A
6
V
42

Proefstation Bloemisterij en Glasgroenten

Het meten van vruchtstevigheid bij tomaat met de druk-trekbank

W. Verkerke

Intern verslag PBG nr 1 **januari 1995**

22434180

Het meten van vruchtstevigheid bij tomaat met de druk-trekbank

Inhoud

1. Inleiding 3
2. Meetapparatuur 3
3. Niet-destructieve plaatcompressie 5
   3.1 Parameters 5
   3.2 Vorm en diameter van de plunjer 6
   3.3 Balksnelheid 6
   3.4 Oriëntatie van de plunjer 7
   3.5 Monstergrootte 7
   3.6 Artefacten 7
   3.7 Compressietest op het PBG 9
4. Toepassingen van de compressietest 10
   4.1 Handmatig bepaalde stevigheid 10
   4.1 Houdbaarheid 11
5. Destructieve testen 13
   5.1 Parameters en balksnelheid 13
   5.2 Plaatcompressie 14
   5.3 Puncture test 14
   5.4 Tensile test 15
   5.5 Puncturetesten op het PBG 17
6. Toepassingen van de puncturetest bij stevigheidsonderzoek 18
   6.1 Vruchtstevigheid 18
   6.2 Zwelscheurtjes 19
7. Toepassingen van de puncturetesten bij smaakonderzoek 20
   7.1 Taaiheid van de schil 21
   7.2 Stevigheid in de mond 27
   7.3 Meligheid vruchtvlees 28
   7.4 Sappigheid 29
8. Discussie 30
9. Literatuur 31
10. Beschrijving van de op het PBG gebruikte testen 36
    10.1 Vruchtstevigheid 36
    10.2 Stevigheid schil 37
    10.3 Stevigheid vruchtvlees 37
11. Gebruikte eenheden en omrekeningen 38

1. Inleiding

In het handelskanaal is de vruchtstevigheid het belangrijkste kwaliteitsaspect van de tomaat. Stevige tomaten zijn minder gevoelig voor handlingschade en zijn lang houdbaar. De handel wil op de eerste plaats een "probleemloos", d.w.z. stevig produkt. Een van de belangrijkste oorzaken van het succes van de tomatenteelt op de Canarische eilanden is de introductie van het ras Daniela (Van Oosterhout & Nunnink, 1994). Het is duidelijk de grotere stevigheid van dit ras die haar grote handelskwaliteit heeft bepaald en ervoor gezorgd heeft dat zij bij miljoenen consumenten op tafel is gekomen; de slechtere smaak heeft deze opmars tot nu toe nauwelijks belemmerd. Het blijkt dat de twee groepen van gebruikers, handel en consumenten, vruchtstevigheid soms verschillend waarderen. Ook voor de consument is stevigheid een indicatie voor de versheid en dus voor de houdbaarheid. Tijdens de bereiding dienen de vruchten snijvast te zijn. Textuur-eigenschappen bepalen, naast de gehaltes aan suikers, zuren en aromatische stoffen, een belangrijk deel van de eetkwaliteit. Geen enkele consument houdt van melig vruchtvlees en een taaie schil werkt waarschijnlijk ook negatief op de smaakwaardering.
De vruchtstevigheid bij tomaat wordt bepaald door de structuur, vorm en grootte van de verschillende onderdelen van de vrucht, zoals de schil, het vruchtvlees in de vruchtwand, de tussenschotten en de gelei (Kader & Morris, 1976). De stevigheid van de onderdelen wordt op hun beurt weer bepaald door factoren als de turgordruk in de cel, de stevigheid van de celwanden en middenlamellen (Finney, 1969a; Niklas, 1992). In vergelijking met andere vruchten is de tomaat relatief heterogeen van opbouw en de bepaling hoeveel elk van de afzonderlijke componenten bijdraagt aan de vruchtstevigheid is niet eenvoudig. Traditioneel wordt de vruchtstevigheid subjectief bepaald met de vingers of in de mond. Op zijn best zijn hiermee enkel relatieve verschillen tussen vruchten op te sporen. Voor een goede evaluatie van het belang van vruchtstevigheid in alle fases van de keten is het noodzakelijk dat we de verschillende aspecten van stevigheid nauwkeurig en objectief kunnen meten. Onder objectief wordt verstaan dat de uitslag in een getal wordt uitgedrukt en het resultaat dus niet afhankelijk is van een persoonlijk oordeel (zoals bij sensorische beoordeling) of van individuele verschillen in bediening van een apparaat (zoals bijvoorbeeld bij een handbediende penetrometer). De afgelopen vier jaar is op het PBG ervaring opgedaan met het meten van stevigheid. Dit onderzoek werd uitgevoerd in het kader van het ATO-PBG samenwerkingsproject over de achtergronden van stevigheid bij tomaat. De bij dit onderzoek gebruikte methoden zijn grotendeels gebaseerd op het werk dat door Pol Tijskens op het toenmalige Sprenger Instituut is begonnen. In dit rapport wordt een overzicht gegeven van stevigheidsmetingen met een druk-trekbank bij tomaat en wordt uiteengezet hoe op het PBG de vruchtstevigheid bij tomaat wordt gemeten. Hierbij wordt ingegaan op enkele factoren die geleid hebben tot het opstellen van de verschillende methodes.

2. Meetapparatuur

In de literatuur zijn tientallen apparaten beschreven die vruchtstevigheid kunnen meten (Finney, 1969b; Szczesniak & Bourne, 1969). Een overzicht hoe het juiste meetprincipe en het juiste apparaat te kiezen voor een bepaald probleem wordt gegeven door Bourne (1983). Een apparaat dat vaak gebruikt wordt is de druk-trekbank. Met dit apparaat kan het knijpen van vingers in de vrucht min of meer worden nagebootst; we spreken daarom hierbij van een imitatieve methode. Dit soort metingen worden wel

Instron metingen genoemd, naar een fabrikant van apparatuur. Een nieuw apparaat is de van de druk-trekbank afgeleide Holl meter, die in Nederland ontwikkeld is voor gebruik op de veiling (Polderdijk & Tijskens, 1990; Robbers *et al.*, 1993). In 1993 is met dit apparaat gecontroleerd of op de veiling aangevoerde tomaten aan een door het CBT opgestelde minimumnorm voor vruchtstevigheid voldeden. Andere apparaten zijn bijvoorbeeld de PNR 20 van de firma SUR of de handbediende densimeter van de firma Zwick of van de firma Durofel. De densimeter is klein en goedkoop, maar dit soort apparaten zijn minder betrouwbaar omdat de gemeten waarde enigzins afhankelijk is van de gebruiker (Voisey, 1977a). Het is nog niet zeker of dit apparaat door een gerichte training van de gebruikers verantwoord op de veiling kan worden ingezet (Bonhof, 1990); verder is het onduidelijk welke fysische parameters dit apparaat eigenlijk meet (Vincent, 1992). Naast de hierboven genoemde imitatieve apparaten zijn er momenteel akoestische apparaten in ontwikkeling die ook niet-destructief werken en een objectieve maat voor de stevigheid kunnen geven. Deze methoden lijken perspectiefvol omdat ze sneller zouden kunnen werken (De Baerdemaeker, 1989; Peleg, 1993; Thai & Shewfelt, 1991). Van twee akoestische en drie imitatieve apparaten is bij tomaat onderzocht of de resultaten overeenkomen met die van de druk-trekbank (Schotanus, 1994; Schotanus *et al.*, in voorbereiding; Schols & Verkerke, 1994; Verkerke *et al.*, 1994b). Voor een toepassing in de praktijk lijken de akoestische apparaten bij tomaat echter voorlopig nog geen mogelijkheden te bieden. Met weer een andere methode, *stress relaxation technique*, zijn de elastische eigenschappen van de vrucht te meten door de relaxatie (zie 3.6) te volgen (Kojima *et al.*, 1991). Deze methode is zeer gevoelig maar ook erg tijdrovend en is voor het toegepaste onderzoek op dit moment niet aantrekkelijk. Op het PBG is daarom voor het meten van stevigheid gekozen voor een druk-trekbank. Dit apparaat drukt de resultaten uit in een of meer van de volgende dimensies: kracht (Newton), verplaatsing (Millimeter) en tijd (Seconde); een overzicht van de gebruikte eenheden wordt gegeven in Hoofdstuk 11. De kracht en de verplaatsing worden gemeten d.m.v. een gevoelige krachtopnemer (een piëzo-electrisch element) die zich bevindt in de beweegbare dwarsbalk waar ook een plunjer aan bevestigd is. In het geval van compressie metingen beweegt de balk omlaag en wordt het object samengedrukt tussen de plunjer en de onderplaat. Met de Instron is het ook mogelijk om objecten uit elkaar te trekken. De snelheid van de balk is nauwkeurig regelbaar, zodat tijdens de meting gepaarde data worden verzameld van kracht en verplaatsing. Uit deze ruwe data kunnen diverse parameters voor stevigheid worden berekend (Mohsenin, 1986; Finney; 1969a; Fridley, 1976; Jackman & Stanley, 1992). De opbouw van de test is bepalend voor de uitkomsten en in de literatuur is een duizelingwekkende hoeveelheid verschillende testen beschreven (zie Tabel 5.1 in Mohsenin, 1986). In veel gevallen werd de keus van de parameter voor stevigheid niet alleen bepaald door de aard van de te meten parameter (bijvoorbeeld: enzymactiviteit, handmatige stevigheid, of sensorische stevigheid) maar ook gedicteerd door de beperkingen van de apparatuur die de onderzoekers toevallig ter beschikking stonden. De met de druk-trekbank uit te voeren testen kunnen worden onderverdeeld in destructieve en niet-detructieve testen. Naar gelang de richting van de deformatie is nog een andere onderverdeling mogelijk, te weten testen waarin de vrucht of een onderdeel van de vrucht wordt samengedrukt (compressietest) en testen waarin een onderdeel van de vrucht uit elkaar wordt getrokken (engels: tensile test). De tensile testen zijn bij vruchtgroenten altijd destructief, omdat hier altijd een stukje weefsel uitgeprepareerd moet worden. De compressie testen worden niet destructief genoemd als het produkt niet wordt beschadigd door de meting. Het onderscheid tussen de niet-destructieve en de destructieve testen is niet altijd volledig, want meestal leidt ook een "niet-destructieve" meting bij tomaat wel tot enige extra verzachting, maar deze is zeer gering (Schotanus, 1994).

3. Niet-destructieve plaatcompressie

Bij de handmatige beoordeling op stevigheid wordt de vrucht met de vingers op verschillende plekken ingedrukt; waarschijnlijk wordt er bij relatief stevige vruchten gezocht naar een zachte plek en bij zachtere vruchten een soort van totale zachtheid bepaald (Janse, 1991; Kader & Morris, 1976). Deze handelingen leiden niet tot een noemenswaardige verkorting van de houdbaarheid en worden daarom niet-destructief genoemd. Bij een instrumentele methode wordt de sensorische bepaling nagebootst door met een plunjer op de vrucht te drukken. Van het volledig nabootsen van de sensorische bepaling door een instrument kan echter geen sprake zijn; de benodigde hoge balksnelheid, maar vooral de complexe manipulatie en oriëntatie van de vrucht verhinderen dit. Bij het handmatig beoordelen van vruchtstevigheid knijpen consumenten ook in het produkt. Hoe dit precies gebeurt is niet goed bekend. Uit de schaarse gegevens blijkt dat mannen tot een kracht 17 Newton met een snelheid van 5 Newton per seconde in vruchten knijpen; vrouwen knijpen tot 15 Newton met een snelheid van 14 Newton per seconde (Voisey en Crête, 1973). Uit een ander onderzoek bleek dat consumenten bij het beoordelen van vruchtstevigheid gemiddeld tussen de 10 en 40 Newton op een vrucht uitoefenen (Bourne, 1967).

3.1 Parameters

Afhankelijk van de mate van hardheid van het produkt worden er door mensen verschillende sensorische principes gebruikt om vruchtstevigheid te beoordelen. Voor middelmatig stevige vruchten als een tomaat is het gebleken dat de handmatige stevigheidsmeting bestaat uit een soort compressie-test (Szczesniak & Bourne, 1969). Dit kan worden geïmiteerd met een instrument door een vrucht samen te drukken. De stevigheid van de vrucht (engels: Whole Fruit Firmness, WFF) wordt bij een niet-destructieve compressie test gemeten door de vrucht tussen twee platen samen te drukken (engels: flat plate compression, FPC). De vrucht gedraagt zich hierbij als een visco-elastisch lichaam dat opgebouwd is uit verschillende parallelle en/of seriële veren en weerstanden die elk hun eigen bijdrage aan de stevigheid leveren (Mohsenin, 1986). Bij deze meting wordt in principe de elasticiteitsmodulus (dF/dD) bepaald (Finney, 1969a; Verkerke & Gielesen, 1990); vaak wordt een hiervan afgeleide maat genomen, zoals de compressie na een bepaalde tijdsduur (Ahrens & Huber, 1990; Brady *et al.*, 1983; Kader *et al.*, 1978), de compressie bij een bepaalde kracht (Ito *et al.*, 1980; Kemp *et al.*, 1988), of de kracht bij een bepaalde compressie (Ito *et al.*, 1980; Gormley & Keppel, 1976; Tong & Gross, 1989). Bij de keuze van de parameter die de verschillende auteurs hebben gemaakt speelden de beperkingen van de beschikbare meters een grote rol.
Het is empirisch vastgesteld dat bij compressie tot lage krachten het schaalbereik meestal het grootst is en de meting dus relatief gevoelig is (Bourne, 1967). Daarnaast is gebleken dat de compressie tot een kracht van 3 Newton niet-destructief is (Polderdijk & Tijskens, 1990; Robbers *et al.*, 1993; Verkerke, 1989). De compressie tot een lage kracht is goed gecorreleerd met de stevigheid (Eccher Zerbini & Ciabattoni, 1984; Van Gemert *et al.*, 1991); maar andere parameters, zoals de helling van de kracht/deformatiecurve of de kracht bij een vaste compressie-afstand, zouden net zo goed als maat voor de stevigheid gebruikt kunnen worden. Het indrukken tot een vaste afstand zou echter in sommige gevallen kunnen leiden tot een verkorting van de houdbaarheid. Het is mogelijk om met compressiemetingen correcte, plunjer-onafhankelijke, reologische parameters te berekenen, waarbij dan Hertz of Boussinesq afleidingen worden toegepast (Bourne, 1979; Morrow & Mohsenin, 1966;

Mohsenin, 1986). Het praktische nut van dit soort afleidingen is echter beperkt en in de literatuur wordt bij instrumentele stevigheidsmetingen meestal volstaan met een beschrijving van de opzet van de test en de vermelding hoe de gekozen parameter voor stevigheid gemeten is.

3.2 Vorm en diameter van de plunjer

De bij deze metingen gebruikte plunjers hebben meestal een platte onderkant en een ronde omtrek; het contact-oppervlak tussen de vrucht en de plunjer is cirkelvormig. De diameter van de plunjer moet niet te klein zijn, dit met het oog op eventuele beschadigingen die kunnen optreden. De penplunjer met een diameter van 5 mm heeft een groter schaalbereik en is dus gevoeliger dan de plaatplunjer, maar bij herhaalde compressie met een pen kan er plaatselijk extra verzachting gaan optreden (Verkerke & Gielesen, 1990). Bij compressie met een plaatplunjer tot 3 Newton is het contact-oppervlak van de plaat nog altijd kleiner dan het totale oppervlak van de penplunjer van 1 cm diameter, terwijl het positioneren van de vrucht onder de plaatplunjer veel eenvoudiger is. Op het PBG is daarom uit gebruiksgemak en met het oog op mogelijk destructieve effecten gekozen voor de plaatplunjer. Het relatief kleine schaalbereik is in de tot nu toe uitgevoerde onderzoeken niet beperkend gebleken. Ook eerder was al gevonden dat met een plaatplunjer goede resultaten te behalen zijn, dat hij het eenvoudigste in het gebruik is als er niet-destructief compressie wordt gemeten en dat het een goede imitatie is van menselijke vingers (Fridley *et al.*, 1968). Als de vrucht echter maar 1 keer gemeten wordt en een grote gevoeligheid noodzakelijk is (Jackman *et al.*, 1990), zou een penplunjer van 5 mm aan te bevelen zijn. Uit praktische overwegingen is op het PBG hier niet voor gekozen.

3.3 Balksnelheid

De snelheid waarmee menselijke vingers een vrucht indrukken is niet precies bekend, maar deze ligt waarschijnlijk vrij hoog. Er zijn aanwijzingen dat de gebruikte indruksnelheid zelfs toeneemt naarmate de vruchten harder zijn (Voisey & Crête, 1973) dit in tegenstelling tot sensorische evaluatie van stevigheid (zie Hoofdstuk 7). Het gebruik van hoge snelheden leidt bij instrumentele metingen echter al snel tot problemen met de overshoot (Ito *et al.*, 1980). Bovendien kan de meting minder nauwkeurig worden als het aantal meetpunten per seconde niet voldoende hoog kan worden ingesteld. Aan de andere kant is het ook bekend dat de balksnelheid bij visco-elastische lichamen zoals vruchten geen grote invloed op de resultaten heeft zolang de compressie niet-destructief gemeten wordt (Finney, 1969b; Mohsenin, 1986). In de PBG test wordt een balksnelheid van 10 mm per minuut gehanteerd. Met een meetfrequentie van 20 punten per seconde is hiermee de compressie tot op 0.008 mm nauwkeurig te meten, zowel in het harde als in het zachte gebied (Verkerke, 1989). Om de snelheid van de Holl meter op de veiling te verhogen heeft men de balksnelheid op 40 mm/minuut gezet (Robbers *et al.*, 1993), en deze snelheid is ook toegepast bij de Instron in een vergelijking van verschillende stevigheidsmeters (Schotanus, 1994). De effecten op de meetnauwkeurigheid van deze snelheid zijn niet onderzocht, maar zullen waarschijnlijk bij relatief stevige vruchten verwaarloosbaar zijn.

3.4 Oriëntatie van de plunjer

In vergelijking met andere vruchten als bijvoorbeeld een appel, is een tomaat niet homogeen. Het is dus bij stevigheidsmetingen van belang om de meetplek te definiëren. In het verleden is al eens geprobeerd om de stevigheid van verschillende punten op de vrucht tegelijk te meten (Kattan, 1957), maar deze methode is zeer bewerkelijk en heeft geen ingang gevonden. Er wordt tegenwoordig meestal volstaan met enkelvoudige compressie van een plek op de evenaar tussen de schotten, omdat we verwachten dat hier de vrucht het eerste zacht wordt (Adegoroye *et al.*, 1989, Holt, 1970; Kader *et al.*, 1978). Als de stevigheidsafname in de tijd moet worden gemeten, dient de meetplek aangegeven te worden met een stip van een dikke viltstift. Bij meerhokkige vruchten is een plek tussen de schotten soms moeilijk te vinden en daarom wordt er in die gevallen ook wel gekozen voor het indrukken van de neus van de vrucht. Speciale problemen zijn er bij rassen waarin de vruchten op de schouder het eerst zacht worden (zoals destijds bij het ras Apollo), of bij kantige of holle vruchten.

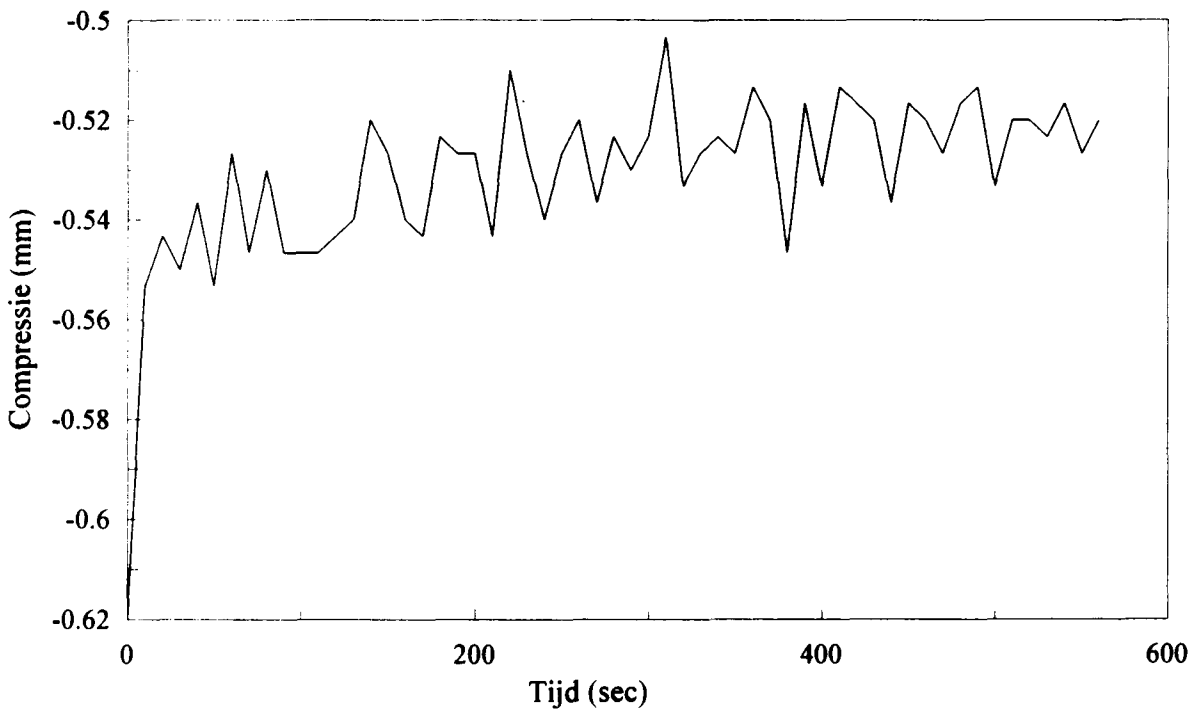
3.5 Monstergrootte

De monstergrootte kan berekend worden volgens het door Buret (1991) gegeven recept. In het teeltonderzoek naar stevigheid bij tomaat bestaat een monster uit minimaal 15 vruchten per herhaling, bij vier herhalingen per behandeling. De vruchten dienen hierbij ongeveer van hetzelfde kleurstadium te zijn (stadium 4-6 op de CBT kleurenwaaier); duidelijke puntvruchten worden niet meegenomen. Van op de veiling aangevoerd produkt is de monstergrootte bij ronde tomaten 15 vruchten per bakje (Polderdijk *et al.*, 1993). Voor vleestomaten bedraagt de monstergrootte 30 vruchten.

3.6 Artefacten (Figuur 1, Tabel 1)

Bij stevigheidsmetingen door compressie met de druk-trekbank kunnen verschillende soorten meetfouten optreden. Door een stip op de meetplek te zetten kan de variatie in meetpositie op de vrucht zo klein mogelijk gemaakt worden. Een nadere meetfout hangt samen met de visco-elastische eigenschappen van de vrucht. Als een vrucht wordt ingedrukt en daarna de belasting wordt weggenomen veert de vrucht niet onmiddelijk terug en bereikt ook de oorspronkelijke diameter niet meer. Dit verschijnsel wordt relaxatie genoemd (Peleg & Calzada, 1976). Het is niet zinvol om snel meerdere keren achter elkaar Instron compressie uit te voeren omdat de uitslag te veel door relaxatie wordt beïnvloedt (Figuur 1). Zolang er 1 meting per dag wordt uitgevoerd speelt de relaxatie echter geen rol. Een ander probleem is het mogelijk effect van de vruchtgrootte op de compressie data. Bij een afnemende vruchtdiameter wordt het contact-oppervlak tussen de plunjer en de vrucht ook kleiner. Uit het onderzoek naar de effecten van de EC op de stevigheid blijkt dat bij hoge EC de vruchten zachter zijn bij de oogst. Omdat deze vruchten ook kleiner zijn, moeten we ons dus afvragen of de verschillen in stevigheid geen artefacten zijn, veroorzaakt door een kleiner contactoppervlak tussen de plunjer en de vrucht. Brinton & Bourne (1972) onderzochten dit probleem door de stevigheid van agarbolletjes van verschillende diameter maar uniforme samenstelling te meten. Er werd inderdaad een zeer gering effect van grootte op stevigheid gevonden: bij een 500% afname in diameter trad maximaal een toename van 30% compressie op. Bij de stevigheidsmetingen tomaat gaat het om 15 % afname in diameter en 15 % toename in compressie. De auteurs citeren vervolgens enkele onderzoeken waarin geen significante

correlatie gevonden was tussen compressie en diameter bij tomaat. Uit onderzoek van Shafshak & Winsor (1964), Hobson (1965), Gormley & Keppel (1976) en Adegoroye *et al.* (1988) komen daarentegen resultaten die suggereren dat kleinere vruchten meestal wel zachter zijn dan grotere vruchten. Bij deze onderzoeken is echter geen informatie beschikbaar over de oorzaak van de grootte-verschillen.
In het PBG onderzoek naar de effecten van zoutsoort en EC niveau op stevigheid is gewerkt met twee typen plunjers. Uit dit onderzoek blijkt dat de verzachting met alle twee de typen gemeten kan worden. De eenmalige meting met de penplunjer leidt niet tot een toename in de doorkleuring of beschadigingen, maar heeft wel en groter schaalbereik dan de plaatplunjer (Tabel 1). Verder is door covariantie analyse aangetoond dat, als er wordt gecorrigeerd voor diameter, er geen EC effect op de stevigheid meetbaar is (Verkerke, in voorbereiding). Hieruit is de conclusie getrokken dat de aangetroffen stevigheidsverschillen geen artefact zijn van de meting met een plaatplunjer, maar dat de stevigheid wel sterk gecorreleerd is met de diameter van de vrucht. De aangelegde behandelingen leiden zowel tot drukverschillen in de vrucht als tot verschillen in diameter. Dit soort berekeningen is destijds ook uitgevoerd door Hamson (1952), die tot dezelfde conclusie kwam.



Figuur 1. Het effect van meerdere keren indrukken tot 3 N op de vruchtstevigheid van tomaat. De metingen werden om de 10 seconden uitgevoerd.

Tabel 1. Het effect van verschillende voedingsbehandelingen op de vruchtstevigheid bij tomaat C0 (compressie tot een tegenkracht van 3 N, in mm) gemeten op de dag van de oogst (t =0) met een plaat en een penplunjer van 5 mm. Data: zoutproef 1992 (Pronto); Verkerke, in voorbereiding.

behandeling	plaat	pen
EC 3	0.48	0.54
EC 6	0.51	0.71
EC 6 Na	0.54	0.68
EC 6 NaCl	0.58	0.78
p	**	***
LSD 5%	0.04	0.07
schaalbereik	1.21	1.44

***: p <0.001; **: p <0.01

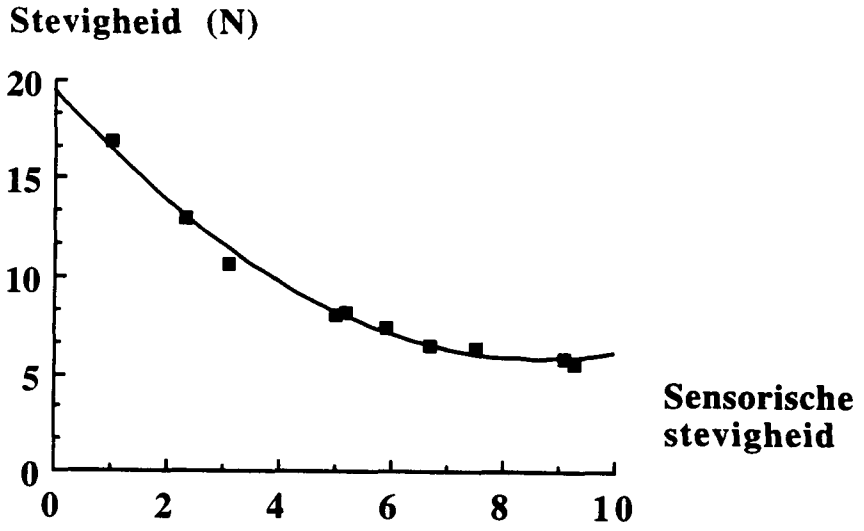
3.7 Compressietest op het PBG

De op het PBG gebruikte testen zijn grotendeels gebaseerd op die van Finney (1969a) en Bourne (1967). Er is gekozen voor een eenvoudige stevigheidsmaat die afgeleid is van de helling van de kracht/deformatie curve (zie 10.1). De stevigheid C wordt uitgedrukt in het aantal millimeter dat de vrucht kan worden ingedrukt bij plaatcompressie tot een vaste, niet-destructieve kracht (3 Newton). De voordelen zijn het bedieningsgemak en het niet-destructieve karakter; het nadeel is het relatief kleinere schaalbereik door het gebruik van de plaat (Verkerke & Gielesen, 1990). Hoe hoger de waarde van C (hoe verder de vrucht is ingedrukt), des te zachter is de vrucht. De data worden grafisch weergegeven met een aflopende schaal voor stevigheid op de Y-as, zodat de stevigheidsafname afgebeeld wordt als een aflopende curve. De compressie C wordt door sommige auteurs aan de diameter van de vrucht D gerelateerd en zo uitgedrukt als een percentage strain (=C/D*100%; Ahrens & Huber, 1990; Kemp *et al.*, 1988). Andere auteurs beargumenteren dat dit niet terecht is (Hamson, 1952) en in sommige gevallen de al aanwezige verschillen tussen partijen enkel maar vergroot (Shafshak & Winsor, 1964; Hobson, 1956; Hobson, 1981) en drukken de compressie uit als millimeter indrukking. Het gebruik van de strain is in de nederlandse situatie uiteindelijk niet zinvol gebleken (Polderdijk & Tijskens, 1990), waarschijnlijk omdat er slechts een kleine locale compressie wordt toegepast, zodat het relateren van de indrukking aan de diameter waarschijnlijk geen reële nabootsing is van de handmatige stevigheidsmeting (Verkerke, 1989). Sommige auteurs preferen het gebruik de inverse van de compressie, omdat zo een steviger vrucht een hogere uitkomst krijgt. Dit is niet correct, want het heeft bijvoorbeeld tot gevolg dat in een grafiek de initiëel liniaire stevigheidsafname niet goed wordt afgebeeld.

4. Toepassingen van de compressietest

4.1 Handmatig bepaalde stevigheid (Figuur 2)

Per definitie zou een goede imitatieve meetmethode een hoge correlatie moeten opleveren met de handmatige stevigheid. In de praktijk blijkt echter dat het goed nabootsen van wat de vingers doen bij de handmatige stevigheidsbeoordelig van een tomaat lang niet altijd lukt. Daarnaast is een correlatie nogal eens lastig vast te stellen, omdat consumenten bij verschillende graden van stevigheid soms verschillende parameters voor stevigheid lijken te gebruiken. Het zoeken naar lineaire verbanden tussen een apparaat en een sensorische expert is ook niet altijd zinvol, omdat ook getrainde proefpersonen bijvoorbeeld maar drie discrete klassen van stevigheid kunnen onderscheiden, terwijl de apparatuur altijd een continue reeks van data meet. Een probleem bij de ijking van meetmethoden is dat consumenten niet bij alle rijpheidsstadia de stevigheid goed kunnen meten. Gormley & Keppel (1976) vonden een correlatie van 0.998 tussen de rangvolgorde die proefpersonen aan vruchten van verschillende stevigheid toekenden en hun instrumentele compressie. Worden hun data grafisch uitgezet (Figuur 2), dan valt op dat compressie in het harde gebied de stevigheidsverschilen goed kan meten, maar dat in het zachte gebied de methode veel minder discriminerend is.



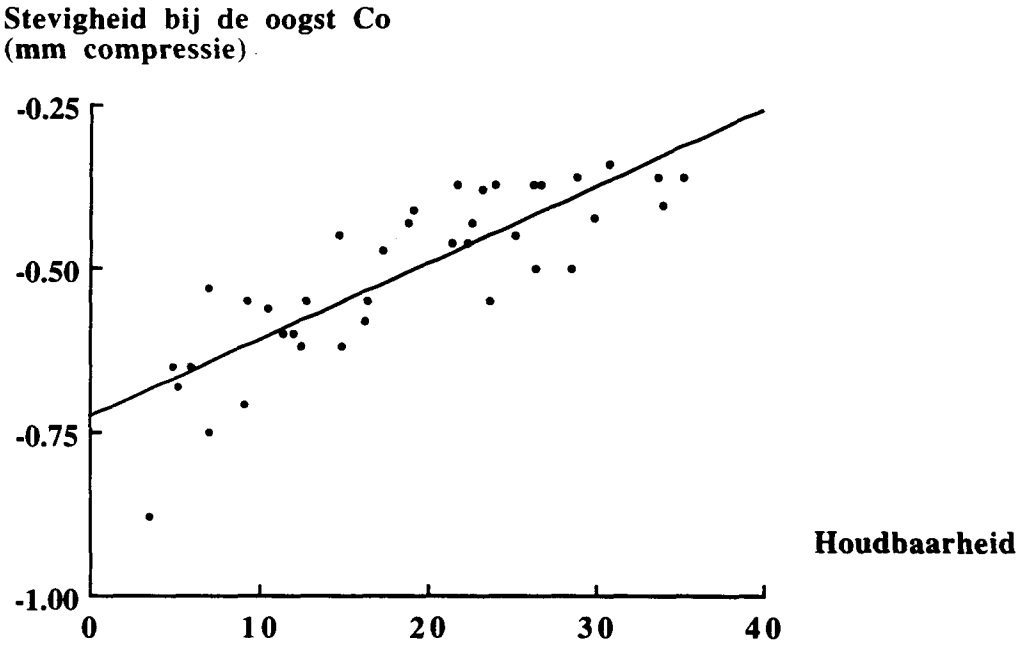
Figuur 2. Het verband tussen sensorische en instrumentele stevigheid van ronde tomaten. De sensorische stevigheid is uitgedrukt in rangvolgorde cijfers; de instrumentele parameter is de tegendruk van de vrucht bij plaatcompressie tot 5 mm verplaatsing (Data: Gormley & Keppel, 1976).

In dit onderzoek leidde het meerdere keren indrukken tot een kortere houdbaarheid (Gormley & Maher, 1987), maar de vruchten werden hierbij tot wel 5 mm ingedrukt. Uit PBG onderzoek valt op te maken dat deze compressie tot een afname in de houdbaarheid en dus een toename in de verzachting moet hebben geleid, ook indien de vruchten slechts eenmalig waren gemeten. Dit soort destructieve effecten treedt niet op in de door ons gebruikte stevigheidstest. Ook uit ander onderzoek bleek dat niet-

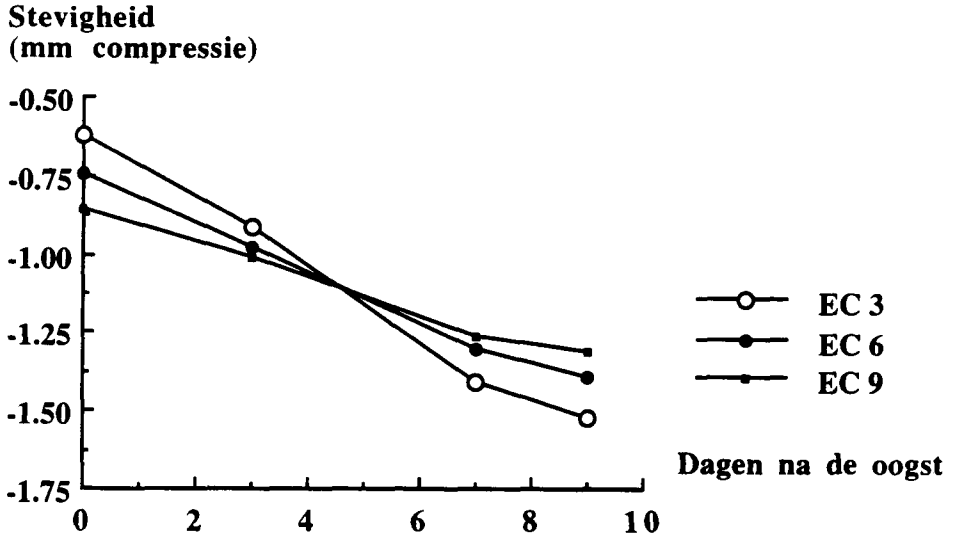
destructieve compressie met een vlakke plaat tot 1.5 N (Eccher Zerbini & Ciabattoni, 1984), met een vlakke plaat tot 3.0 N (Van Gemert *et al.*, 1991) en met een stalen bol bij een kracht van 2.2 Newton gedurende 1 seconde (Kader *et al.*, 1978) goed gecorreleerd is met sensorische stevigheid. Bij zowel de extreem zachte als de extreem harde vruchten bleek dat een sensorisch panel ook bij tomaat niet goed in staat was om de stevigheidsverschillen consistent te meten; dit lukte het beste met de middelmatig stevige vruchten van kleurstadium 4 tot 7 (Eccher Zerbini & Ciabattoni, 1984; Struijlaart, 1987; Szczesniak & Bourne, 1969). De stevigheidsverschillen tussen de harde vruchten zijn waarschijnlijk te klein voor onze vingers; bij zachte vruchten zou de inhomogeniteit van het product een relatief grotere rol kunnen spelen. In verschillende oudere onderzoeken is ook gevonden dat de compressie test een goede maat voor vruchtstevigheid is bij tomaat (Frazier, 1934; Garrett *et al.*, 1960; Thompson *et al.*, 1962). De compressie meting is een redelijke nabootsing van de handelingen die consumenten uitvoeren bij aankoop (Kader & Morris, 1976; Gormley & Keppel, 1976; Voisey & Crête, 1973). Ook bij de bepaling van het uitstalleven wordt op verschillende tijdstippen tijdens de bewaring met de vingers op verschillende plekken gevoeld of de vruchten nog voldoende stevig zijn (Janse, 1991). De compressie-meting heeft als duidelijk voordeel dat de vruchten niet beschadigd hoeven te worden (Kader & Morris, 1976, Verkerke & Gielesen, 1990) maar heeft een relatief klein schaalbereik en is in sommige gevallen relatief ongevoelig gebleken in het detecteren van stevigheidsverschillen (Jackman *et al.*, 1990). De conclusie is dat de compressie tot 3 N, uitgevoerd op een hok van de vrucht, een goede imitatie is van de sensorische stevigheidsbepaling door menselijke vingers, terwijl de vrucht bij deze kracht niet beschadigd wordt. Deze methode is echter niet bruikbaar als de vrucht hol is of een onregelmatige verzachting vertoont.

4.2 Houdbaarheid (Figuur 3, 4)

Houdbaarheid wordt niet alleen tactiel maar ook visueel waargenomen, maar de stevigheid is het belangrijkste kenmerk dat de houdbaarheid bepaalt (Polderdijk *et al.*, 1993; zie ook Figuur 3). Er zijn pogingen ondernomen om uit de stevigheid bij de oogst de houdbaarheid te voorspellen (Polderdijk & Damen, 1988; Polderdijk *et al.*, 1991). Door een seizoensafhankelijke kwaliteitsfactor aan het model toe te voegen kon de correlatie tussen stevigheid bij de oogst en de hieruit voorspelde houdbaarheid worden verhoogd van 59% tot 76% (Polderdijk & Tijskens, 1990). Met dit model kan de houdbaarheid worden voorspeld, maar de onnauwkeurigheid bedraagt plus of min 6 dagen (Robbers *et al.*, 1993). Naast de stevigheid bleken er echter verschillende andere factoren ook een rol te spelen bij de houdbaarheid. Zo zijn de de negatieve effecten van aantasting met zwelscheurtjes en goudspikkels op de houdbaarheid van tomaat goed gedocumenteerd (Schilstra & Janse, 1986; Voogt, 1992). Bovendien is het vast komen te staan dat bepaalde teeltmaatregelen kunnen leiden tot een verschil in verzachtingssnelheid na de oogst (Figuur 4). Dit verklaart dat een bij de oogst steviger produkt toch na bewaring zachter en korter houdbaar kan zijn (Ahrens & Huber, 1990; Verkerke *et al.*, 1993 b). De eigenschappen van de schil lijken hier een belangrijke rol in te spelen (Miles *et al.*, 1969;Verkerke *et al.*, 1992). Ook is het nu bekend dat er rassen zijn die bij de oogst relatief zacht zijn, maar toch lang houdbaarheid kunnen zijn (Janse & Schols, 1994; Verkerke & Schols, 1992). Daarom is het CBT is er niet toe overgegaan om de stevigheid op de veiling te meten om de houdbaarheid te voorspellen, maar stevigheid blijft uiteraard een zeer belangrijk aspect van de keur. Er wordt nu gestreefd naar het aanhouden van een objectief vastgestelde minimumnorm voor stevigheid, omdat dit waarschijnlijk wel haalbaar is (Boesten, 1992).



Figuur 3. Het verband tussen vruchtstevigheid op de dag van oogst en de houdbaarheid van 38 verschillende rassen tomaat. De correlatie tussen stevigheid en houdbaarheid is 0.70. (Data: project 4106, PTG kas 308, J. Janse, 1994).



Figuur 4. Het verloop van de vruchtstevigheid in de tijd bij ronde tomaat en de invloed van EC niveau tijdens de teelt (Data: Verkerke *et al.*, 1993a)

5. Destructieve testen

Destructieve testen kunnen in compressie en trek worden uitgevoerd. De meest gebruikte destructieve compressie test is de puncture test, maar soms wordt ook plaatcompressie destructief toegepast. Een andere destructieve compressietest maakt gebruik van de Kramer shear press (Voisey, 1977b). Deze methode wordt in Nederland gebruikt om de versheid van taugé te bepalen, maar is op het PBG niet in gebruik. De hier beschreven destructieve testen hebben echter bijna allemaal het nadeel dat ze gebruik maken van een combinatie van verschillende reologische processen (afschuifkrachten, spanning, weerstand tegen scheurvorming) en sterk afhankelijk zijn van de morfologie van het produkt en de opzet van de test. Er kunnen daarom bijna geen echte materiaaleigenschappen van het produkt mee berekend worden (Vincent, 1992). Deze testen worden echter veel in het praktijkonderzoek gebruikt en daarom hier toch behandeld.

5.1 Parameters en balksnelheid

Een veel gebruikte maat voor stevigheid is de maximale kracht (Fb of breekkracht in Newton) die geleverd moet worden om de vruchtwand te breken (Adegoroye *et al.*, 1988; 1989; Jackman *et al.*, 1990; Kader *et al.*, 1978; Voisey *et al.*, 1970). Ito *et al.* (1980) noemen de breekkracht van het vruchtvlees en de huid resp. *flesh firmness* en *skin toughness*. In plaats van de breekkracht wordt ook de helling van de kracht-deformatie curve (H, in Newton/millimeter) wel gebruikt (Ahmed *et al.*, 1972; Olorunda & Tung, 1985). Een andere parameter van stevigheid is de integraal over kracht en deformatie tot het bioyieldpunt. Dit komt overeen met het oppervlak onder de kracht/deformatie curve en is een maat voor de hoeveelheid energie die nodig is om het weefsel te breken. Deze parameter wordt Energie bij breuk genoemd (Eb, in N.mm of Joules, in ons geval in milliJoules mJ). Eb kan worden opgevat als een maat voor de taaiheid van de schil (Adegoroye *et al.*, 1988 en 1989; Finney, 1969a; Fridley, 1976; Mohsenin, 1986; Olorunda & Tung, 1985). De parameter Eb zou echter reologisch correct gedefinieërd moeten worden als de *fracture energy* van de tomaat (Gordon, 1986). De oppervlakte onder de stress/strain curve wordt in de reologie aangeduid als de *work of fracture* (energie bij breuk) of *toughness* (is niet helemaal hetzelfde als het nederlandse woord taaiheid), met als eenheden J/m^2. Hierbij moet dan wel bedacht worden dat dit oppervlak niet alleen de energie bevat die nodig is voor het doen ontstaan van de breuk (*fracture energy*), maar dat hier ook de hoeveelheid energie zit die tijdens de meting aan het object is toegevoegd (*stored elastic strain energy*), vooral als het monster snel breekt (Vincent, 1990). De *wedge fracture test* houdt wel rekening met deze optelsom van verschillende hoeveelheden energie (Vincent *et al.*, 1991). Deze methode is bij tomaat nog niet toegepast. De testresultaten worden altijd sterk bepaald door de opbouw van de test, met name door de afmetingen en vorm van de plunjer en ook door de snelheid van compressie. Het is mogelijk om de hoeveelheid energie bij breuk (Eb) te relateren aan een hoeveelheid oppervlakte en zo de echte taaiheid (hier Er genoemd) te berekenen (Zie Hoofdstuk 11). Bij een 5 mm plunjer onstaat er bij puncture rondom het contact-oppervlak een brede *zone of influence*. Het relateren van de hoeveelheid energie aan het plunjer-oppervlak leek daarom niet reëel, omdat in feite de kracht over een veel groter oppervlak wordt uitgeoefend. Er is daarom op het PBG gekozen voor de parameter Eb als maat voor de taaiheid van de schil. In oudere literatuur, toen de druk-trekbank nog niet aan een computer was gekoppeld, is de balksnelheid vaak zo gekozen dat de schrijver de resultaten nog goed kan weergeven (Holt, 1970; Boyd

& Sherman, 1975). De balksnelheid heeft echter bij destructieve testen een grote invloed op de meetresultaten. In tegenstelling tot de niet-destructieve compressie, worden de resultaten van de destructieve testen meer beïnvloed door de gebruikte balksnelheid, omdat het breekpunt zich meestal in het gebied bevindt waar de vrucht niet meer alleen elastische vervorming ondergaat maar ook plastisch vervormd wordt (Mohsenin, 1986).

5.2 Plaatcompressie (Tabel 2)

Destructieve plaatcompressie als meetmethode voor stevigheid bij tomaat is enkele gevallen toegepast (Jackman *et al.*, 1990; Miles *et al.*, 1969; Olorunda & Tung, 1985). Met deze methode kan de afname in stevigheid tijdens de rijping goed worden vastgesteld. In een studie naar transportcondities van tomaat in vrachtwagens ging men er (ten onrechte) van uit dat het vervoer "niet-destructief" is als de vrucht tijdens het transport niet knapt (Tabel 2). Destructieve plaatcompressie is voor het PBG onderzoek niet zinvol gebleken.

Tabel 2. Stevigheid van drie rijpingsstadia van tomaat. Plaatcompressie met een snelheid van 50 mm/minuut, destructief. Fb =breekkracht (N); Cb =compressie bij breuk(mm); H =helling van de kracht/deformatie curve (N/mm) Eb =energie bij breuk (mJ). Data: Olorunda & Tung (1985).

kleur-stadium	Fb N	Cb mm	H N/mm	Eb mJ
groen	127.8 a	9.79	13.30 a	641 a
oranje	69.0 b	9.34	7.53 b	331 b
rood	50.8 b	9.30	5.47 b	244 b
p	*	NS	*	*

5.3 Puncture test (Tabel 3)

Bij een puncture test wordt een vrucht met een penvormige plunjer aangeprikt (Bourne, 1979). Deze test is met een druk-trekbank vrij eenvoudig uit te voeren, maar is strikt genomen onzuiver, omdat er verschillende reologische componenten als spanning (engels: stress) en afschuifkrachten (engels: shear) gelijktijdig worden gemeten (Vincent, 1992). Een uitgebreide lijst van verschillende parameters voor stevigheid bij de puncture test wordt gegeven door Jackman & Stanley (1992).
Het verwijderen van de schil maakte geen verschil in de uitkomsten; enkel het niveau was lager (Kader *et al.*, 1978). Het vruchtvlees van de tomaat heeft, net als bij appel (Khan & Vincent, 1990) een duidelijke anisotrope structuur (Verkerke *et al.*, 1992), maar de effecten van de orientatie van de plunjer ten opzichte van de orientatie van de cellen is bij tomaat nog niet onderzocht. De metingen van Hall (1987) zijn uitgevoerd in tangentiële richting; de meeste andere testen, inclusief die op het PBG, zijn in

radiare richting uitgevoerd. De plunjer die bij puncture metingen wordt gebruikt is meestal een pen met een platte onderkant en een cirkelvormige omtrek; een bolle onderkant voldoet niet (Voisey *et al.*, 1970). De gemeten breekkracht neemt lineair toe met de plunjer diameter (Kader *et al.*, 1978; Voisey *et al.*, 1970). De optimale vorm en grootte kan niet op voorhand gekozen worden; hiervoor is per produkt empirisch onderzoek nodig. Zo is waarschijnlijk de op het PBG gebruikte 5 mm plunjer (Hall, 1987) voor de puncture test bij cherry tomaten te groot, maar voor ronde tomaten moet de plunjerdiameter waarschijnlijk niet te klein zijn (Tabel 3). Andere auteurs gebruiken wel een kleine plunjer diameter (Holt, 1970; Ahmed *et al.*, 1972). De keuze van de parameter voor stevigheid moet bepaald worden door de aard van het proces dat in het onderzoek gevolgd moet worden.

Tabel 3. Het effect van plunjerdiameter (mm) op de breekkracht Fb (N) van ronde tomaten, verzameld met een handmatig bediende penetrometer. Data: Kader *et al.* (1978).

	Fb (N) bij een plunjerdiameter (mm)				
kleurstadium	1.6	3.2	4.8	6.4	7.9
groen	6.8	15.0	25.0	38.6	52.2
oranje	5.0	10.4	17.2	22.7	30.4
schaalbereik	1.36	1.44	1.45	1.70	1.71

Door testen met plunjers van verschillende afmetingen uit te voeren kunnen plunjer-onafhankelijke coëfficiënten van compressie Kc en afschuifkrachten Ks worden bepaald (Bourne, 1979; Jackman & Stanley, 1992). Bij tomaat heeft dit nog niet geleid tot consistente resultaten (Hetherington *et al.*, 1990). Het gebruik van een wigvormige plunjer is voorgesteld om hiermee een zg. *wedge fracture* test uit te voeren (Vincent *et al.*, 1990). Deze test is in principe geschikt voor bros voedsel en is bij tomaat nog niet toegepast.

5.4 Tensile test (Tabel 4, 5)

Tensile testen, waarbij een onderdeel van de vrucht uit elkaar wordt getrokken, zijn iets ingewikkelder uit te voeren dan compressie testen, maar geven waarschijnlijk wel een zuiverder beeld van de eigenschappen van het materiaal (Vincent, 1990; 1992). Er zijn tensile testen ontwikkeld voor het vruchtvlees van appel (Stow, 1989), nectarine (Harker & Sutherland, 1993), kiwi (MacRae & Redgewell, 1992),en Pepino (Heyes *et al.*, 1994). Milad en Shackel (1992) maten bij pruim de elastische en plastische deformatie van de schil (Cleland, 1984; zie ook Lenssen, 1993) en vonden dat

de elastische deformatie kleiner was bij vruchten met veel scheuren. Deze methode is nog niet toegepast bij tomaat. Bij tomaat is een treksterkte meting toegepast voor onderzoek naar de stevigheid van de cuticula (Haman & Merva, 1985) en de schil (Voisey *et al.*, 1970, Tabel 4; Kamimura *et al.*, 1972; Ohta *et al.*, 1991). Hierbij is een stukje van de huid met een druk-trekbank uit elkaar getrokken. Alleen Kamimura *et al.* (1972) vermelden dat het stukje huid in de vorm van een halter is gesneden. De parameters voor stevigheid in deze testen zijn de breekkracht (Fb), al dan niet gerelateerd aan de oppervlak van het gebroken weefsel (=*strength*,stress bij breuk σb, in N/mm^2). Deze eenheid komt overeen met de eenheid waarin de turgordruk wordt uitgedrukt (Megapascal, MPa); andere auteurs hanteren hier N/cm^2 (zie Harker & Hallett, 1992). Door de strength (σb) te delen door de strain (ϵb) kan ook de Elasticiteitsmodulus bij breuk worden berekend (Emod = $\sigma b/\epsilon b$, in Mpa; Hankinson en Rao, 1979; Batal *et al.*, 1970); maar de door deze auteurs gevonden waarden zijn waarschijnlijk niet correct (Vincent, 1990). Het blijkt dat de waarden van σb die door de verschillende auteurs gevonden worden zeer sterk uiteen lopen (Tabel 4 en 5). Voisey & Lyall (1965) berekenden bij een vleestomaat zelfs een waarde voor σb van 78.3 (N/mm^2); Vincent (1990) komt uit op 2.5 (N/mm^2). De door Ohta *et al.* (1991) bij cherrytomaat gevonden waarden zijn van dezelfde orde van grootte als de waarden voor waterpotentiaal, osmotische potentiaal en turgordruk. Waarschijnlijk moet er hierbij nog eens kritisch naar de gebruikte methoden worden gekeken. De *trousers test*, of de *notched specimen tensile test* (Vincent, 1990) zijn bij tomaat nog niet toegepast. Het is niet op voorhand duidelijk of het zinvol is om tensile testen uit te voeren, dit hangt af van de aard van het te onderzoeken probleem. Bij de beschrijving van de ontwikkeling van meligheid bij appel bleek een tensile test veel informatiever dan de puncture test (Harker & Hallett, 1992), maar in een onderzoek naar de effecten van relatieve luchtvochtigheid op de stevigheid van cherrytomaten (Ohta *et al.*, 1991, Tabel 5) bleek dat de uitgevoerde tensile test van epidermis strips ten opzichte van de informatie uit de puncture test nauwelijks meer informatie op te leveren. Eigenschappen van het vruchtvlees zijn nog niet onderzocht met een tensile test.

Tabel 4. Stevigheidsparameters van drie rassen tomaat gemeten met een tensile test, de dikte van de schil en de gevoeligheid voor concentrische scheuren. De initiële afmetingen van de epidermis strips waren 6.4 x 6.4 mm; het vruchtvlees werd aan de binnenkant van de huid afgeschraapt, waarna de strips d.m.v. klemmen werden bevestigd in de druk-trekbank. Strain = % verlenging bij breuk; σb= stress bij breuk / (dikte x breedte na breuk) in N/mm^2. Data: Voisey *et al.* (1970).

Ras	strain %	σb N/mm^2	dikte schil μm	gevoeligheid voor concentrische scheuren
Scout	29	15.92	61	0.2
Rideau	27	11.20	43	0.2
Moreton Hybrid	24	9.48	58	1.3

Tabel 5. De invloed van de relatieve luchtvochtigheid op de vruchtstevigheid van twee rassen cherrytomaat, gemeten met een puncture en een tensile test. De puncture test werd uitgevoerd met een plunjer van 3 mm diameter (oppervlakte = 7.07 mm^2) en een balksnelheid van 40 mm/minuut. De tensile test werd uitgevoerd met een rechthoekige epidermis strip (30 x 10 x 1 mm), die met klemmen in de druk-trekbank was vastgemaakt; de balksnelheid was 40 mm/minuut. Fb =kracht bij breuk (N), σb =sterkte =stress bij breuk (N/mm^2 of MPa), Cb =indrukking bij breuk (mm), Eb =energie bij breuk (mJ), Er =energie bij breuk (J/m^2); σp =sterkte pericarp van binnen uit (N/mm^2), σs =sterkte schil van binnen uit (N/mm^2), S = % gescheurde vruchten, RSL =relatieve scheurlengte (=lengte scheur/omtrek vrucht*100%). Data: Ohta *et al.* (1991); deze tabel geeft het gemiddelde van de twee rassen; er bestaat alleen een interactie tussen de rassen en energie.

	puncture							tensile		scheuren	
	Fb	σb	Cb	Eb	Er	σp	σs	Fb	σb	S	RSL
	N	N/mm^2	mm	mJ	J/m^2	N/mm^2	N/mm^2	N	N/mm^2	%	%
RV											
laag	6.47	0.92	5.00	16.17	2285	0.21	0.52	3.55	0.36	10	30
middel	5.80	0.82	4.75	13.78	1949	0.19	0.55	3.03	0.30	30	34
hoog	5.67	0.80	4.95	14.03	1984	0.16	0.43	2.81	0.28	38	41

5.5 Puncturetesten op het PBG

Op het PBG zijn twee puncture testen in gebruik. In de eerste test wordt een intakte vrucht aangeprikt met een 5 mm plunjer. In een andere test wordt een ponsje van 15 mm diameter van binnen uit aangeprikt met een 10 mm plunjer. Als parameters voor stevigheid gelden de breekkracht, de compressie bij breuk en de energie tot breuk. De gehanteerde balksnelheid is 100 resp. 30 mm/minuut (zie 10.2 en 10.3). Er is geen systematisch onderzoek gedaan naar de effecten van de balksnelheid. Resultaten van onderzoek met deze testen staan vermeld in Hoofdstuk 6 en 7.

6. Toepassingen van de puncturetest bij stevigheidsonderzoek

6.1 Vruchtstevigheid (Tabel 6, 7)

Hetherington *et al.*, (1990) bepaalden d.m.v. een puncture test waarbij drie verschillende plunjerdiameters werden gebruikt een "puncture modulus" (eenheden N/mm^2) en vonden een half-logaritmisch verband tussen deze modulus en de sensorische stevigheid met een correlatie van 0.91. Ahmed *et al.* (1972, Tabel 6) bereikten goede resultaten met een puncture test met een plunjerdiameter van 11 mm. Kader *et al.* (1978) vonden met een puncture test met 7.8 mm diameter een goede correlatie met handmatige stevigheidsbeoordeling (r =0.78). Holt (1970) demonstreerde dat een test met een veel kleinere plunjerdiameter (1.0 mm diam) ook goede resultaten te bereiken waren. In deze proeven is de plunjerkop vrij klein en treedt er geen vervorming van de vrucht op voordat de schil breekt. Na de breuk kunnen stevigheidsparameters van het vruchtvlees en de gelei ook worden bepaald. Deze techniek werd ook gebruikt door Adegoroye *et al.*, 1989 (Tabel 7) en Efiuvwevwere & Thorne (1988). Deze methode is niet op het PBG toegepast, omdat de test voor een vergelijking met handmatige stevigheidsbepalingen minder geschikt is dan de niet-destructieve compressie test. De testen met deze zeer smalle plunjer zijn verder op geen enkele wijze een imitatie van kauwen, zodat een vergelijking met data van het smaakpanel al op voorhand niet zinvol leek.

Tabel 6. Verschillende parameters voor verzachting van Floradel tomaten. Puncture test: een plak vruchtwand (dikte 13 mm) werd van binnenuit aangeprikt met een pen van 11 mm diameter bij een balksnelheid van 20 mm/min. Plaatcompressie: niet-destructief door compressie met een balksnelheid van 50 mm/minuut tot 1 mm; parameter is de bereikte kracht. Fb =breekkracht (N), Cb =compressie bij breuk (mm), H =helling van de kracht/deformatiecurve (N/mm), C =(berekende) compressie bij 3 N (mm). Data:Ahmed *et al.* (1972).

	puncture		plaatcompressie		sensorische stevigheid
dagen na de oogst	Fb N	Cb mm	H N/mm	C mm	
0	12.41	2.8	6.07	0.49	5.5
2	8.29	3.1	4.83	0.62	4.6
4	4.70	3.7	-		-
5	-	-	3.54	0.85	4.0
6	3.50	3.8	-		-
7			2.66	1.13	3.1

Tabel 7. Het effect van rijping op enkele parameters voor stevigheid bij tomaat. Puncture test uitgevoerd aan intakte vruchten; plunjerdiameter 1 mm; balksnelheid 20 mm/minuut. Fb =kracht bij breuk (N); Cb =indrukking bij breuk (mm); H =helling van de kracht/deformatiecurve; Eb =energie bij breuk (mJ). F gelei =breekkracht van de gelei (N). Data: Adegoroye *et al.* (1989).

	Fb N	Cb mm	H N/mm	Eb mJ	F gelei N
groen	2.76	11.5	0.24	15.87	0.48
licht	2.92	11.3	0.26	16.49	0.50
midden	2.33	11.9	0.20	13.86	0.10
rood	2.06	16.5	0.12	16.99	0.09

Ahrens en Huber (1990) deden een test met vruchtvlees waarbij van een ponsje de schil werd verwijderd zodat er een blokje vruchtvlees uit het pericarp overbleef. Dit blokje werd met een plaat samengedrukt met een snelheid van 20 mm/minuut. De breekkracht werd als maat voor stevigheid genomen, uitgedrukt in 1/Fb. Deze test werd gebruikt om de effecten van enzymatisch bepaalde verzachting in het vruchtvlees te meten. Het bleek dat de zo gemeten stevigheid van het vruchtvlees goed gecorreleerd was met de PG activiteit (r =0.92). De PG activiteit correleerde veel minder goed met de stevigheid van de hele vrucht, die niet-destructief was gemeten met plaatcompressie (r =0.76). Deze methode lijkt bruikbaar om het resultaat van enzymactiviteit te meten, maar houdt geen rekening met de morfologie van de vrucht en vruchtwand en eventuele anisotropie.

6.2 Zwelscheurtjes (Tabel 8)

De houdbaarheid van tomaten wordt voornamelijk bepaald door de stevigheid bij de oogst, maar aantasting met zwelscheurtjes speelt ook een rol. Hoe meer zwelscheurtjes, des te korter is de houdbaarheid (Peet, 1992). Zwelscheurtjes ontstaan vooral in een harde, weinig elastische huid (Kamimura *et al.*, 1972; Den Outer & Van Veenendaal, 1987). Zwelscheurtjes fungeren waarschijnlijk als zg. 'starter cracks' die, veel meer dan de treksterkte van het pure uitgangsmateriaal (cellulose, pectine, cutine), op microschaal de breukgevoeligheid van een object bepalen. Zwelscheurtjes zijn wat dit betreft vergelijkbaar met haarscheurtjes die in een stoomketel kunnen optreden (Gordon, 1986). Waarschijnlijk wordt de de sterkte van de schil bepaald door de mechanische weerstand tegen het ontstaan van scheurtjes (Vincent, 1990). Bij een grotere aantasting met zwelscheurtjes zullen er meer, en vooral meer langere, starter cracks aanwezig zijn. Vruchten met veel zwelscheurtjes breken aan het eind van de houdbaarheid bij een lagere kracht in de puncture test (Tabel 8). Het is weleens voorgesteld om de puncture test te gebruiken als een objectieve testmethode bij de bepaling van zwelscheurtjes (Voisey & Lyall, 1965; Voisey *et al.*, 1970), maar de verschillen tussen rassen zijn bij gelijke aantasting met zwelscheurtjes al zo groot, dat dit niet erg praktisch lijkt.

Tabel 8. Het effect van de aantasting met zwelscheurtjes op de breekkracht Fb (N) op dag van einde houdbaarheid (Data: Verkerke & Schols, 1994a).

klasse aantasting	Fb (N)
0-1	11.29
2-3	10.93
4-5	9.99
p	**

7 Toepassing van de puncturetest bij smaakonderzoek (Tabel 9 - 15)

Textuur-eigenschappen spelen een grote rol in de eetkwaliteit van diverse typen voedsel (Szczesniak & Kleyn, 1963). Het sensorisch smaakonderzoek met getrainde panels (Van Gemert *et al.*, 1991; voor een overzicht zie Poste *et al.*, 1991 en Williams & Atkin, 1983) besteedt naast de smaakaspecten als zoetheid, zuurheid en aroma ook veel aandacht aan textuur-aspecten die de smaak beinvloeden. De taaiheid van de schil en de hardheid van het vruchtvlees zijn vooral sinds de opmars van de long-life tomaten belangrijke negatieve smaak-aspecten geworden. De meligheid van vooral vleestomaten is ook een groot kwaliteitsprobleem. Bij tomaat is in het verleden wel aandacht geschonken aan de snijvastheid van het produkt. Het zou aantrekkelijk zijn als deze eigenschappen door middel van een objectieve methode bepaald zouden kunnen worden, vooral ook omdat de data van het sensorisch panel van verschillende experimenten niet goed met elkaar te vergelijken zijn. Het instrumenteel meten van eigenschappen die gerelateerd zijn aan smaak is echter ingewikkeld. Het is nog niet mogelijk om hierbij niet-destructive testen toe te passen. Het zoeken naar lineaire verbanden tussen sensorische en instrumentele data is vaak lastig (Szczesniak, 1987). Het in een test nabootsen van kauwen heeft echter in het algemeen nog niet tot duidelijke resultaten geleid en de pretentie van de texture profile method (Brandt *et al.*, 1963) is eigenlijk nooit waar gemaakt (Vincent, 1992); in de praktijk blijkt dat veel simpeler testen veelal beter werken. (Van Vliet, pers. meded.). Wanneer de data van objectieve destructieve stevigheidsmetingen worden vergeleken met resultaten van sensorische evaluatie is een juiste keuze van de balksnelheid belangrijk (Shama & Sherman, 1973). Voedsel wordt meestal snel gekauwd, uiteenlopend van 40 tot 80, of soms wel tot 120 kauwbewegingen per minuut, hetgeen overeenkomt op een balksnelheid van maximaal ongeveer 2000 mm/minuut (Louridis *et al.*, 1970; Voisey, 1979). Zowel de kauwsnelheid als de kracht waarmee gekauwd wordt zijn afhankelijk van de hardheid van het produkt (Boyd & Sherman, 1973). Ter bescherming van de tanden is de snelheid lager bij extreem hard voedsel (Bourne, 1977).Waarschijnlijk moeten we bij tomaat ook uitgaan van een hoge kauwsnelheid. Het nabootsen van hoge kauwsnelheden geeft echter problemen met de overshoot van de druk-trekbank. In de praktijk moet de snelheid dus maar zo hoog mogelijk zijn (Boyd & Sherman, 1973), waarbij het aantal ruwe data-punten dat per seconde verzameld kan worden voldoende moet zijn

en de overshoot binnen veilige grenzen moet blijven. In enkele PBG proeven is het effect van EC, zoutsoort op de taaiheid van de schil onderzocht (Tabel 9-12). In een onderzoek naar meligheid (Disco, 1993) en in een onderzoek naar de smaak van tomaat door CIVO-TNO (Van Gemert *et al.*, 1991) zijn verschillende puncture testen gebruikt. Recent zijn op het het PBG een proeven uitgevoerd waarbij de textuur eigenschappen van verschillende rassen is geïnventariseerd (Janse, in voorbereiding; Verkerke *et al.*, 1994b, Tabel 13). Relaties tussen instrumentele parameters en de verschilende textuurkenmerken worden hieronder kort besproken.

7.1 Taaiheid van de schil

Een taaie schil is een kenmerk dat de aangenaamheid negatief beïnvloedt. Het verwijderen van de schil bij Fuerteventura tomaten deed de aangenaamheid stijgen, terwijl de de Eb en de Fb sterk afnam (Janse & Verkerke, 1992). Vaak gaat een taaie schil echter samen met een hoger suikergehalte (Van Gemert *et al.*, 1991). Vermoedelijk dempt de toegenomen taaiheid van de schil de positieve effecten van een hoger suikergehalte en stijgt de aangenaamheid daarom niet spectakulair.
De breekkracht Fb en de energie bij breuk Eb correleren goed met de taaiheid in de proeven met verschillende EC niveau's, zoutsoorten en kleine rassenproeven (Tabel 9 - 13), maar in de recent uitgevoerde proef met 36 rassen (Janse, in voorbereiding) is de correlatie tussen taaiheid van de schil en alle gemeten instrumentele parameters zeer laag (Tabel 14).
Om betere correlaties te krijgen moet de instrumentele test wellicht veranderd worden. Zo noemt Mohsenin (1986) een shear test voor de schil van appel die wellicht ook taaiheid schil kan meten. Het is weleens geopperd dat met een tandvormige plunjer betere resultaten te behalen zijn. De anisotropie van het weefsel zou een rol kunnen spelen, maar het is ook mogelijk dat de tot nu toe gebruikte statistische verwerking te kort schiet bij het verklaren van taaiheid uit instrumentele predictoren.

Tabel 9. Het effect van vier EC niveaus tijdens de teelt op stevigheid en smaak. Diameter D (mm), stevigheid bij de oogst C0 (mm), stevigheid na 16 dagen bewaring C16 (mm), breekkracht Fb (N), energie bij breuk Eb (mJ), stevigheid in de mond St, taaiheid van de schil Ta, meligheid vruchtvlees Me en sappigheid Sa (expertpanel). Data: EC onderzoek Counter (1991), Verkerke, in voorbereiding.

	instrumenteel					sensorisch panel			
	plaat			pen					
	t=0		t=16	t=25		t=8			
EC mS/cm	D mm	C0 mm	C16 mm	Fb N	Eb mJ	St	Ta	Me	Sa
0.7	53	0.41	1.38	7.84	30.74	38	37	36	56
3.8	52	0.44	1.40	8.80	35.32	38	56	35	61
6.3	50	0.51	1.51	9.55	40.44	48	52	29	61
8.2	48	0.52	1.47	10.11	44.14	61	59	25	62
p	***	***	*	***	***	***	***	***	**
LSD 5%	1	0.02	0.08	0.31	1.71	6	9	7	4

Bij hoge EC nemen de diameter en de stevigheid af, de breekkracht en de energie bij breuk toe, de stevigheid in de mond, de taaiheid van de schil en de sappigheid toe en de meligheid af.

Tabel 10. Het effect van drie EC niveaus tijdens de teelt op stevigheid en smaak. Diameter D (mm), stevigheid bij de oogst C0 (mm), stevigheid na 18 dagen bewaring C18 (mm), breekkracht Fb (N), energie bij breuk Eb (mJ), aangenaamheid Aa (consumentenpanel), stevigheid in de mond St, taaiheid van de schil Ta, meligheid vruchtvlees Me en sappigheid Sa (expertpanel). Data: EC onderzoek Pronto (1992), Verkerke, in voorbereiding.

	instrumenteel					sensorisch panel				
	plaat			pen						
	t=0		t =18	t =25		t =8				
EC mS/cm	D mm	C0 mm	C18 mm	Fb N	Eb mJ	Aa	St	Ta	Me	Sa
3.3	58	0.58	1.37	10.14	45.80	53	57	58	26	57
6.0	56	0.61	1.29	10.21	46.61	56	49	59	25	65
8.9	52	0.63	1.15	10.74	50.98	59	49	66	21	68
p	***	**	***	***	***	**	**	**	NS	**
LSD 5%	1	0.03	0.06	0.31	2.04	4	6	6		6

Bij hoge EC neemt de diameter en de stevigheid bij de oogst af, de stevigheid na bewaring C18 neemt toe, de breekkracht Fb en energie bij breuk Eb nemen toe, de aangenaamheid neemt toe, de stevigheid in de mond neemt af, de taaiheid neemt toe, de meligheid neemt af en de sappigheid neemt toe.
Het ras Pronto reageert iets anders op de EC verhoging dan Counter. De houdbaarheid is veel langer (58%) en de curves van het stevigheidverloop na de oogst kruisen elkaar (Figuur 4). Bij het korter houdbare ras Counter is het uitstalleven al afgelopen voor de deze kruising van curves zou kunnen optreden. In tegenstelling tot bij Counter, neemt bij Pronto de stevigheid in de mond bij hoge EC af. Voor wat betreft de andere parameters reageren de twee rassen gelijk op de EC behandelingen, maar ligt het niveau van stevigheid van de vrucht en van de vruchtwand bij Pronto op een hoger niveau. Deze verschillen kunnen echter niet met zekerheid aan deze rassen worden toegeschreven; ze zouden ook veroorzaakt kunnen zijn door een teelt of jaar effect.

Tabel 11. Het effect van verschillende voedingsbehandelingen op de vruchtstevigheid bij tomaat en bepalingen met een sensorisch panel. Diameter D (mm), stevigheid bij de oogst C0 (mm), stevigheid na 25 dagen bewaring Cpen (gemeten met penplunjer, in mm), breekkracht Fb (N), energie bij breuk Eb (mJ), aangenaamheid Aa (consumentenpanel), stevigheid in de mond St, taaiheid van de schil Ta, meligheid vruchtvlees Me en sappigheid Sa (expertpanel). Data: zoutonderzoek 1992 (Pronto), Verkerke, in voorbereiding.

	instrumenteel					sensorisch panel				
	plaat		pen							
	t=0		t=25			t=8				
behandeling	D (mm)	C0 (mm)	Cpen (mm)	Fb (N)	Eb (mJ)	Aa	St	Ta	Me	Sa
EC 3	58	0.58	2.45	10.14	45.80	53	57	58	26	57
EC 6	56	0.61	2.38	10.21	46.61	56	49	59	24	65
EC 6 Na	53	0.63	2.30	10.87	50.28	61	50	56	21	68
EC 6 NaCl	53	0.64	2.63	10.62	49.25	62	48	56	26	66
p	***	*	***	***	***	***	**	NS	NS	**
LSD 5%	1	0.04	0.09	0.29	1.54	4	6			6

***: p <0.001; **: p <0.01; +:p <0.1; NS =niet significant

Verhoging van de EC met NaCl leidt tot kleinere (D), zachtere vruchten bij de oogst (C0) en na bewaring (Cpen), een hogere breekkracht (Fb) en een hogere energie bij breuk (Eb). De aangenaamheid neemt toe, de stevigheid in de mond neemt af en de sapppigheid neemt toe.

Tabel 12. Het effect van verschillende voedingsbehandelingen op de vruchtstevigheid bij tomaat en bepalingen met sensorisch panel. Diameter D (mm), stevigheid bij de oogst C0 (mm), stevigheid na 8 dagen bewaring Cpen (mm), breekkracht Fb (N), compressie bij breuk Cb (mm), energie bij breuk Eb (mJ), aangenaamheid Aa (consumentenpanel), stevigheid in de mond St, taaiheid van de schil Ta, meligheid vruchtvlees Me en sappigheid Sa (expertpanel). data: zoutproef 1993 (Pronto), Verkerke, in voorbereiding.

	instrumenteel						sensorisch panel				
	plaat		pen								
	t=0		t=8				t=8				
behandeling	D (mm)	C0 (mm)	Cpen (mm)	Fb (N)	Cb (mm)	Eb (mJ)	Aa	St	Ta	Me	Sa
EC 3	58	0.50	1.24	11.86	6.48	45.18	55	57	53	22	63
EC 6	55	0.52	1.19	12.11	6.67	46.62	57	52	55	18	67
EC 6 Na	53	0.56	1.32	12.91	7.37	53.82	59	56	54	16	67
EC 6 NaCl	53	0.59	1.64	12.48	7.90	53.14	60	57	57	18	65
p	***	**	***	***	***	***	***	+	NS	*	+
LSD 5%	1	0.03	0.06	0.34	0.26	2.58	3	4		4	3

***: p <0.001; **: p <0.01; +:p <0.1; NS =niet significant

In deze proef leidt verhoging van de EC met NaCl tot kleinere, zachtere vruchten, met een hogere breekkracht en energie bij breuk. De aangenaamheid neemt toe en de meligheid neemt af.
Er komen slechts enkele kleine verschillen voor tussen de proeven met zoutsoort (ras Pronto) uitgevoerd in 1992 en 1993.

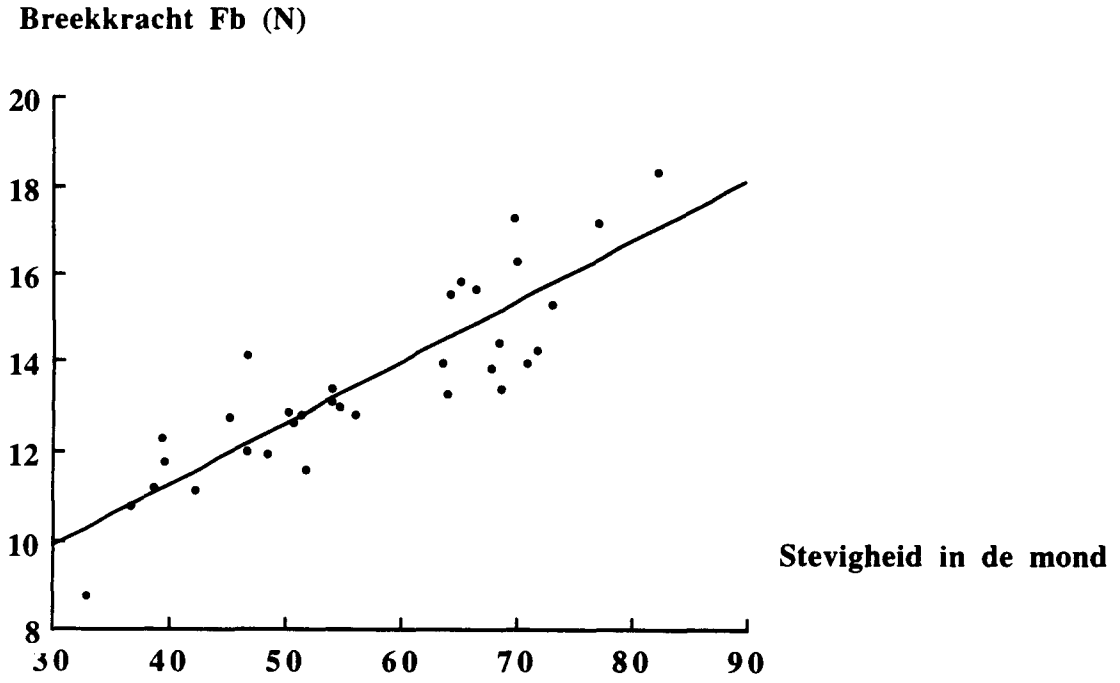
Tabel 13. Stevigheid schil en stevigheid vruchtvlees en sensorisch bepaalde eigenschappen van zes rassen ronde tomaat. Diameter vrucht D (mm), breekkracht Fb (N), compressie bij breuk Cb (N), energie bij breuk Eb (mJ), dikte vruchtwand Dp (mm), breekkracht vruchtvlees Fbp (N), compressie bij breuk ponsje Cbp (mm), helling van de kracht/deformatie curve ponsje Hpb (N/mm), energie bij breuk ponsje Ebp (mJ), aangenaamheid Aa (consumentenpanel), stevigheid in de mond St, taaiheid van de schil Ta, meligheid vruchtvlees Me en sappigheid Sa (expertpanel). Data: Verkerke *et al.*, 1994b, verzameld op de ROC Breda.

	schil hele vrucht				stevigheid vruchtvlees					sensorisch panel				
	penplunjer 5 mm				penplunjer 10 mm ponsje 15 mm									
ras	D mm	Fb N	Cb mm	Eb mJ	Dp mm	Fbp N	Cbp mm	Hp N/mm	Ebp mJ	Aa	St	Ta	Me	Sa
Vanessa	55	13.02	7.69	58.10	8.4	14.99	3.72	6.49	21.18	50	67	52	33	54
Chaser	51	11.76	7.58	49.55	7.5	12.02	3.35	6.69	13.93	51	62	56	26	58
Pronto	50	12.16	7.70	50.72	7.6	12.23	3.34	6.91	13.96	59	62	57	22	63
Counter	50	10.70	7.82	43.85	7.5	9.68	3.36	5.45	11.19	54	50	54	26	62
Bornia	53	11.23	8.33	49.10	8.0	11.30	3.46	6.15	13.39	50	46	56	26	65
Sonato	51	10.17	8.78	43.63	7.3	9.81	3.34	5.53	11.23	53	47	51	27	63
p	***	***	***	***	***	**	*	*	***	**	***	NS	*	**
LSD 5%	1	0.60	0.37	3.82	0.3	2.23	0.25	1.09	3.44	5	7		6	5

Vanessa en Bornia hebben de grootste vruchten en de dikste vruchtwand. Vanessa is het stevigst bij de oogst en blijft ook het langst stevig. Sonato is het zachtst bij de oogst; de rassen Pronto, Counter en Sonato nemen na de oogst even snel in stevigheid af. Bornia is even stevig als Chaser en Counter, maar wordt na de oogst snel zachter. Chaser is bij de oogst iets steviger dan Pronto, maar wordt na de oogst iets minder snel zacht. Vanessa en Pronto hebben de hoogste breekkracht, Sonato en Counter de laagste. De Energie tot breuk (een maat voor de taaiheid van het weefsel) gaat vrijwel gelijk op met de breekkracht. Vanessa is het meest melig (='korrelig'?). Ondanks relatief veel aroma en zoetheid wordt Bornia in dit onderzoek toch niet hoog gewaardeerd. De parameter Ebp komt ongeveer overeen met de door Ohta *et al.* (1991) met een kleinere plunjer gemeten parameter "d".

7.2 Stevigheid in de mond (Figuur 5)

In het algemeen geeft bij verschillende produkten de compressietest een goede correlatie met sensorische hardheid of stevigheid van verschillende produkten, mits een bepaalde minimale percentage compressie gerealiseerd wordt. Stevigheid in de mond is daarmee anders gedefinieerd dan stevigheid zoals in materiaalkunde (Boyd & Sherman, 1975). Sensorische panels definiëren hardheid of stevigheid in de mond meestal als de kracht om te breken en de afstand om samen te drukken in de mond (Shama & Sherman, 1973). Tussen rassen bestaan grote verschillen in stevigheid in de mond (Tabel 10). In de vergelijking van 36 rassen is de correlatie tussen de breekkracht Fb en de stevigheid in de mond 0.85 (Tabel 14, Figuur 5).



Figuur 5. Het verband tussen breekkracht en stevigheid in de mond van 36 verschillende rassen tomaat. (Data: project 4106, PBG kas 308, J. Janse, 1994).

Tabel 14. Correlatiematrix van enkele textuuraspecten van tomaten, bepaald op 7 dagen na de oogst. Stevig =stevigheid in de mond, Taai =taaiheid van de schil, Melig = meligheid vruchtvlees C = Stevigheid (compressie tot een tegenkracht van 3 N, in mm); Fb =breekkracht (N), Cb =compressie bij breuk (mm), Eb =energie bij breuk (mJ). Data: proef met 36 rassen tomaat; project 4106, PBG kas 308, J. Janse, in voorbereiding).

Stevig	*						
Taai	-0.21	*					
Melig	0.26	-0.43	*				
C	0.73	0.28	0.33	*			
Fb	0.85	-0.04	0.25	0.78	*		
Cb	0.67	0.27	0.20	0.83	0.59	*	
Eb	0.71	0.12	0.29	0.41	0.87	0.27	*
	Stevig	Taai	Melig	C	Fb	Cb	Eb

7.3 Meligheid vruchtvlees (Tabel 15)

Een melige, korrelige structuur van het vruchtvlees is, vooral bij vleestomaat maar ook bij ronde tomaat, voor vrijwel elke consument een eigenschap die de waardering sterk negatief beinvloedt (Disco, 1992). In de literatuur zijn instrumentele methoden beschreven die meligheid bij appel (Harker & Hallett, 1992; Donkers, 1994), aardappel (Woodman & Warren, 1972), of nectarine (Harker & Sutherland, 1993) goed kunnen meten, maar bij tomaat zijn er tot nu toe geen spectaculaire resultaten geboekt (Ishiuchi, 1990). De voorgestelde cell count toets (Ahrens *et al.*, 1987) is bij nederlands produkt in de zomerperiode niet bruikbaar en de fluorescentie methode (Anonym, 1991) werkt niet voldoende (Disco, 1993). Bij hogere EC (Tabel 9) en bij hogere temperatuur (Tabel 15) neemt de meligheid af. Met een druk-trekbank is op het PBG geprobeerd meligheid objectief te meten door ponsjes vruchtwand samen te drukken. Deze test lijkt op de test zoals gebruikt door Jackman & Stanley (1992) en de puncture test van Ohta *et al.* (1991).
Het vergelijken van de resultaten van de verschillende auteurs is moeilijk omdat er tussen de testen kleine verschillen in de opzet bestaan. De diameter van de plunjer moet bij ponsjes niet te groot zijn om te voorkomen dat het ponsje gaat schuiven bij de belasting door de plunjer. In deze test bleek dat de compressie bij breuk zwak correleert met de meligheid (Verkerke & Schols, 1994b), maar dit is waarschijnlijk sterk bepaald door de keuze van de monsters, want in eerder onderzoek (Disco, 1993) waren hier geen consistente resultaten mee behaald. Deze meetmethode wordt momenteel nog verder onderzocht, maar het ziet er naar uit dat het samendrukken van ponsjes geen goede methode is. De momenteel bij appel toegepaste methoden lijken meer perspectief te bieden (Donkers, 1994), maar het is nog niet duidelijk of die methoden bij tomaat perspectief bieden.

Tabel 15. Het effect van de teelttemperatuur bij gelijkblijvend vochtdeficiet op de meligheid en enkele andere parameters van vruchtkwaliteit van ronde tomaat. Temperatuur T (^{0}C), vochtdeficiet VD (g/m3), diameter D (mm), stevigheid bij de oogst en na 21 dagen C0 en C21 (mm compressie), breekkracht Fb (N), energie bij breuk Eb (mJ), % suiker S, % vruchten met zwelscheuren % Z, aangenaamheid Aa (consumentenpanel), meligheid vruchtvlees Me (expert panel). Data: Janse & Schols, 1992; ras: Pronto; teelt in klimaatcellen.

		instrumenteel							sensorisch panel	
		plaat			pen					
behandeling		D mm	C0 mm	C21 mm	Fb N	Eb mJ	S	Z	Aa	Me
T	VD									
17.1	4.4	54	0.43	1.62	7.44	30.4	2.5	99	20	68
23.0	4.4	50	0.57	1.31	8.58	34.0	2.0	0	80	32

7.4 Sappigheid

In de literatuur wordt sappigheid vaak als het tegenovergestelde van meligheid gezien. Het is niet duidelijk of dit bij tomaat ook op gaat; in elk geval worden bij smaakproeven op het PBG sappigheid en meligheid apart gescoord door het expertpanel en zijn er regelmatig verschillen in de waardering voor deze twee kenmerken. De inhomogeniteit van de vrucht speelt hierbij een rol. De hoeveelheid sap die uit een stukje weefsel kan worden geperst is voorgesteld als maat voor de sappigheid (Szczesniak & Ilker, 1988), maar dit is bij tomaat moeilijk uitvoerbaar (Disco, 1993). Ook de door die auteurs andere genoemde parameters voor sappigheid (grotere cellen, hoger watergehalte, celwand minder sterk dan de middenlamel) lijken niet op te gaan bij tomaat. Voor tomaat is er nog geen goede objectieve test voor sappigheid beschikbaar.

8. Discussie

De op het PBG gebruikte test voor vruchtstevigheid heeft zijn bruikbaarheid bewezen. Het is een niet-destructieve test waarmee de verzachting van vruchten goed kan worden beschreven en de effecten van teeltmaatregelen op stevigheid kunnen worden gemeten. Deze test is gebruikt als referentie voor andere, snellere methoden (Schotanus, 1994). De destructieve puncturemetingen zijn echter nog in ontwikkeling. Van veel van de parameters uit de puncturetest is het niet duidelijk of het zinvol is om ze te bepalen. Met name het gebruik van de Eb is discutabel, omdat deze in hoge mate wordt bepaald door de verhouding tussen diameter van de vrucht en die van de plunjer. In het EC onderzoek leek Eb een goede predictor voor taaiheid van de schil te zijn, maar in latere onderzoeken bleek dat deze benadering te simpel is. Omdat alle Instronparameters in een keer worden gemeten, worden deze voorlopig wel alle bepaald. In de opbouw van de test kunnen nog veel verbeteringen worden aangebracht. Vooral het werken met ponsjes vruchtwand in plaats van met hele vruchten zou een verbetering kunnen zijn. Wellicht is het hiermee mogelijk om materiaaleigenschappen op een reologisch zuivere manier te meten. De correlaties tussen instrumenteel bepaalde kenmerken en sensorische kenmerken zijn over het algemeen laag. Dit is ook in ander onderzoek gevonden (Hetherington *et al.*, 1990). Met name voor meligheid en sappigheid zijn nog geen objectieve meetmethoden beschikbaar. Het is onwaarschijnlijk dat deze eigenschappen vanuit 1 andere parameter kunnen worden verklaard. Het ligt in de bedoeling om via PCA en verschillende manieren van multivariate analyse hier meer duidelijkheid over te krijgen.

9. Literatuur

Adegoroye, A.S., P. A. Joliffe & M.A. Tung - Instrumental measures of texture of tomato fruit and their correlation with propectin content: effect of fruit size and stage of ripeness. J. Fd. Sci. Technol. **25:** 72-74 (1988).

Adegoroye, A.S., P. A. Joliffe & M.A. Tung - Textural characteristics of tomato fruits (*Lycopersicon esculentum*) affected by sunscald. J. Sci. Food Agric. **49:** 95-102 (1989).

Ahmed, E. M., R.C. Fluck & R.A. Dennison - Textural properties of irradiated tomatoes (cv. Floradel). J. Text. Stud. **3:** 115-121 (1972).

Ahrens, M.J., D.J. Huber & J.W. Scott - Firmness and mealiness of selected Florida-grown tomato cultivars. Proc. Fla. State Hort. Soc. **100:** 39-41 (1987).

Ahrens, M.J. & D. J. Huber - Physiology and firmness determination of ripening tomato fruit. Phys. Plant. **78:** 8-14 (1990).

Anonym - Melig of niet melig? Kijk maar! Agrion **2:** 15 (1991).

Baerdemaeker, J. de - The use of mechanical resonance measurements to determine fruit texture. Acta Hort. **258:** 331-339 (1989).

Batal, K.M., J.L. Weigle & D.C. Foley - Relation of stress-strain properties of tomato skin to cracking of tomato fruit. HortScience **5:** 223-224 (1970).

Boesten, M. - Proefdraaien stevigheidsmeter tomaat op de veilingen. Groenten & Fruit **50:** 27 (11 december 1992).

Bonhof, M. - De bruikbaarheid van de Zwick densimeter voor het meten van de stevigheid bij ronde tomaat. Verslag stage bij ATO, AHS Utrecht (1990).

Bourne, M.C. - Deformation testing of foods. 1. A precise technique for performing the deformation test. J. Food Sci. **32:** 601-605 (1967).

Bourne, M.C. - Compression rates in the mouth. J. Text. Stud. **8:** 373-376 (1977).

Bourne, M.C. - Theory and application of the puncture test in food texture measurement. In: P. Sherman (Ed.), Food texture and rheology, pp. 95 - 142. Academic Press, London (1979).

Bourne, M.C. - Correlating instrumental measurements with sensory evaluation of texture. pp 155 - 172 in: A.A. Williams & R.K. Atkin (Eds.), Sensory quality in foods and beverages. Definition, measurement and control. 488 pp. Ellis Horwood, Chichester (1983).

Boyd, J.W. & P. Sherman - A study of force-compression conditions associated with hardness evaluation in several foods. J. Text. Stud. **6:** 507-522 (1975).

Brady, C., S. D. Meldrum, W.B. McGlasson & Z.M. Ali - Differential accumulation of the molecular forms of polygalacturonase in tomato mutants. J. Food Biochem. **7:** 7-14 (1983).

Brandt, M.A., E.Z. Skinner & J.A. Coleman - Texture profile method. J. Food Sci. **28:** 404 - 409 (1963).

Brinton, R. H. & M.C. Bourne - Deformation testing of foods III. Effect of size and shape on the magnitude of deformation. J. Text. Stud. **3:** 284-297 (1972).

Buret, M. - 2. Tomato sampling for quality assessment. In: P. Eccher Zerbini *et al.* (Eds.), Measurement of the quality of tomatoes: recommendations of an EEC working group, pp 10-14. I.V.T.P.A. Milano (1991).

Cleland, R.E. - The instron technique as a measure of immediate-past wall extensibility.

Planta **160:** 514-520 (1984).
Disco, A. - Wetenschap stort zich op meligheid. Groenten & Fruit **40:** 26-27 (20 oktober 1992).
Disco, A. - Onderzoek naar de objectivering van meligheid van vleestomaat. Resultaten over de periode oktober 1992 - december 1993. Intern verslag PTG **18** (1993).
Donkers, J.W. - Cellular strength and adhesion in relation to textural quality parameters of apple. Poster, COST '94, Oosterbeek (1994).
Eccher Zerbini, P. & M. Ciabattoni - Correlation between sensory assessment and non destructive instrumental measurement of firmness in tenax and juicy types of round table tomatoes. Annali I.V.T.P.A.**15:** 89-103 (1984).
Finney, E.E. - To define texture in fruits and vegetables. Agric. Eng. **50**: 462-465 (1969a).
Finney, E.E. - Objective measurements for texture in foods. J. Text. Stud. **1:** 19-37 (1969b).
Frazier, W. A. - A study of some factors associated with the occurrence of cracks in the tomato fruit. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. **32:** 519-523 (1934).
Fridley, R.B. - Texture, firmness, and strength. Proc. 2nd Tomato Quality Workshop, Univ. of California, Davis, pp. 35-40 (1976).
Fridley, R.B., R.A. Bradley, J.W. Ramsey & P.A. Adrian - Some aspects of elastic behaviour of selected fruits. Trans. ASAE **11:** 46-49 (1968).
Garrett, A.W., N.W. Desrosier, G.D. Kuhn & M.L. Fields - Evaluation of instruments to measure firmness of tomatoes. Food Technol. **14:** 562-564 (1960).
Gemert, L.J. van, C.J. Wolters & H. Maarse - Eindrapport kwaliteit tomaat. Intern rapport TNO-voeding B 91.595 (1991).
Gordon, J.E. - Structures, or why things don't fall down. 395 pp. Penguin Books Ltd., Harmondsworth (1986).
Gormley, T.R. & M.J. Maher - The effect of re-compression on tomato fruit firmness. Irish J. Food Sci. Technol. **11:** 175-178 (1987).
Gormley, T.R. & D. Keppel - A method for measuring tomato fruit firmness using a modified shear press. J. Fd. Technol. **11:** 607-617 (1976).
Hall, C.B. - Firmness of tomato fruit tissues according to cultivar and ripeness. J. Amer. Soc. Hort. Sci. **112:** 663-665 (1987).
Haman, D.Z. & G.E. Merva - Influence of selected ions and cuticular waxes on elastic properties of tomato cuticle. Int. Agrophys. **1:** 289-300 (1985).
Hamson, A.R. - Measuring firmness of tomatoes in a breeding program. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. **60:** 425-433 (1952).
Hankinson, B., & V.N.M.Rao - Histological and physical behaviour of tomato skins. J. Amer. Soc. Hort. Sci. **104:** 577-581 (1979).
Harker, F.R. & I.C. Hallett - Physiological changes associated with development of mealiness of apple fruit during cool storage. HortScience **27:** 1291-1294 (1992).
Harker, F.R. & P.W. Sutherland - Physiological changes associated with fruit ripening and the development of mealy texture during storage of nectarines. Postharvest Biol. Technol. **2:** 269-277 (1993).
Hetherington, M.J., A. Martin, D. B. MacDougall, K.R. Langley & N. Bratchell - Comparison of optical and physical measurements with sensory assessment of the ripeness of tomato fruit *Lycopersicon esculentum*. Food Quality and Preference **2:** 243-253 (1990).

Hobson, G.E. - The firmness of tomato fruit in relation to polygalacturonase activity. J. Hort. Sci. **40:** 66-72 (1981).

Hobson, G.E. - The short-term storage of tomato fruit. J. Hort. Sci. **56:** 363 - 368 (1981).

Holt, C.B. - Measurement of tomato firmness with a universal testing machine. J. Text. Stud. **1:** 491-501 (1970).

Ishiuchi, D. - Studies on the physical properties of tomatoes. I. Varietal differences and changes with ripening in the physical properties using the tomato flesh compression test. Bull. Nat. Res. Inst. Veg. Ornam. Tea **1:** 31-44 (1990).

Ito, K., S. Kamimura. S. Monma & T. Kanno - Design of a multipurpose field instrument for measuring the mechanical properties of fruit of tomatoes and its application to the study of varietal differences. Bull. Hort. Res. Stat., Morioka **3:** 1-27 (1980).

Jackman, R.L., A. G. Marangoni & D.W. Stanley - Measurement of tomato fruit firmness. HortScience **25:** 781-783 (1990).

Jackman, R.L. & D.W. Stanley - Area- and perimeter-dependent properties and failure of mature-green and red-ripe tomato pericarp tissue. J. Text. Stud. **23:** 461-474 (1992).

Janse, J. - Gebruikte methodieken in het houdbaarheidsonderzoek op het PTG bij diverse gewassen. Intern Verslag PTG **4** (1991).

Janse, J. & M. Schols - Onderzoek naar achtergronden van smaakverbetering als gevolg van hoge temperaturen bij tomaat. Kort Onderzoekverslag PTG (1992).

Janse, J. & M. Schols - Bon Appetit doet naam alle eer aan. Groenten & Fruit **7:** 11 (18 februari 1994).

Janse, J. & W. Verkerke - Taaiheid schil tomaat 1992. Kort onderzoekverslag PTG (3 maart 1992).

Kader, A.A. & L.L Morris - Tomato firmness as a quality attribute. Proc. 2nd Tomato Quality Workshop, Univ. of California, Davis, pp. 30-34 (1976).

Kader, A.A., L.L. Morris & P. Chen - Evaluation of two objective methods and a subjective rating scale for measuring tomato fruit firmness. J. Amer. Soc. Hort. Sci. **103:** 70-73 (1978).

Kamimura, S., H. Yoshikawa & K. Ito - Studies on fruit cracking in tomatoes. Bull. Hort. Res. Stat., Morioka **7:** 73-138 (1972).

Kattan, A.S. - Changes in color and firmness during ripening of detached tomatoes, and the use of a new instrument for measuring firmness. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. **70:** 379-384 (1957).

Khan, A.A. & J.F.V. Vincent - Anisotropy of apple parenchyma. J. Sci. Food Agric. **52:** 455-466 (1990).

Kojima, K., N. Sakurai, S. Kuraishi, R. Yamamoto & D.J. Nevins - Novel technique for measuring tissue firmness within tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) fruit. Plant Physiol. **96:** 545-550 (1991).

Lenssen, G. M. - Response of C3 and C4 species from dutch salt marshes to atmospheric CO2 enrichment. Proefschrift, VU, Amsterdam (1993).

Louridis, O., N. Demetriou & E. Bazopoulou-Kyrkanides - J. Dental Res. **49:** 1132-1135 (1970).

MacRae, E. & R. Redgwell - Softening in kiwifruit. Postharvest News and Information **3:** 49-52 (1992).

Miles, J.A., R.B. Fridley & C. Lorenzen - Strength characteristics of tomatoes subjected to quasistatic loading. Trans. ASAE **12:** 627-630 (1969).

Mohsenin, N.N. - Physical properties of plant and animal materials 2nd Rev. Ed.. Gordon and

Breach, New York (1986).
Morrow, C. T. & N.N. Mohsenin - Consideration of selected agricultural products as viscoelastic materials. J. Food Sci. **31:** 686-698 (1966).
Niklas, K.J. - Plant biomechanics. An engineering approach to plant form and function. 607 pp., The university of Chicago press, Chicago (1992).
Olorunda, A.O. & M.A. Tung - Simulated transit studies on tomatoes; effects of compressive load, container, vibration and maturity on mechanical damage. J. Food Technol. **20:** 669-678 (1985).
Oosterhout, G. van & E. Nunnink - Zuidelijke concurrenten zijn blijvers. Groenten & Fruit **10:** 8-9 (11 maart 1994).
Outer, R.W. den & W.L. van Veenendaal - Anatomisch onderzoek van tomaten met zwelscheurtjes. Groenten & Fruit **46:** 40-42 (22 mei 1987).
Peet, M.M. - Fruit cracking in tomato. HortTechnology **2:** 216-223 (1992).
Peleg, M. & J.F. Calzada - Stress relaxation of deformed fruits and vegetables. J. Food Sci. **41:** 1325 - 1329 (1976).
Peleg, K. - Comparison of non-destructive and destructive measurement of apple firmness. J. Agric. Eng. Res. **55:** 227-238 (1993).
Polderdijk, J.J. & P.M.M.Damen - Kwaliteitskenmerken en houdbaarheid van tomaat 1987. Intern rapport Sprenger instituut **2348** (1988).
Polderdijk, J.J. & L.M.M.Tijskens - Op weg naar een model voor de houdbaarheid van ronde tomaten, gebaseerd op de instrumenteel gemeten stevigheid en een seizoensgebonden factor. ATO Rapport **133** (1990).
Polderdijk, J.J.,H.C.P.M.van der Valk, L.M.M.Tijskens & J.E. Robbers - Stevigheidsmeter voorspelt houdbaarheid. Groenten & Fruit **22:** 20-21 (31 mei 1991).
Polderdijk, J.J.,L.M.M.Tijskens, J.E. Robbers & H.C.P.M.van der Valk - Predictive model of keeping quality of tomatoes. Postharvest Biol. and Technol. **2:** 179-185 (1993).
Poste, L. M., D. A. Mackie, G. Butler & E. Larmond - Laboratory methods for sensory analysis of food. 91 pp. Research branch agriculture Canada publication 1864/E (1991).
Robbers, J.E.,H.C.P.Mvan der Valk, M. Tomassen, J.J. Polderdijk & C. Wilkinson - Houdbaarheids-voorspellend model tomaat. ATO rapport **346** (1993).
Schilstra, I. & J. Janse - Zwelscheurtjes bij tomaat. Groenten & Fruit **41:** 39-41 (18 april 1986).
Schols, M. & W. Verkerke - De bruikbaarheid van de PFT voor de meting van vruchtstevigheid bij tomaat. Kort Onderzoekverslag PTG (2 november 1994).
Schotanus, L. - Het testen van meetapparatuur voor het keuren op stevigheid van op de veiling aangevoerde tomaten. Intern rapport CBT 94/ProdG/623/LS (1994).
Schotanus, L., W. Verkerke & W. de Boer - Testing different devices for the measurement of tomato fruit firmness at Dutch auctions. COST '94 symposium, Oosterbeek (submitted).
Shama, F. & P. Sherman - Evaluation of some textural properties of foods with the instron universal testing machine. J. Text. Stud. **4:** 344-353 (1973).
Stow, J. - The involvement of calcium ions in maintenance of apple fruit tissue structure. J. Exp. Bot. **40:** 1053-1057 (1989).
Szczesniak, A.S. - Correlating sensory with instrumental texture measurements - an overview of recent developments. J. Text. Stud. **18:** 1-15 (1987).

Szczesniak, A.S. & M.C. Bourne - Sensory evaluation of food firmness. J. Text. Stud. **1:** 52-64 (1969).

Szczesniak, A.S. & D.H. Kleyn - Consumer awareness of texture and other food attributes. Food Technol. **17:** 74-77 (1963).

Szczesniak, A.S. & R. Ilker - The meaning of textural characteristics - Juiciness in plant foodstuffs. J. Text. Stud. **19:** 61-78 (1988).

Thai, C.N. & R.L. Shewfelt - Tomato color and firmness models for varying temperature storage. Transactions ASAE **91**-6566 (1991).

Thompson, A.E., R.W. Hepler, R.L. Lower & J.P. McCollum - Characterization of tomato varieties and strains for constituents of fruit quality. Univ. Ill. Agr. Exp. Sta. Bull. **685:** 3-32 (1962).

Tong, C.B.S. & K.C. Gross - Ripening characteristics of a tomato mutant, *dark green*. J. Amer. Soc. Hort. Sci. **114:** 635-638 (1989).

Verkerke, W. - Stevigheid tomaat: de eerste resultaten van de druk-trekbank. Intern Verslag PTG **43** (1989).

Verkerke, W. & C.J.M. Gielesen - Stevigheid tomaat: destructiviteit van herhaaldelijk meten. Intern Verslag PTG **11** (1990).

Verkerke, W., C.J.M. Gielesen & R. Engelaan - Langer houdbaar door stevigere schil. Groenten & Fruit **7:** 22-23 (1992)

Verkerke, W., C. de Krey & J. Janse - Zacht maar lekker door keukenzout. Groenten & Fruit **4:** 20-21 (29 januari 1993a).

Verkerke, W., C. de Krey & J. Janse - Keukenzout maakt zacht, maar lekker. Groenten & Fruit **51:** 14-15 (31 december 1993b).

Verkerke, W. & M. Schols - Stevigheid vleestomaat en tussentype. Kort onderzoekverslag PTG (16 november 1992).

Verkerke, W. & M. Schols - De invloed van zwelscheurtjes op stevigheid en houdbaarheid van ronde tomaat. Intern Verslag PTG **4** (1994a).

Verkerke, W. & M. Schols - Instrumentele parameters van rassen tomaat die verschillen in meligheid. Kort Onderzoekverslag PBG (1994b).

Verkerke, W., L. Schotanus & M. Boesten - Nieuwe stevigheidsmeter gaat proefdraaien. Groenten & Fruit **50:** 14-15 (16 december 1994a).

Verkerke, W., J. Janse & J. de Bruin - Stevigheid en smaak van zes rassen tomaat. Intern verslag PTG **23** (1994b).

Vincent, J.F.V.- Fracture properties of plants. Adv. Bot. Res. **17:** 235-287 (1990).

Vincent, J.F.V.- Structural biomaterials 244 pp. Princeton University Press, New Yersey (1990).

Vincent, J.F.V.- 8. Plants, pp 165-191. In: J.F.V. Vincent (ed.), Biomechanics - materials. A practical approach. Oxford University Press, Oxford, 247 pp. (1992).

Vincent, J.F.V.,G. Jeronimidis, A.A. Khan & H. Luyten - The wedge fracture test. A new method for measurement of food texture. J. Text. Stud. **22:** 45-57 (1991).

Voisey, P. W. - Examination of operational aspects of fruit pressure tests. Can. Int. Food Sci. Technol. J. **10:** 284-294 (1977a).

Voisey, P. W. - Interpretation of force-deformation curves from the shear-compression cell. J. Text. Stud. **8:** 19-37 (1977b).

Voisey, P. W. - Recent advances in texture test instrumentation and their application.

In: P. Sherman (Ed.), Food texture and rheology, pp. 65 - 93. Academic Press, London (1979).
Voisey, P.W. & R. Crête - A technique for establishing instrumental conditions for measuring food firmness to simulate consumer evaluations. J. Text. Stud. **4:** 371-377 (1973).
Voisey, P.W. & L.H. Lyall - Methods of determining the strength of tomato skins in relation to fruit cracking. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. **86:** 597-609 (1965).
Voisey, P.W., L.H. Lyall & M. Kloek - Tomato skin strength - its measurement and relation to cracking. J. Amer. Soc. Hort. Sci. **95:** 485-488 (1970).
Voogt, W. - Plant is niet vies van chloride. Groenten & Fruit **48:** 32-33 (27 november 1992).
Williams, A.A. & R.K. Atkin (Eds.) - Sensory quality in foods and beverages. Definition, measurement and control. 488 pp. Ellis Horwood, Chichester (1983).
Woodman, J.S. & D.S. Warren - Texture of canned potatoes: Use of new objective methods to separate the attributes of mouthfeel and breakdown. J. Sci. Fd Agric. **23:** 1067-1077 (1972).

10. Beschrijving van de op het PBG gebruikte testen

Bij de testen met hele vruchten wordt een set van metalen ringen van verschillende afmetingen gebruikt (Holt, 1970). Bij het meten wordt de vrucht in een van de ringen neergelegd; de grootte van de ring wordt steeds zo gekozen dat de vrucht niet kan rollen en de diameter goed kan worden gemeten. Er wordt altijd op de evenaar, precies tussen de schotten in gemeten. Het aantal meetpunten op de Instron bedraagt in alle testen 20 punten/seconde. De vruchten krijgen geen oogst en sorteer simulatie. Bij de EC proeven bleek dat er wel een verschil in niveau van stevigheid, maar niet in de verschillen in stevigheid tussen de behandelingen op te treden.

10.1 Vruchtstevigheid

Instron nr.	17	
meting aan	hele vrucht	
destructief	nee	
werkafstand	70 mm	
balksnelheid	10 mm/minuut	
plunjer	plaat	
parameters	D (mm)	diameter vrucht
	C (mm)	stevigheid (compressiebij 3 N)

10.2 Stevigheid schil

Instron nr.	24	
meting aan	hele vrucht	
destructief	ja	
werkafstand	70 mm	
balksnelheid	100 mm/minuut	
plunjer	pen, 5 mm diameter	
parameters	D (mm)	diameter vrucht
	Cpen (mm)	compressie (met de pen) tot 3 N
	Fb (N)	breekkracht, kracht bij breuk
	Cb (mm)	compressie bij breuk
	H (N/mm)	helling van de kracht/deformatiecurve
	Eb (mJ)	energie bij breuk

10.3 Stevigheid vruchtvlees

Instron nr.	23	
meting aan	ponsje vruchtwand, 15 mm diameter, binnenkant boven, twee per vrucht	
destructief	ja	
werkafstand	10 mm	
balksnelheid	30 mm/minuut	
plunjer	pen, 10 mm diameter	
ponsje	15 mm diameter, binnenkant boven, twee per vrucht	
parameters	Dp (mm)	dikte ponsje
	Fbp (N)	breekkracht, kracht bij breuk ponsje
	Cbp (mm)	compressie bij breuk van ponsje
	Hp (N/mm)	helling kracht/deformatie curve
	Ebp (mJ)	energie bij breuk van ponsje

11. Gebruikte eenheden en omrekeningen

1 kg = 10 N

1 kg/cm^2 = 0.1 N/mm^2

stress = N/m2 = Pa = 10 dynes/cm2

strength = σb = sterkte = stress bij breuk (N/mm^2 of MPa)

strain bij breuk = ϵb = $\Delta L/L_0$

Emod = $\sigma b/\epsilon b$ (Mpa) = stiffness = weerstand tegen deformatie

Stiffness is gelijk aan de helling van de stress/strain curve

toughness = work of fracture under stress/strain curve, niet onder force deformation curve

1 J = 1 N.m

1 mJ = 1 N.mm = 0.001 N.m = 0.001 J;

1m^2 = 10^6 mm^2

1N/m^2 = 1.0 * 10^6 N/mm^2 = 1.0 * 10^6 Mpa

1 N ≈ 0.100 Kgf ≈ 100 g ≈ 1 appel

Omrekening van Eb (mJ) naar Er (J/m^2)

= relateer de energie onder de F/D curve aan de oppervlak van de gebruikte plunjer.

1 (mJ) = 0.001 (J); 1 (m^2) = 10^6 (mm^2);

diameter = 5 (mm); oppervlak = π * r^2 = 3.14 * (2.5)^2 = 19.62 (mm^2)

Er = Eb * 10^{-3} * 10^6/19.62 (J/m^2)

Er = Eb*50.97 (J/m^2)