgt. Bij deze applicatie zou dan logic volledig gescheiden moeten zijn van de user interface. Zodoende kan dan het "logic" gedeelte door diverse partijen gebruikt kunnen worden, terwijl het "user interface" deel gebruikt kan worden door bedrijven die geen specifieke boomkwekerijsoftware hebben. Daardoor ontstaat een groter markt bereik.

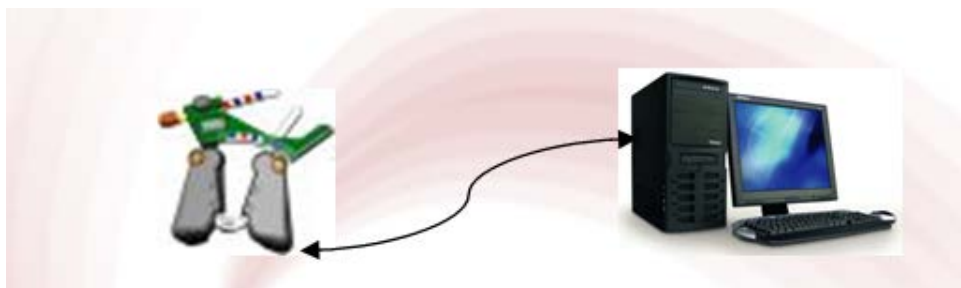
In hoofdstuk 7 wordt hier verder op ingegaan.

7 Hardware en software

7.1 Inleiding

De ontwikkeling van het model, de ontwikkeling en beschrijving van het werkproces, de hard- en software van de digitale meter en de PC applicatie worden als losse hoofdstukken behandeld, maar er is intensief contact en overleg geweest tussen de betrokken partijen. Het resultaat is een samenhangend beeld van het te produceren eindproduct.

In dit hoofdstuk wordt de hard- en software beschreven van de digitale perimeter, een beschrijving van de PC applicatie en het protocol tussen perimeter en PC applicatie. Specifieke aandacht is er voor de potmeter, een cruciaal onderdeel van de meter. In figuur 70 wordt aangegeven dat de perimeter communiceert met de PC.



Figuur 70. De digitale meter communiceert met de PC.

De meter wordt via een USB poort uitgelezen en geconfigureerd d.m.v. een computersysteem. Op dit computersysteem draait een applicatie die de brug vormt naar de administratiesoftware, lokaal of op een server. De werkwijze van de boomkwekers blijkt onderling flink te verschillen. De meter en de bijbehorende PC applicatie dienen hierin flexibel genoeg te zijn om marktacceptatie niet in de weg te staan (subjectieve eis).

7.2 Embedded software en hardware

De digitale perimeter is een instrument dat de omtrek van de boom vangt in een driehoek waarvan één hoek en één zijde bekend is. Door een tweede hoek te meten kan de circulaire omtrek bepaald worden. Uit onderzoek blijkt deze waarde een goede relatie met de d.m.v. een centimeterband gemeten waarde te hebben. Het meten van de voornoemde tweede hoek dient elektronisch te gebeuren en de bijbehorende omtrek dient vervolgens automatisch berekend te worden.

Optioneel moet de digitale perimeter het label (RFID-tag) van de boom kunnen herkennen.

Uiteindelijk dient de boomidentificatie met omtrek in de meter opgeslagen te worden. De opslagcapaciteit van de meter dient voldoende te zijn om een gebruikelijke meetsessie te kunnen bevatten.

De informatie die de meter bevat dient met een PC uitgelezen te kunnen worden voor verder verwerking.

In dit hoofdstuk wordt op hoofdlijnen de eisen die gesteld worden aan de bovengenoemde elektronica en software besproken. De fysieke aspecten van het meetinstrument vallen buiten de context van dit hoofdstuk.

Van belang zijnde functionele specificaties zijn: nauwkeurigheid, scherm, bediening, klok, labelscan, omtrekklasse weergave, opslag, accuduur, pc communicatie en talen.

Van belang zijnde niet functionele specificaties zijn: afmetingen, snelheid, onderhoud, temperatuurs bereik, identificatie.

Ook is er aandacht gegeven aan de gebruikersinterface. Deze zal echter verder ontwikkeld moeten met voortschrijdend inzicht. Figuur 71 geeft een beeld van de opbouw van het scroll scherm.



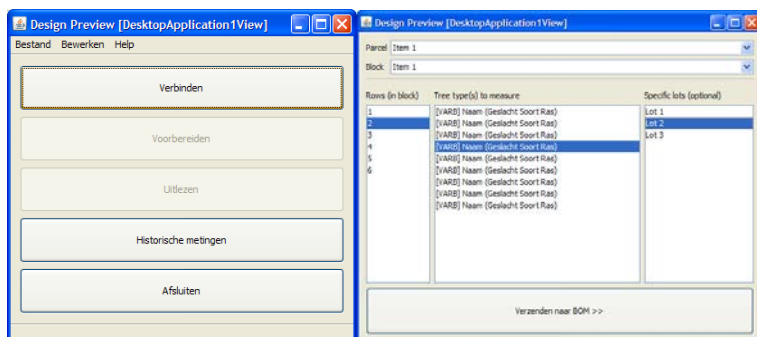
Figuur 71. Voorbeeld van scherm van meter.
Het systeem is verder beschreven in een aparte notitie.

7.3 PC applicatie

In dit hoofdstuk wordt een beschrijving gegeven van de PC applicatie in relatie tot het gehele systeem. Het systeem bestaat uit het meetapparaat en de PC applicatie. De PC applicatie is nodig om de meter voor te bereiden op de uit te voeren metingen en om de gemeten data op te slaan en te bewerken.

Vorbereiding

De meter moet weten wat er gemeten moet worden. De gebruiker sluit de meter aan op de PC met de benodigde software en kan zo de meter voorzien van alle noodzakelijke data om te gaan meten. Invoer schermen zijn beschikbaar en de gebruiker kan de percelen, rijen, blokken en soorten opgeven. Dat kan vanuit het hoofdmenu.



Figuur 72. Voorbeelden van de menustructuur van de PC applicatie

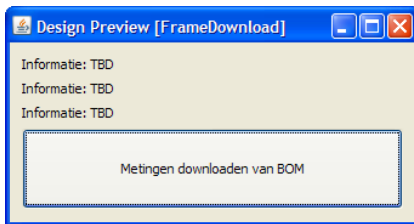
Nadat de gebruiker alle informatie heeft ingegeven, kan de data worden overgebracht in de meter. De meter kan worden losgekoppeld en is klaar voor gebruik.

De meting

Nu de meter klaar gemaakt is voor de metingen, kan de meting in het veld plaatsvinden. De uitvoering hiervan valt onder de embedded software.

Het downloaden van de data

De meet data kunnen worden gedownload van de meter naar de PC m.b.v. de software. De data worden zodanig opgeslagen dat er overzichten mee gemaakt kunnen worden.



Figuur 73. Scherm voor downloaden van de meet data.

Overzichten

De gebruiker kan op basis van eenvoudige overzichtsschermen de data gepresenteerd krijgen.

De systeemeisen en de functionele eisen zijn verder uitgewerkt.

De opslag van de data is zodanig dat er koppelingen mogelijk zijn met bestaande managementsystemen van bijvoorbeeld TSD of Info Groen.

De PC applicatie is verder beschreven in een aparte notitie.

7.4 Protocol

Aangezien een aantal zaken wat betreft de functionaliteit nog verder uitgewerkt moeten worden kan er nog geen definitieve specificatie van het high-level protocol gegeven worden.

Het high-level protocol werkt met commando's van 1 byte lengte. Het antwoord van de BOM is ten minste 1 byte lang. In het geval dat een commando niet specifiek iets opvraagt reageert de BOM met een Reply Code; 0 bij succes en een foutcode bij falen.

Het is denkbaar dat toekomstige meters meer of andere mogelijkheden hebben. Het protocol dient hierop aangepast te worden. De PC applicatie dient dan aan de hand van de opgevraagde meter versie de juiste protocol versie te gebruiken.

In plaats van een Get/Set structuur zou de configuratie ook in een record/image vorm getransporteerd kunnen worden (alles in één).

7.5 Conclusie

In dit hoofdstuk zijn de hoofdlijnen beschreven van de software vereisten en de functionele specificatie van de elektronica en de embedded software van de meter. Het werkproces van de ondernemer zal veranderen door de introductie van dit digitale apparaat. De voorbereiding van de meter vergt aandacht vóór het meetseizoen. Hij kan die voorbereiding op een rustig moment in plannen. De snelle beschikbaarheid van de meetdata in het afleverseizoen zou tot een verschuiving kunnen leiden van de meettijdstoppen.

De beschreven functionaliteiten en benodigde software zal dan ook flexibel ingericht moeten worden om aan het voortschrijdend inzicht en de marktvaart te kunnen voldoen.

8 Het eindresultaat

8.1 Inleiding

De doelstelling van het project was het ontwikkelen van een modulair meetsysteem voor diktemeting van laanbomen, waarbij de meetgegevens digitaal beschikbaar komen voor de bedrijfsmanagementsystemen t.b.v. de diverse administratieve en commerciële systemen (verkoop, voorraad, teeltresultaat). Het modulaire meetsysteem zou moeten kunnen meten, merken, tellen, digitaal opslaan en de data verwerken.

8.2 Resultaat

Het project heeft de volgende resultaten geboekt:

- een beschrijving van het nieuwe werkproces
- een getest prototype van een moderne contactmeter
- een beschrijving van het model en een art impressie van het model
- een beschrijving van hard- en software op de meter en op de PC
- een (voorstudie naar een) merksysteem
- een dataprotocol voor uitwisseling van data tussen meter en PC
- een verkenning naar een contactloze meting

Daarnaast heeft het project nog veel meer resultaten opgeleverd:

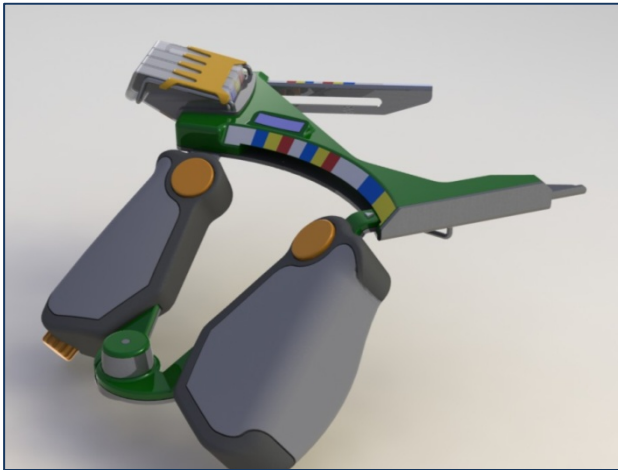
- inzicht in de (on)nauwkeurigheid en betrouwbaarheid van de huidige meting
- uitgebreide beschrijvingen en inzichten in huidig werkproces
- kwantificering van die inzet in uren
- resultaten van testen in de praktijk die gebruikt kunnen worden voor het verhogen van de acceptatie in de markt voor het nieuwe apparaat
- draagvlak bij de ondernemers en de betrokken bedrijven
- inzicht in de marktpotentie van het systeem
- vele nieuwe ideeën en mogelijkheden voor de toekomst
- introduceren van nieuwe (branche vreemde) bedrijven in de boomkwekerij
- inzicht in het vervolg traject en de mogelijkheden

8.3 Art Impressie

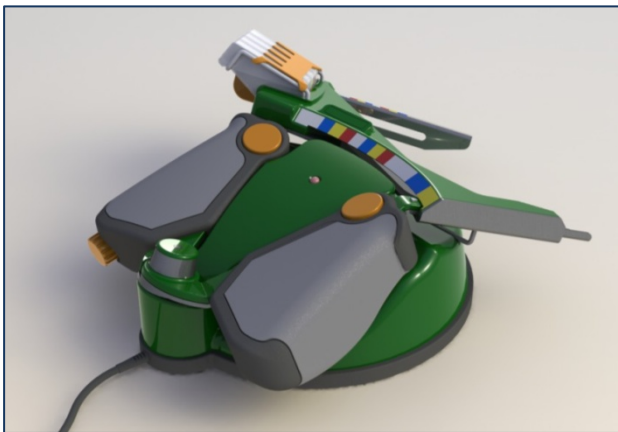
Van de digitale omtrekmeter zijn een aantal art impressies gemaakt. Zij geven een indruk van de mogelijkheden. Het werkelijke apparaat zal wellicht iets anders er uit zien, omdat verdere invulling nodig is. In dit hoofdstuk wordt een impressie gegeven van de (modulaire) meter.



Figuur 74. Boomomtrekmeter, two handed.



Figuur 75. Boomontrekmeter met merkunit.



Figuur 76. Meter op basis oplaad en uitleesstation.



Figuur 77. Meter op de boom met merk punt (rode stip).

8.4 Conclusie

Het resultaat is een goede basis om de stap naar implementatie te gaan zetten. De mogelijkheden zijn er. Helaas is de volledige ontwikkeling van het merken nog niet afgerond. Ook de verdere uitwerking met RFID in de meter om de werkzaamheden in het veld verder te vergemakkelijken is niet verder uitgewerkt. De verkregen documenten, prototypes en beschrijvingen vormen een goede basis voor de vervolgstap: het introduceren in de markt van de digitale omtrekmeter.

9 Marktimplementatie

9.1 Inleiding

Het project is afgerond, maar het apparaat staat nog niet in de markt. Ook zal het apparaat verder uitontwikkeld moeten worden op basis van de verdere testen die in de markt gaan plaatsvinden. Daarbij wordt ook de buitenlandse markt bedoeld.

In dit hoofdstuk wordt aangegeven hoe er verder gegaan kan worden.

9.2 Aanpak

In dit rapport is terughoudend omgegaan met het weergeven van alle kennis en documenten. De reden daarvoor is dat er nog geïnvesteerd moet worden in het vervolg traject. De marktpartij die dat gaat doen, zal dat eerder doen als hij een uniek apparaat kan produceren en introduceren en zo beter de markt kan bedienen. Die ontwikkeling en implementatie zal de nodige inspanning vergen en dus niet gemakkelijk zijn.

9.3 De markt

Het apparaat is geschikt voor laanboombedrijven. In het concept is uitgegaan dat het zowel geschikt is voor grote als kleine bedrijven. Grotere bedrijven zullen meerdere apparaten nodig hebben, kleinere bedrijven kunnen er gezamenlijk een kopen. Het systeem kan het aan.

Verder is er rekening gehouden met implementatie in verschillende landen (4 talen).

9.4 Businessplan

Een goed en volledig businessplan is een harde randvoorwaarde voor bedrijven en eventueel investeerders om de verdere ontwikkeling ter hand te nemen. Dit rapport geeft een basis, maar verdere uitwerking is noodzakelijk. Een aanzet wordt gemaakt.

Aandachtspunten daarbij zijn:

- Concept van het bedrijf
- Concurrentie
- Markt en marktpotentieel
- Intellectueel eigendom en know how
- Netwerken en specialisten
- Exploitatiestrategie
- Financiering en investeringen
- Structuur en besturing
- Management team

Een deel van het plan zal echter door de marktpartij zelf moeten worden ingevuld.

10 Evaluatie en communicatie

10.1 Inleiding

Communicatie en evaluatie zijn belangrijke onderdelen van een project. In dit hoofdstuk zal ingegaan worden op de mate waarin de uitgevoerde activiteiten hebben bijgedragen aan de in het projectplan omschreven doelstellingen, hoe met de kennis wordt omgegaan en welke communicatie heeft plaatsgevonden.

10.2 Evaluatie

In hoofdstuk 1.2 zijn de doelstelling en de gewenste resultaten beschreven. Die zijn: Het ontwikkelen van een modulair meetsysteem voor diktemeting van laanbomen, waarbij de meetgegevens digitaal beschikbaar komen voor de bedrijfsmanagementsystemen t.b.v. de diverse administratieve en commerciële systemen (verkoop, voorraad, teeltresultaat).

Het modulaire meetsysteem bestaat uit de volgende onderdelen:

- modernisering van een bestaande contactmeter (minimaal 3-puntsmeting), dan wel een nieuw ontwikkelde contactmeter.
- het ontwikkelen van een single view camerasysteem ("2 puntsmeting") waarbij contactloos de dikte van de bomen vastgelegd wordt (voorraadmeting: telling en verdeling in dikteklassen).
- het ontwikkelen van een merksysteem. Naast meten moeten de bomen ook gemerkt worden. De meting geeft een dikte (= omtrek) aan en op basis van deze meting wordt de boom in een klasse ingedeeld. Die klasse aanduiding wordt op dit moment visueel gemaakt met een gekleurd bandje om of gekleurde stip op de boom.
- het ontwikkelen van een dataprotocol, om de in het veld gemeten data op gestandaardiseerde wijze beschikbaar te laten komen voor de in de markt aanwezige Bedrijfs Management Systemen (BMS).
- automatisch tellen, een afgeleide doelstelling van het single view camerasysteem is dat er ook een telling plaatsvindt. Elk meetresultaat is een object (boom).

De resultaten staan verwoord in hoofdstuk 8.2:

- een beschrijving van het nieuwe werkproces
- een getest prototype van een moderne contactmeter
- een beschrijving van het model en een art impressie van het model
- een beschrijving van hard- en software op de meter en op de PC
- een (voorstudie naar een) merksysteem
- een dataprotocol voor uitwisseling van data tussen meter en PC
- een verkenning naar een contactloze meting

Daarnaast heeft het project nog veel meer resultaten opgeleverd:

- inzicht in de (on)nauwkeurigheid en betrouwbaarheid van de huidige meting
- uitgebreide beschrijvingen en inzichten in huidig werkproces
- kwantificering van die inzet in uren
- resultaten van testen in de praktijk die gebruikt kunnen worden voor het verhogen van de acceptatie in de markt voor het nieuwe apparaat
- draagvlak bij de ondernemers en de betrokken bedrijven
- inzicht in de marktpotentie van het systeem
- vele nieuwe ideeën en mogelijkheden voor de toekomst
- introduceren van nieuwe (branche vreemde) bedrijven in de boomkwekerij
- inzicht in het vervolg traject en de mogelijkheden

Op hoofdlijn kan geconcludeerd worden dat de uitgevoerde activiteiten hebben bijgedragen aan doelstelling en het bereiken van het resultaat. De resultaten zijn niet allemaal bereikt, met name het merksysteem is niet helemaal uit ontwikkeld. Veel aandacht is in eerste instantie gegeven aan de huidige meetlintmethode en de theoretische achtergronden.

Verder zijn er ook in dit project een aantal leerpunten te benoemen.

Leerpunten

1. De aanlooperperiode tot de (echte) start is te lang geweest. Het organiseren van de structuur en de financiering duurde (te) lang.
2. Een nieuw meetsysteem ontwikkelen is niet alleen een technisch verhaal, maar ook een organisatorisch proces. Het centimeterbandje, de huidige werkwijze, is vast verankerd in een aantal handboeken en systemen. Dat vervang je niet zomaar. Daardoor is er veel aandacht gegeven aan de betrouwbaarheid en nauwkeurigheid van het huidige meetsysteem.
3. De kwekers zijn vanaf begin bij project betrokken geweest. Dat had nog meer en beter gekund.
4. Afspraken maken met partijen en die schriftelijk vast leggen is belangrijk. Een open deur. Toch blijkt ook nu weer dat je dit niet genoeg kunt doen. De vele partijen maken dat hier ook veel tijd in gaat zitten.
5. Studenten inschakelen heeft voordelen, maar in dit project is ook een groot nadeel gebleken. Ze kunnen de eindstreep niet halen, waardoor veel energie verloren is gegaan.

10.3 Kennis en informatie

De kennis en informatie opgedaan in dit project zal ten goede komen aan de laanboomkwekerijsector. Vanwege de marktimplementatie en de noodzakelijke investering wordt terughoudend omgegaan met de beschrijvingen van model, pc applicatie en embedded software. Daardoor zal het eindproduct op een aantrekkelijke wijze in de markt gepositioneerd kunnen worden.

10.4 Communicatie

Op verschillende wijzen is uiting gegeven aan het project en de resultaten.

Genoemd kunnen worden:

- posters
- vakblad artikelen
- beurzen
- lezingen
- artikelen in specifieke blaadjes (zoals SPIL)
- bezoek en demonstraties op laanboombedrijven
- bezoek en overleg met stakeholders

In de bijlagen zijn enkele uitingen van de communicatie weergegeven

11 Literatuur

Baltissen, T. en B. van der Sluis, Automatische diktemeting laanbomen, Meetmethoden en betrouwbaarheid, interne notitie, project 3236053300, maart 2010.

Hemming, Jochem & Jan Bontsema; Automatisering van de diktemeting bij de teelt van laanbomen. Verslag van laboratoriumexperimenten. Nota 462. Juni 2007

Kwaliteitsnormen en omschrijvingen van boomkwekerijproducten, Raad voor de Boomkwekerij / Kwaliteitsnormen Commissie p.a. Athos, Hillegom, januari 2007

Mank, T.J., D.L. Mooijman, M. van der Pouw en R. Rodenburg; (BSc-Onderzoeksproject TU Delft) Omtrek van Laanbomen, onderzoeksdossier, TU Delft, 2008

Nachenius, A [Titel], TU-Delft, intern verslag Faculteit Industriële ontwerpen, maart 2010,

Rokatec, Haalbaarheidsonderzoek diktemeting (vierpuntsmeting), 29 oktober 2009, intern verslag.

Sluis, B.J. en Baltissen T., Automatisering van de meting van de stamomvang van laanbomen. Projectnummer 3236008300, PPO, 2007

Thissen, Vergelijking meetmethoden betreffende omtrekmeteringen, Landbouwwiskunde Wageningen, Intern verslag, juni 1990

Tuijl, B. van, Verslag Boomdiktemeting experiment, vergelijking van meetmethoden. Oktober 2009, intern verslag

Tuijl, B. van, Methode driepuntnmeting Mitutoyo meetklok, het meetprincipe. 2009, intern verslag

Tuijl, B. van, Driepuntnmeetmethode door Perimeter, het meetprincipe. 2009, intern verslag

Tuijl, B. van, Ontwikkeling Epicom II, Wageningen, Intern verslag, Wur-Glastuinbouw, 2010

Withagen, J. Betrouwbaarheid diametermeting, 2008, intern verlag

Withagen, J. Betrouwbaarheid diametermeting t.o.v. omtrekmetering, 2009, intern verslag

Withagen, J, Analyse omtrekmetering op 6 boomsoorten verdeeld over twee bedrijven uitgevoerd door vijf personen (per bedrijf), 2009, intern verslag

Bijlage 1 Deelnemers workshop en bedrijven

Bijeenkomst diktemeting 9 maart 2010.

Kwekers: Verwoert, Huibers, de Vries, Hurlings, van den Oever, Hendrix, van Westeinde, Jos Mouwen.
PPO: van Reuler, van der Sluis, Baltissen, van Tuijl (WUR glas)

Verslag workshop diktemeting 10 november 2010.

Kwekers: Huibers, Hurlings, Mouwen, Rustenhoven, van der Beek, Mantje, Vugs.
Expertise- en taxatiebureau Schalk
Rokatec: Kazius, Maeker
Consilion Technologies: Wilbrink
Inspiro: van Eck
Info Groen: Kastelein
PPO: van der Sluis, Baltissen, van Tuijl (WUR glas)

Bijlage 2 Meetresultaten dubbel, gelijktijdige diametermeting

	Omtrek	Omtrek	Omtrek	Omtrek
Meting	4x lijn	Meetlint	2x schuifmaat	Ellips theoretisch
Boom nr. 3 - 0°	23,64			
Boom nr. 3 - 15°	23,63			
Boom nr. 3 - 30°	23,61			
Boom nr. 3 - 45°	23,61	22,3	23,6	23,62
Boom nr. 3 - 60°	23,61			
Boom nr. 3 - 75°	23,63			
Boom nr. 3 - 90°	23,64			
Boom nr. 9 - 0°	21,59			
Boom nr. 9 - 15°	21,57			
Boom nr. 9 - 30°	21,55			
Boom nr. 9 - 45°	21,53	23,5	21,5	21,56
Boom nr. 9 - 60°	21,55			
Boom nr. 9 - 75°	21,57			
Boom nr. 9 - 90°	21,59			
Boom nr. 23 - 0°	18,09			
Boom nr. 23 - 15°	18,08			
Boom nr. 23 - 30°	18,08			
Boom nr. 23 - 45°	18,08	18,3	18,1	18,08
Boom nr. 23 - 60°	18,08			
Boom nr. 23 - 75°	18,08			
Boom nr. 23 - 90°	18,09			
Boom nr. 24 - 0°	15,98			
Boom nr. 24 - 15°	15,97			
Boom nr. 24 - 30°	15,95			
Boom nr. 24 - 45°	15,94	14,8	15,9	15,97
Boom nr. 24 - 60°	15,95			
Boom nr. 24 - 75°	15,97			
Boom nr. 24 - 90°	15,98			
Boom nr. 25 - 0°	18,21			
Boom nr. 25 - 15°	18,18			
Boom nr. 25 - 30°	18,11			
Boom nr. 25 - 45°	18,08	19,9	18,1	18,15
Boom nr. 25 - 60°	18,11			
Boom nr. 25 - 75°	18,18			
Boom nr. 25 - 90°	18,21			
Boom nr. 31 - 0°	17,14			
Boom nr. 31 - 15°	17,13			
Boom nr. 31 - 30°	17,12			
Boom nr. 31 - 45°	17,12	17,5	17,1	17,13
Boom nr. 31 - 60°	17,12			
Boom nr. 31 - 75°	17,13			
Boom nr. 31 - 90°	17,14			

Boom nr. 41 - 0°	18,12			
Boom nr. 41 - 15°	18,11			
Boom nr. 41 - 30°	18,09			
Boom nr. 41 - 45°	18,08	19	18,1	18,10
Boom nr. 41 - 60°	18,09			
Boom nr. 41 - 75°	18,11			
Boom nr. 41 - 90°	18,12			

Bijlage 3 Workshop afweging concepten

Dubbele diametermeting

5 groene stikers

Opmerkingen (gele plakkers):

- robuust, constant?
- Je kunt er snel mee werken
- Boom moet ongeveer rond zijn
- Moet wel redelijk rond zijn
- Omslachtig bij uitvoering
- Geveerde bomen?
- Moet de boom aanraken
- Wel nauwkeurig
- Moeilijk

Laser

15 groene stippen (6 van de Vries)

- nauwkeurig
- handig
- kwetsbaar (ook kwetsbaar voor 6/8/10 bomen i.v.m. niet veel ruimte)
- goed te gebruiken
- hoe doen we het merken?
- Robuustheid
- Weersbestendigheid
- Nauwkeurig systeem
- Stevigheid, breuk, kosten?
- Ontwerp verbeteren, minder kwetsbaar maken
- Afstand tot boom > hoever?
- Voordeel: raakt boom niet echt aan

Digitale centimeterband

3 groene stippen

- te omslachtig bij de uitvoering
- makkelijk werken?
- Breuk: makkelijk te repareren?
- Band tussen boom en stok geen optie
- Moet boom aanraken
- Lijkt kwetsbaar
- Band met hand bevestigen is nadeel
- Al ervaring mee bij gemeente?
- Te veel handwerk
- Te langzaam
- Peuterwerk tussen boom en tonkin
- Makkelijk tussen stok en boom te trekken
- Beoordelen van bestaande systemen

Digitale perimeter

1 groene stip

- digitaal maken
- nauwkeurigheid
- voordeel: eenvoudig systeem, licht en duidelijk
- nadeel: niet echt vernieuwend, boomedifferentiatie niet 100% opgevangen
- systeem goed
- uitvoering is sterk te verbeteren
- moet boom aanraken
- niet echt nauwkeurig

Mitutoyo concept

1 groene stip

- variatie
- te grote afwijking
- voorstel om tussen beide uiteinden bandje te laten lopen om plaatselijke oneffenheden op te vangen
- voordeel: is al in de markt, lage kosten
- nadeel: zeer gevoelig, niet sneller dan andere systemen, nog veel afwijkingen
- meerdere metingen noodzakelijk
- moet de boom aanraken
- brug te grote invloed op meting proces

Modernisering Epicom

15 groene stappen

- is dit werkelijk vernieuwend en dus de toekomst?
- Wat doen we met geveerde bomen
- Langzame methode
- Redelijk handig
- Moet boom aanraken
- Slijtage
- Perfect strak houden
- Al ervaring mee opgedaan in het verleden
- Snelheid, robuustheid
- Zelf te repareren?