Dienst Landbouwkundig Onderzoek
Instituut voor Agrotechnologisch Onderzoek

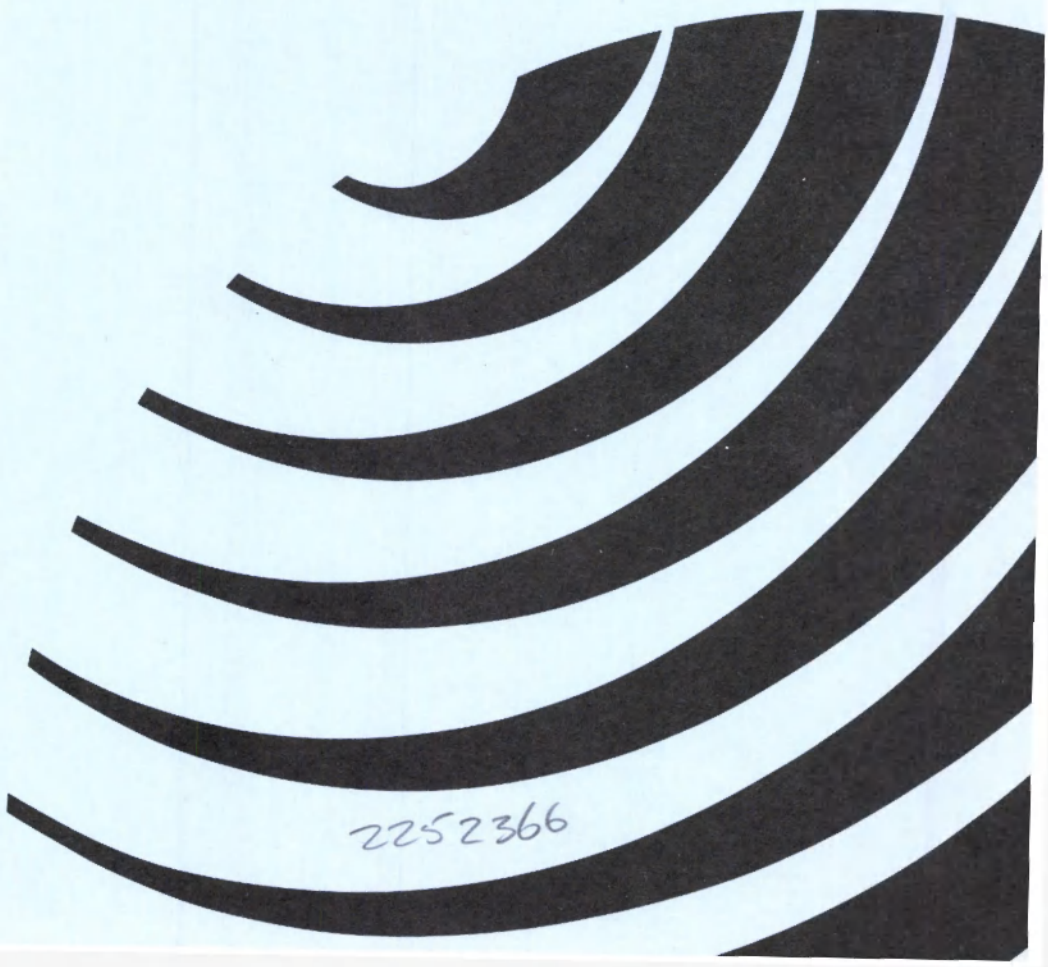
Onderzoek naar respiratie-snelheid van groente en fruit, produktkwaliteit in Delair-systeem, alsmede een technische en energetische inventarisatie van het systeem.

Rapport Delair no. 3, periode september '93 - maart '94

A.C.R. van Schaik
Drs. P.M. Kuiper
Ir. K. Pleijsier
Ir. H.N. van der Hoek
R. Bons
H.J. den Hartog

VERTROUWELIJK

ato-dlo



2252366

RAPPORT B079 / april 1994

TUSSENRAPPORTAGE ONDERZOEK T.B.V. DELAIR, PERIODE SEPTEMBER 1993-MAART 1994

A.C.R. van Schaik, Drs. P.M. Kuiper, Ir. K. Pleijsier, Ir. H.N. van der Hoek, R.G. Bons en H.J de Hartog.

Rapport in het kader van de onderzoekovereenkomst tussen:

DELAIR Droogtechniek en Luchtbehandeling B.V,
Oude Kerkstraat 2,
4878 AA Etten-Leur

Agrotechnologisch Onderzoek Instituut ATO-DLO,
Bornsesteeg 59,
Postbus 17,
6700 AA Wageningen.

Projectleider: Drs. S.P. Schouten

INHOUDSOPGAVE

Samenvatting 3

1 Inleiding 4

2 Materiaal en Methoden 5
2.1 Respiratieonderzoek 5
2.2 Kwaliteitsonderzoek 7
3.2 Technisch onderzoek 8

3 Resultaten 10
3.1 Respiratieonderzoek 10
3.2 Kwaliteitsonderzoek 14
3.2.1 Celklimaat 14
3.2.2 Produktkwaliteit 22
3.3 Technisch onderzoek 27

4 Discussie 33
4.1 Respiratieonderzoek 33
4.2 Kwaliteitsonderzoek 33
4.2.1 Celklimaat 33
4.2.2 Produktkwaliteit 34
4.3 Technisch onderzoek 35

5 Conclusies en aanbevelingen 37
5.1 Respiratieonderzoek 37
5.2 Kwaliteitsonderzoek 37
5.3 Technisch onderzoek 37

BIJLAGE Enthalpie berekeningen 38

Rapport DELAIR 3

Samenvatting

In dit rapport worden de resultaten beschreven van het onderzoek dat is uitgevoerd in de periode van september 1993 tot en met maart 1994. Dit betreft onderzoek naar de respiratiesnelheid van een aantal belangrijke fruitrassen en koolsoorten in optimale bewaarcondities met als potentiële variatiebronnen herkomst en pluktijdstip. Tevens is onderzoek uitgevoerd naar de invloed van het separatorsysteem op de produktkwaliteit van appelen. Hiertoe zijn twee semi-praktijk cellen uitgerust met een separator en twee met een kalkscrubber waarin Schone van Boskoop appelen van 10 verschillende herkomsten zijn bewaard in optimale CA-condities. In dit onderzoekonderdeel is ook een technische inventarisatie uitgevoerd.
Bij het respiratie onderzoek werd de vorig seizoen geconstateerde verhoogde ademhalingsintensiteit bij aanvang van CA-bewaring wederom geconstateerd. Bij de rassen Golden D. en Conference betrof dit een periode van enkele dagen, bij Cox's, Boskoop en Elstar duurde dit globaal 14 dagen. Substantiële verschillen in respiratie door oogsttijdstip en herkomst traden in het algemeen niet op. Ten opzichte van het vorige seizoen was de respiratie duidelijk wat hoger bij een aantal rassen.
Uit het kwaliteitsonderzoek blijkt een groot verschil in ethyleenconcentratie tussen beide celtypen maar dit had vooralsnog geen duidelijke invloed op kwalitatieve aspecten.
De respiratie in de separatorcellen was zelfs iets hoger dan in het kalkgescrubde systeem. De in- en uitwendige kwaliteit van het fruit uit beide systemen vertoonde bij de beoordeling in maart geen duidelijke verschillen. Dit gold tevens voor de objectieve kwaliteitsparameters stevigheid en kleur.
Uit de technische vergelijking tussen de DELAIR-separator en een conventionele kalkscrubber lijkt naar voren te komen dat het DELAIR-systeem een lagere koelbelasting tot gevolg heeft dan de kalk-scrubber. Tevens kan het DELAIR-systeem sneller afwijkingen van het setpoint corrigeren. Het energieverbruik van het DELAIR-systeem bedraagt globaal 24 kWh per dag voor de 2 CA-cellen zoals in deze proef gebruikt zijn.

Rapport DELAIR 3

1 Inleiding

Dit rapport beschrijft de onderzoekactiviteiten welke zijn uitgevoerd in de periode van september 1993 tot en met maart 1994. Het onderzoek betreft 3 onderdelen nl. respiratie-metingen groente en fruit, kwaliteitsonderzoek DELAIR-systeem en technisch onderzoek DELAIR-systeem. De respiratiemetingen omvatten een tweejarig meetprogramma met als doelstelling een seizoenspatroon vast te stellen voor de ademhaling van belangrijke groente-en fruitsoorten/rassen in CA-cellen. Hiermee kan een juiste afstemming gemaakt worden van de door DELAIR ontwikkelde membraansystemen bij toepassing in CA-bewaring van diverse produkten.
De tweede activiteit betreft onderzoek naar de invloed van het DELAIR-systeem op de produktkwaliteit in semi-praktijkomstandigheden. Hierbij wordt een vergelijking gemaakt met het klimaat gegenereerd door een traditionele kalkscrubber.
In het kader van dit semi-praktijkonderzoek wordt ook technisch onderzoek uitgevoerd naar koelbelasting, energiehuishouding en variatie in bewaarcondities.

2.0 Materiaal en methoden

2.1 Respiratieonderzoek

Voor verantwoording en keuzes omtrent onderzoekfactoren en niveaus kan verwezen worden naar de notitie "RESPIRATIE ONDER HUIDIGE OPTIMALE CA-CONDITIES" en RAPPORT DELAIR nr 1 en 2.
Hierdoor kunnen de procedures omtrent uitvoering kort worden omschreven. Voor het onderzoek werden de fruitrassen (tabel 1) geoogst op het optimale en een later tijdstip (10 dagen). Per ras zijn de vruchten geoogst op 3 verschillende bedrijven voornameljk gelokaliseerd in het rivierkleigebied. Na de oogst werden de appelen per herkomst gemengd en enkele dagen ingekoeld voordat CA-condities werden gerealiseerd. Het fruit werd in kisten van 15 kg opgeslagen in bewaarcontainers welke geplaatst waren in een koelcel. In de containers werd per ras de gewenste bewaarconditie gerealiseerd. De bewaarcontainers zijn aangesloten op een automatisch meet- en regelsysteem voor zuurstof en koolzuurgas. Per pluktijdstip en per ras zijn twee herhalingen aangehouden. De zuurstofconditie bij het begin van de bewaring werd ingesteld d.m.v. stikstofinspuiting tot het zuurstofgehalte op de gewenste concentratie was. Het CO_2 gehalte werd gerealiseerd door inspuiting van koolzuurgas.
Elke maand is per ras een CO_2-produktiemeting uitgevoerd onder CA-condities waarbij herkomst, pluktijdstip en herhaling apart zijn gemeten. Bij aanvang van de bewaring is het produkt van het eerste oogsttijdstip gedurende ongeveer 30 dagen regelmatig gemeten om de aanvangspiek duidelijk te registreren.
Voor de ademhalingsmeting werd uit de bewaarcontainers een monster van 30 vruchten per experimentele eenheid genomen. Na de meting, welke 3 a 4 dagen in beslag nam, werden de vruchten weer in de containers teruggeplaatst.
De CO_2-produktiemeting is uitgevoerd in een doorstroomsysteem. In dit systeem wordt in kleine tanks (70 l) via menging van zuurstof, koolzuurgas en stikstof de gewenste CA-conditie per ras nauwkeurig gerealiseerd. De herkomsten, pluktijdstippen en herhalingen werden steeds op a-selecte wijze verdeeld over de 12 beschikbare vaten. Nadat gedurende 2 dagen via begassing de oorspronkelijke CA-conditie was gerealiseerd werd niet meer begast gedurende ongeveer 24 uur. In deze periode stijgt door de eigen ademhaling de CO_2 concentratie en daalt de zuurstofconcentratie. De maximale stijging van de CO_2 concentratie in de ophopingsperiode is 0.2-0.3%. Een dergelijke stijging heeft nauwelijks invloed op de ademhaling tijdens de ophopingsperiode.

Tabel 1 Overzicht van de gebruikte oogsttijdstippen, rassen, bewaartemperaturen en CA-condities voor het respiratieonderzoek.

Ras	Oogsttijdstip	Temperatuur	CA-condities
Appel:			
Elstar	8-9-92	1-2°C	2.5% CO_2 + 1.2% O_2
	20-9-92	idem	idem
Jonagold	23-9-92	1° C	4.5% CO_2 + 1.2% O_2
	5-10-92	idem	idem
Cox's O.P.	8-9-92	4°C	<1% CO_2 + 1.2% O_2
	20-9-92	idem	idem
Golden D.	28-9-92	1°C	4% CO_2 + 1.2% O_2
	8-10-92	idem	idem
Schone v.	15-9-92	4°C	<1% CO_2 + 1.2% O_2
Boskoop	27-9-92	idem	idem
Peer:			
Conference	1-9-92	-0.5°C	<0.7% CO_2 + 2.5% O_2
	13-9-92	idem	idem
Groente:			
Witte kool	november	0°C	4% CO_2 + 2.5% O_2
Spruitkool	december	0°C	5% CO_2 + 1% O_2

Aan het begin en aan het einde van deze periode werden nauwkeurige CO_2 metingen uitgevoerd. Uit de ophoping van CO_2 over deze geregistreerde tijdsperiode kan de produktie van koolzuurgas per kg.produkt/uur worden berekend. Het CO_2-gehalte is tot dusverre gemeten met een nauwkeurige ADC-analyser welke werkt volgens infrarood detectie.
Omdat de respiratiemetingen nog niet compleet zijn over het gehele bewaarseizoen is er nog geen statistische analyse uitgevoerd.

2.2. Kwaliteitsonderzoek

Om de invloed na te gaan van het DELAIR-systeem op de produktkwaliteit zijn vier identieke CA-cellen gevuld met Schone van Boskoop-appelen. Twee van deze cellen waren uitgerust met DELAIR-systeem, de andere met een traditioneel CA-systeem (kalkscrubber).
De betreffende CA-cellen worden gekoeld via een centraal koelsysteem m.b.v glycol. De netto inhoud bedraagt ongeveer 24 m^3 met een beladingsgraad van plusminus 4000 kg. De cellen zijn uitgerust met een automatisch meet-en regelsysteem voor zuurstof en koolzuur met een cyclustijd van ongeveer 60 minuten. Het systeem activeert bij een te hoog CO_2-gehalte de kalkscrubber ofwel de DELAIR-separator. Registratie van een eventueel te laag zuurstofgehalte wordt bij het DELAIR-systeem gevolgd door zuurstofsuppletie en bij het kalksysteem door buitenlucht toe te dienen. Bij het kalksysteem wordt geen actie uitgevoerd als het O_2 te hoog is, bij het DELAIR-syteem wordt alleen tijdens een scrubactie zuurstof verwijderd.
Als produkt is gekozen voor het appelras Schone van Boskoop omdat dit ras gevoelig is voor diverse kwaliteitsgebreken. Uitgegaan is van fruit afkomstig van 10 bedrijven om de benodigde variatie in produktkwaliteit te creëren. Geoogst werd op het optimale tijdstip voor lange bewaring, nl. van 14 t.e.m. 16 september. Per cel en per herkomst werden 6 kunststof kratten met een netto inhoud van 15 kg opgeslagen wat per cel 60 kisten proefmateriaal betekent. Deze proefkisten zijn aselect verdeeld in een blok in de cel waarbinnen geen grote (cel)klimaatsverschillen te verwachten zijn. De resterende ruimte in de cel is gevuld met appelen afkomstig van één herkomst met een goede bewaarkwaliteit.
In elke cel zijn ook twee respiratiekamers geplaatst gevuld met fruit van twee herkomsten. Via een pomp in de cel is continu cellucht door de respiratiekamer geleid. Via een stelsel van slangen en afsluiters zijn de kamers verbonden met de buitenkant van de cel met als bedoeling regelmatig de ethyleen- en koolzuurophoping te meten.
De cellen zijn gesloten op 27 september waarna het juiste bewaarklimaat is ingesteld. Bij de DELAIR-cellen gebeurde dit door de separator te gebruiken (tot 3% zuurstof). De "kalkcellen" werden tegelijkertijd met zuivere stikstof doorgeblazen om het juiste zuurstofgehalte in te stellen. Deze procedures namen enkele dagen in beslag.
Tijdens de bewaarfase werden wekelijks een aantal metingen aan de cellen verricht. Dit betreft ethyleen- en CO_2-produktie, ethyleenconcentratie in de cel en vochtafgifte. De ethyleen- en CO_2-produktie werd vastgesteld door de ophoping van beide componenten te meten in de respiratiekamers. De procedure was dat na een nauwkeurige startmeting de respiratiekamer afgesloten werd. In de ophopingsperiode was er nog wel interne luchtcirculatie in de respiratiekamer. Na 24 uur werden de exacte concentraties bepaald waarmee de produkties berekend kunnen worden. De ethyleenconcentratie in de cel werd tegelijkertijd gemeten.
De vochtafgifte van het produkt werd vastgesteld door het condenswater op te vangen van de warmtewisselaars per cel.

De eerste produktbeoordeling is uitgevoerd begin maart. De cellen werden tegelijkertijd geopend waarbij alle kratten van de proefpartijen direkt zijn gewogen om het gewichtsverlies nauwkeurig te registreren. Per herkomst werden 3 van de 6 kratten

gebruikt voor de produktbeoordeling. De resterende 3 zijn teruggeplaatst waarbij de ontbrekende kisten in het blok zijn vervangen door materiaal uit de vulpartij. Nog dezelfde dag zijn de cellen gesloten en wederom volgens de beschreven procedure op conditie gebracht.
De produktbeoordeling is uitgevoerd in 3 fasen nl. na 1 en 7 dagen 15°C en na een periode van 14 dagen bij 20°C. De lange periode bij kamertemperatuur is ingesteld om de ontwikkeling van scald te stimuleren. Op elk beoordelingstijdstip is beoordeeld op uit- en inwendige bewaarafwijkingen. Ook werden stevigheidsmetingen met de penetrometer uitgevoerd aan steeds 20 vruchten per experimentele eenheid. Aan dezelfde appelen werden met de Minolta reflectiemetingen uitgevoerd om de grondkleur van de vrucht te bepalen.
Ook tijdens de nabewaring in 15°C is de CO_2-produktie gemeten aan appelen van dezelfde herkomsten als bij de reguliere meting tijdens het bewaarproces.
De resultaten van de diverse metingen zijn in deze fase van het onderzoek nog niet statistisch getoetst. Dit betekent dat in deze rapportage geen definitieve uitspraken gedaan kunnen worden. Alleen bepaalde tendensen kunnen worden aangegeven.

2.3 Technisch onderzoek

Het technische gedeelte van dit onderzoek bestaat uit een vergelijking van de koelbelasting, energieverbruik en de stabiliteit van de opslagcondities met een convetioneel systeem zoals een kalk-scrubber.

Om de koelbelasting van het DELAIR-systeem en de kalk-scrubber te kunnen vergelijken is aan de in- en uitgangskant van de warmtewisselaar in elke cel de temperatuur T en de vochtigheid RV gemeten. Hiervoor zijn RV-sensoren en een data-taker aangeschaft. Met deze metingen kan de energie-inhoud (de enthalpie H) van de lucht gemeten worden (zie bijlage Enthalpie-berekeningen). Het verschil in enthalpie tussen de in- en uitgangskant van de warmtewisselaar is dan de totale koelbelasting van de cel.

De totale koelbelasting van de cel is de som van de volgende warmtebronnen:

1. warmte-ontwikkeling in het produkt t.g.v. ademhaling
2. instraling van buiten door de celwand
3. warmte-ontwikkeling t.g.v. de aanzuigventilator
4. warmte-ontwikkeling t.g.v. de conditioneringsapparatuur

ad. 1

Hier is binnen het fysiologisch onderzoek naar gekeken. Oorspronkelijk werd verondersteld dat deze voor de beide conditioneringsapparaten gelijk zou zijn. Dit wordt echter gelogenstraft door de metingen.

ad. 2

Deze is onafhankelijk van het gekozen systeem en wordt voor elke cel gelijk geacht. Er is vooralsnog geen reden om hiervan af te wijken.

Rapport DELAIR 3

ad. 3

Bij het DELAIR-separator is geen aanzuigventilator nodig, maar deze heeft wel gedraaid tijdens de proef. Bij de berekening moet hiervoor dus wel gecorrigeerd worden.

ad.4

Dit is de onbekende grootheid.

De oorspronkelijke opzet was om voor en na de warmtewisselaar *T* en *RV* te meten. Een *RV*-meting in het interessante *RV*-gebied (boven de 90%) is echter zo onnauwkeurig dat de te verwachten fout in de meting groter is dan het verschil in *RV* tussen de in- en uitgang van de warmtewisselaar. Het resultaat is dat de fout in het berekende enthalpie-verschil van de orde van grootte van het enthalpie-verschil zelf is. Deze methode is dan ook onbetrouwbaar. Daarom is gekozen voor een andere benadering.
Gedurende de hele proef is gemeten hoeveel vocht de warmtewisselaar heeft afgegeven. In combinatie met de ingestelde flow door de warmtewisselaar is uit te rekenen hoe groot de afname is van de absolute luchtvochtigheid X van de luchtstroom door de warmtewisselaar is. Op basis van *T* en dX (de afname van X) is dan δH (de afname van *H*) uit te rekenen.

Om de stabiliteit van de opslagcondities te bepalen zijn voor de vier cellen achter elkaar de CO_2- en O_2-concentraties gemeten. Hiervoor is een data-taker aangeschaft. Deze meting is geschikt voor een kwalitatieve meting. Voor een goede kwantitative meting is de ijking een probleem. Een extra moeilijkheid is dat de gasmetingen temperatuurafhankelijk zijn. Omdat de meetapparatuur niet in een geconditioneerde ruimte staat kunnen metingen in de tijd een niet-constante afwijking vertonen. Bovendien heeft de apparatuur een lange stabiliseringstijd nodig. Als op een andere cel wordt overgegaan is het gas in de slangen en het apparaat niet gelijk aan het gas in de nieuwe meet-cel.

Een temperatuurmeting in het midden van het produkt moet aangeven in hoeverre eenzelfde temperatuur wordt gerealiseerd in de vier cellen. Dit is gedurende een week gemeten.

Het energieverbruik van het DELAIR-systeem is gemeten m.b.v. een kWh-meter in combinatie met het aantal draaiuren gedurende de hele periode.

3.0 Resultaten

3.1 Resultaten respiratieonderzoek

De resultaten voor het fruit zijn weergegeven in de figuren 1 t.e.m. 12, waarbij de figuren 1 t.e.m. 6 de respiratie per ras/herkomst van de optimale pluk gedurende de eerste maand weergeven. In de grafieken 7 t.e.m. 12 zijn de gemiddelden per pluktijd van het seizoen 1993-1994 weergegeven in combinatie met de gemiddelden van het seizoen 1992-1993.
Per ras kan een indicatie worden gegeven van de CO_2-produktie waarbij ook de seizoensinvloed betrokken kan worden.

Schone van Boskoop (Fig. 1 en 7) De CO_2-produktie van het optimale oogsttijdstip was tijdens de eerste 14 dagen duidelijk hoger dan de verdere periode waarbij één herkomst duidelijke meer produceerde. Het patroon tijdens het verdere bewaarseizoen vertoont een groot verschil tussen de appelen van de twee pluktijdstippen. Appelen van de tweede oogst produceren globaal 50% meer CO_2. Gemiddeld is tevens de respiratie duidelijk hoger dan in het vorige seizoen.
Cox's Orange Pippin (Fig. 3 en 9) Voor Cox's appelen werd alleen een duidelijke piekwaarde geconstateerd na 3 dagen bewaring echter daarna wordt het patroon weer normaal. Verschillen tussen appelen van de diverse herkomsten en van eerste en tweede pluk lijken niet aanwezig. Ook is er tijdens de eerste 3 maanden van de bewaring geen verschil met het vorige seizoen echter daarna is wel sprake van een hogere produktie.
Elstar (Fig. 4 en 10) De vroeg geplukte appelen produceren tijdens de eerste 14 dagen meer CO_2 waarbij vooral de eerste meting na 3 dagen hoger is. Per herkomst zijn er geen verschillen tijdens deze periode. Gemiddeld is de produktie iets hoger dan vorig seizoen waarbij het pluktijdstip geen invloed lijkt te hebben op het ademhalingsgedrag.
Jonagold (Fig. 5 en 11) Tijdens de beginperiode en de verdere bewaarperiode vertonen de appelen een duidelijk overeenkomstig gedrag. Geen piekproduktie bij aanvang, geen verschillen tussen herkomsten en pluktijdstip en ook weinig verschil ten opzichte van het vorige seizoen.
Golden Delicious (Fig. 6 en 12) Een duidelijke piek bij de eerste meting en daarna een normaal beeld is het patroon bij dit ras. Er lijken geen verschillen te bestaan tussen de herkomsten en het plukmoment. Wel is de gemiddelde produktie iets hoger dan in het vorige seizoen.
Conference-peren (Fig. 2 en 8) Bij dit pereras is tijdens de beginfase een iets verhoogde produktie van CO_2 gemeten, verschillen tussen de herkomsten zijn nihil. Ook lijkt er geen verschil te bestaan met het patroon van het vorige seizoen.
Witte kool en Spruitkool (Fig 13) Tussen beide koolsoorten blijkt een groot verschil in CO_2-produktie te bestaan. De produktie van spruiten aan de stam blijkt veel hoger te zijn dan die van wittekool.

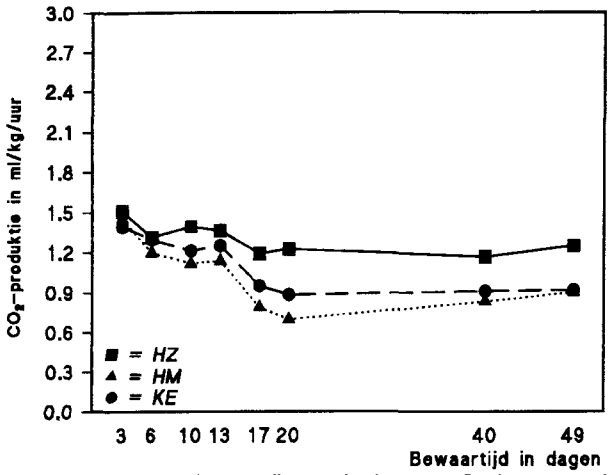


Fig. 1. CO_2-produktie van diverse herkomsten Boskoop-appelen, tijdens de beginfase van bewaring in 0.7% CO_2 en 1.2% O_2.

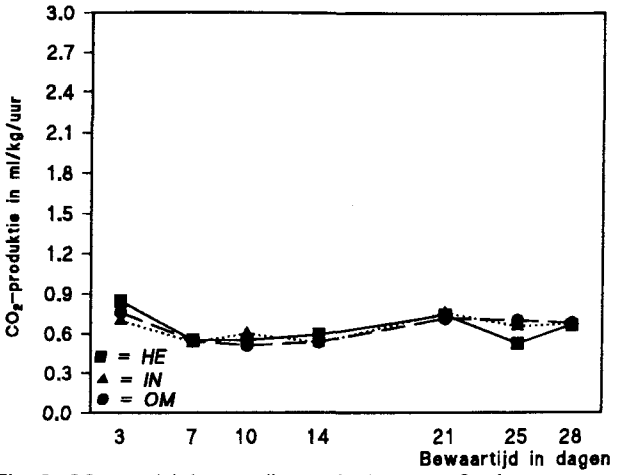


Fig. 2. CO_2-produktie van diverse herkomsten Conference-peren, tijdens de beginfase van bewaring in 0.7% CO_2 en 2.0% O_2.

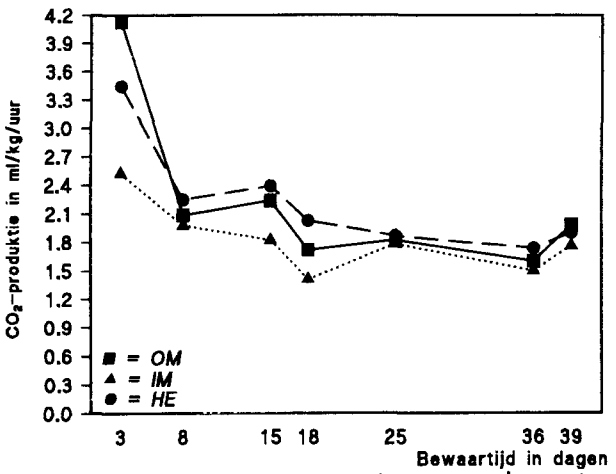


Fig. 3. CO_2-produktie van diverse herkomsten Cox's-appelen tijdens de beginfase van bewaring in 0.7% CO_2 en 1.2% O_2.

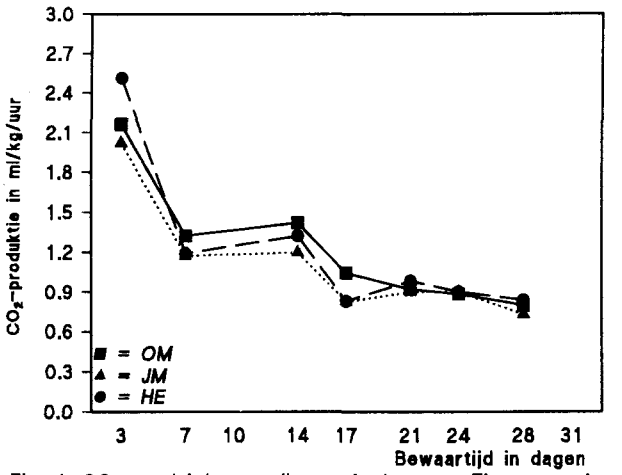


Fig. 4. CO_2-produktie van diverse herkomsten Elstar-appelen, tijdens de beginfase van bewaring in 2.5% CO_2 en 1.2% O_2.

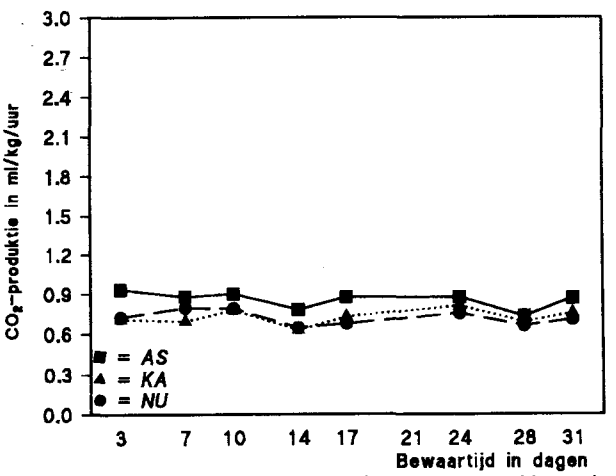


Fig. 5. CO_2-produktie van diverse herkomsten Jonagold appelen, tijdens de beginfase van bewaring in 4.5% CO_2 en 1.2% O_2.

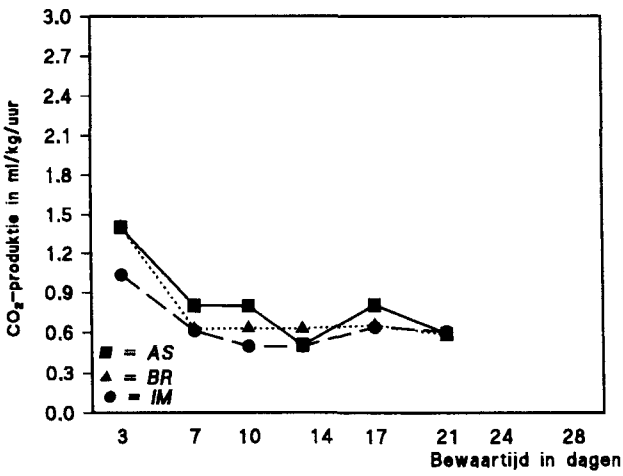


Fig. 6. CO_2-produktie van diverse herkomsten Golden D.-appelen, tijdens de beginfase van bewaring in 4% CO_2 en 1.2% O_2.

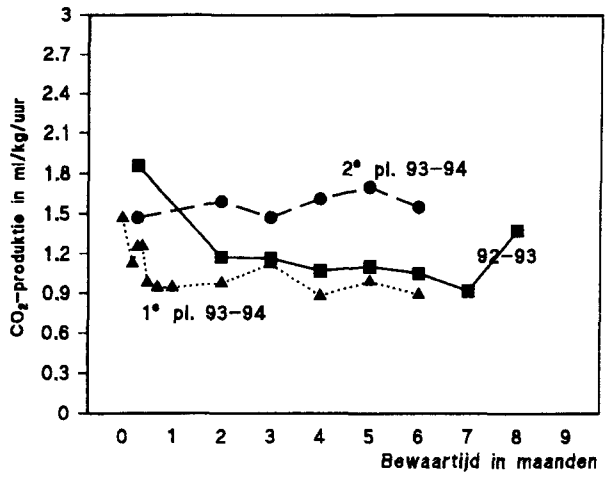


Fig. 7. Gemiddelde CO_2-produktie per maand van Schone van Boskoop appelen, bewaard in 0.7% CO_2 en 1.2% O_2.

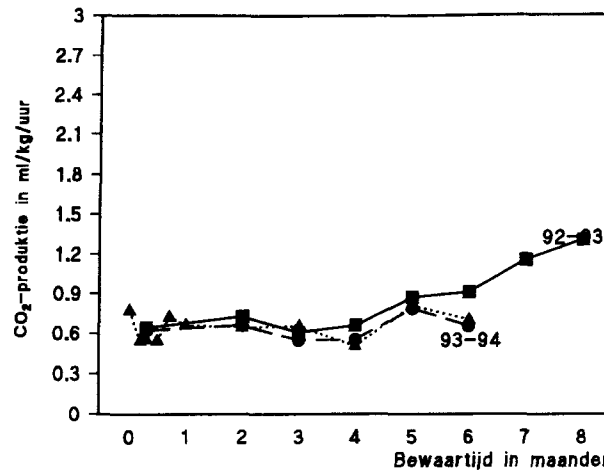


Fig. 8. Gemiddelde CO_2-produktie per maand van Conference peren, bewaard in 0.5% CO_2 en 2.0% O_2.

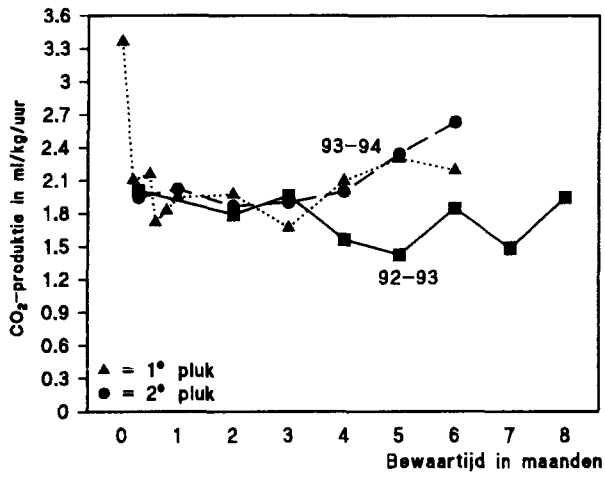


Fig. 9. Gemiddelde CO_2-produktie per maand van Cox's Orange Pippin appelen, bewaard in 0.7% CO_2 en 1.2% O_2.

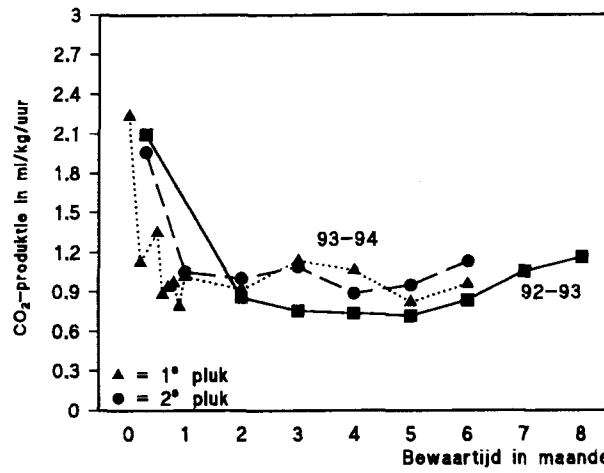


Fig. 10. Gemiddelde CO_2-produktie per maand van Elstar appelen, bewaard in 2% CO_2 en 1.2% O_2.

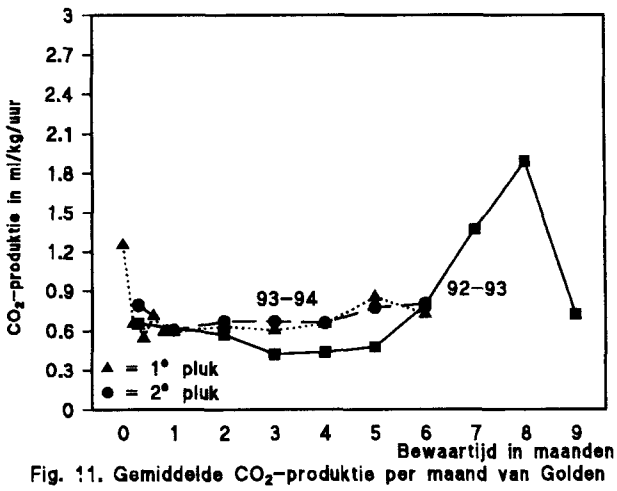


Fig. 11. Gemiddelde CO_2-produktie per maand van Golden Delicious appelen, bewaard in 4.0% CO_2 en 1.2% O_2.

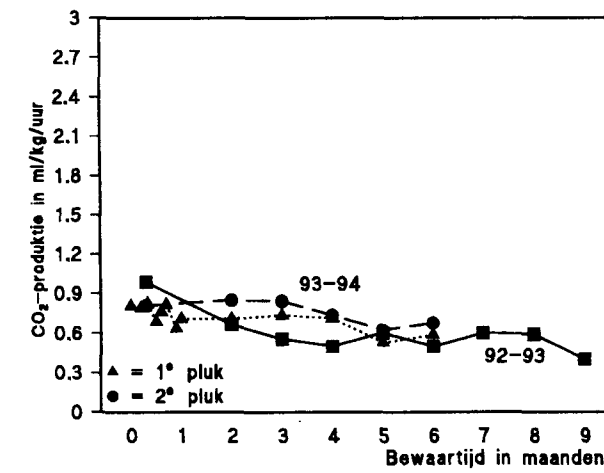


Fig. 12. Gemiddelde CO_2-produktie per maand van Jonagold appelen, bewaard in 4.5% CO_2 en 1.2% O_2.

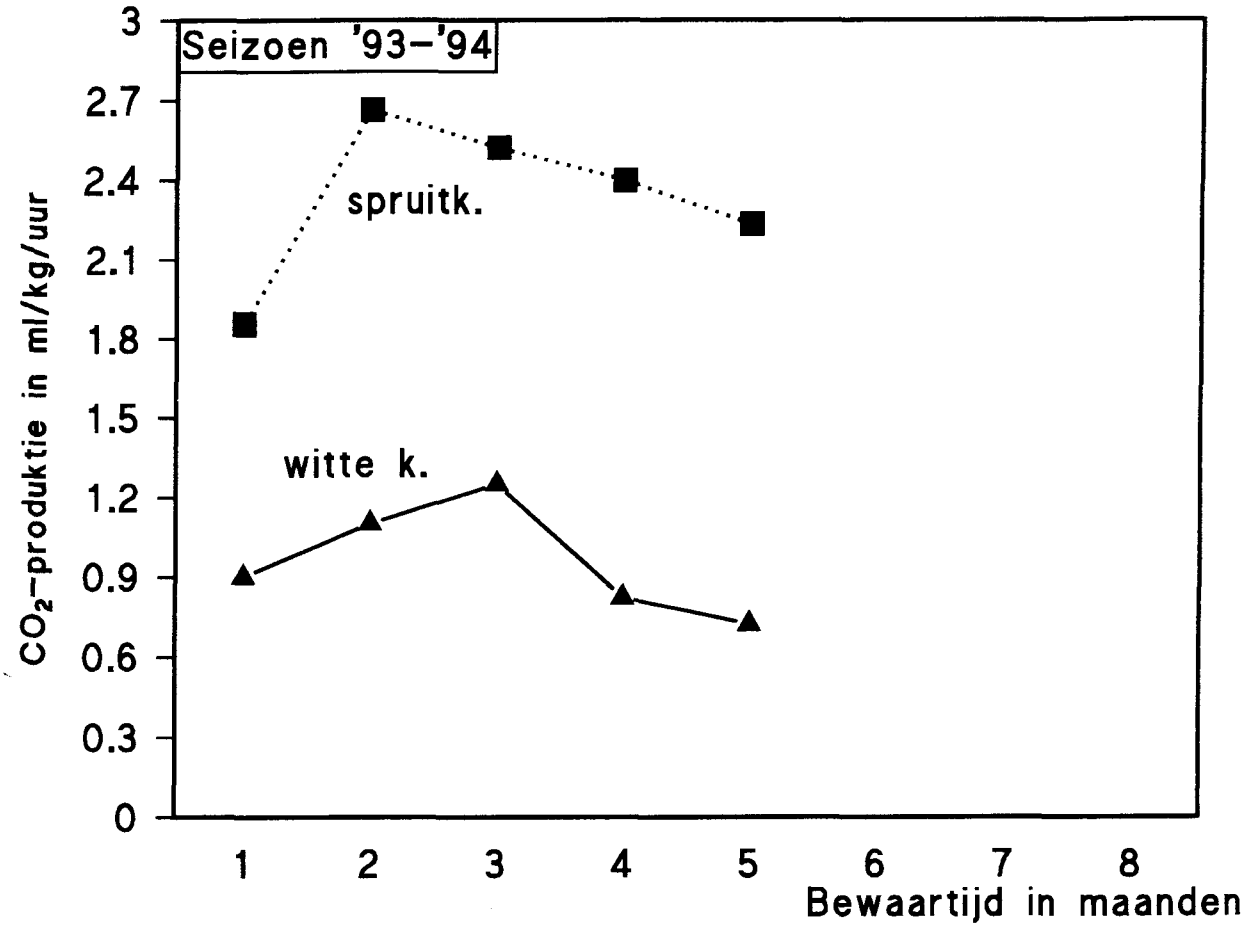


Fig. 13. Gemiddelde CO_2-produktie per maand van spruitkool en witte kool.

3.2 Resultaten Kwaliteitsonderzoek

Op hoofdlijnen kunnen de resultaten onderscheiden worden in de metingen tijdens de bewaarfase (fig 14 t.e.m. 24) en de resultaten van de kwaliteitsbeoordeling (Fig 25 t.e.m. 31).

3.2.1 Resultaten celklimaat

Het zuurstofgehalte in de DELAIR cellen (Fig 14) is gemiddeld wat hoger geweest dan de streefwaarde van 1.2%. De belangrijkste reden hiervoor is dat een aantal keren tijdens het bewaarseizoen de apparatuur in storing is gevallen. Als de apparatuur niet werkt loopt heel langzaam het zuurstofgehalte iets op. Dit is gebeurd in resp. week 47, 50, 2 en 4. De storingen betroffen een defecte relaisschakeling, een gesprongen flowmeter en een verstopt filter waarbij voor de zekerheid ook de modules zijn vervangen. In de kalkcellen (Fig 15) zijn ook storingen geweest in de vorm van lekdichtheidsproblemen in week 44-47 en in week 7-9.
Voor alle cellen had dit tot gevolg dat de gemiddelde zuurstofconcentratie ongeveer 1.4% bedroeg.
Het gemiddelde CO_2-gehalte in de cellen (Fig 16 en 17) is bij beide systemen ook niet geheel gelijk geweest aan de streefwaarde van 0.7%. Bij de DELAIR cellen hadden de reeds genoemde storingen ook invloed op het CO_2-gehalte met name in week 2. Tevens is bij aanvang, in week 41 en 42, het CO_2-gehalte ook te hoog geweest als gevolg van een open verbinding in het systeem. Bij de traditionele cellen was het moeilijk om de streefwaarde volledig te halen i.v.m. capaciteitsproblemen van de scrubber.
De bewaartemperaturen van de cellen zijn volgens de streefwaarde gehandhaafd (4.5°).

Het vochtverlies van de cellen gedurende de bewaarperiode vertoonde in alle cellen een overeenkomstig patroon. Vanaf de start een wekelijkse daling tot week 50 en daarna een stabilisering. Het verlies in de DELAIR-cellen is consequent op een lager niveau dan in de traditionele cellen.

Het ethyleenniveau (Fig 18) in de cellen van beide systemen is gemiddeld per systeem weergegeven omdat de verschillen tussen de herhalingscellen gering waren. Opvallend is het grote verschil in ethyleenniveau in beide systemen. In de DELAIR-cellen blijft dit tijdens de bewaarperiode op ongeveer 40 µl/l gehandhaafd, in de kalkcellen is sprake van een consequente ophoping tot 1000 µl/l in februari. De ethyleenproduktie (Fig 23 en 24) gemeten in de kalkcellen geeft een behoorlijke variatie te zien. Dit is het gevolg van de hoge ethyleenconcentratie waarbij ophoping moeilijker te meten is. Wel is duidelijk dat de produktie in de kalkcellen wat hoger is dan in de DELAIR-cellen.

De metingen omtrent koolzuurproduktie (Fig. 21 en 22) in de cellen via de respiratiekamers zijn technisch goed verlopen. Alleen de meting in week 46 is waarschijnlijk niet correct omdat in alle cellen het niveau te laag is. In het algemeen is het produktieniveau vergelijkbaar met de Schone van Boskoop-appelen in het respiratieonderzoek (vroege pluk).

Een tendens is dat de CO_2-produktie in de kalkcellen consequent op een iets lager niveau ligt dan de DELAIR cellen. Dit resultaat wordt nog verder ondersteunt door de meting van de ademhaling tijdens de nabewaring (Tabel 2). Produkt uit de DELAIR-cellen had in normale luchtomstandigheden ook een iets hogere respiratiesnelheid.

Tabel 2. Gemiddelde CO_2-produktie van 2 herkomsten Schone van Boskoop-appelen uit separator- en kalkcellen na 4 dagen 15°C.

Object	Cel	$C0_2$-prod. ml/kg/h	C_2H_4-prod. µ/kg/h
Separator	31a	9.09	116.6
	32a	9.87	102.3
Kalk	31b	8.49	115.4
	32b	8.88	121.7

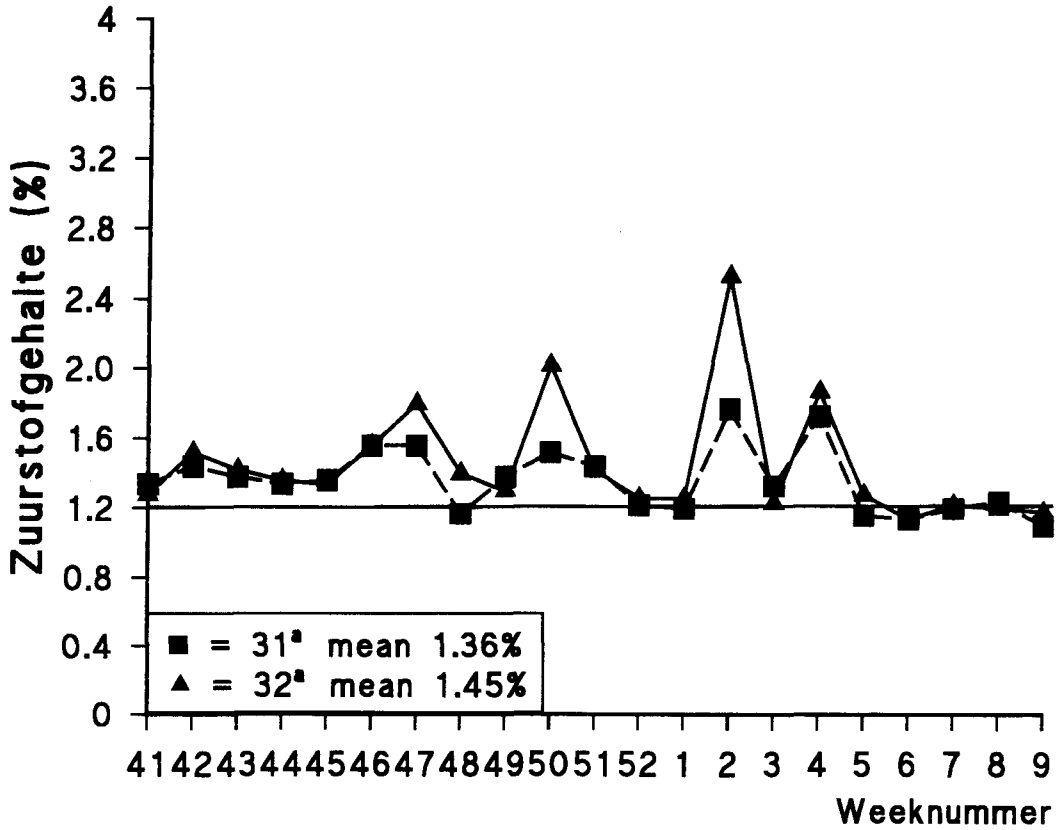


Fig. 14. Gemiddelde zuurstofconcentratie van DELAIR-cellen per week.

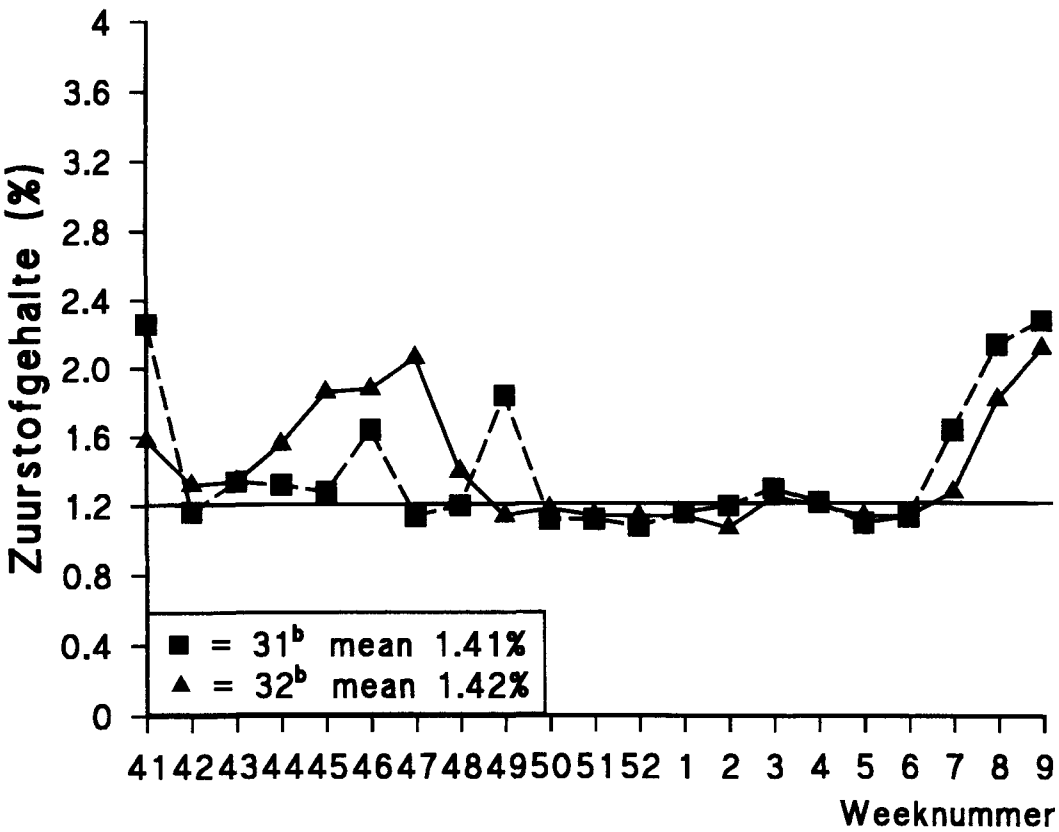


Fig. 15. Gemiddelde zuurstofconcentratie van trad.-cellen per week.

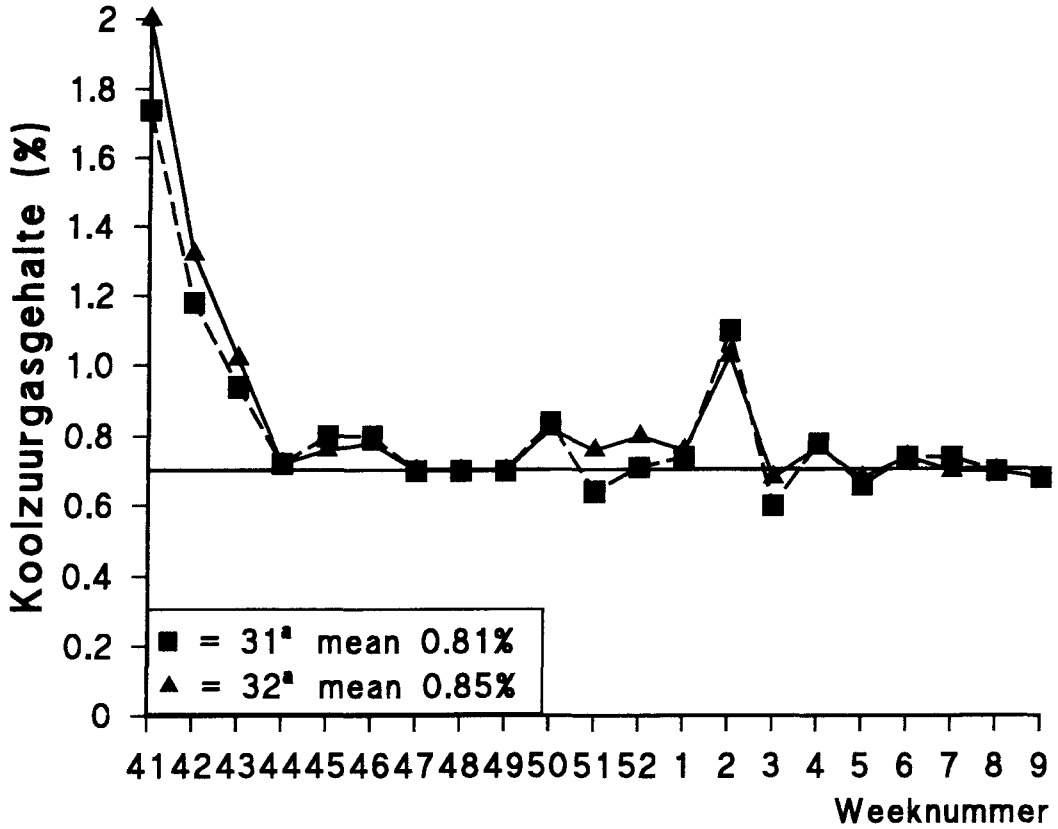


Fig. 16. Gemiddelde CO_2-concentratie van DELAIR-cellen per week.

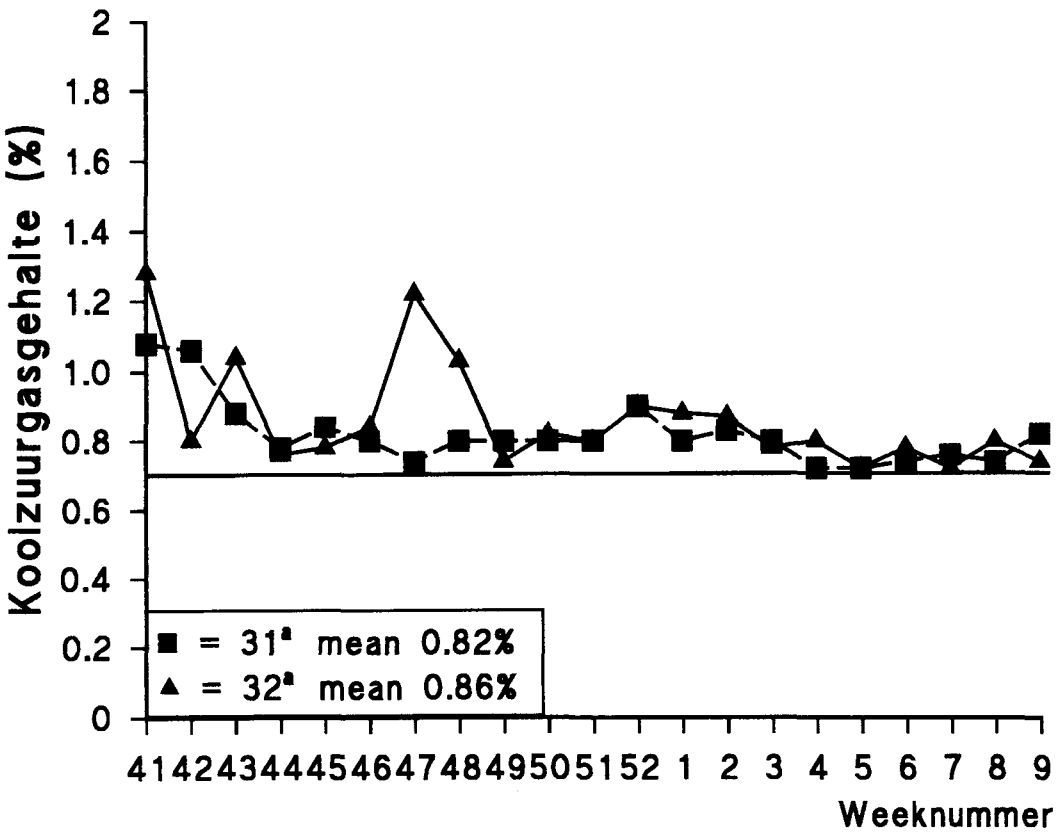


Fig. 17. Gemiddelde CO_2-concentratie van trad.-cellen per week.

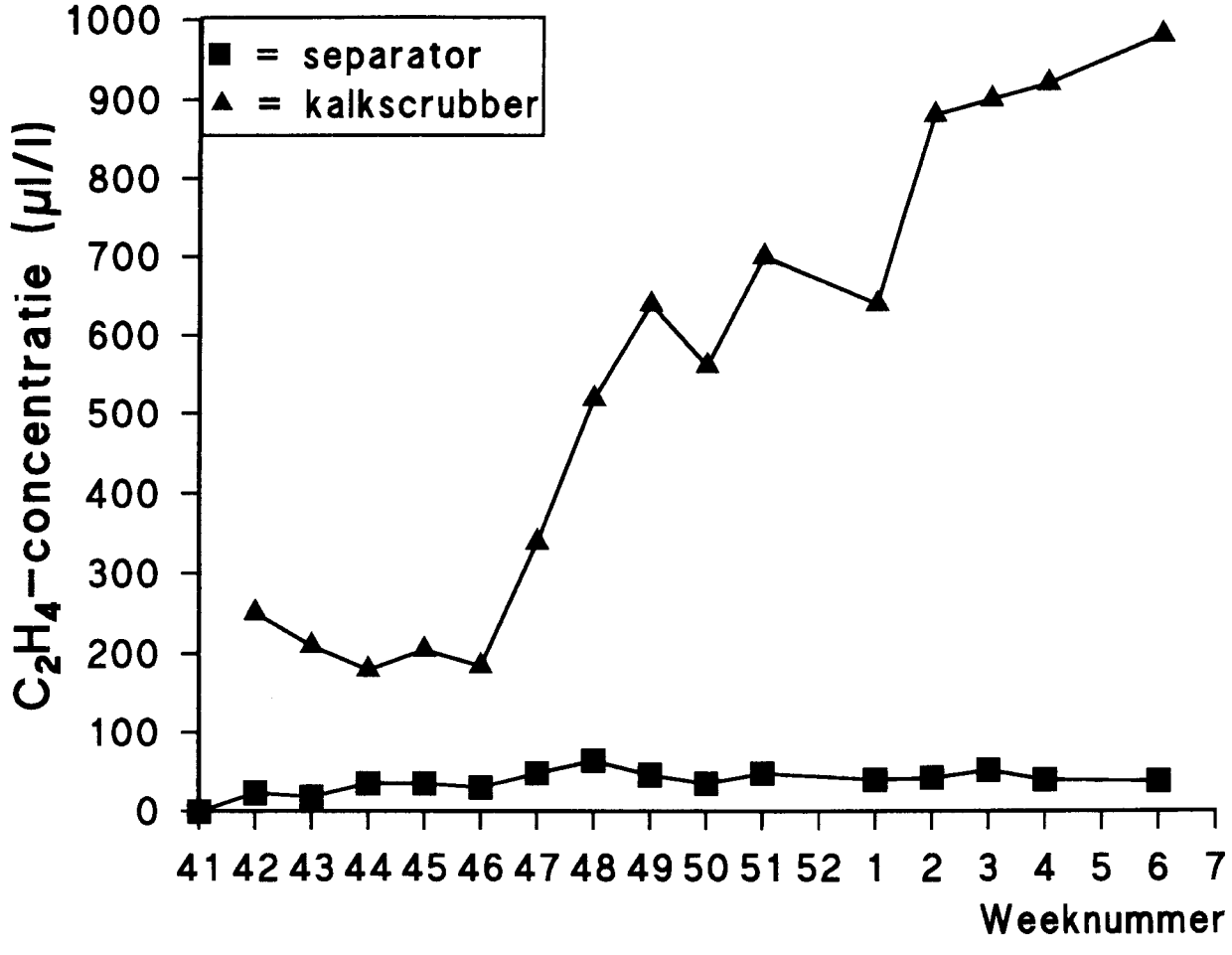


Fig. 18. Gemiddelde ethyleenconcentraties in CA-cellen per wee

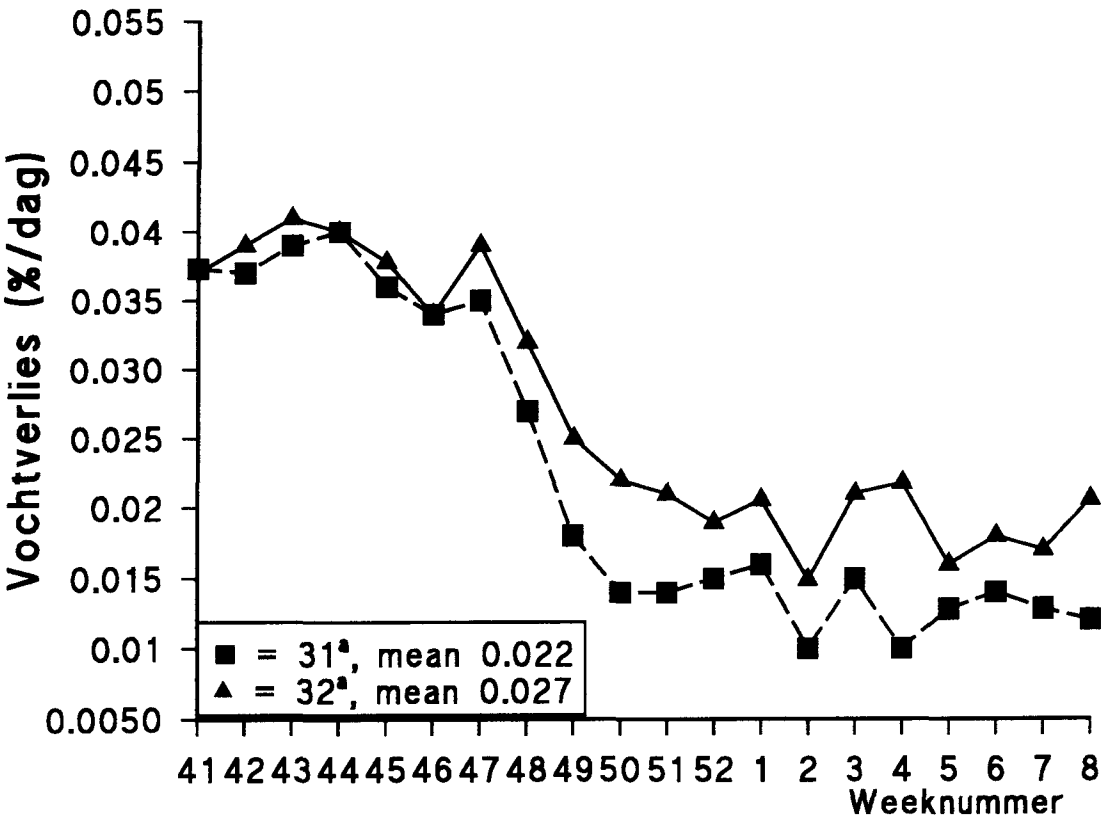


Fig. 19. Vochtverliezen van DELAIR cellen per week.

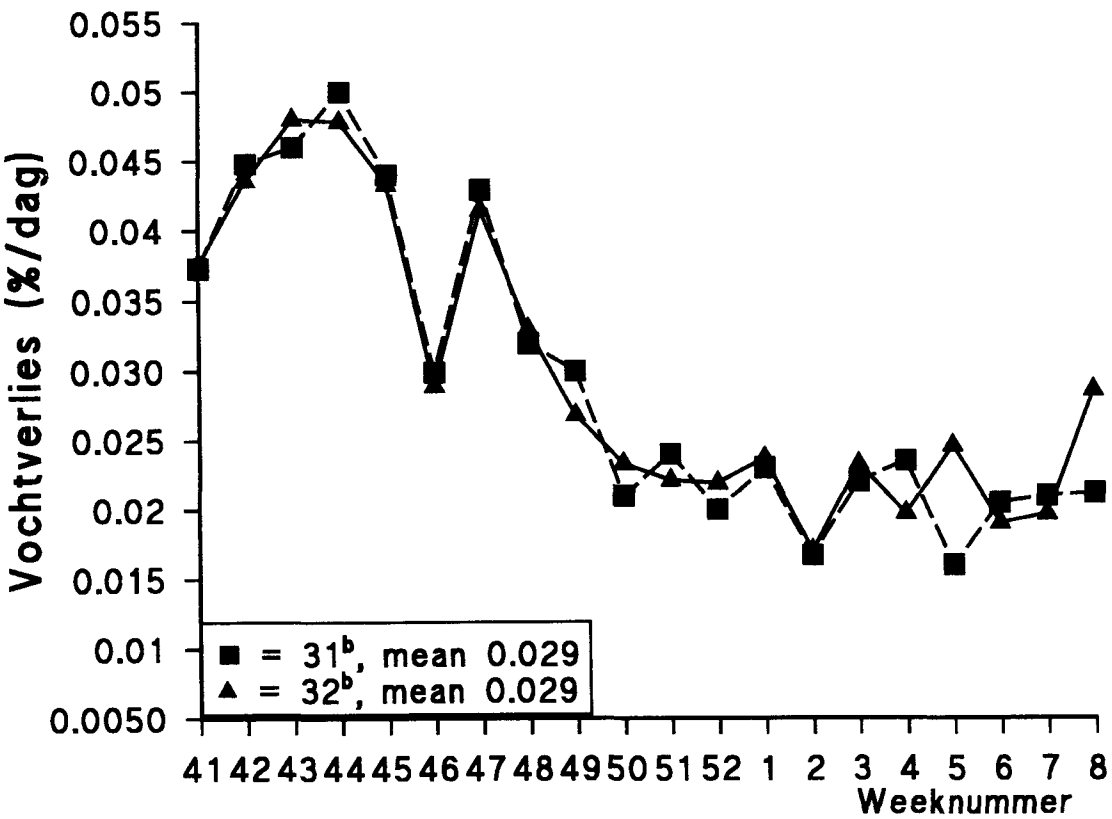


Fig. 20. Vochtverliezen van kalk-cellen per week.

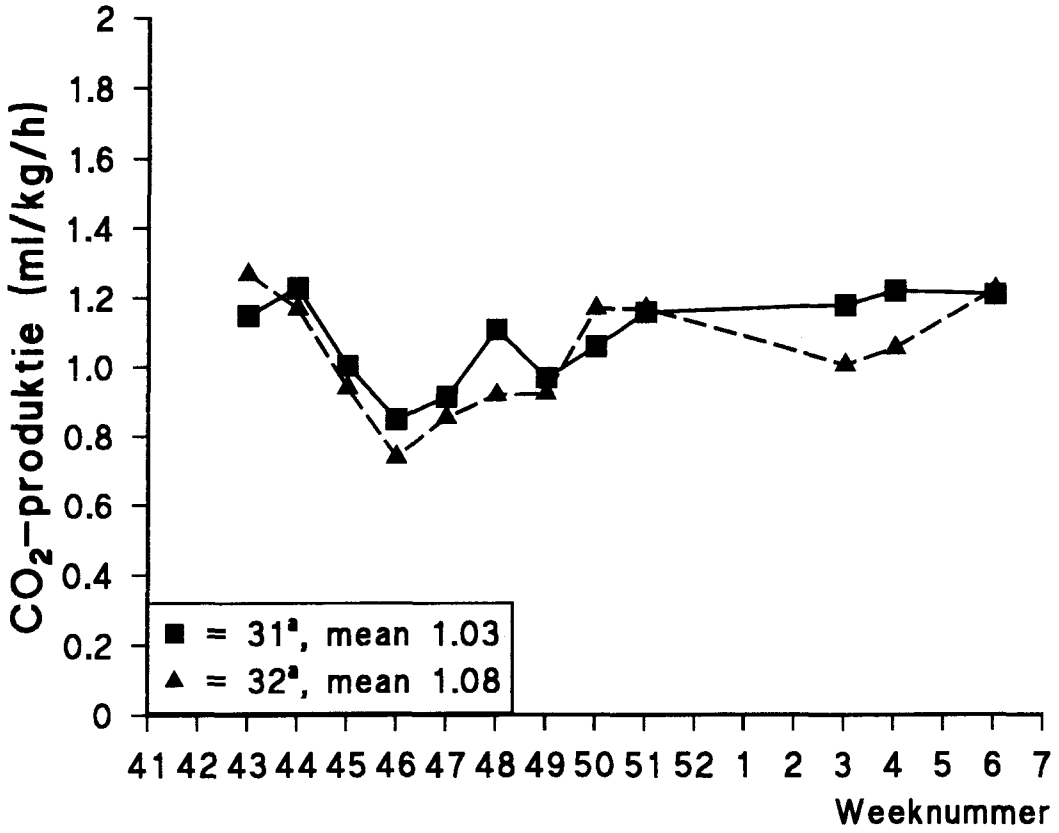


Fig. 21. Gemiddelde CO_2-produktie in DELAIR-cellen per week.

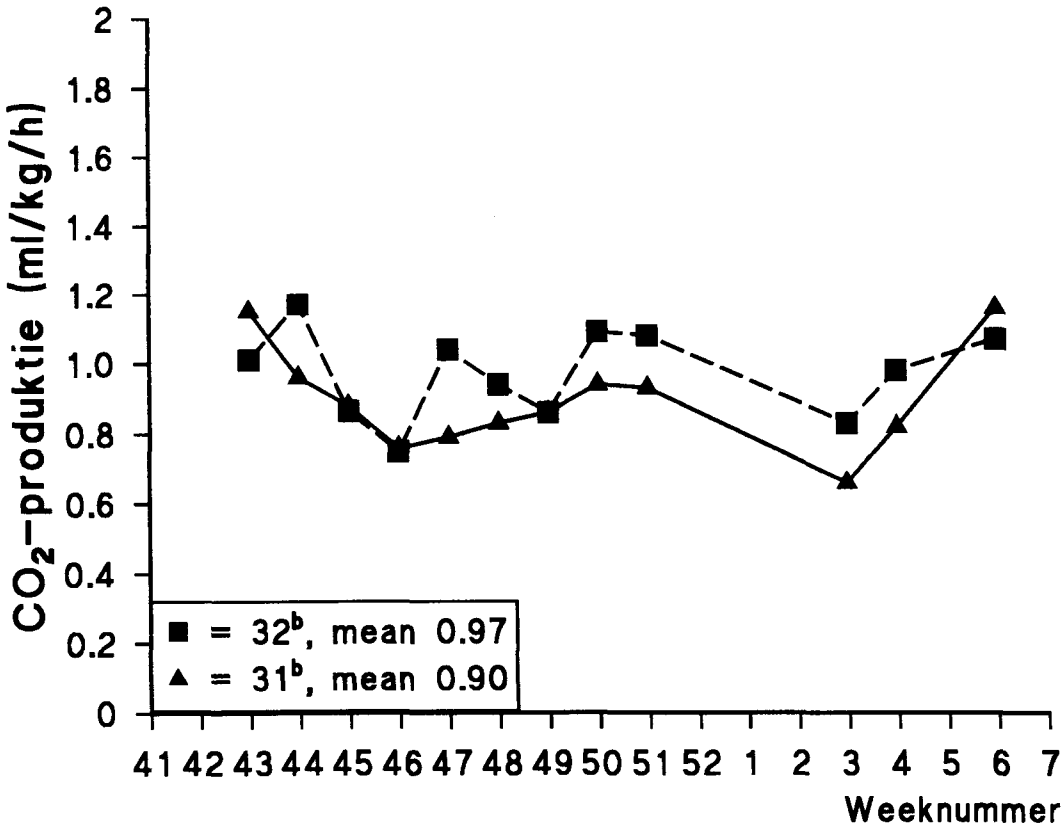


Fig. 22. Gemiddelde CO_2-produktie in trad.-cellen per week.

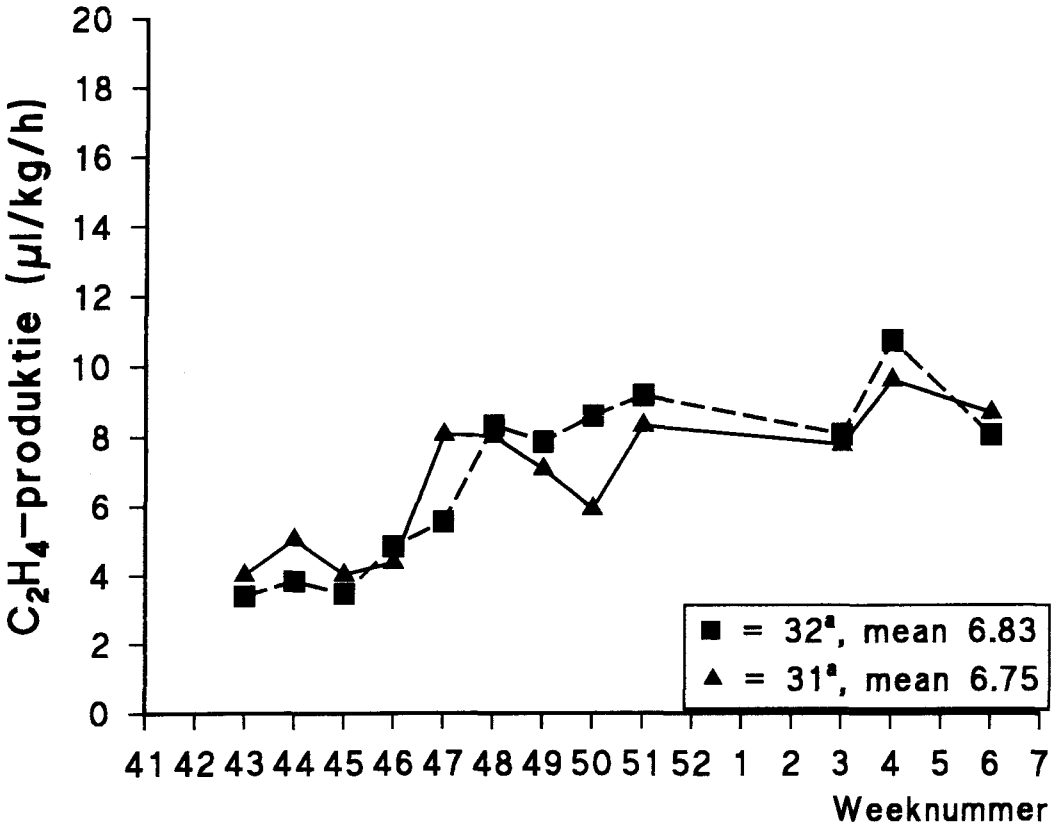


Fig. 23. Gemiddelde ethyleenproduktie in DELAIR-cellen per week.

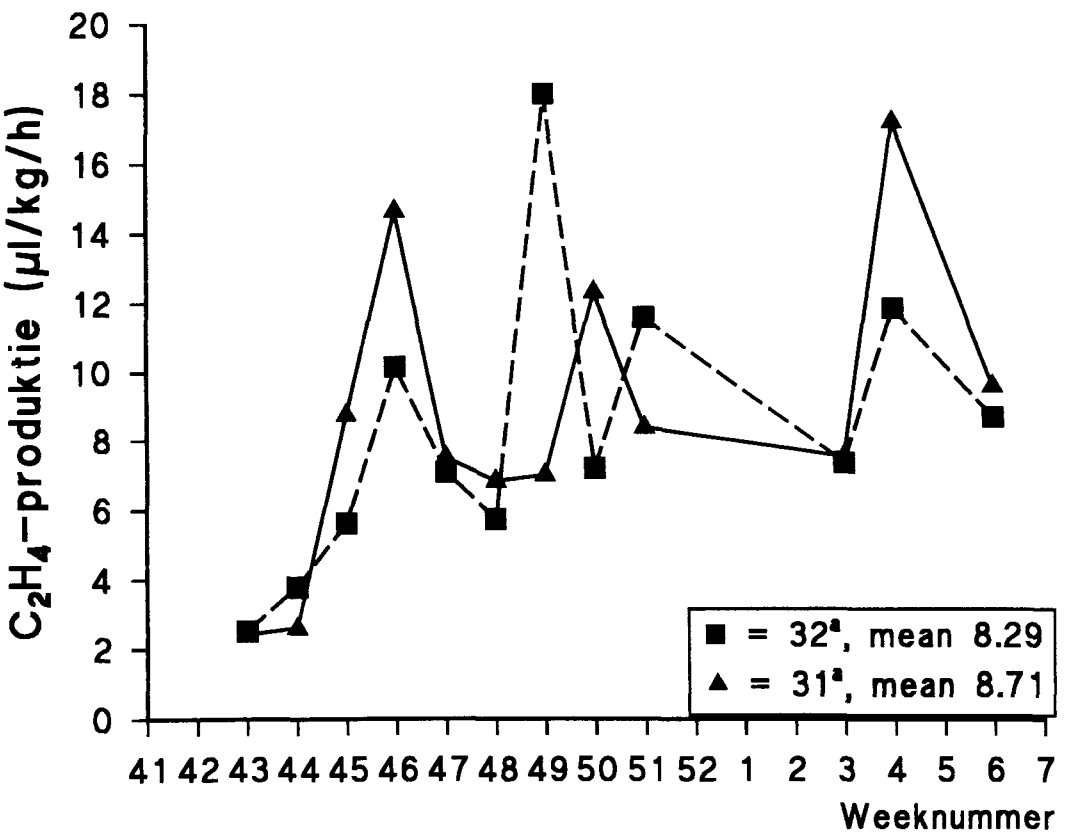


Fig. 24. Gemiddelde ethyleenproduktie in kalkcellen per week.

3.2.2. Resultaten produktkwaliteit.

Gewichtsverliezen (Fig. 25) De gewichtsverliezen van alle cellen gemiddeld bedragen ongeveer 4%. Er is een tendens dat de gewichtsverliezen in de DELAIR cellen iets lager zijn dan in de traditionele cellen. Het totale gewichtsverlies is een combinatie van vochtverlies en koolstofverlies door de ademhaling. Het berekende aandeel van de transpiratie is in de DELAIR-cellen 3.0%, in de kalkcellen is dit 3.5%. Per maand is dit respectievelijk 0.6 en 0.7%.
Hardheidsmetingen (Fig. 26) Ten opzichte van de inzet is de stevigheid van de appelen met ongeveer 35% gedaald, wat per maand ongeveer 0.63 kg is. In het algemeen daalt de stevigheid tijdens de nabewaring, echter niet in de mate welke eventueel verwacht kon worden. Bij de appelen uit cel 32a is dit niet consequent omdat de stevigheidswaarde na 1 week 15°C hoger is dan direkt na bewaring. Echter het verschil is binnen de range van de standaarddeviatie.
Een tendens is dat direkt na bewaring de stevigheid van appelen bewaard in DELAIR cel 32a wat lager is. Aan het einde van de shelflife periode zijn de eventuele verschillen genivelleerd.
Grondkleur (Fig 31) Bij de meting van de kleur a-waarde betekent een afname gelere appelen. Tijdens de shelflife periode is dit alleen niet het geval in cel 31b. Mede om deze reden lijken de appelen in de DELAIR-cellen wat groener te blijven tijdens bewaring. Na de totale nabewaarperiode zijn de verschillen niet meer detecteerbaar.
Rot (Fig. 27) Opvallend in de figuur is dat na 1 week 15° het percentage rot duidelijk lager is dan direkt na bewaring en na 14 dagen 20°C. Een uitzondering vormt cel 32a waarbij door waarschijnlijk toeval bij een drietal herkomsten meer rot voorkomt. Direkt na bewaring lijkt het percentage rotte vruchten in de DELAIR-cellen wat lager dan in de kalkcellen. Na 14 dagen in 20°C zijn de verschillen genivelleerd.
Scald. Een voor het onderzoek zeer belangrijke andere uitwendige afwijking nl. scald is niet geconstateerd. Direkt na bewaring en na 1 week nabewaring was er geen enkele vrucht die dit verschijnsel vertoonde. Vandaar dat de appelen additioneel nog 14 dagen in 20°C zijn bewaard wat afwijkt van het oorspronkelijke proefschema.
Klokhuisbruin (Fig. 28) Het percentage klokhuisbruin was direkt na bewaring heel laag maar nam na de shelflife-periode fors toe tot globaal 15%. Substantiële verschillen tussen cellen en de beide bewaarsystemen zijn niet waarneembaar.
Inwendig stip (Fig. 29) De hoeveelheid stip die optrad direkt na bewaring was laag met weinig verschillen.
Vruchtvleesbruin (Fig 30) Het gemiddelde percentage vruchtvleesbruin ligt direkt na bewaring al op hoog niveau (± 15 %). In het algemeen is er geen sprake van een toename tijdens de shelflifeperiode. Het verschijnsel treedt vooral op bij een drietal herkomstem waardoor misschien de wat grotere fluctuatie per cel te verklaren is. Er kan alleen geconstateerd worden dat in de DELAIR-cellen de aantasting iets lager lijkt te zijn.

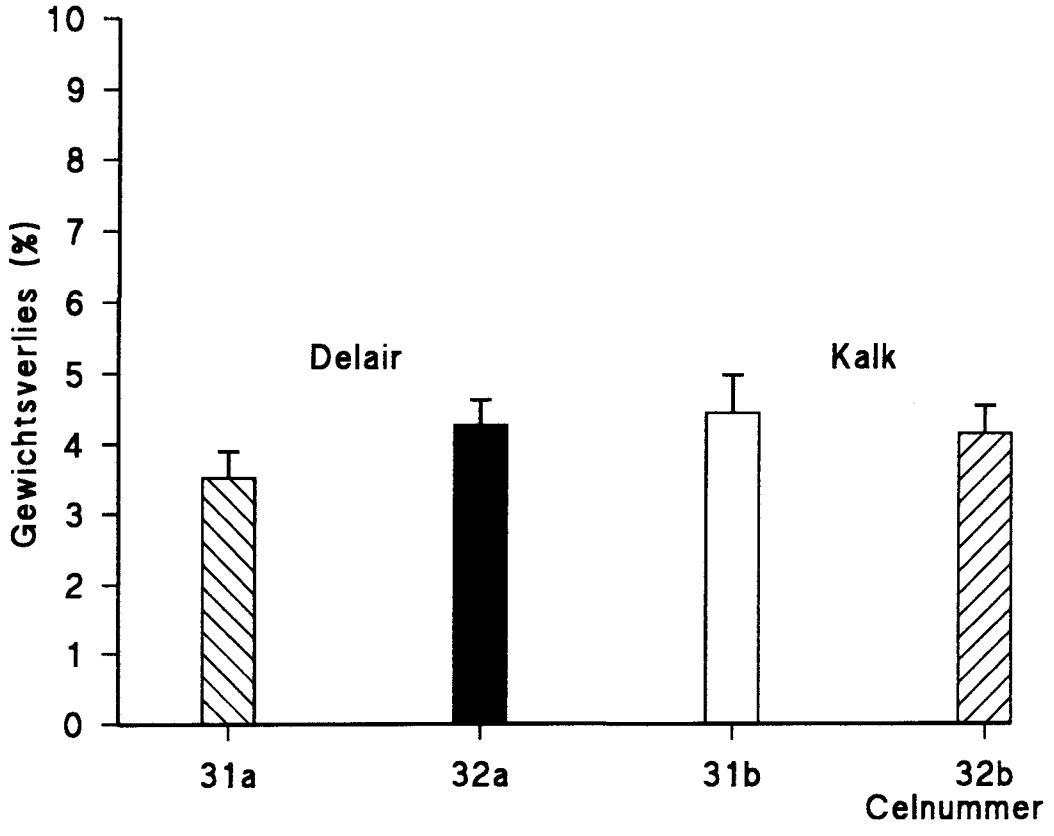


Fig. 25. Gewichtsverliezen per cel bij beoordeling in maart.

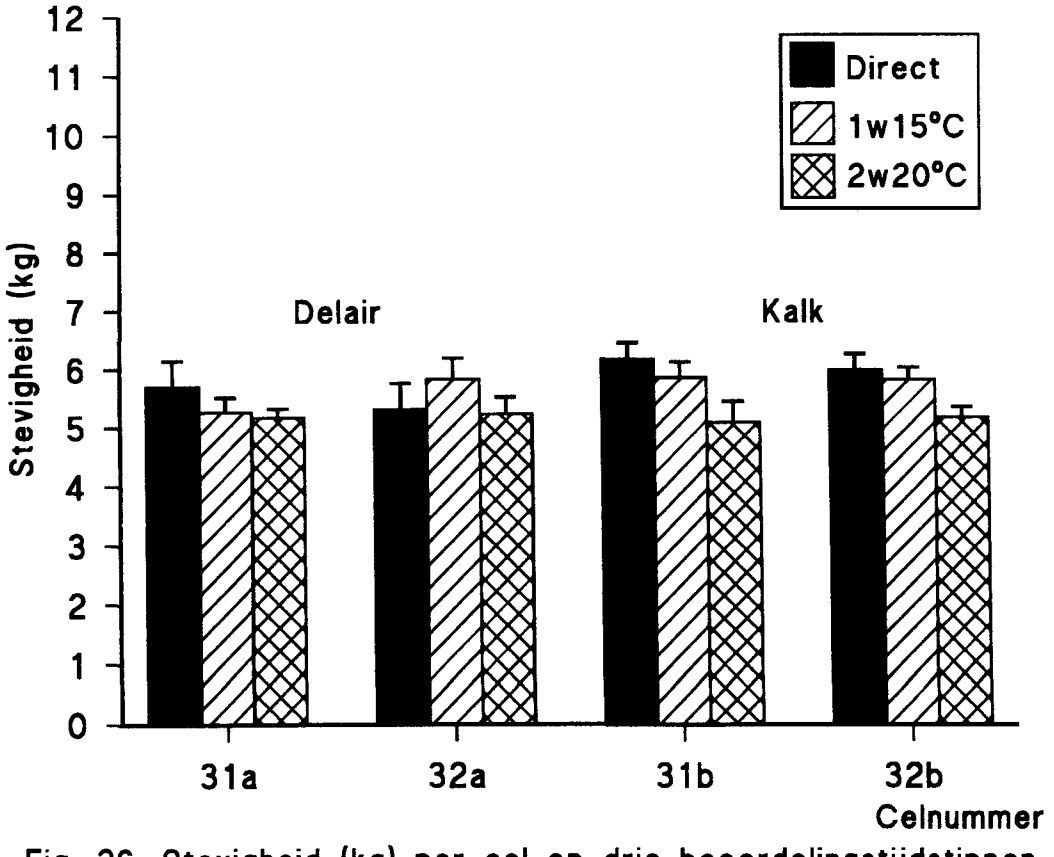


Fig. 26. Stevigheid (kg) per cel op drie beoordelingstijdstippen.

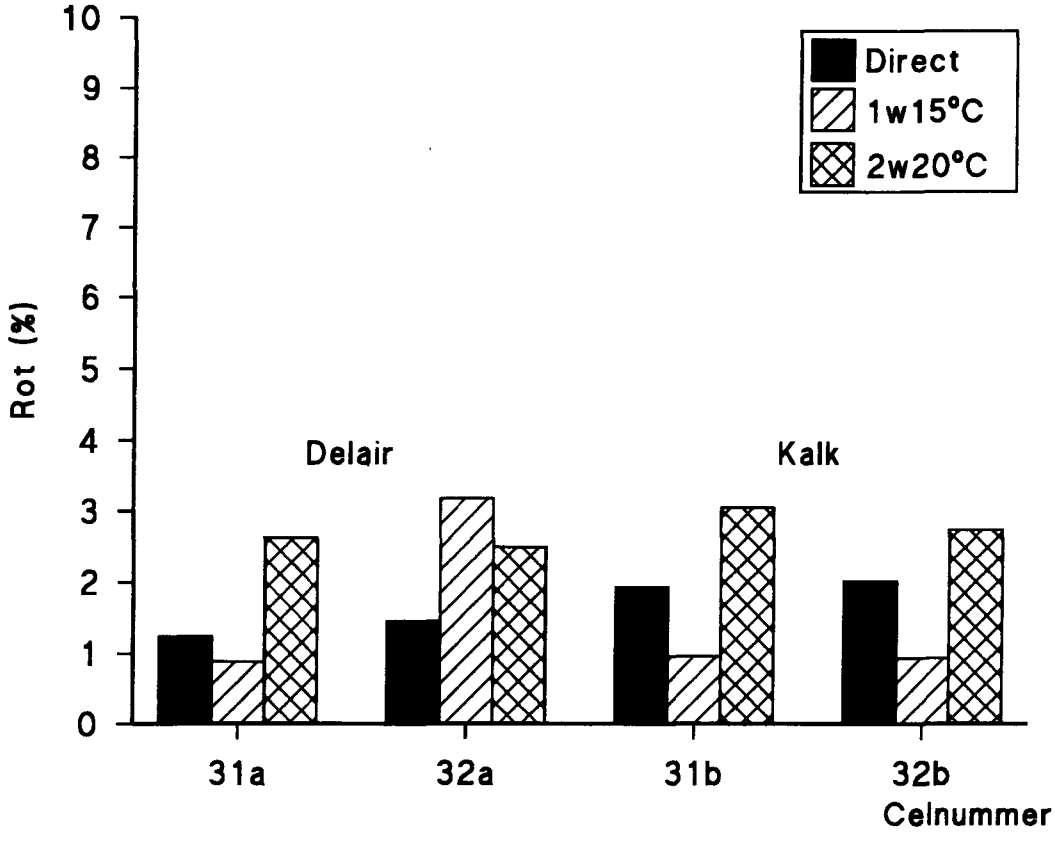


Fig. 27. Het percentage rot per cel op drie beoordelingstijdstippen.

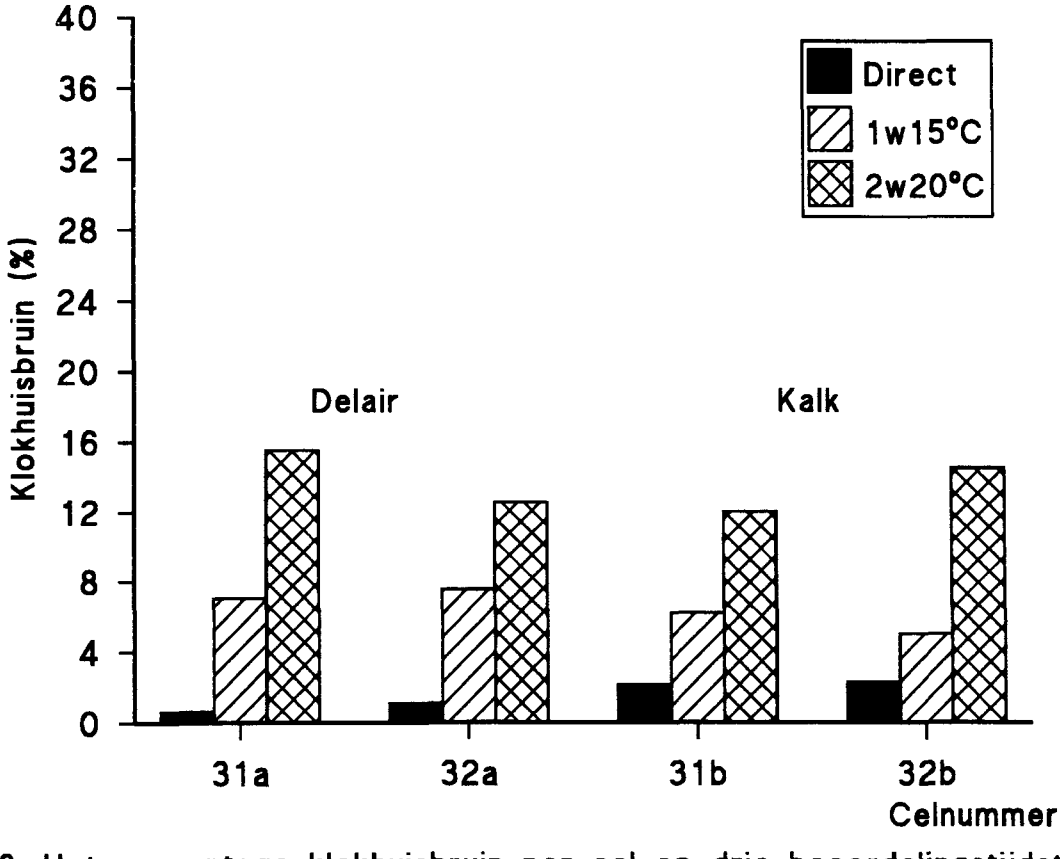


Fig. 28. Het percentage klokhuisbruin per cel op drie beoordelingstijdstippen.

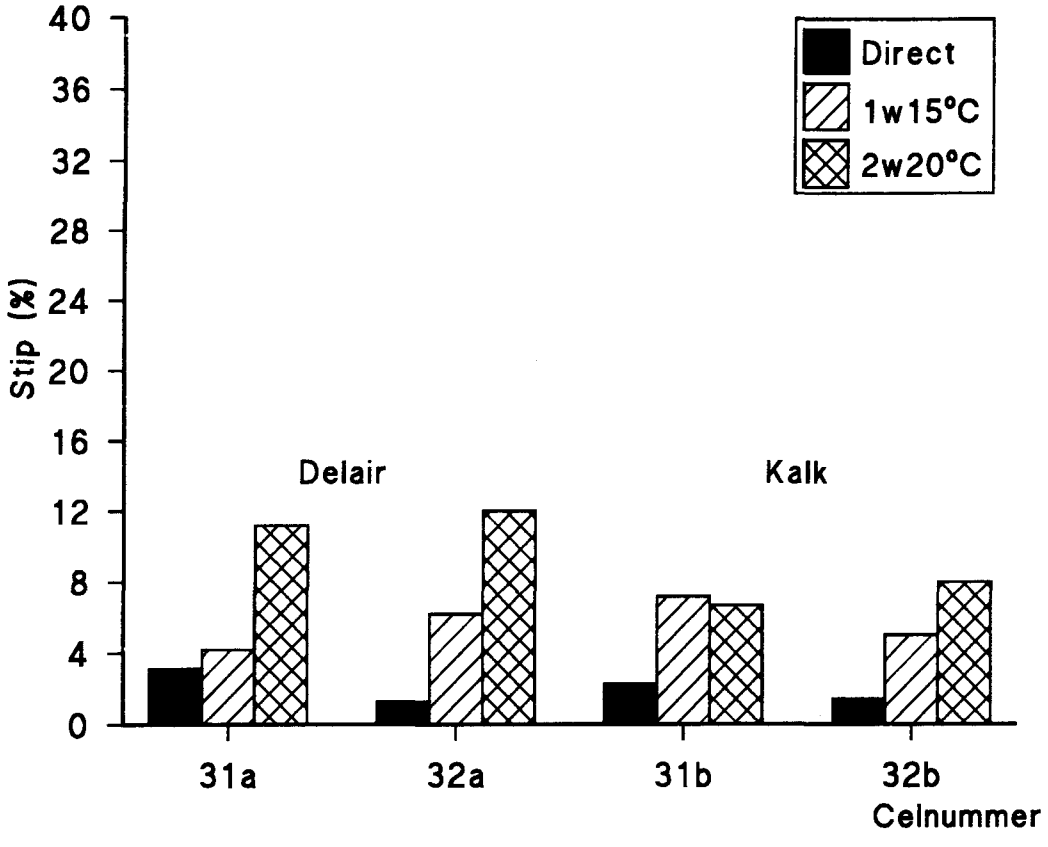


Fig. 29. Het percentage stip per cel op drie beoordelingstijdstippen.

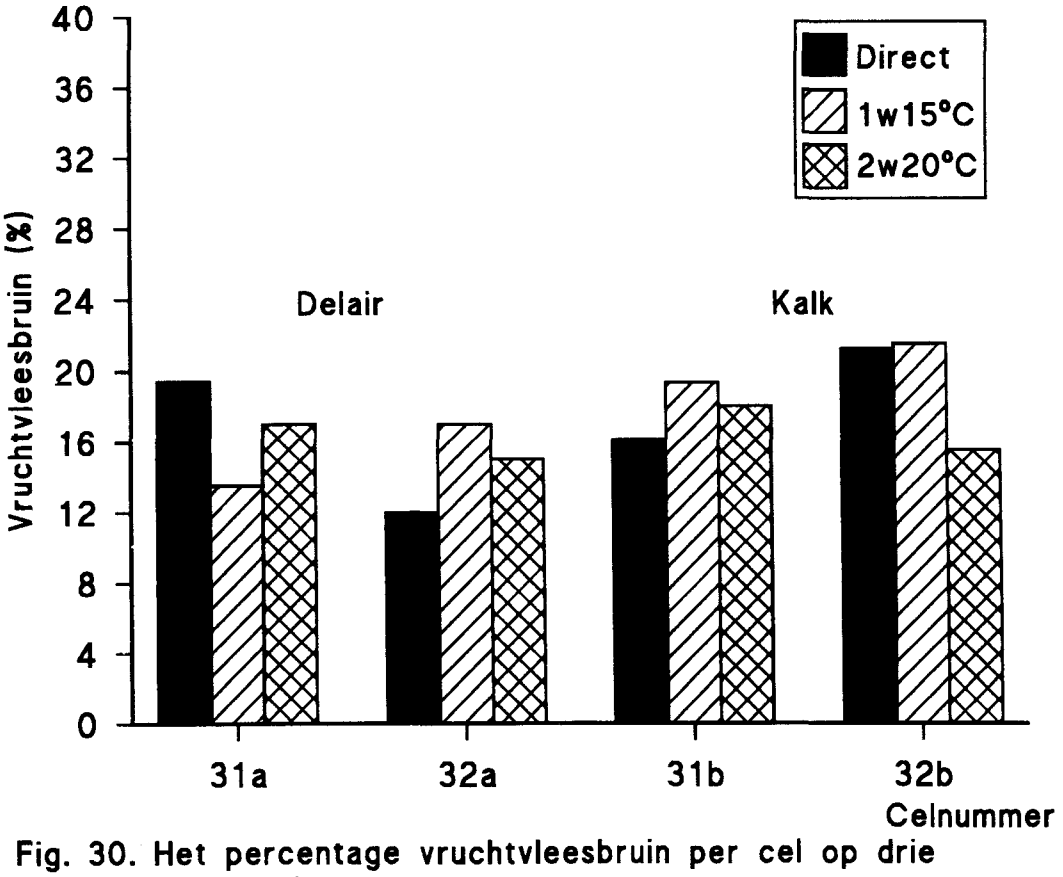


Fig. 30. Het percentage vruchtvleesbruin per cel op drie beoordelingstijdstippen.

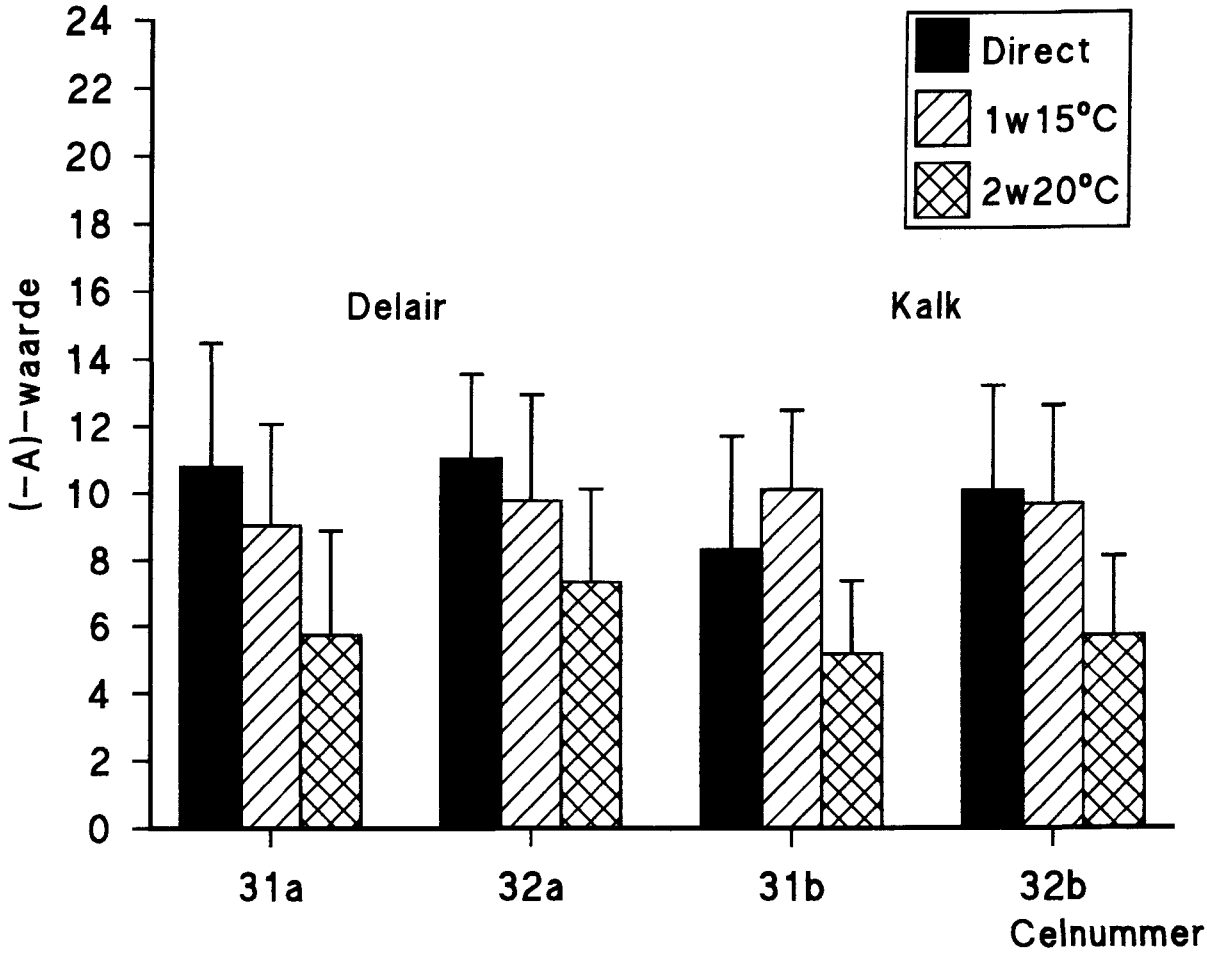


Fig. 31. De (−A)−waarden per cel op drie beoordelingstijdstippen.

3.2.3 Resultaten technisch onderzoek

Gedurende de periodes van 16 t/m 21 november 1993 en van 11 t/m 16 februari 1994 is voor de vier CA-cellen de koelbelasting bepaald. De resultaten staan in de grafieken 32 en 33. De cellen 31A en 31B staan aan één kant van de bewaarruimte en 32A,-B aan de andere kant. Als alleen 31A en -B onderling vergeleken worden en daarnaast 32A en -B onderling, dan valt op dat de cellen met een kalk-scrubber een grotere koelbelasting vertonen dan de cellen met een DELAIR-systeem. Alleen bij de cellen 32A en -B is gedurende een aantal dagen in februari de koelbelasting nagenoeg gelijk.

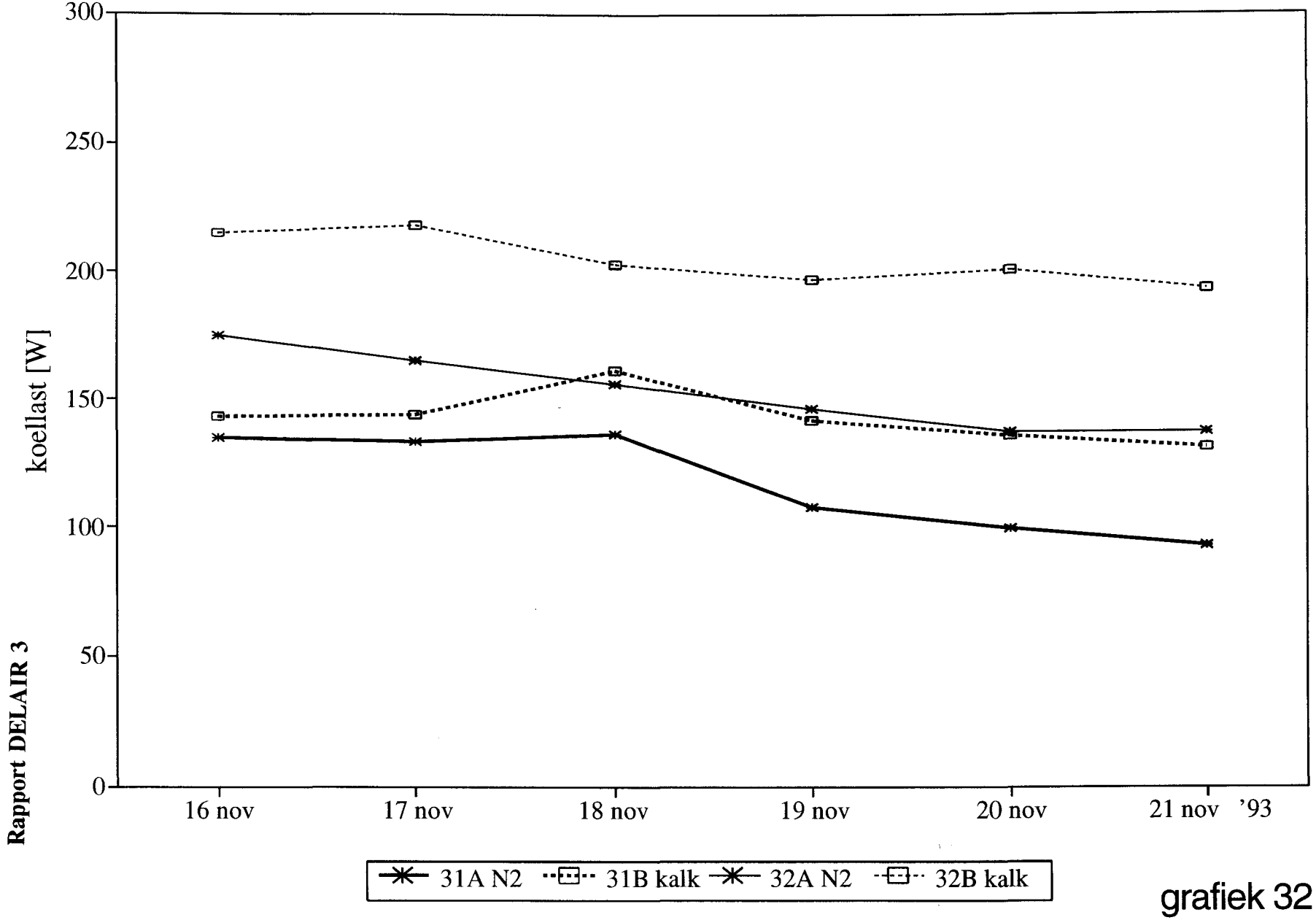
Om de stabiliteit te onderzoeken zijn gedurende de periode van 4 t/m 9 februari 1994 achtereenvolgens in de vier cellen de concentraties CO_2 en O_2 gemeten. De resultaten staan in grafiek 34. De korte-termijn fluctuaties zijn bij de kalk-scrubber langer en vertonen een grotere uitslag dan bij het DELAIR-systeem. In verband met de problemen die bij 'Materiaal en methoden' al zijn aangegeven is het moeilijk om op basis van deze metingen een statistische uitspraak te doen.

De resultaten van de hart-metingen, temperatuurmetingen in het midden van het produkt, staan in grafiek 35. In de periode van 3 t/m 9 februari 1994 is dit gemeten. De hart-temperatuur in de vier CA-cellen schommelt rond de 4.5 °C. Alle cellen vertonen een gelijk stabiel gedrag.

Het energieverbruik en het aantal draaiuren van het DELAIR-systeem voor de twee CA-cellen (31A en 32A) is in grafiek 36 uitgezet. Het aantal draaiuren van september 1993 tot februari 1994 bedraagt 2600 uur. Het energie verbruik in dezelfde periode is 7700 kWh. Dit komt overeen met een gemiddeld opgenomen vermogen van ca. 3 kW gedurende gemiddeld 8 uur per dag.

N2-separator vs Kalk

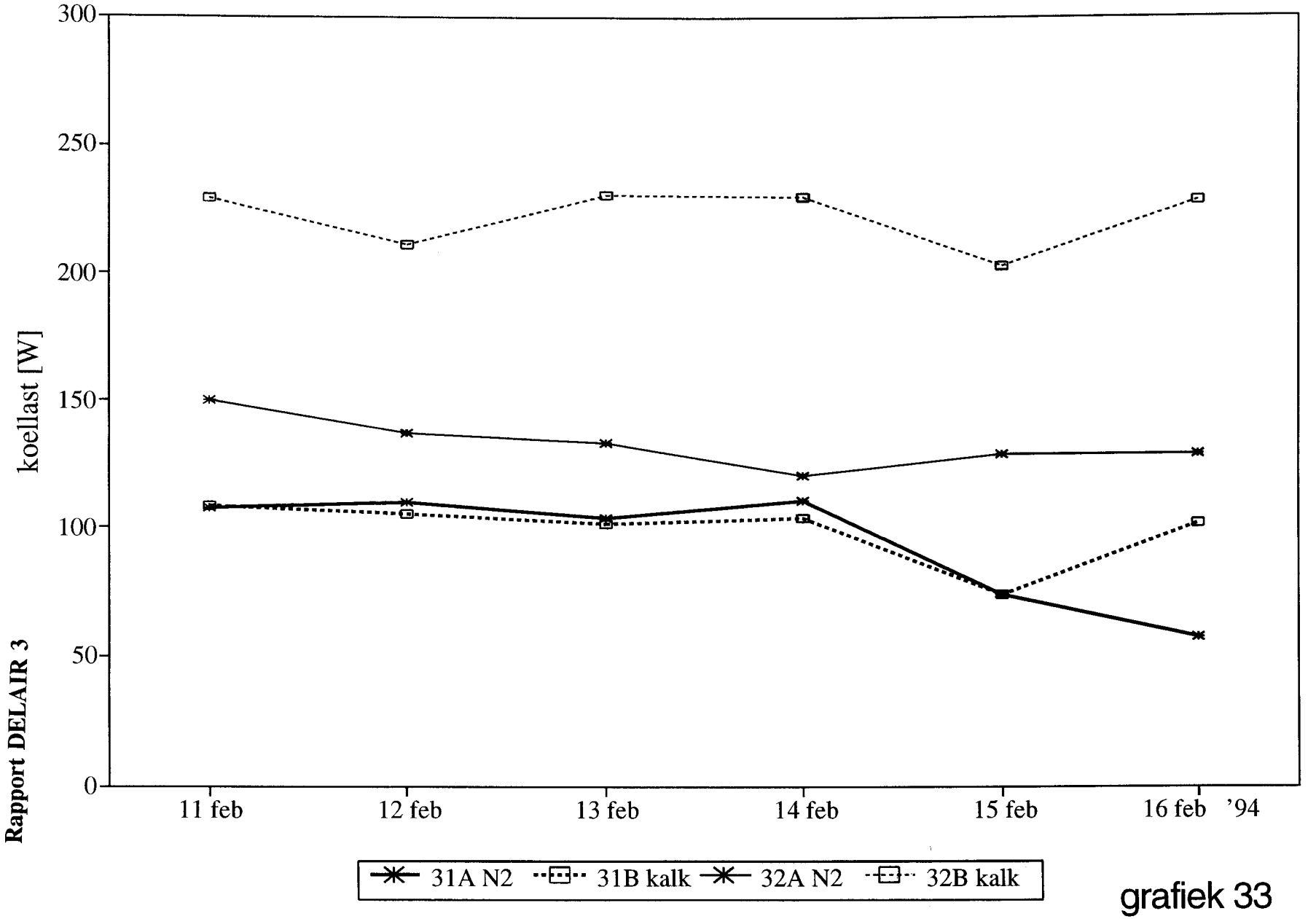
vergelijking van koellast



grafiek 32

N2-separator vs Kalk

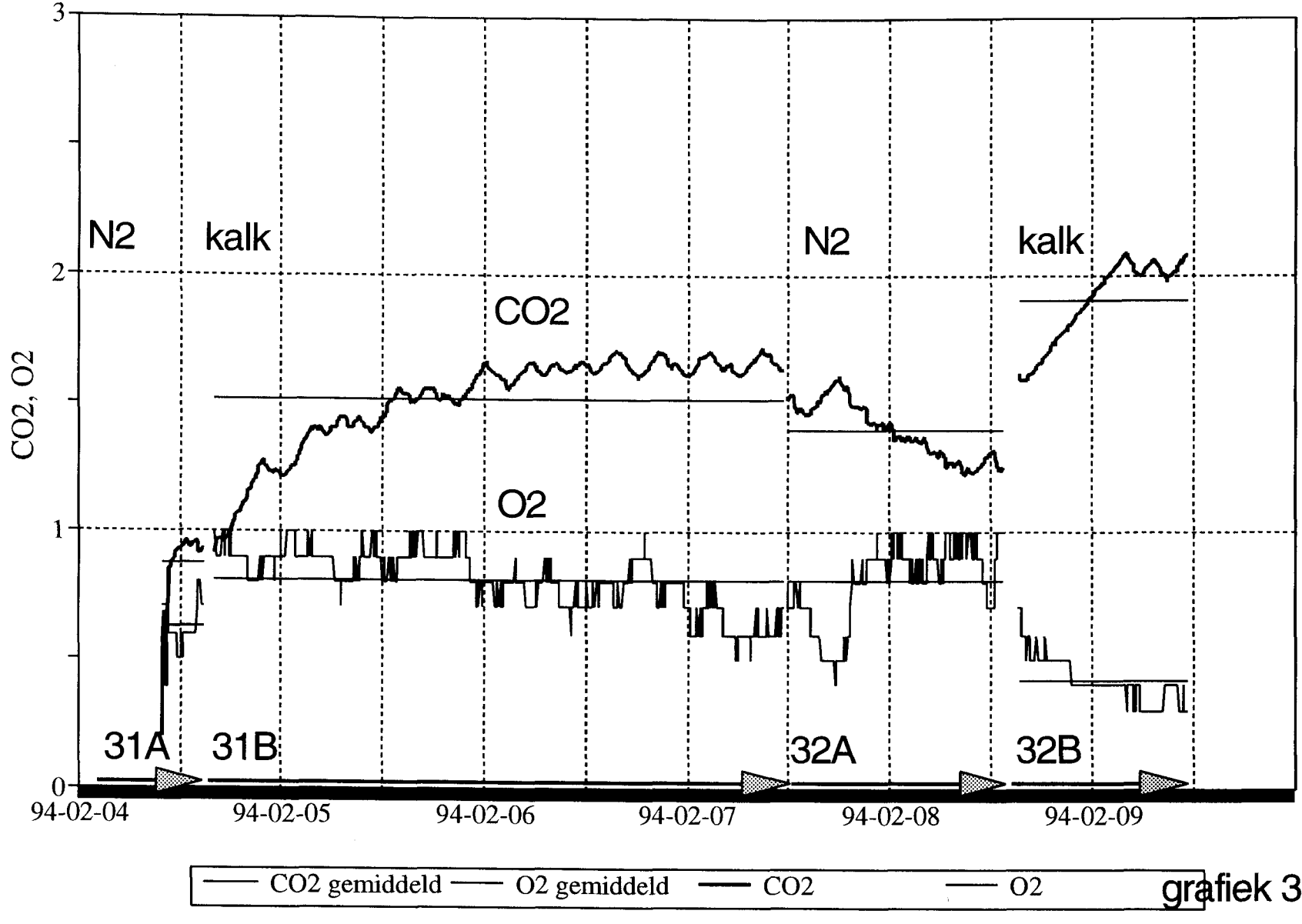
vergelijking van koellast



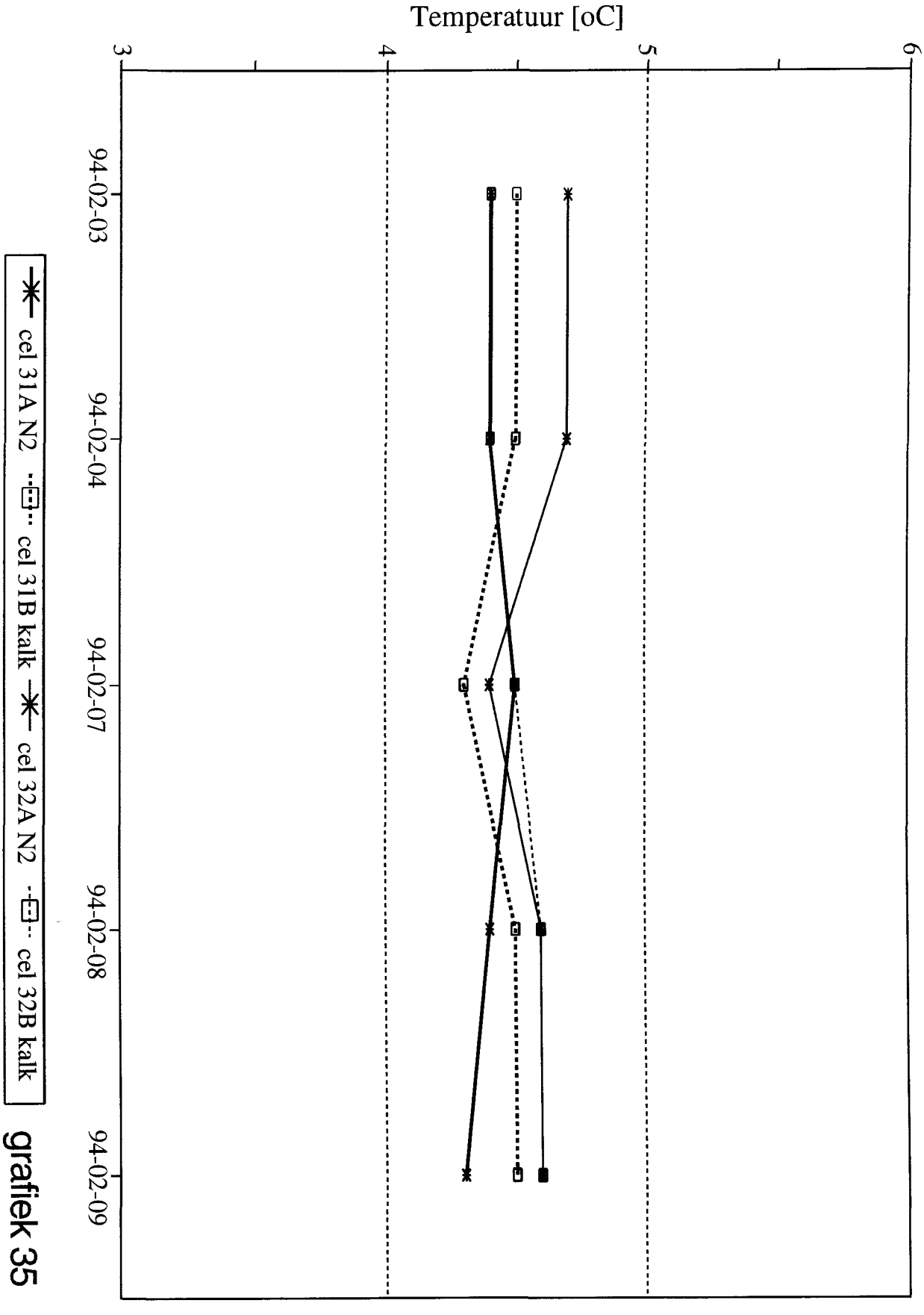
grafiek 33

N2 separator vs Kalk

CO2 en O2 metingen



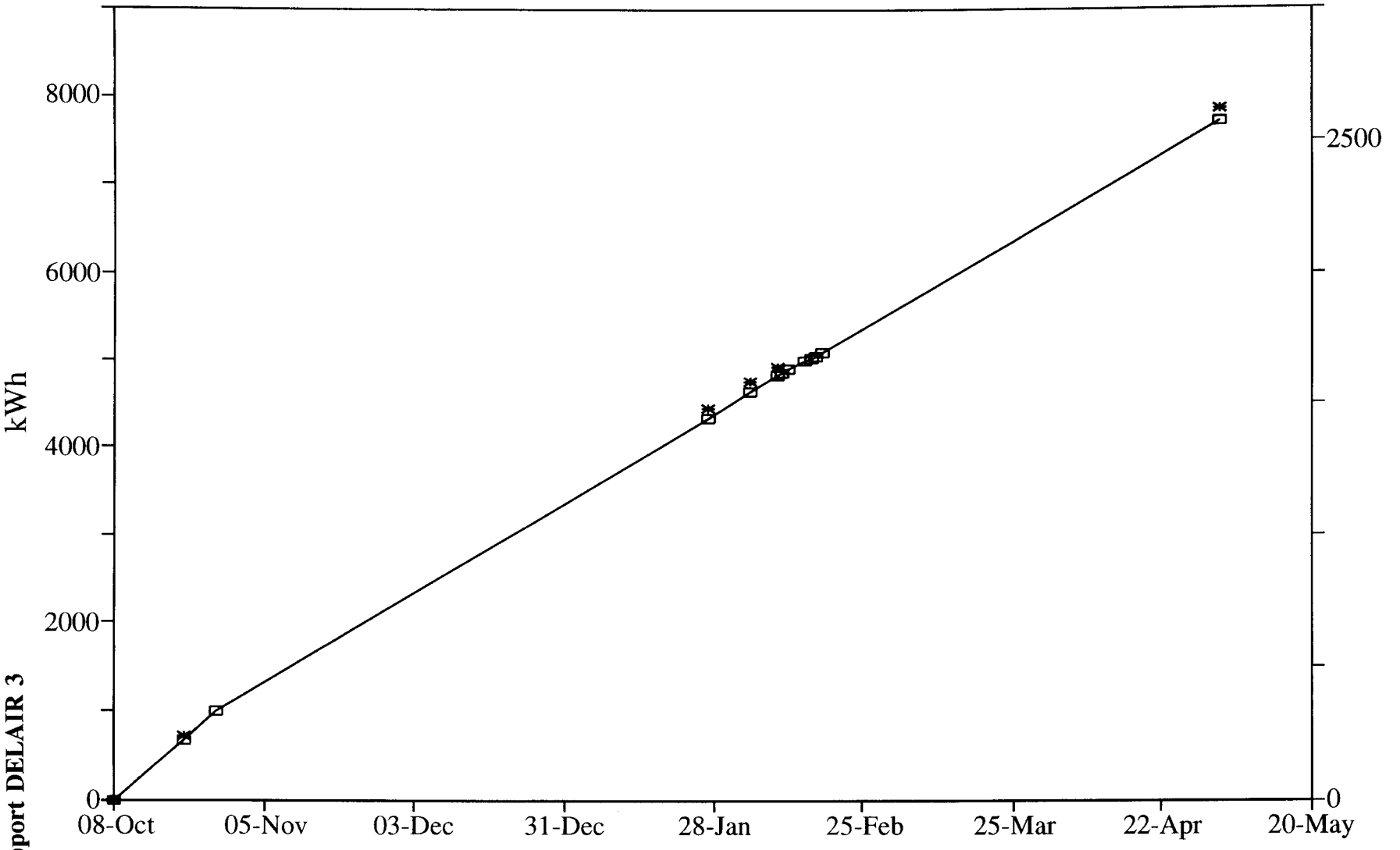
grafiek 34


N2 separator vs Kalk
hart-temperatuur metingen
Temperatuur [oC]
3
4
5
6
94-02-03
94-02-04
94-02-07
94-02-08
94-02-09
cel 31A N2
cel 31B kalk
cel 32A N2
cel 32B kalk

grafiek 35

N2 separator

Energieverbruik en draaiuren



grafiek 36

4.0 Discussie

4.1 Discussie respiratieonderzoek

In de bespreking van de resultaten over de periode september 1993 tot en met maart 1994 is uiteraard het respiratiepatroon over deze periode van belang. Toch wordt dit gedaan met als achtergrond de resultaten van het seizoen 1992-1993.
Omdat bij de metingen in het vorige seizoen bleek dat bij aanvang van CA-bewaring een aantal fruitrassen een hogere CO_2-produktie vertoonden is dit seizoen tijdens de beginperiode een intensief meetprogramma uitgevoerd. Hierbij werd vooral aandacht besteed aan de optimale pluk, voor het later geplukte fruit was onvoldoende meetcapaciteit voorhanden.
Bij alle rassen, behalve Jonagold, is sprake van een piekwaarde bij aanvang van de bewaring. Bij Conference en Golden Delicous daalt de respiratie daarna direkt naar de normale waarde. Bij Boskoop, Cox's en Elstar is de ademhaling pas na ongeveer 14 dagen op de normale waarde. Een duidelijke invloed van de herkomst op het ademhalingsgedrag is alleen bij Schone van Boskoop te merken. Bij dit ras was ook een grote invloed te constateren van het oogsttijdstip in tegenstelling tot de andere rassen. Later geplukte Boskoop-appelen hebben een veel hogere respiratie.
In het algemeen kan geconstateerd worden dat de CO_2-produktie dit seizoen wat hoger is dan het vorige seizoen behalve bij Conference-peren. Het belang van de onderzoekuitvoering gedurende twee seizoenen is hiermee duidelijk aangetoond.
In het rapport DELAIR 2 zijn per ras de hoogste waarden opgesomd, welke voornamelijk waren gebaseerd op de beginperiode. Voor de uiteindelijke dimensionering van de apparatuur moet dit misschien wat genuanceerder bekeken worden. Bij alle rassen lijkt er tijdens de eerste paar dagen in CA de hoogste CO_2-produktie te zijn waardoor dit mogelijk bepalend zou zijn voor dimensionering. Als we zouden toelaten dat het CO_2 gehalte gedurende de eerste dagen van de bewaring iets hoger is dan kan worden volstaan met apparatuur met duidelijk lagere capaciteit. Bij de meeste appelrassen is dit waarschijnlijk geen probleem, bij de peren is dit uitgesloten vanwege het risico op holle en bruine peren.

De ademhaling van witte kool is relatief laag (vergelijkbaar met fruit) en tendeert naar een wat lagere produktie bij een langere opslagduur. De spruitkool, gemeten aan de stam, heeft een forse koolzuurproduktie. Voor de praktijk lijkt dit hoog, echter de beladingsgraad in de cel is relatief laag omdat de spruiten ook opgeslagen worden aan de stam, waardoor de benodigde scrubcapaciteit per cel laag blijft.

4.2 Discussie kwaliteitsonderzoek

4.2.1 Celklimaat

Om tot een zuivere vergelijking tussen beide bewaarsystemen te komen is een belangrijke eis dat de standaard bewaarcondities zoveel mogelijk overeenkomstig zijn. Uit de resultaten blijkt dat dit voor de zuurstof-en koolzuurcondities niet altijd het geval is geweest.

Gemiddeld over de hele bewaarperiode is het O_2-gehalte wel gelijk geweest in beide systemen, echter de perioden met een te hoog gehalte en het tijdstip waarop deze hogere gehalten voorkwamen tijdens de bewaarperiode, was niet gelijk (voor beide systemen). Voor het CO_2-gehalte geldt hetzelfde, periodiek verschillend maar gemiddeld nauwelijks. Niet alleen tussen beide systemen waren er verschillen in condities, ook de herhalingscellen waren soms verschillend door allerlei oorzaken. Het is moeilijk aan te geven of dit gevolgen zou kunnen hebben voor het produkt. Bij de interpretatie van de onderzoekresultaten moet het voorgaande wel in acht genomen worden.
Ten opzichte van het traditionele systeem met de kalkscrubber had het DELAIR-systeem een duidelijke invloed op het celklimaat. Het lagere ethyleengehalte in de DELAIR-cellen wordt veroorzaakt door de suppletie van de separator. Dit lagere ethyleengehalte leidde tot dusverre niet tot aantoonbare voordelen. Het mogelijke voordeel door een verminderd optreden van scald kon niet getoetst worden omdat tot dusverre geen scald optrad. Het is niet te verwachten dat de ethyleenconcentratie enige invloed had op de rijpheidsontwikkeling omdat anderzijds de ethyleenproduktie niet substantieel verschillend was in beide systemen.
Ook duidelijk is dat de ethyleenconcentratie op deze niveaus geen relatie heeft met de respiratie. In de DELAIR-cellen is er een tendens dat de ademhaling iets hoger is dan in de traditionele cellen. Dit effect is niet geheel te verklaren door een incidenteel hoger zuurstof- ofwel een lager CO_2-gehalte in de cellen. Ook bij gelijke condities was er meestal een klein verschil. Dat door toevallige omstandigheden het produkt in de kalkcellen een iets lagere ademhaling heeft lijkt uitgesloten. Ook al omdat de respiratie tijdens de nabewaring (met ander produkt) hetzelfde beeld vertoonde. Theoretisch zou deze iets hogere respiratie leiden tot een wat hoger koolstofverlies.
De constatering dat het vochtverlies via de verdamper in de Delair cellen wat lager is dan in de traditionele cellen moet nog gecompenseerd worden met de suppletie van vocht via de separator. Bij compensatie is het verlies nagenoeg gelijk.
De werkelijke gemeten gewichtsverliezen van het produkt zijn in de DELAIR-cellen iets minder ondanks het misschien wat hogere koolstofverlies. De mindere warmtebelasting zoals geconstateerd bij het technisch onderzoek kan de mogelijke oorzaak zijn.

4.2.2 Produktkwaliteit

Verschillen in optreden van uitwendige afwijkingen bij de produktbeoordeling in maart zijn er nauwelijks. Een lichte tendens is m isschien minder rot tjdens de bewaarperiode in de DELAIR-cellen. Ondanks de grote gevoeligheid van dit ras voor de bewaarziekte scald en de diverse herkomsten is er geen enkele vrucht gevonden met deze verschijnselen. Zelfs aanpassing van de nabewaarperiode had geen effect. Juist het optreden van deze bewaarziekte zou naar verwachting minder zijn in het DELAIR-systeem. Hopelijk levert de beoordeling in juni meer resultaat op.
Bij het optreden van inwendige afwijkingen waren de verschillen tussen de cellen meestal veel groter dan tussen de beide systemen. Enkele tendensen zijn toch noemenswaardig. Inclusief de nabewaarperiode komt er in het produkt bewaard in de separatorcellen wat minder vruchtvleesbruin voor. Dit verschijnsel is deels het gevolg van veroudering en deels het gevolg van lage temperatuurbederf. Stip, dat voornamelijk het gevolg is van een verkeerde nutriëntensamenstelling van het produkt, kwam alleen na de maximale shelflife-

periode iets meer voor in het produkt bewaard in de DELAIR-cellen. Klokhuisbruin wat door diverse factoren veroorzaakt kan worden, kwam in beide systemen in gelijke mate voor.

Belangrijke objectieve parameters zijn het kleurniveau en de stevigheid van de appelen. Direkt na bewaring zijn de appelen uit de DELAIR-cellen groener dan uit de kalkcellen. Mogelijk is dit een effect van de lagere ethyleenconcentratie.
De stevigheid van de appelen uit één van de Delaircellen lijkt iets lager te zijn dan in de andere cellen. Echter tijdens de nabewaarperiode was dit verschil niet meer aanwezig. Vooralsnog kan er van uitgegaan worden dat de stevigheid niet verschillend is in beide systemen.

4.3 Discussie technisch onderzoek

Het DELAIR-systeem vertoont systematisch een lagere koelbelasting. Een mogelijke oorzaak is de ventilator in de cel die de lucht aanzuigt naar de kalk-scrubber. Deze produceert een warmte van ongeveer 85 Watt gedurende de tijd dat de kalk-scrubber actief is. Een probleem is dat in de cellen met het DELAIR-systeem de ventilator ook (nutteloos) heeft aangestaan op momenten dat het systeem actief was voor de betreffende cel. Omdat de conditioneringscapaciteit van het geïnstalleerde DELAIR-systeem groter is dan de capaciteit van de kalk-scrubber heeft de ventilator gedurende een kortere tijd aan gestaan. Dit kan een groot deel van het verschil verklaren of zelfs het hele verschil.
Een andere oorzaak van het verschil in de koelbelasting tussen de beide conditioneringssystemen kan de ademhaling zijn. Het fysiologisch onderzoek heeft echter aangetoond dat de ademhaling in de DELAIR-cellen groter is (5 à 10%) dan de ademhaling in de cellen met de kalk-scrubber. Dit impliceert dat het verschil in warmte-ontwikkeling tussen de beide conditioneringssystemen nog groter is dan het aangetoonde verschil in de koelbelasting.
De cellen 31 vertonen systematisch een lagere koelbelasting dan de cellen 32 die aan de andere kant van het gebouw staan. De CA-cellen zijn allemaal hetzelfde uitgerust. Het verschil is vooralsnog niet te begrijpen.

De CO2- en O2-concentratie-fluctuaties zijn bij de kalk-scrubber langer en vertonen een grotere uitslag. Een verandering van concentratie kan bij DELAIR sneller bijgesteld worden. Dit is een bevestiging van het feit dat de conditioneringscapaciteit van de kalk-scrubber kleiner is dan de capaciteit van het geïnstalleerde DELAIR-systeem.

De gemeten hart-temperaturen, rond de 4.5°C, liggen zo dicht bij elkaar dat wat de temperatuur betreft de vier CA-cellen goed met elkaar vergeleken kunnen worden. Ook kan hier niet de oorzaak gevonden worden van de afwijkende koelbelastingen. Verschillende temperaturen zouden dit wel tot gevolg kunnen hebben.

Het energieverbruik is bij deze proef voor twee CA-cellen ongeveer 24 kWh per dag. Dit is veel meer dan de mogelijke winst die geboekt wordt bij zuinigere koelbelasting . Het totale energieverbruik van de kalk-scrubber bestaat uit het energieverbruik van de ventilator. Deze is niet gemeten, maar heeft een orde van grootte van 1 kWh per dag.

Een mogelijke oorzaak voor een hoog energie-verbuik kan (gedeeltelijk) liggen in de storingen die opgetreden zijn. De aanaluitingen van het DELAIR-systeem bleken niet gasdicht te zijn. In januari is een relais in het DELAIR-systeem kapot gegaan. Twee weken later heeft de flow-meter het begeven. Als een storing een afwijking van het setpoint tot gevolg heeft, kost het extra draaiuren om dit weer op te heffen.

5.0 Conclusies

5.1 Respiratieonderzoek

Bij het respiratie onderzoek van diverse fruitrassen in het seizoen 1993-1994 is wederom geconstateerd dat bij aanvang van CA-bewaring de CO_2-produktie hoog is. Bij op het optimale tijdstip geoogst produkt is de periode van verhoogde produktie bij de rassen Golden Delicious en Conference enkele dagen, bij de rassen Boskoop, Elstar en Cox's ongeveer 14 dagen. Een herkomst- en- pluktijdstip effect is alleen bij het ras Boskoop gemeten: appelen van de tweede pluk produceren duidelijk meer CO_2.
Ten opzichte van het vorige seizoen is de respiratie duidelijk iets hoger. Bij de koolsoorten is de witte kool qua ademhalingsniveau te vergelijken met fruit, spruitkool heeft een duidelijk hogere produktie.

5.2 Kwaliteitsonderzoek

Het ethyleengehalte in de separatorcellen bleef op een laag niveau, in de kalkcellen werden hoge concentraties bereikt.
De ademhaling in de separatorcellen was iets hoger dan in de kalkcellen terwijl de gewichtsverliezen ongeveer gelijk waren.
Qua produktkwaliteit waren appelen uit de separatorcellen iets groener terwijl de stevigheid wat lager was. Vorming van scald trad in de gehele proef niet op, het percentage rot was in de separatorcellen iets minder. Qua inwendige afwijkingen kwam wat minder vruchtvleesbruin voor in vruchten uit de separatorcellen, echter wel iets meer stip. Het percentage klokhuisbruin was nagenoeg hetzelfde.
De genoemde kwaliteitsverschillen tussen beide systemen zijn vooralsnog gering. Omdat in juni nog een tweede produktbeoordeling volgt kunnen nog geen defenitieve uitspraken gedaan worden.

5.3 Technisch onderzoek

Het DELAIR-systeem vertoont een lagere koelbelasting. Deels kan dit verklaart worden door het verschil in draaiuren van de ventilator. Om duidelijker te weten wat de invloed van de ventilator is zullen gedurende een week de metingen herhaald worden waarbij dan ook nauwkeurig gemeten wordt hoelang de ventilatoren hebben gedraaid door een kWh-meter aan te sluiten.

Geconstateerd is dat het geïnstalleerde DELAIR-systeem sneller afwijkingen van concentraties kan corrigeren dan de aanwezige kalk-scrubber. Dit is logisch gezien de overcapaciteit van dit DELAIR-systeem bij deze cellen.

Het DELAIR-systeem vertoont een hoger energieverbruik dan een conventioneel systeem zoals een kalk-scrubber.

BIJLAGE: Enthalpie berekeningen

M.b.v. T en RV kan de absolute vochtigheid X berekend worden. M.b.v. X en T kan de enthalpie H berekend worden. P_s en P_d zijn resp. de verzadigingsdruk en de dampdruk. P_0 is de buitenluchtdruk. De volgende formules worden hiervoor gebruikt:

$$P_s = 10^{2.7857+\frac{7.5T}{237.3+T}}$$

$$P_d = \frac{RV}{100} P_s$$

absolute luchtvochtigheid **(1)**

$$X = \frac{0.622 P_d}{P_0 - P_d}, \quad P_0 = 101325.0$$

en:

$$H = 1.006T + 2500.8X + 1.859XT \left[\frac{kJ}{kg}\right]$$ enthalpie **(2)**

De omrekening van de hoeveelheid condensatiewater m naar de afname van absolute luchtvochtigheid δX verloopt volgens:

$$m\left[\frac{ml\,H_2O}{24\,h}\right] \times \frac{1}{600}\left[\frac{h}{m^3 Air}\right] \times \frac{1}{1.27}\left[\frac{m^3}{kg}\right] \cdot \left[\frac{1\,kg}{1000\,ml}\right] = \delta X\left[\frac{kg\,H_2O}{kg\,Air}\right]$$

$$\Leftrightarrow$$

$$\delta X = \frac{m}{18288000}$$ condensatiewater **(3)**

600 = het ingestelde debiet door de warmtewisselaar
1.27 = de soortelijke massa van lucht

De omrekening van het enthalpieverschil δH naar de koellast P verloopt volgens:

$$\delta H\left[\frac{1000\,J}{kg}\right] \times 1.27\left[\frac{kg}{m^3}\right] \times 600\left[\frac{m^3}{3600\,s}\right] = P[W]$$ enthalpieverschil **(4)**

$$\Leftrightarrow$$

$$P = 211.7 \times \delta H$$

of in woorden:
De koelbelasting is het enthalpieverschil (per kg lucht) maal de massa lucht die per seconde langs stroomt (= soortelijke massa van lucht maal het debiet).