Dienst Landbouwkundig Onderzoek
Instituut voor Agrotechnologisch Onderzoek

Ontwikkeling van een "on-line" meetsysteem voor droge-stofgehalte bij de productie van voorgebakken frites

Ir. F.I.N.G. Kreft
Ir. L.J. Gouda
Ir. P.C.M. van Eijck

VERTROUWELIJK

ato-dlo



2245995

januari 1998

ATO-DLO

Ontwikkeling van een "on-line" meetsysteem voor droge-stofgehalte bij de productie van voorgebakken frites

VERTROUWELIJK

Agrotechnologisch Onderzoek Instituut (ATO-DLO)
Bornsesteeg 59
Postbus 17
6700 AA Wageningen
tel. 0317 - 475000
fax. 0317 - 475347

Ir. F.I.N.G. Kreft
Ir. L.J. Gouda
Ir. P.C.M. van Eijck

Eigendom van ATO-DLO. Niets uit dit voorstel mag worden gebruikt, vermeerderd of gedistribueerd zonder schriftelijke toestemming van ATO-DLO.

Inhoudsopgave

Pagina

Samenvatting 3

1. Inleiding 5
   - 1.1 Doel 5
   - 1.2 Achtergrond en perspectieven 5
   - 1.3 Projectindeling 5
   - 1.4 Rapportindeling 6

2. Keuze meetsysteem (onderdeel 1) 7
   - 2.1 Doel 7
   - 2.2 Werkwijze 7
   - 2.3 Resultaten en discussie 9

3. Keuze meetplaats en beschrijving monstername-, monstervoorbereiding- en meetsysteem (onderdeel 2) 13
   - 3.1 Doel 13
   - 3.2 Inleiding 13
   - 3.3 Keuze van meetplaats 13
   - 3.4 Beschrijving van monsternamesysteem, monstervoor-bereidings-systeem en transmissiemeetsysteem na de bakoven 15
   - 3.5 Vaststellen randvoorwaarden voor monsternamesysteem 17
   - 3.6 Vaststellen randvoorwaarden voor monstervoorbereidingssyteem .. 21
   - 3.7 Vaststellen randvoorwaarden voor transmissiemeetsysteem 22

4. Marktverkenning (onderdeel 3) 26
   - 4.1 Doel 26
   - 4.2 Aanpak 26
   - 4.3 Marktverkenning infrarood meetsystemen 26
   - 4.4 Marktverkenning monstername- en monstervoorbereidings-systemen 27

5. Inpassen ontwikkelde ijklijn/methode in praktijksituatie (onderdeel 4) 28
   - 5.1 Doel 28
   - 5.2 Werkwijze 28
   - 5.3 Resultaten en discussie 30

6. Conclusies 33

Bijlagen

Eigendom van ATO-DLO. Niets uit dit voorstel mag worden gebruikt, vermeerderd of gedistribueerd zonder schriftelijke toestemming van ATO-DLO

Samenvatting

Het doel van het project "Ontwikkeling van een on-line meetsysteem voor droge-stofgehalte bij de productie van voorgebakken frites" is het ontwikkelen, testen en valideren van een "on-line" meetsysteem voor droge-stofgehalte bij de productie van voorgebakken frites. Het "on-line" meten van het droge-stofgehalte en daarmee het ontwikkelen van een regelalgoritme voor de waterverdamping gedurende het proces biedt duidelijke voordelen op economisch niveau en op productniveau.

Dit project maakt deel uit van een onderzoeksprogramma dat ATO-DLO voor de Vereniging voor de Aardappelverwerkende Industrie (VAVI) uitvoert. Het project is verdeeld in 2 fasen, waarvan fase 1 reeds is uitgevoerd en wordt beschreven in dit verslag. Voor fase 1 van dit project is door de NOVEM subsidie toegekend (programma Voeding- en genotmiddelen-industrie). De subsidie voor fase 2 is momenteel in aanvraag.

De gegevens die nodig zijn voor het succesvol ontwikkelen van het "on-line" meetsysteem in fase 2 zijn beschikbaar. In overleg met de Vereniging voor de Aardappelverwerkende Industrie (VAVI) is besloten om een "on-line" systeem te ontwikkelen dat gebaseerd is op een Nabij Infrarood meting in transmissie op een voorbehandeld monster. Hiermee is de basis voor fase 2 van dit project gelegd.

Fase 1 van het project bestaat uit de volgende 4 onderdelen:
1. Keuze meetsysteem
2. Beschrijving van het monstername-, monstervoorbereiding- en meetsysteem
3. Marktverkenning
4. Inpassen ontwikkelde ijklijn/methode in praktijksituatie

Verschillende NIR-technieken zijn in **onderdeel 1** met elkaar vergeleken door met 4 meetinstrumenten experimenten uit te voeren bij verschillende grondstof- en procesvariabelen. Hierbij is ook de "on-line" situatie (monstervoorbereiding), waarbij in transmissie wordt gemeten, met de "in-line" situatie, waarbij wordt gemeten direct op de band (in reflectie), vergeleken. Metingen zijn uitgevoerd voor de droger, na de droger en na de frituuroven. Voor alle onderzochte meetplaatsen is gebleken dat alleen transmissie voldoet aan de gestelde nauwkeurigheidseis (voor de vochtbepaling) van een meetfout van maximaal ± 1% (met 95% betrouwbaarheid).

In **onderdeel 2** is als meetplaats "na de frituuroven" vastgesteld. Deze meetplaats is gekozen omdat een meting na de frituuroven de mogelijkheid biedt om het vochtgehalte van het eindproduct nauwkeuriger te voorspellen dan door middel van een meting na de droger. Een meting na de droger impliceert modellering van de waterverdamping in de frituuroven. Deze meting levert echter niet de benodigde informatie om het waterverdamping in de frituuroven te kunnen voorspellen.

Het "on-line" systeem wordt verdeeld in de volgende 3 subsystemen:

1. Monsternamesysteem: moet ervoor zorgen dat een bepaalde hoeveelheid voorgebakken frites het monstervoorbereidingssysteem bereikt vanuit de verwerkingslijn. Een belangrijk punt hierbij is om te kunnen bemonsteren op meerdere plaatsen in de band.

Eigendom van ATO-DLO. Niets uit dit voorstel mag worden gebruikt, vermeerderd of gedistribueerd zonder schriftelijke toestemming van ATO-DLO

2. Monstervoorbereidingssysteem: moet ervoor zorgen dat een hoeveelheid frites wordt verkleind en gehomogeniseerd en vervoerd wordt naar het meetsysteem.

3. Meetsysteem (transmissie): moet ervoor zorgen dat een representatief vochtgehalte (en vetgehalte) van het voorbereide monster kan worden bepaald. Een belangrijke randvoorwaarde is dat de nauwkeurigheid voor de vochtbepaling maximaal een meetfout van ±1% met 95% betrouwbaarheid mag zijn.

Er komen een aantal principes voor het monstername-, monstervoorbereidings-, en meetsysteem in aanmerking. Op basis van deze principes en de vastgestelde randvoorwaarden kan het "on-line" systeem worden gebouwd in fase 2 van het project.

In **onderdeel 3** is een marktonderzoek uitgevoerd om een algemeen overzicht te krijgen van monstername-, monstervoorbereiding en infrarood meetsystemen die reeds ontwikkeld zijn.

Uit het marktonderzoek komt naar voren dat naast het geteste transmissie meetsysteem ook andere infrarood transmissie meetsystemen geschikt zijn om vocht en/of vetgehalte te kunnen meten in vaste stoffen. In fase 2 van het project wordt op basis van de prestatie/prijs verhouding het meest geschiktste meetsysteem gekozen.
Voor de monstername- en monstervoorbereidingssystemen komen geen bruikbare systemen naar voren die aan de totale gestelde eisen kunnen voldoen. Het volledig geïntegreerde "on-line" systeem wordt daarom aan de hand van de aangegeven mogelijkheden gebouwd met de meest geschikt geachte partner in fase 2.

In **onderdeel 4** is de invloed van de volgende aspecten op de nauwkeurigheid van een reeds ontwikkelde "at-line" Nabij Infrarood vocht- en vetbepalingen onderzocht: bedrijf, partij, procesvoering/producttype, snijmaat en type vet/olie.

Op basis van de resultaten kan worden geconcludeerd dat met een relatief beperkt opgebouwde ijklijn het vocht- en vetgehalte van een brede 'range' aan producten uit verschillende bedrijven kan worden gemeten. Het blijkt echter dat er twee aspecten zijn die een hogere meetfout vertonen: type vet en verschillende producttypen/snijmaten.

Bij het ontwikkeling van de ijklijn in fase 2 moet speciaal aandacht worden gegeven aan deze aspecten. Daarnaast kan worden geconcludeerd dat voor een verdere verhoging van de nauwkeurigheid van de ijklijn monsters afkomstig uit verschillende bedrijven aan de ijklijn moet worden toegevoegd.

Eigendom van ATO-DLO. Niets uit dit voorstel mag worden gebruikt, vermeerderd of gedistribueerd zonder schriftelijke toestemming van ATO-DLO

1. Inleiding

1.1 Doel

Het doel van het project "Ontwikkeling van een on-line meetsysteem voor droge-stofgehalte bij de productie van voorgebakken frites" is het ontwikkelen, testen en valideren van een "on-line" meetsysteem voor droge-stofgehalte bij de productie van voorgebakken frites. Het project maakt deel uit van een onderzoeksprogramma dat ATO-DLO voor de Vereniging voor de Aardappelverwerkende Industrie (VAVI) uitvoert.

1.2 Achtergrond en perspectieven

Bij de productie van voorgebakken frites verdampt veel water. Momenteel zijn de mogelijkheden om de waterverdamping gedurende het proces te sturen beperkt. Het feit dat een "on-line" droge-stofbepaling ontbreekt is één van de belangrijkste redenen hiervan. Het "on-line" meten van het droge-stofgehalte en in het verlengde hiervan de ontwikkeling van een regelalgoritme voor de waterverdamping gedurende het proces biedt duidelijke voordelen:

1. op economisch niveau
- minder energieverbruik
- minder vetverbruik
- hoger productrendement

2. op productniveau
- de mogelijkheid om beter aan specificaties te voldoen
- het leveren van een constant eindproduct van hoge kwaliteit

Iedere procent vermindering in waterverdamping resulteert in:
- 13 % minder energieverbruik (174 TJ op jaarbasis) met een economische tegenwaarde voor de sector van Mfl 1,8 (op jaarbasis);
- een meeropbrengst van het eindproduct met een economische tegenwaarde voor de sector van Mfl 20,6 (op jaarbasis).

1.3 Projectindeling

Het project is verdeeld in twee fasen. Fase 1 levert de benodigde informatie voor de ontwikkeling van het "on-line" meetsysteem. In fase 2 wordt een prototype voor het "on-line" systeem ontwikkeld, getest en gevalideerd. Voor de eerste fase van dit project is door de NOVEM subsidie toegekend (programma Voeding- en genotmiddelenindustrie). De subsidie voor fase 2 is momenteel in aanvraag.

Fase 1 bestaat uit vier onderdelen. In de eerste twee onderdelen wordt onderzocht wat het optimale meetsyteem en de optimale meetplaats is voor het "on-line" meetsysteem.

Eigendom van ATO-DLO. Niets uit dit voorstel mag worden gebruikt, vermeerderd of gedistribueerd zonder schriftelijke toestemming van ATO-DLO

Daarnaast worden de randvoorwaarden van het systeem vastgesteld. In onderdeel 3 wordt geïnventariseerd wat op dit gebied reeds op de markt beschikbaar is. Tenslotte zijn in onderdeel 4 mogelijke bronnen van meetfouten in de "on-line" droge-stofbepaling onderzocht.

1.4 Rapportindeling

Dit rapport is het eindverslag van fase 1 van dit project. Ieder onderdeel is afzonderlijk behandeld in een apart hoofdstuk. In hoofdstuk 2 t/m 5 zijn het doel, de werkwijze en resultaten/discussie van ieder onderdeel aangegeven. In hoofdstuk 6 zijn de belangrijkste conclusies gepresenteerd. In de bijlagen wordt achtergrondinformatie getoond.

Eigendom van ATO-DLO. Niets uit dit voorstel mag worden gebruikt, vermeerderd of gedistribueerd zonder schriftelijke toestemming van ATO-DLO

2. Keuze meetsysteem (onderdeel 1)

2.1 Doel

Het doel van dit onderdeel is het vaststellen van de optimale meettechniek voor een "on-line" droge-stofgehalte meetsysteem.

2.2 Werkwijze

Uit vorig onderzoek bleek dat Nabij Infrarood (NIR) technieken het meest geschikt zijn voor een snelle en nauwkeurige droge-stofbepaling. Verschillende NIR-technieken worden in dit onderdeel met elkaar vergeleken (zie tabel 1.1). De meetinstrumenten zijn zo gekozen dat een vergelijking van de volgende aspecten kan worden gemaakt:

- meettechnieken (reflectie en transmissie zijn de meest belangrijk);
- golflengtegebied;
- laboratorium en industriële meetopstellingen;
- prijzen;
- leveranciers.

Leverancier	Instrument	Afkorting	Meettechniek	Golflengtegebied
Bran & Luebbe	InfraAlyzer 500	B + L	scanningsysteem, reflectie, "on-line"	1100 - 2500 nm
Nir's Systems	Direct Light	DL	scanningsysteem, reflectie, "in-line"	400 - 2200 nm
Rütter	Quadra Beam 6500	QB	filtersysteem, reflectie, "in-line"	3 filters (1200, 1400 en 1600 of 1700 nm)[1]
Tecator	Infratec 1265	NIT	scanningsysteem, transmissie,"on-line"	800 - 1100 nm

[1] Het 1600 nm filter is gebruikt voor de metingen van vòòr en na de droger; het 1700 nm filter is gebruikt voor na de frituuroven.

Tabel 1.1: Meetinstrumenten die gebruikt zijn bij de vergelijking van verschillende Nabij Infrarood meettechnieken.

De "on-line" situatie (gemalen product) is in het laboratorium gesimuleerd. De instrumenten "in-line" meten direct aan het product op de band. Metingen zijn verricht voor de droger, na de droger en na de frituuroven. De foto's in bijlage 1 tonen de opstellingen in de pilot-lijn van het ATO-DLO bij de drie meetplaatsen.

De onderstaande grondstof- en procesparameters zijn gevariëerd volgens een factoriële proefopzet. De helft van deze factoriële proefopzet is uitgevoerd waarmee de benodigde

Eigendom van ATO-DLO. Niets uit dit voorstel mag worden gebruikt, vermeerderd of gedistribueerd zonder schriftelijke toestemming van ATO-DLO

informatie wordt verkregen (zie bijlage 2). In totaal zijn per meetplaats 144 monsters gemeten (met uitzondering van voor de droger waar 56 monsters zijn gemeten). Ieder monster is gemeten door de vier meetinstrumenten.

Grondstofvariabelen:
- bewaarde en nieuwe aardappelen (twee verschillende seizoenen)
- drie verschillende rassen (*Agria, Bintje en Asterix*)
- per ras, twee veel van elkaar verschillende droge-stofgehalten, gemeten als onderwatergewicht (OWG)

Procesvariabelen:
- verschillende temperaturen en verblijftijden in droger of frituuroven
- twee snijmaten (*10 x 10 en 7 x 7 mm*)
- twee productlaagdikte (*7 en 11 cm*)

Het droge-stofgehalte (en vetgehalte) van de monsters is tevens met referentie-methoden bepaald. De bepaling van het gewichtverlies bij drogen met behulp van een droogstoof is de methode die gebruikt is voor de droge-stofgehaltebepaling. Voor de vetbepaling is gebruik gemaakt van de Foss-let methode.

Na iedere in-line meting is het monster dat onder de sensor is geweest verzameld. Aan dit monster is onmiddelijk daarna droogijs toegevoegd om de waterverdamping te stoppen. Vervolgens zijn de metingen met de laboratorium opstellingen (Infratec en InfraAlyzer) met hetzelfde monster uitgevoerd. Het droge-stofgehalte (en vetgehalte) van het monster zijn tevens met de referentie-methoden bepaald.

De resultaten van elk meetinstrument zijn verwerkt door middel van een statistische methode genaamd "Cross validation". De "Cross validation" methode wordt uitgevoerd door één monster van de gehele monsterset weg te laten en dan een regressie uit te voeren met de resterende monsters. Het gemeten signaal van het weggelaten monster wordt vervolgens gebruikt om het vochtgehalte (en vetgehalte) te voorspellen met de uitgevoerde regressie (ijklijn). Dit proces wordt steeds herhaald, waarbij iedere keer een andere monster wordt weggelaten, totdat alle monsters van de set één keer voorspeld zijn. De voorspelde waarden worden dan vergeleken met het werkelijke vocht- en vetgehalte, die bepaald zijn volgens de referentie-methoden. Hieruit is de gemiddelde meetfout berekend (RMSEP).

De resultaten van de scanningsystemen zijn zoals hierboven beschreven uitgewerkt met het softwarepakket "Unscrambler" (multi-variabelenanalyse). Voor uitvoering van de "Cross Validation" methode zijn de spectra van deze meetinstrumenten voorbehandeld door een "Multiplicative Scattering Correction" (MSC) uit te voeren. Op basis hiervan zijn afwijkingen zoals het resultaat van licht-scattering verwijderd.

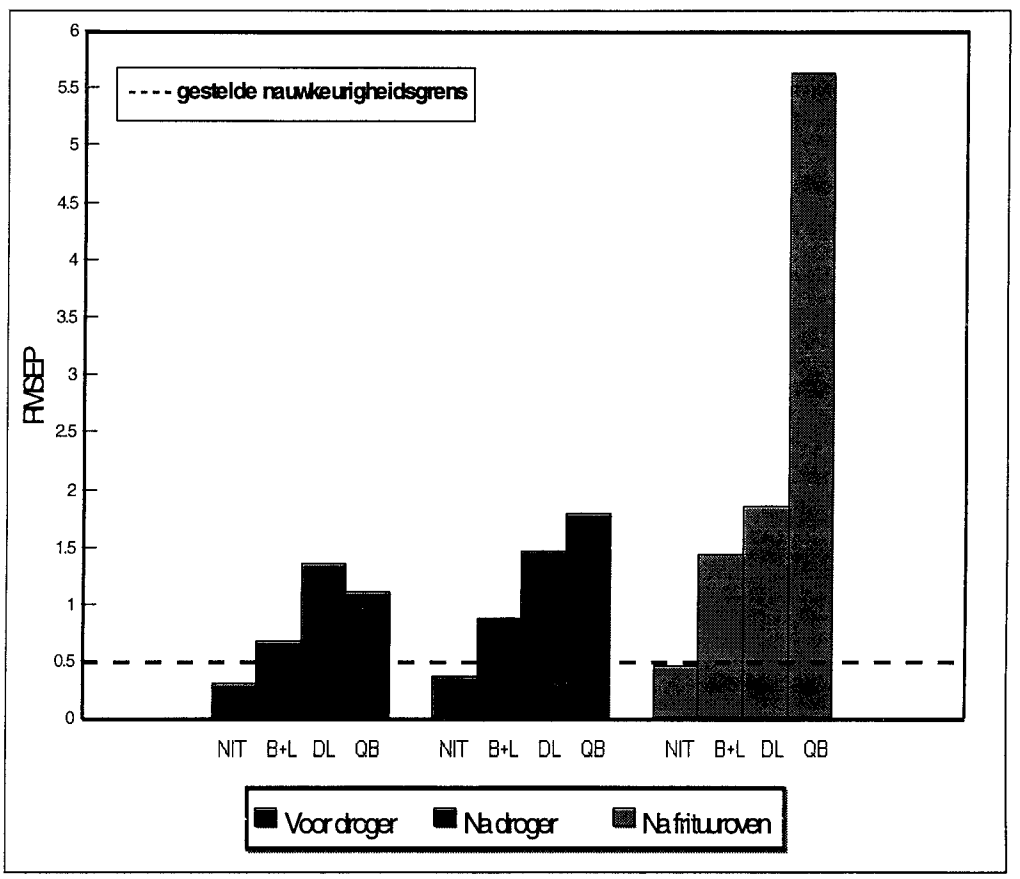
De resultaten van het filtersysteem zijn met het softwarepakket "Genstat" uitgewerkt. Vóór de uitvoering van de "Cross Validation" methode zijn deze resultaten tevens geoptimaliseerd met behulp van het softwareprogramma "Calibration Software for Moisture Systems Instrumentation".

Eigendom van ATO-DLO. Niets uit dit voorstel mag worden gebruikt, vermeerderd of gedistribueerd zonder schriftelijke toestemming van ATO-DLO

2.3 Resultaten en discussie

In overleg met de VAVI is de vereiste nauwkeurigheid van het meetsysteem om vocht te meten vastgesteld op een meetfout van **maximaal 1% met een betrouwbaarheid van 95%**. Twee keer de RMSEP geeft deze gestelde meetfout voor de bepaling aan met 95% betrouwbaarheid (RMSEP mag dus maximaal een 0.5 zijn).

Figuur 1.1 en figuur 1.2 laten de gemiddelde meetfout (RMSEP) van de droge-stofgehaltebepaling van ieder meetinstrument zien voor respectievelijk bewaarde aardappelen en nieuwe aardappelen.

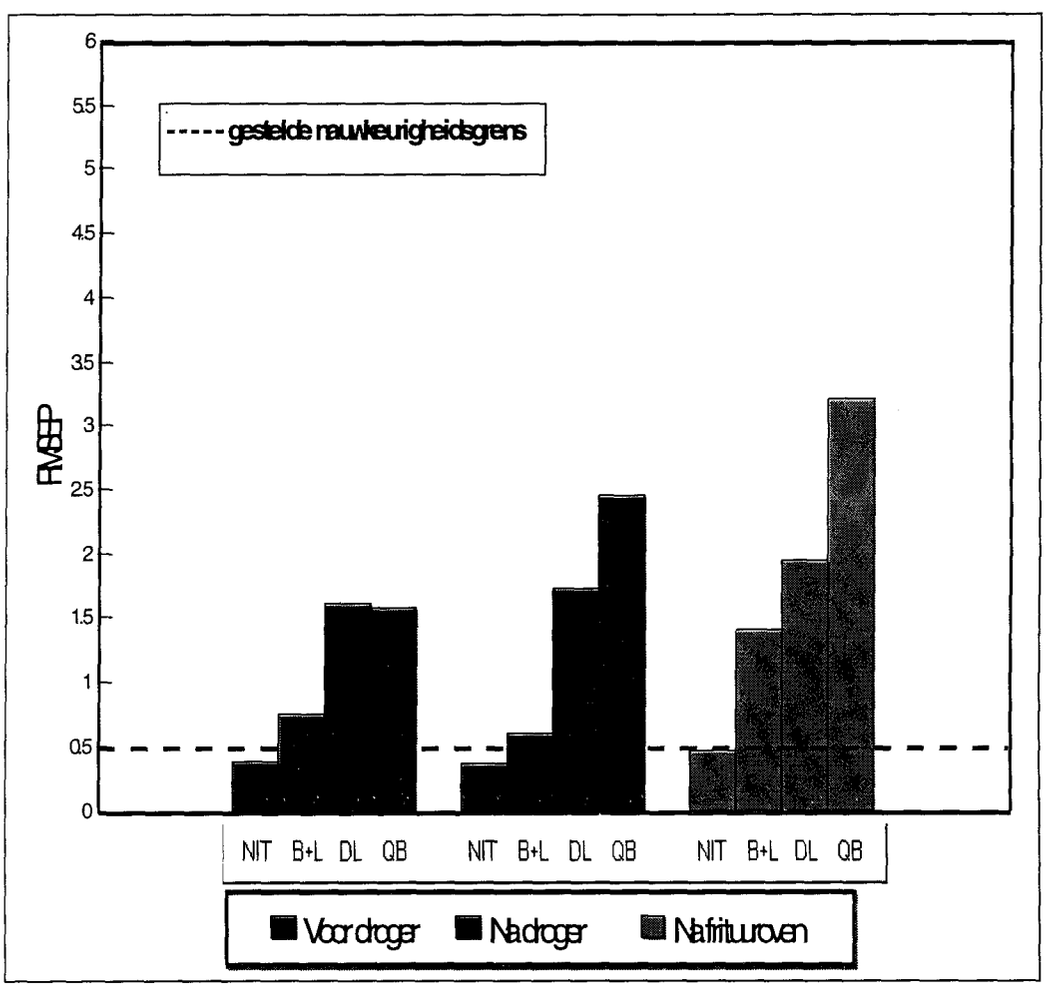


Figuur 1.1: RMSEP van de vochtbepaling met de vier meetinstrumenten op de verschillende meetplaatsen (bewaarde aardappelen).

Eigendom van ATO-DLO. Niets uit dit voorstel mag worden gebruikt, vermeerderd of gedistribueerd zonder schriftelijke toestemming van ATO-DLO

Uit figuren 1.1 en 1.2 wordt afgeleid dat naarmate later in het proces gemeten wordt de meetfout toeneemt. Deze trend is duidelijker voor reflectie dan voor transmissie. Daarnaast blijkt dat voor alle onderzochte meetplaatsen:

- transmissie is nauwkeuriger dan reflectie. Bovendien kan alleen transmissie voldoen aan de gestelde nauwkeurigheidsgrens;
- "on-line" meten (gemalen monster) lijkt nauwkeuriger dan "in-line" meten;
- de scanningsystemen leveren een hogere nauwkeurigheid dan het filtersysteem. Na de frituuroven is de RMSEP van het filtersysteem aanzienelijker hoger dan in de andere 2 meetplaatsen;
- deze trends gelden zowel voor nieuwe als voor bewaarde aardappelen.



Figuur 1.2: RMSEP van de vochtbepaling met de vier meetinstrumenten op de verschillende meetplaatsen (nieuwe aardappelen).

De vochtgehaltebepaling van voor de droger met de Direct Light (DL) toont een relatief hoge RMSEP. Ten opzichte van de andere meetplaatsen ligt het vochtgehalte van het product voor de droger op een hoger niveau. Daardoor is het gemeten signaal te sterk. De

Eigendom van ATO-DLO. Niets uit dit voorstel mag worden gebruikt, vermeerderd of gedistribueerd zonder schriftelijke toestemming van ATO-DLO

detector wordt daardoor onstabiel met als resultaat dat de spectra niet meer gebruikt kunnen worden of te onnauwkeurig zijn. Dit instrument lijkt het meest gevoelig hiervoor, waarschijnlijk omdat de Direct Light gebruik maakt van een sterke lichtbron en op een relatief groot oppervlak meet. Door gebruik te maken van een minder sterke lichtbron of door de afstand van de sensor naar de band te vergroten zou dit probleem opgelost kunnen worden.

Tabel 1.2 laat de gemiddelde meetfout (RMSEP) van de vetbepaling van ieder instrument zien (bewaarde en nieuwe aardappelen).

Instrument	**RMSEP**	
	Bewaarde aardappelen	**Nieuwe aardappelen**
Infratec 1265 (NIT)	0.35	0.31
InfraAlyzer 500 (B+L)	1.06	0.96
Direct Light (DL)	1.29	0.87
Quadra Beam 6500 (QB)	1.91	1.59

Tabel 1.2: RMSEP van de vetgehaltebepaling met de vier vergeleken instrumenten.

Uit de analyse van tabel 1.2 blijkt dat ook voor de vetbepaling transmissie nauwkeuriger resultaten oplevert als met reflectie. Daarnaast kan worden geconcludeerd dat "in-line" meten (meten het product direct op de band) een hoger RMSEP toont dan "on-line" meten (gemalen monster). Deze resultaten gelden zowel voor bewaarde als voor nieuwe aardappelen.

Zowel voor de vocht- als voor de vetbepaling zijn de resultaten van de Quadra Beam voor nieuwe aardappelen verbeterd ten opzicht van de bewaarde grondstof. Naast de natuurlijke variatie die een bepaling op nieuwe of bewaarde grondstof kan hebben, is de analyse van de spectra van de Quadra Beam in de tweede experiment geoptimaliseerd. Het totaal signaal van de Quadra Beam bestaat uit de bijdrage van ieder filter. De bijdrage van ieder filter is bepaald door de verhouding tussen filters. De leverancier heeft met behulp van specifieke software de optimale verhouding tussen de filters vastgesteld en die is gebruikt in de analyse van de spectra in het tweede experiment (met nieuwe aardappelen).

Bij het uitvoeren van de "Cross validation" wordt een parameter aangegeven - "residual" - die berekend is op basis van het verschil tussen de voorspelde en het respectievelijke referentie-gehalte van ieder monster. Op deze manier kan worden gekeken of de gevarieerde aspecten (grondstof- en procesaspecten hierboven genoemd) speciaal invloed hebben op de nauwkeurigheid van de bepaling met behulp van ieder instrument.

Zoals te verwachten is, gezien dat de monsters worden gemalen voor de bepaling met de Infratec en InfraAlyser, blijkt uit de analyse van de resultaten van deze instrumenten dat er geen direct invloed is van de laagdikte op de "residuals". Wat grondstofparameters betreft lijken ook deze geen invloed te hebben op de "residuals".

Eigendom van ATO-DLO. Niets uit dit voorstel mag worden gebruikt, vermeerderd of gedistribueerd zonder schriftelijke toestemming van ATO-DLO

Hoewel er een invloed van de laagdikte zou kunnen verwacht worden, blijkt tevens uit de analyse van de resultaten van de "in-line" instrumenten dat er geen invloed is van de laagdikte. De residuals zijn over het algemeen echter aanzienlijk hoog. Daarentegen blijkt de RMSEP van de rassen afzonderlijk wel te verschillen. Namelijk als alleen de metingen van het ras Bintje zijn gebruikt is de RMSEP hoger dan dat het geval is met Agria of Asterix.

Eigendom van ATO-DLO. Niets uit dit voorstel mag worden gebruikt, vermeerderd of gedistribueerd zonder schriftelijke toestemming van ATO-DLO

3. Keuze meetplaats en beschrijving monstername-, monstervoorbereiding- en meetsysteem (onderdeel 2)

3.1 Doel

Het doel is het vaststellen van de randvoorwaarden voor het monstername-, monstervoorbereiding- en meetsysteem.

3.2 Inleiding

Om dit doel te bereiken moeten eerst het meetprincipe en de meetplaats worden vastgesteld. In hoofdstuk 2 is afgeleid dat als meetprincipe transmissie moet worden gebruikt om de gewenste nauwkeurigheid te kunnen bereiken. De onderbouwing voor de keuze van de meetplaats wordt in paragraaf 3.3 uitgewerkt. Een beschrijving van het 'on-line' systeem voor die meetplaats wordt in paragraaf 3.4 gegeven. Vervolgens worden in paragraaf 3.5 de randvoorwaarden voor het monsternamesysteem, in paragraaf 3.6 de randvoorwaarden voor het monstervoorbereidingsysteem en tenslotte in paragraaf 3.7 de randvoorwaarden voor het transmissiemeetsysteem uitgewerkt.

3.3 Keuze van meetplaats

Een "on-line" meetsysteem vormt de basis om te zorgen dat het vochtgehalte van het eindproduct:

- beter aan de specificaties voldoet en
- binnen nauwere grenzen varieert.

In dit opzicht is de keuze voor de optimale meetplaats afhankelijk van 2 aspecten:

1) Reactietijd: tijd die beschikbaar is om in het proces in te grijpen en het eind vochtgehalte aan te kunnen passen.
2) Nauwkeurigheid voorspelling van vochtgehalte in het eindproduct: hoe nauwkeurig kan het vochtgehalte van het eindproduct worden voorspeld gedurende het proces.

De volgorde van de processtappen bij de productie van frites is in het kort als volgt: blancheren, drogen, frituren, koelen, vriezen. Drogen en frituren zijn de processtappen waar de grootste hoeveelheid water wordt verdampt in het proces. In de andere processtappen gebeurt dit in mindere mate of op een meer constante manier. In tabel 3.1 worden verschillende meetplaatsen in het proces vergeleken.

Eigendom van ATO-DLO. Niets uit dit voorstel mag worden gebruikt, vermeerderd of gedistribueerd zonder schriftelijke toestemming van ATO-DLO

mogelijkheden	**reactietijd**	**nauwkeurigheid voorspelling van eindvochtgehalte**	**opmerkingen**
Voor droger/ grondstof	+++	--	komt overeen met OWG
Na droger	++	-	eist modellering
Na frituuroven	+	++	flexibele sturing
Eindproduct	--	+++	

+++ : optimaal, ++ : zeer goed, + : goed, - : slecht, -- : zeer slecht

Tabel 3.1: vergelijking van mogelijke meetplaatsen.

Een meting na de droger vereist een modellering van het vervolg van het proces om het vochtgehalte van het eindproduct juist te kunnen voorspellen. De modellering van het vochtgehalte van frites in de frituuroven levert echter een probleem op omdat de waterverdamping in de frituuroven een functie is van:

- het droge-stofgehalte van de grondstof,
- het indroogpercentage in de droger en
- de procescondities in de frituuroven.

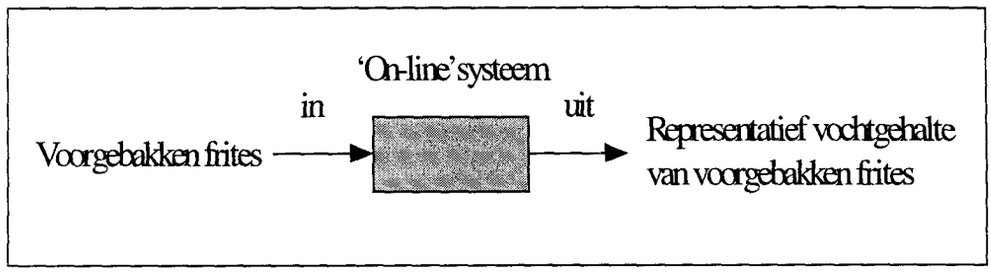
Uit een meting van het vochtgehalte na de droger alleen is het dus niet mogelijk om het effect van het droge-stofgehalte van de grondstof en het indroogpercentage op de waterverdamping te scheiden. Bovendien geeft modellering een minder nauwkeurige voorspelling van het eind vochtgehalte dan een werkelijke meting van het vochtgehalte na de frituuroven. De invloed van de procesgang na de frituuroven (koelen/vriezen) op de waterverdamping is daarentegen gering en constant te veronderstellen. Het gemiddelde vochtverlies van frites, onder variabele grondstof- en procescondities, gedurende het koelen en vriezen bedraagt 1.32% met een standaardafwijking van 0.37% (bron: experimenten voor VAVI project 'Karakterisering grondstof (aardappel) en voorspelling eigenschappen bij verwerking', 1994 t/m 1996). Dit biedt mogelijkheden om het vochtgehalte van het eindproduct nauwkeurig te kunnen voorspellen vanuit een vochtmeting na de frituuroven.

De optimale meetplaats van het vochtgehalte, zodat beter aan de specificaties kan worden voldaan en het vochtgehalte van het eindproduct binnen nauwere grenzen varieert, is daarom na de frituuroven.

Eigendom van ATO-DLO. Niets uit dit voorstel mag worden gebruikt, vermeerderd of gedistribueerd zonder schriftelijke toestemming van ATO-DLO

3.4 Beschrijving van monsternamesysteem, monstervoor-bereidingssysteem en transmissiemeetsysteem na de bakoven

Als na de bakoven het vochtgehalte van frites gemeten dient te worden ontstaat de in figuur 3.1 schematisch weergeven situatie:



Figuur 3.1 *Schematisch weergegeven vochtmeting van voorgebakken frites met behulp van een 'on-line' systeem*

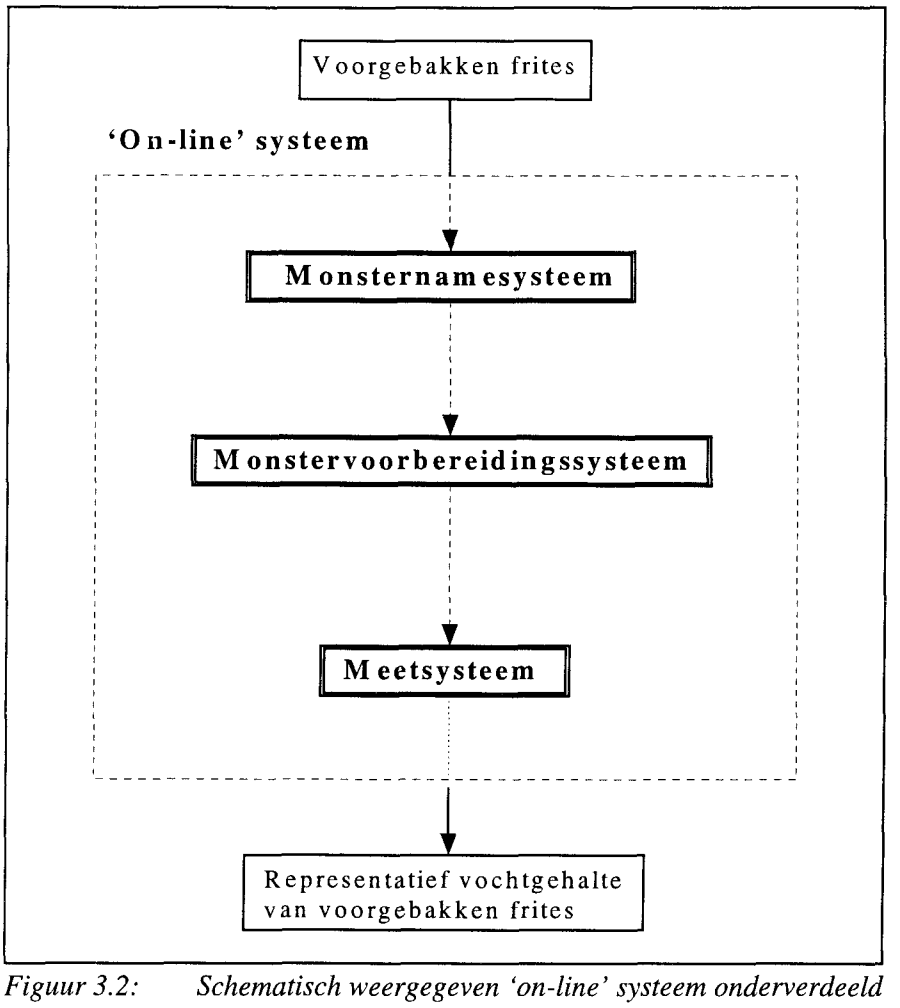
De in- en uitgang (zie figuur 3.1) van het 'on-line'systeem na de bakoven worden hieronder puntsgewijs beschreven:

1. Voorgebakken frites,
   vaste stof,
   plakkerig/visceus product,
   warm product (tot 180 °C),
   en redelijk hoog vochtgehalte.

2. Representatief vochtgehalte van voorgebakken frites,
   door middel van een representatieve monsterhoeveelheid van frites,
   meetonnauwkeurigheid maximaal 1%,
   en een tijdsduur voor bepaling van het vochtgehalte van maximaal 2 minuten.

Om in transmissie een representatief vochtgehalte (en vetgehalte) van voorgebakken frites te kunnen meten is het in figuur 3.2 schematisch beschreven 'on-line' systeem benodigd.

Eigendom van ATO-DLO. Niets uit dit voorstel mag worden gebruikt, vermeerderd of gedistribueerd zonder schriftelijke toestemming van ATO-DLO



Figuur 3.2: Schematisch weergegeven 'on-line' systeem onderverdeeld in de 3 subsystemen.

Het 'on-line'systeem na de bakoven bestaat uit 3 subsystemen en bezit de mogelijkheid om de volgende stappen uit te voeren: het monsternamesysteem neemt een representatieve monsterhoeveelheid van voorgebakken frites uit de verwerkingslijn, waarna het monstervoorbereidingssysteem ervoor zorgt dat op een uniforme wijze deze monsterhoeveelheid wordt gehomogeniseerd en verkleind.

Het meetsysteem voert vochtmetingen uit van de hoeveelheid gehomogeniseerd monster met een uniforme meetmethode zodat een representatief gemiddeld vochtgehalte (en vetgehalte) wordt bepaald. Tenslotte kan op basis van het meetresultaat, zijn de een representatief vochtgehalte van voorgebakken frites op een bepaald tijdstip, een regelactie worden gemaakt.

Eigendom van ATO-DLO. Niets uit dit voorstel mag worden gebruikt, vermeerderd of gedistribueerd zonder schriftelijke toestemming van ATO-DLO

Voor het 'on-line'systeem zijn 3 manieren van werking mogelijk:
- Batch werking,
- Semi-continue werking,
- Continue werking.

Aangezien de tijd tussen 2 meetresultaten zo kort mogelijk gehouden dient te worden is een batch werking voor deze toepassing niet geschikt. Een continue werking betekent een continue monstername waardoor geen scheiding tussen monsters mogelijk wordt. De tijd tussen 2 meetresultaten is daarentegen zo kort mogelijk en is geen schoonmaken benodigd. Met een semi-continue werking wordt het mogelijk een scheiding tussen monsters aan te brengen en daarvoor de subsystemen te kunnen schoonmaken. De tijd tussen 2 meetresultaten, opgebouwd uit tijd voor meten, transport en eventueel schoonmaken, wordt op maximaal 2 minuten gesteld.

In fase 2 van het project on-line wordt vastgesteld welke werking (semi-continue of continue) het beste resultaat geeft voor het 'on-line' systeem.

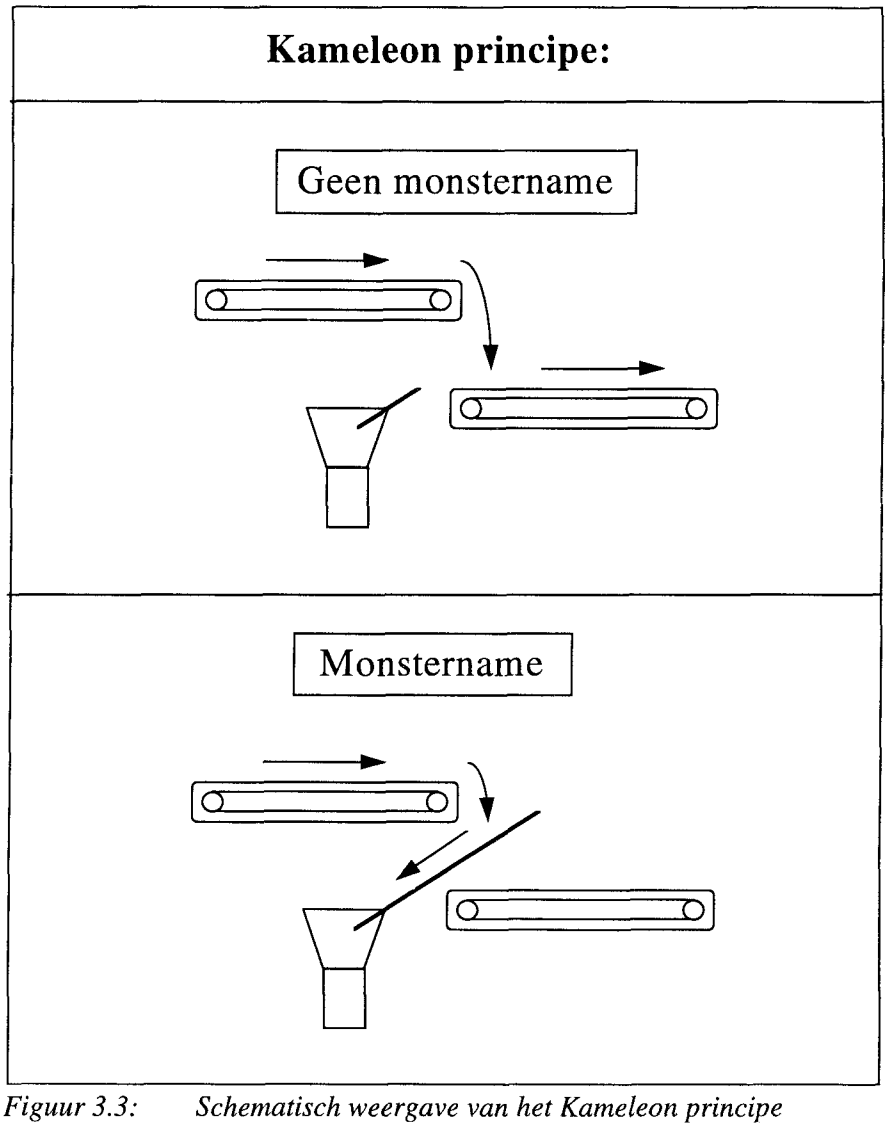
Het 'on-line' systeem bestaat dus uit drie subsystemen waarvan achtereenvolgens de mogelijkheden worden aangegeven en de randvoorwaarden verder worden uitgewerkt. In paragraaf 3.5 wordt dit gedaan voor het monsternamesysteem, vervolgens in paragraaf 3.6 voor het monstervooorbereidingssysteem en tenslotte in paragraaf 3.7 voor het transmissiemeetsysteem.

3.5 Vaststellen randvoorwaarden voor monsternamesysteem

Het monsternamesysteem moet ervoor zorgen dat een bepaalde hoeveelheid voorgebakken frites (vast, plakkerig/visceus en warm product) het monstervoorbereidingssysteem bereikt vanuit de verwerkingslijn. Een belangrijk punt hierbij is om te kunnen bemonsteren op meerdere plaatsen in de band. Hiervoor komen een aantal monsternameprincipes in aanmerking waarvan achtereenvolgens de principes worden aangegeven:

Eigendom van ATO-DLO. Niets uit dit voorstel mag worden gebruikt, vermeerderd of gedistribueerd zonder schriftelijke toestemming van ATO-DLO

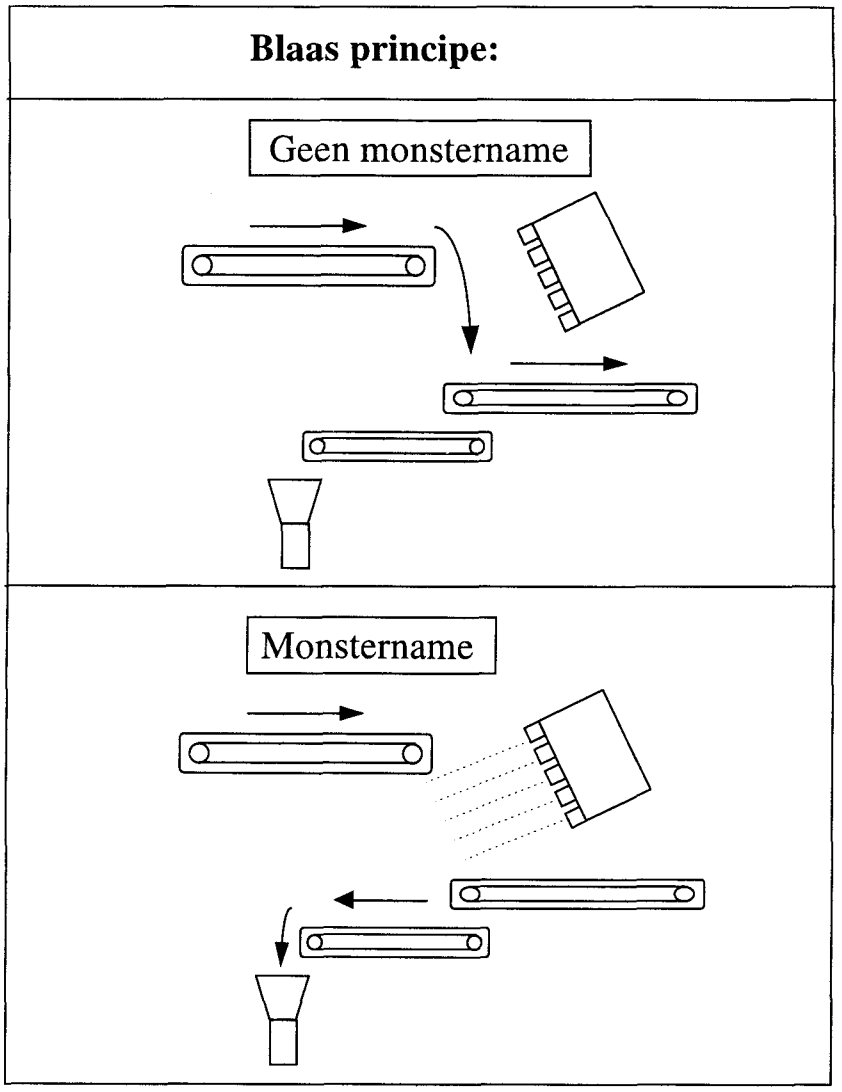
- Kameleon principe:
  De monstername vindt plaats doordat met een bepaalde frequentie gedurende een bepaalde tijdsduur door middel van een uitschuifplaat het monster wordt opgevangen. Bij het inschuiven komt het monster in het monstervoorbereidingssysteem (zie figuur 3.3).



Figuur 3.3: Schematisch weergave van het Kameleon principe

Eigendom van ATO-DLO. Niets uit dit voorstel mag worden gebruikt, vermeerderd of gedistribueerd zonder schriftelijke toestemming van ATO-DLO

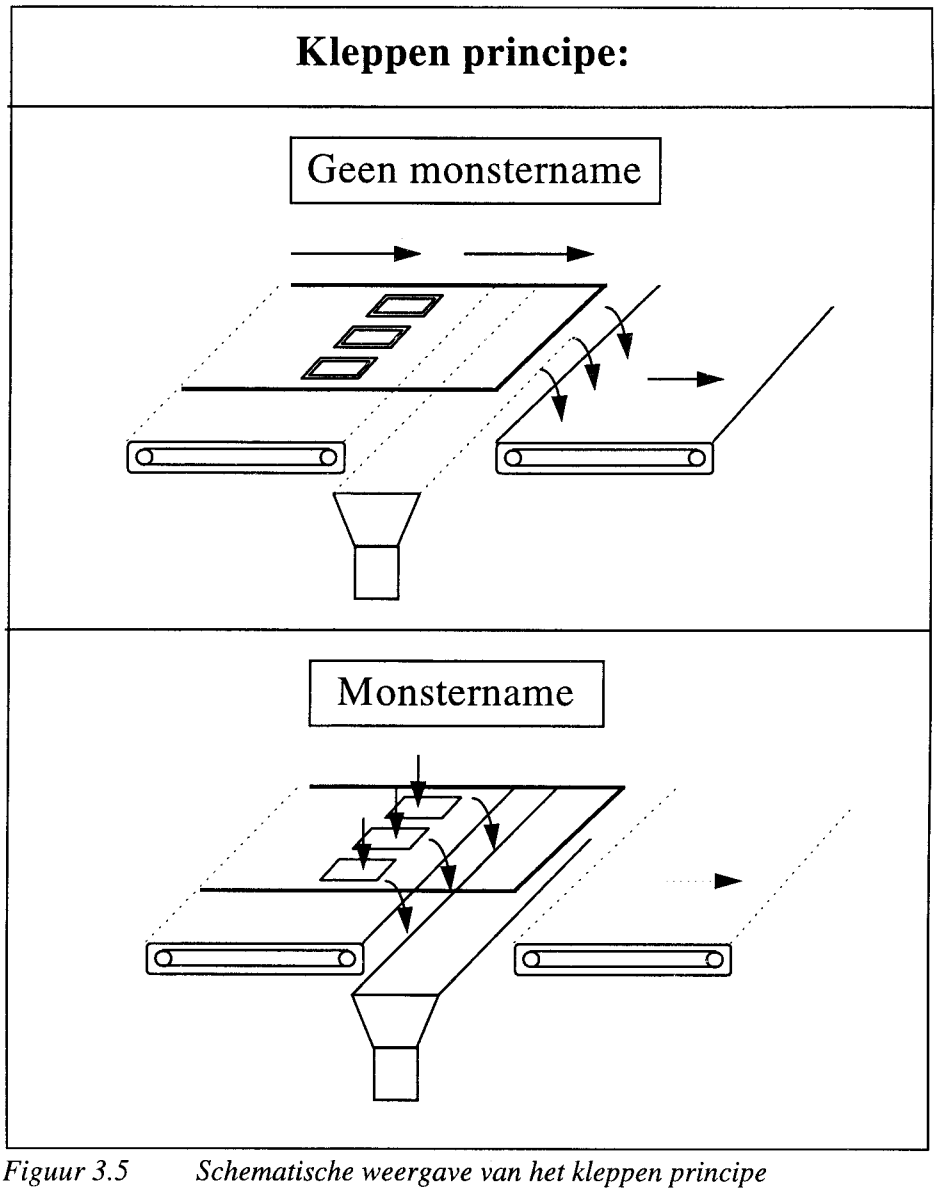
- Blaas principe:
  De monstername vindt plaats doordat met een bepaalde frequentie gedurende een bepaalde tijdsduur het monster d.m.v. blazen wordt afgescheiden van de productstroom. Hierna komt het monster terecht in het monstervoorbereidingssysteem (zie figuur 3.4).



Figuur 3.4: Schematische weergave van blaas principe

Eigendom van ATO-DLO. Niets uit dit voorstel mag worden gebruikt, vermeerderd of gedistribueerd zonder schriftelijke toestemming van ATO-DLO

- Kleppen/band principe:
  De monstername vindt plaats doordat met behulp van kleppen op verschillende plaatsen in de transportband met een bepaalde frequentie een bepaalde tijdsduur het monster kan worden afgescheiden van de productstroom. Vervolgens komt het monster in het monstervoorbereidingssysteem terecht (zie figuur 3.5). Dit principe vereist voldoende ruimte onder de transportband.



Figuur 3.5 Schematische weergave van het kleppen principe

Eigendom van ATO-DLO. Niets uit dit voorstel mag worden gebruikt, vermeerderd of gedistribueerd zonder schriftelijke toestemming van ATO-DLO

In de tweede fase van het project "on-line" wordt het uiteindelijke principe gekozen op basis van de volgende aspecten:
- Benodigde ruimte
- Mogelijkheid om monster te nemen op verschillende plaatsen
- Transportmogelijkheden naar volgende stap
- Benodigde schoonmaak en onderhoud
- Prijs
- Robuustheid

3.6 Vaststellen randvoorwaarden voor monstervoorbereidingssyteem

Het monstervoorbereidingssysteem moet ervoor zorgen dat een hoeveelheid frites wordt gestandaardiseerd (gemalen, gehomogeniseerd) en een hoeveelheid monster wordt vervoerd naar het meetsysteem (rest van monster moet worden afgesplitst) zodat het monster vervolgens op een uniforme wijze in het transmissiemeetsysteem gemeten kan worden.

Dit moet op een zodanige manier gebeuren, dat het vochtgehalte van het monster niet wordt beïnvloed door de monstervoorbereiding. Hiervoor komen een aantal monstervoorbereidingsprincipes in aanmerking welke achtereenvolgens worden aangegeven:

- Monstervoorbereiding met het koelprincipe
  Met behulp van injectie van vloeibaar stikstof of droogijs wordt een gestandaardiseerde monstervoorbereiding (gemalen) met een constant vochtgehalte van het monster gegarandeerd. Hierdoor kan het monster als een poeder worden behandeld. Er zal echter wel plakkerigheid van het monster aan het materiaaloppervlak optreden, alhoewel de monsterbestanddelen los ten opzichte van elkaar liggen.

- Mini-extruder principe als monstervoorbereiding
  Het mini-extruder principe maakt gebruik van een schroef en is uitgetest door simulatie met behulp van een vleeswolf. Hierbij wordt een gestandaardiseerde monster-voorbereiding met een constant vochtgehalte van het monster gegarandeerd. Er treedt plakkerigheid van de monsterbestanddelen ten opzichte van elkaar op, maar niet met het oppervlak van het materiaal. De problemen ontstaan door het optreden van vettigheid van het materiaaloppervlak waardoor schoonmaken wordt bemoeilijkt. De drijvende kracht van het monster is gering door de schroef. De drijvende kracht kan eventueel worden opgelost door gebruik te maken van een dubbele schroef.

Kortom, de keuze voor een monstervoorbereidingsysteem in de volgende fase van het project on-line wordt een overweging van de volgende aspecten:
- Efficiëntie homogenisatie en verkleining van monster
- Prijs
- Gemak van schoonmaak en onderhoud
- Gemak van transport
- Robuustheid

Eigendom van ATO-DLO. Niets uit dit voorstel mag worden gebruikt, vermeerderd of gedistribueerd zonder schriftelijke toestemming van ATO-DLO

3.7 Vaststellen randvoorwaarden voor transmissiemeetsysteem

De meting met het transmissiemeetsysteem moet zo worden uitgevoerd dat op een uniforme wijze een representatief vochtgehalte (en vetgehalte) van het voorbereide monster kan worden bepaald. Het transmissiemeetsysteem moet dan aan de volgende randvoorwaarden voldoen:

1. De monsterhoeveelheid gebruikt voor vochtbepaling (en vet) moet bij bepaalde procescondities representatief voor de partij zijn.

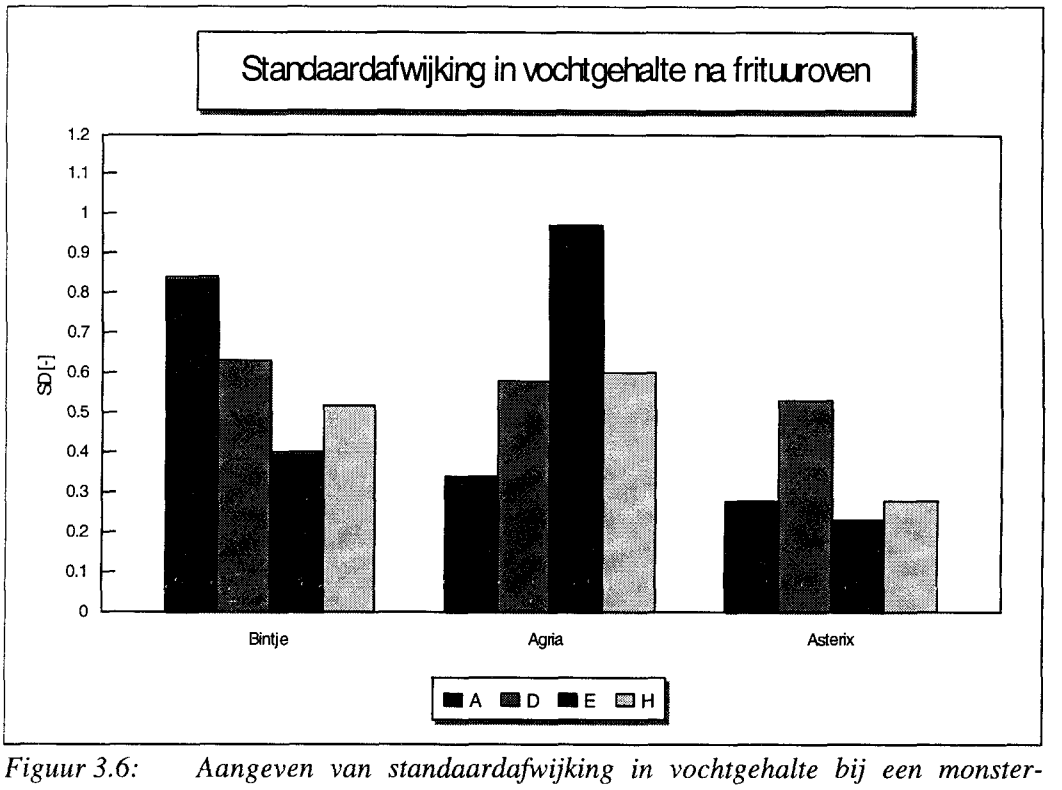
De variatie in vochtgehalte van frites uit één partij, verwerkt onder constante procescondities wordt bepaald door:
- variatie in grondstof
- variatie in proces (schommelingen in 'set points', verversing, etc)

Het vocht- en vetgehalte "on-line" gemeten op een bepaald moment moet representatief zijn voor die partij en op dat tijdstip (dus bij bepaalde constante procescondities). Dit impliceert dat de variaties door de grondstof en het proces moeten worden gemiddeld; dit gebeurt door het nemen en meten van een representatief monster wat hoeveelheid en frequentiename betreft.

De situatie is aangegeven in figuur 3.6, waar de standaardafwijking een maat is voor de totale variatie (grondstof + proces) in vochtgehalte van frites binnen één partij. Er zijn 6 partijen onderzocht (2 partijen Bintje, 2 partijen Agria en 2 partijen Asterix, elk met hoog en laag OWG) . Voor iedere partij, verwerkt onder bepaalde constante procescondities, zijn monsters genomen op 4 verschillende tijdstippen. Het vochtgehalte van de 4 monsters is volgens de standaardmethode (gewichtverlies bij drogen) bepaald, waarbij de standaard afwijking is berekend.

Deze standaard afwijking is echter ook bepaald door de monstergrootte. De monstergrootte in dit experiment bedraagt ca. 800 gram per bemonsteringstijdstip. Uit figuur 3.6 blijkt dat de standaardafwijking varieert tussen 0.2 en 1. Gezien dat er voor de "on-line" vochtbepaling naar een maximale meetfout van ± 1% wordt gestreefd, zijn deze standaard afwijkingen relatief hoog. Hieruit kan nog niet worden geconcludeerd of het vochtgehalte van een hoeveelheid van 800 gram frites een representatief beeld kan geven van het gemiddelde vochtgehalte van een partij frites op dat moment in het proces (alhoewel de variatie te groot lijkt).

Eigendom van ATO-DLO. Niets uit dit voorstel mag worden gebruikt, vermeerderd of gedistribueerd zonder schriftelijke toestemming van ATO-DLO



Figuur 3.6: Aangeven van standaardafwijking in vochtgehalte bij een monsterhoeveelheid van 800 gram bij verschillende grondstof- en frituurcondities

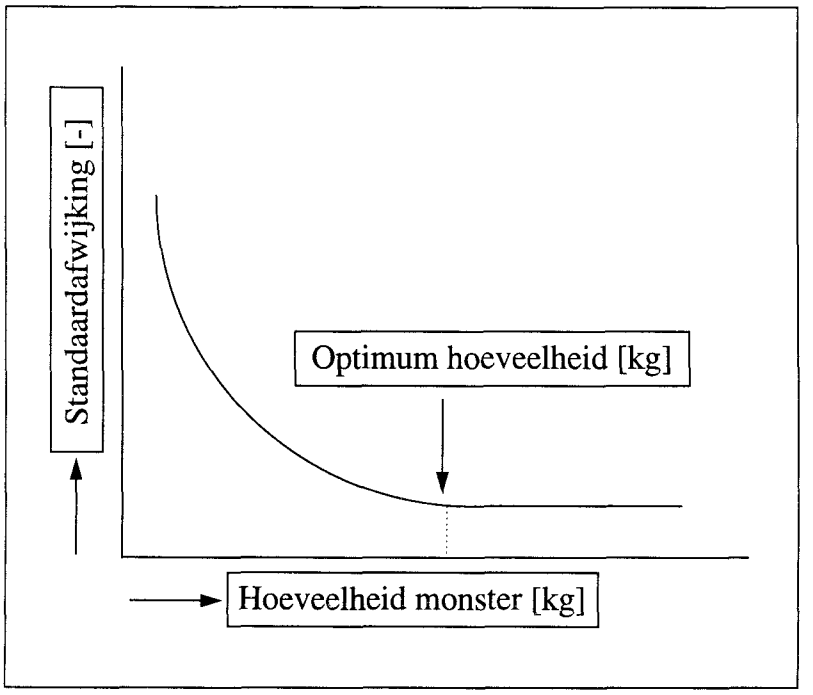
De symbolen A, D, E en H in figuur 3.1 horen bij de in tabel 3.2 genoemde condities:

Condities	OWG	Snijmaat	Verblijfstijd (s)	Temperatuur (°C)
Conditie A	Laag	10 X 10	30	180
Conditie D	Laag	7 X 7	180	180
Conditie E	Hoog	7 X 7	30	180
Conditie H	Hoog	10 X 10	180	180

Tabel 3.2: Combinaties voor frituuroven , gebruik van standaard droogcondities: 4 min. op 70°C en 100% ventilatie.

De optimale monsterhoeveelheid kan worden bepaald zoals is beschreven in figuur 3.7. Uit deze figuur kan worden afgeleid hoe met behulp van de standaardafwijking in het vochtgehalte van frites de mate van representativiteit van de monsterhoeveelheid voor de partij kan worden bepaald. Het experiment zoals hierboven beschreven is in werkelijkheid een punt van de grafiek getoond in figuur 3.7. De aanvullende experimenten zullen in fase 2 van het project worden uitgevoerd met verschillende monstergrootten.

Eigendom van ATO-DLO. Niets uit dit voorstel mag worden gebruikt, vermeerderd of gedistribueerd zonder schriftelijke toestemming van ATO-DLO



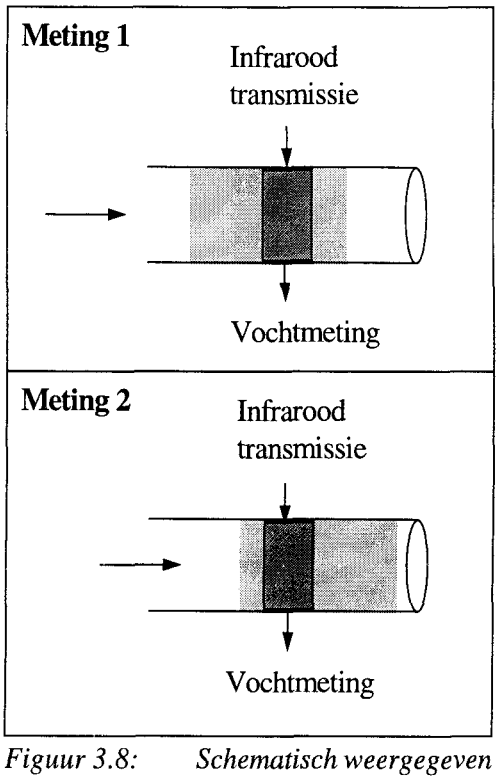
Figuur 3.7: Standaardafwijking in vochtgehalte van frites in de monsterhoeveelheid voor bepaling mate van representativiteit vochtgehalte van partij.

De optimale monsterhoeveelheid en frequentie zijn van elkaar afhankelijk. Een bepaalde hoeveelheid monster kan worden genomen en in één keer gemeten worden of dezelfde hoeveelheid monster kan worden verdeeld over een aantal kleinere hoeveelheden die op verschillende tijdstippen worden genomen. De keuze voor de optimale frequentie en monsterhoeveelheid zal tevens worden bepaald door technische aspecten met betrekking tot het ontwikkelen van het "on-line" meetsysteem.

2. Nauwkeurigheid van vochtbepaling: meetfout is maximaal ±1% met 95% betrouwbaarheid. Deze nauwkeurigheidsgrens is in overleg met de VAVI vastgesteld.

3. Uit vorig onderzoek is naar voren gekomen dat het gewenste meetresultaat moet worden opgebouwd uit een gemiddelde waarde van 15 spectra (gemeten op 15 verschillende plaatsen in het monster), van ieder 100 à 150 gram monster. Deze meetmethode kan worden uitgevoerd door middel van het doorschuifprincipe, die schematisch wordt weergegeven in figuur 3.8:

Eigendom van ATO-DLO. Niets uit dit voorstel mag worden gebruikt, vermeerderd of gedistribueerd zonder schriftelijke toestemming van ATO-DLO



Figuur 3.8: Schematisch weergegeven doorschuif principe als meetmethode.

Door gebruik te maken van het doorschuifprincipe wordt het transport en het schoonmaken vereenvoudigd.

4. De monsterdikte waardoorheen wordt gemeten in transmissie moet enerzijds een minimale transmissie van licht door het monster doorlaten en anderzijds zo groot mogelijk worden gehouden. Uit vorig onderzoek is gebleken dat hierdoor de monsterdikte maximaal 1.5 cm kan bedragen.

5. De temperatuur van het monster moet constant zijn.

De hierboven beschreven randvoorwaarden 1 t/m 5 worden definitief vastgesteld bij de functionele en technische specificaties van het systeem in fase 2 van het project on-line, samen met de gekozen partner (bedrijf).

Eigendom van ATO-DLO. Niets uit dit voorstel mag worden gebruikt, vermeerderd of gedistribueerd zonder schriftelijke toestemming van ATO-DLO

4. Marktverkenning (onderdeel 3)

4.1 Doel

Doel van dit onderdeel is het uitvoeren van een inventarisatie om een algemeen overzicht te krijgen van monstername-, monstervoorbereiding en infrarood meetsystemen die reeds ontwikkeld zijn. De resultaten van dit onderzoek geven inzicht in de bruikbaarheid van de systemen op het gebied van aardappelverwerking tot frites, namelijk bij de ontwikkeling van het "on-line" meetsysteem voor droge-stofbepaling.

4.2 Aanpak

Ten eerste is t.b.v. dit onderdeel een adressenlijst samengesteld van leveranciers van dergelijke systemen, waarna vervolgens de leveranciers benaderd zijn voor informatie. Vervolgens worden in tabellen verschillende karakteristieken van de systemen aangegeven. In paragraaf 4.3 wordt aangegeven hoe dit uitgewerkt is voor de meetsystemen en in paragraaf 4.4 voor de monstername- en monstervoorbereidingssystemen.

4.3 Marktverkenning infrarood meetsystemen

In het verslag "Marktonderonderzoek ten behoeve van het project , Ontwikkeling van een on-line meetsysteem voor droge-stofgehalte" wordt het resultaat van het marktonderzoek voor de infrarood meetsystemen getoond. De meetsystemen worden onderverdeeld in:

- Infrarood laboratorium meetsystemen
- Infrarood on-line / in-line meetsystemen

.Bij de infrarood laboratorium meetsystemen wordt tevens vermeld of een zgn. "optical fiber" voorhanden is, waarmee een aanpassing naar een on-line / in-line meetsysteem eenvoudiger gerealiseerd kan worden. In het marktonderzoek zijn o.a. de volgende gegevens opgenomen:

- technische informatie;
- software (voor data-overdracht, calibratie);
- prijzen.

De technische informatie bestaat uit de meettechnologie (hoe wordt het product gemeten), systeem van golflengteselectie (hoe worden de verschillende golflengten uit het licht gesplitst), soort spectrofotometer (hoe wordt het licht naar het monster verstuurd) en eventuele extra's (b.v microscopie, raman).

In tabel 4.1 worden infrarood meetsystemen, als resultaat van het marktonderzoek, aangegeven die on-line in transmissie vaste stoffen kunnen meten.

Eigendom van ATO-DLO. Niets uit dit voorstel mag worden gebruikt, vermeerderd of gedistribueerd zonder schriftelijke toestemming van ATO-DLO

Bedrijfsnaam	Instrument	(richt) prijs
Foss Electric, Tecator	Infratec series	fl 90.000,-
Bio-Rad	FTS series	fl 55.000,-
Te Lintelo Systems	Spectro 320/ MMS NIR	fl 75.000,- / fl 15.000,-
TOP Sensor Systems	Ocean Optics series	fl 10.000,-
This Analytical	FT(N)IR/ Brimrose Luminar 2000	- / fl 150.000,-
Perkin-Elmer	Spectrum-/ Paragon IdentiCheck	fl 60.000,- / fl 100.000,-
Hartmann & Braun	Bonem MB series	fl 36.000,-
Wilten Analytica	Polytec X-dap	fl 111.000,-
Bruins Instruments	Omega serie	fl 110.000,-
Fair Light	PS-NIR 1/2	fl 50.000,-

4.4 Marktverkenning monstername- en monstervoorbereidingssystemen

In het verslag "Marktonderzoek ten behoeve van het project, Ontwikkeling van een on-line meetsysteem voor droge-stofgehalte" wordt het resultaat van het marktonderzoek voor de monstername- en monstervoorbereidingssystemen getoond. Hiervoor zijn leveranciers van laboratoriumapparatuur, semi-industriële apparatuur en machinefabrikanten benaderd en om informatie gevraagd. Hierin zijn o.a. de volgende gegevens opgenomen:

- principe;
- automatisering;
- prijzen.

Uit het marktonderzoek blijkt dat geen directe oplossing beschikbaar is op de markt voor het monsternamesysteem. Voor het monstervoorbereidingssysteem zijn de volgende systemen beschikbaar: reactoren, extruders, cutter-mixer en andere diverse maal- en mengapparatuur. Daarnaast worden ook mogelijkheden aangegeven voor monstertransportsystemen (zuig- en blaastransport).

Eigendom van ATO-DLO. Niets uit dit voorstel mag worden gebruikt, vermeerderd of gedistribueerd zonder schriftelijke toestemming van ATO-DLO

5. Inpassen ontwikkelde ijklijn/methode in praktijksituatie (onderdeel 4)

5.1 Doel

Het doel van dit onderdeel is het vaststellen van de bruikbaarheid van de ontwikkelde Nabij Infrarood-ijklijn voor diepgevroren producten voor verschillende aardappel-verwerkende bedrijven.

In voorgaand onderzoek is een methode ontwikkeld om snel het vocht- en vetgehalte van standaard 10 bij 10 mm diepgevroren voorgebakken frites te bepalen ("at-line"). Nabij Infrarood (transmissie) is de meettechniek die gebruikt is bij deze methode. Hiervoor is een ijklijn ontwikkeld waarbij gebruikt is gemaakt alleen van monsters geproduceerd op de pilot-lijn van ATO-DLO (gefrituurd in geharde palmolie). Deze monsters zijn afkomstig uit verschillende partijen (verschillende rassen, OWG, herkomst, seizoenen en bewaartijd). Op basis van de voorspellingsnauwkeurigheid van deze ijklijn in de praktijksituatie kan ingeschat worden in hoeverre de ijklijn voor het "on-line" systeem moet worden aangepast aan de specifieke condities binnen de bedrijven.

5.2 Werkwijze

Het vocht- en vetgehalte van monsters die geproduceerd zijn in een viertal aardappelverwerkende bedrijven zijn bepaald met behulp van de ontwikkelde methode/ijklijn en de referentie-methoden (droge-stofgehalte: gewichtverlies tijdens drogen; vetgehalte: Foss-let methode). Ieder monster is twee maal bepaald.

In de monsterset van ieder bedrijf zijn factoren opgenomen die de bruikbaarheid van de huidige ijklijn zouden kunnen beperken:
- verschillende partijen aardappelen (rassen, OWG, herkomst, etc)
- snijmaten
- procesvoeringen/product soorten (ovenfrites, etc)
- soorten vet of olie

Tabel 5.1 geeft een beschrijving van de in totaal 30 gemeten monsters in dit onderdeel.

Eigendom van ATO-DLO. Niets uit dit voorstel mag worden gebruikt, vermeerderd of gedistribueerd zonder schriftelijke toestemming van ATO-DLO

monster nummer	bedrijf	snijmaat (mm)	procesvoering	ras	OW G	type vet
1-2	1	7 x 7	diepvries frites	Bintje	382	palmolie
3-4	1	7 x 7	diepvries frites	Asterix	396	palmolie
5-6	1	10 x 10	diepvries frites	Asterix	409	palmolie
7-8	1	-	schijven	Bintje	341	palmolie
9-10	1	10 x 10	diepvries frites	Bintje	355	palmolie
11-12	1	12 x 12 x 12	blokken	Aziza	373	palmolie
13-14	1	12 x 12 x 12	blokken	Bintje	409	palmolie
15-16	1	11 x 11	diepvries frites	Aziza	396	palmolie
17-18	1	11 x 11	ovenfrites	Doree	418	palmolie
19-20	2	10 x 10	diepvries frites	Bintje	390	palmvet
21-22	2	10 x 10	diepvries frites	Bintje	365	palmvet
23-24	2	12 x 12	-	Asterix	415	palmvet
25-26	2	12 x 12	-	Felsina	430	palmvet
27-28	2	12 x12	ovenfrites	Bintje	380	zonnebloemolie
29-30	2	12 x 12	ovenfrites	Bintje	400	zonnebloemolie
31-32	3	11 x 11	ovenfrites	Agria	-	zonnebloemolie
33-34	3	20 x 10	-	Agria	-	zonnebloemolie
35-36	3	16 x 16	ovenfrites	Bintje	-	geharde palm of soja
37-38	3	10.3 x 10.3	diepvries frites	Bintje of Asterix	-	geharde palm of soja
39-40	3	10.3 x 10.3	fast food	Asterix	-	geharde palm of soja
41-42	3	7.4 x 7.4	-	Bintje of Asterix	-	geharde palm of soja
43-44	4	9 x 9	-	nr. 82	376	palmvet
45-46	4	6 x 6	-	Asterix	418	palmvet
47-48	4	6 x 6	fast food	Bintje	382	palmvet
49-50	4	9 x 9	-	Bintje	390	palmvet
51-52	4	6 x 6	ovenfrites	Bintje	373	zonnebloemolie
53-54	4	9 x 9	-	Bintje	365	palmvet
55-56	4	9 x 9	niet gedroogd	Bintje	386	palmvet
57-58	4	12 x 12	ovenfrites	Bintje	369	palmvet
59-60	4	20 x 10	-	Bintje	382	palmvet

Tabel 5.1: Overzicht van de gemeten monsters.

Eigendom van ATO-DLO. Niets uit dit voorstel mag worden gebruikt, vermeerderd of gedistribueerd zonder schriftelijke toestemming van ATO-DLO

5.3 Resultaten en discussie

Figuur 5.1 en 5.2 tonen respectievelijk de voorspelde vocht- en vetgehalten met de ontwikkelde ijklijn. De middelste lijn toont de lijn waar de voorspelde gehaltes exact gelijk zijn aan de referentie-gehaltes. De twee andere lijnen geven de ± 1% meetfout voor de vochtbepaling en ± 0.3% voor de vetbepaling. De nummers in de figuren komen overeen met de monsternummers zoals aangegeven in tabel 5.1.

In bijlage 3 zijn de voorspelde en referentie-gehalten (voor zowel vocht- als vetbepaling) van ieder monster aangegeven. Daarnaast is de berekende meetfout (het verschil tussen de voorspelde en referentiegehaltes) getoond.

Uit figuur 5.1 en de resultaten getoond in bijlage 3 blijkt dat de voorspelde vochtgehaltes steeds hoger liggen dan de respectievelijke referentie-gehaltes. Dit systematische verschil kan twee oorzaken hebben. De eerste mogelijkheid is de veroudering van één van de onderdelen van de Infratec, waarschijnlijk de lamp (de huidige lamp is al bijna 4 jaar in gebruik). De tweede mogelijkheid is een seizoenseffect. In ieder geval is het verschil duidelijk systematisch (offset bias) en daarom is de invloed van deze fout op de analyse van de resultaten beperkt. Daarnaast blijkt uit figuur 5.1 en de resultaten getoond in bijlage 3:

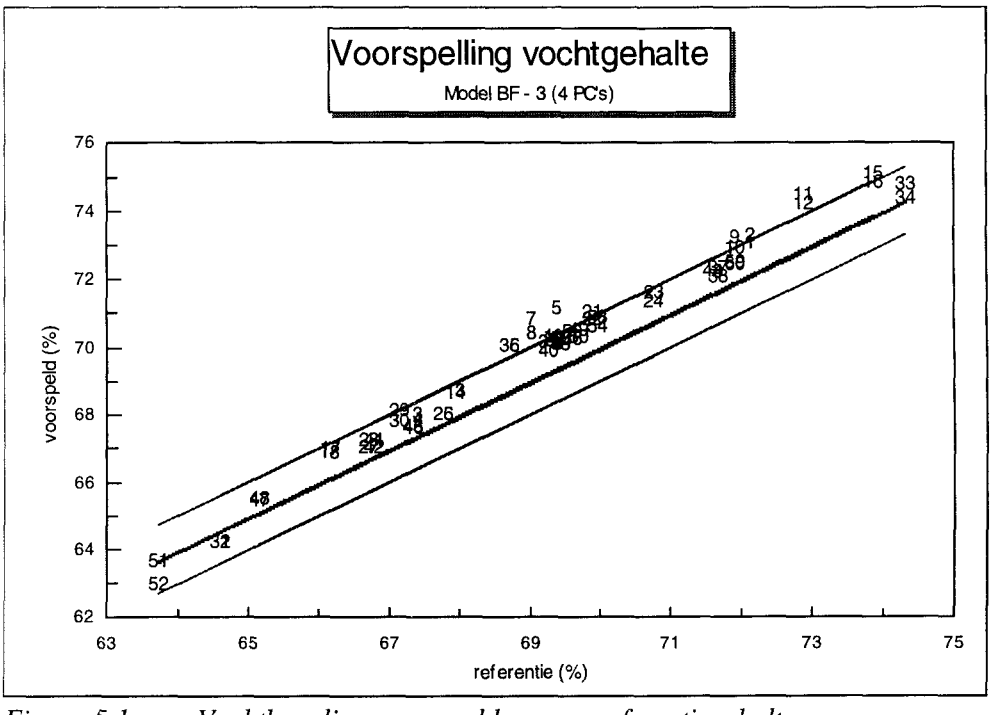
- dat met een relatief beperkte ijklijn het vochtgehalte van een brede range aan producten uit verschillende bedrijven relatief gezien nauwkeurig kan worden gemeten.

- dat grotere meetfouten niet overeen komen met een bepaald ras of OWG. Bij het ontwikkelen van de ijklijn voor de "at-line" methode is het ras van de monsters 17 en 18 niet gebruikt. Het blijkt echter dat deze monsters relatief gezien geen bijzonder hoge meetfout tonen. Het blijkt dus dat er geen invloed is van ras of OWG op de meetfout.

- dat de monsters afkomstig uit bedrijf 1 (monsters 1 - 18) een hogere meetfout vertonen dan de andere bedrijven. De monsterset van dit bedrijf bestaat echter uit een zeer verschillend aantal producttypen, wat betreft vorm en snijmaat.

- dat zeer afwijkende vormen/snijmaten zoals schijven en blokken (monsters 7 - 8 en 11 - 14) slechter voorspeld lijken te worden.

Eigendom van ATO-DLO. Niets uit dit voorstel mag worden gebruikt, vermeerderd of gedistribueerd zonder schriftelijke toestemming van ATO-DLO



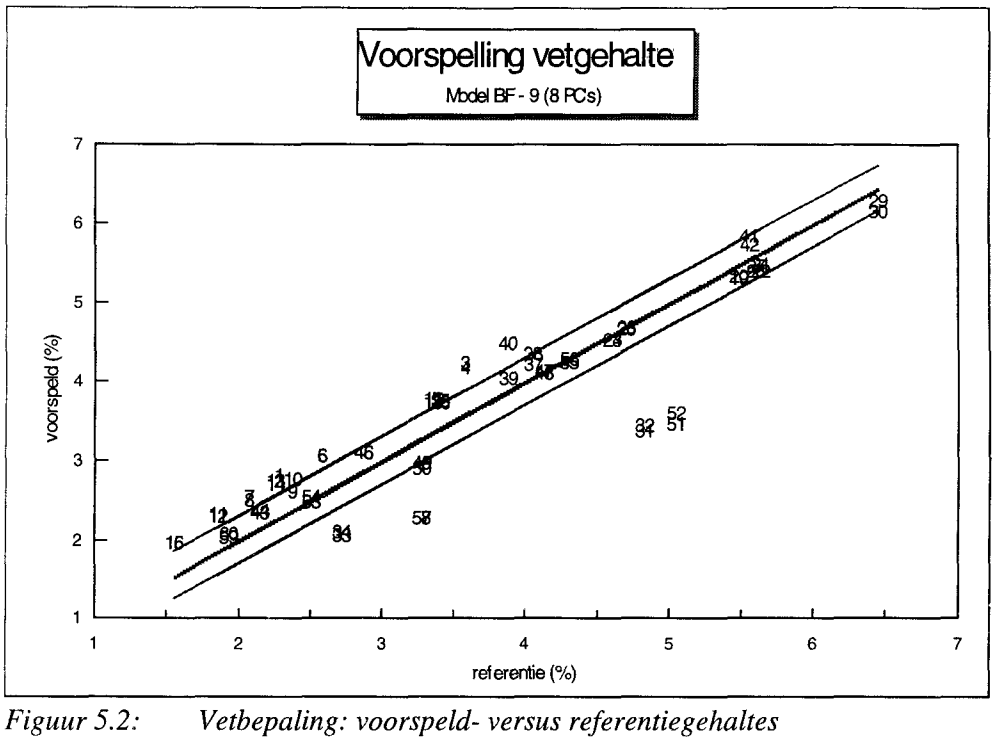
Figuur 5.1: Vochtbepaling: voorspeld- versus referentiegehaltes

Uit figuur 5.2 en de resultaten getoond in bijlage 3 blijkt:

- dat er geen invloed is van ras of OWG op de meetfout.
- dat de monsters afkomstig uit bedrijf 1 (monsters 1 - 18) een hogere meetfout vertonen dan de andere bedrijven. Dit bedrijf maakt gebruik van palmolie, terwijl zoals hierboven is genoemd de ijklijn is ontwikkeld met geharde palmolie.
- dat de monsters 31-32 en 51-52 duidelijk minder goed zijn voorspeld. Deze monsters zijn gefrituurd met zonnebloemolie. Echter bij de ontwikkeling van de ijklijn voor de "at-line" methode is alleen gebruik gemaakt van monsters gefrituurd in geharde palmolie. Bovendien zijn deze monsters van een ander producttype, namelijk van ovenfrites met verschillende snijmaten (in de ijklijn zijn alleen standaard 10 bij 10 mm diepvries frites gebruikt).

Door het ontwikkelen van een ijklijn waarbij gebruik wordt gemaakt van een brede range aan producttypes, gefrituurd met verschillende soorten vet en olie kan een brede range van monsters nauwkeurig worden voorspeld.

Eigendom van ATO-DLO. Niets uit dit voorstel mag worden gebruikt, vermeerderd of gedistribueerd zonder schriftelijke toestemming van ATO-DLO



Figuur 5.2: Vetbepaling: voorspeld- versus referentiegehaltes

Eigendom van ATO-DLO. Niets uit dit voorstel mag worden gebruikt, vermeerderd of gedistribueerd zonder schriftelijke toestemming van ATO-DLO

6. Conclusies

Op basis van de gepresenteerde resultaten en in overleg met de VAVI is het volgende geconcludeerd en vastgesteld:

- **keuze meettechniek: Nabij Infrarood in transmissie**. Er wordt gebruik gemaakt van een "by-pass"("on-line" meetsysteem). Het monster wordt voor de meting verkleind en gehomogeniseerd.

- **keuze meetplaats: na frituuroven**. Het systeem wordt zo flexibel mogelijk ontworpen zodat het met eenvoudige veranderingen eventueel gebruikt kan worden in andere plaatsen in het proces.

De benodigde gegevens voor de ontwikkeling van het "on-line" meetsysteem in de volgende fase zijn beschikbaar. Hiermee is de basis voor fase 2 van dit project gelegd.

Wat onderdeel 1 betreft kan worden geconcludeerd dat de vochtbepaling met behulp van Nabij Infrarood in transmissie duidelijk nauwkeurigere resultaten geeft dan meten met Nabij Infrarood in reflectie. Bovendien kan reflectie niet voldoen aan de gestelde nauwkeurigheidgrens van maximaal ± 1% meetfout (met 95% betrouwbaarheid). Ook voor de vetbepaling levert Nabij Infrarood in transmissie nauwkeuriger resultaten dan Nabij Infrarood reflectie. De gekozen meettechniek is daarom Nabij Infrarood transmissie.

Uit de resultaten kan tevens worden geconcludeerd dat de meetfout hoger is bij de "in-line" bepaling dan met gemalen monster (laboratorium opstelling). Deze conclusies gelden voor alle drie de onderzochte meetplaatsen: voor de droger, na de droger en na de frituuroven.

In onderdeel 2 is als meetplaats "na de frituuroven" vastgesteld om met het "on-line" meetsysteem ervoor te zorgen dat het vochtgehalte van het eindproduct beter aan de specificaties voldoet en binnen nauwere grenzen varieert. Deze meetplaats is gekozen omdat een meting na de frituuroven de mogelijkheid biedt om het vochtgehalte van het eindproduct nauwkeuriger te voorspellen dan door middel van een meting na de droger. Een meting na de droger impliceert modellering van de waterverdamping in de frituuroven. Deze meting levert echter niet de benodigde informatie om de waterverdamping in de frituuroven te kunnen voorspellen.

Vervolgens is voor de meetplaats na de frituuroven het 'on-line' systeem uitgewerkt. Het 'on-line' systeem is onderverdeeld in een monstername-, monstervoorbereiding- en meetsysteem. Hiervoor zijn de randvoorwaarden aangegeven met verschillende werkingsprincipes. De verschillende principes en de randvoorwaarden voor de systemen zijn beschreven en geven de mogelijkheid om het 'on-line' systeem te kunnen bouwen in fase 2 van het project.

Een compleet overzicht van leveranciers van monstername-, monstervoorbereiding- en meetsystemen die op de markt opereren is beschikbaar (onderdeel 3). Uit het marktonderzoek voor de infrarood meetsystemen komt naar voren dat naast de Infratec ook andere infrarood transmissie meetsystemen geschikt kunnen zijn om vocht en/of vetgehalte

Eigendom van ATO-DLO. Niets uit dit voorstel mag worden gebruikt, vermeerderd of gedistribueerd zonder schriftelijke toestemming van ATO-DLO

in vaste stoffen te kunnen meten. In fase 2 van het project wordt op basis van de prestatie/prijs verhouding het meest geschikte meetsysteem gekozen.

Uit het marktonderzoek voor de monstername- en monstervoorbereidingssystemen komen niet direct bruikbare monstername- en monstervoorbereidingsystemen naar voren die aan de totale eisen vermeld in hoofdstuk 3 kunnen voldoen. Het volledig geïntegreerde on-line systeem wordt daarom aan de hand van de aangegeven mogelijkheden in hoofdstuk 3 verder in detail uitgewerkt in fase 2 van het on-line project en gebouwd met de meest geschikt geachte partner. Op basis hiervan kan in de volgende fase de keuze voor een partner worden gemaakt.

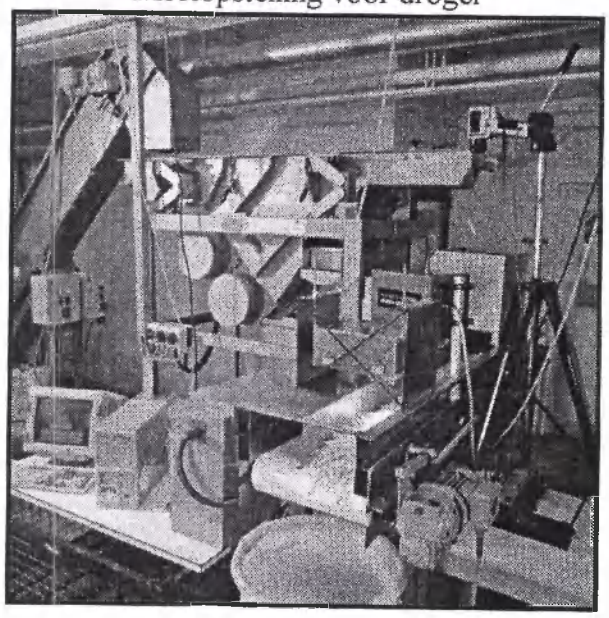
Uit onderdeel 4 kan worden geconcludeerd dat met een relatief beperkte ijklijn (1 producttype, 3 frituurtijden, 1 type vet, verschillende partijen *(verschillende rassen, OWG, herkomst, seizoenen en bewaaringtijd)* en 1 verwerkingslijn) het vocht- en vetgehalte van een brede range aan producten uit verschillende bedrijven relatief gezien kan worden gemeten. Het lijkt echter dat er twee aspecten zijn die een hogere meetfout vertonen: type vet en verschillende producttypen/snijmaten zoals blokken en schijven (en waarschijnlijk ovenfrites, hoewel dat deze conclusie niet direct kan worden genomen omdat ovenfrites vaak gefrituurd zijn met zonnebloemolie, wat een slechte voorspelling geeft).

Bij het ontwikkeling van de ijklijn in fase 2 moet speciale aandacht worden gegeven aan de genoemde twee aspecten. Daarnaast blijkt dat de meetfout van bepaalde bedrijven een soortgelijk gedrag hebben. Op basis hiervan kan worden geconcludeerd dat voor een hogere nauwkeurigheid van de ijklijn monsters afkomstig uit verschillende bedrijven aan de ijklijn toegevoegd.

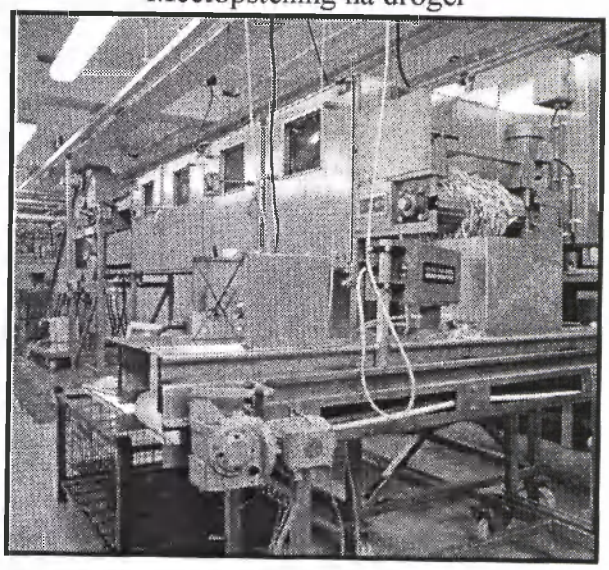
Eigendom van ATO-DLO. Niets uit dit voorstel mag worden gebruikt, vermeerderd of gedistribueerd zonder schriftelijke toestemming van ATO-DLO

Bijlage 1 Opstelling meetapparatuur in experimenten

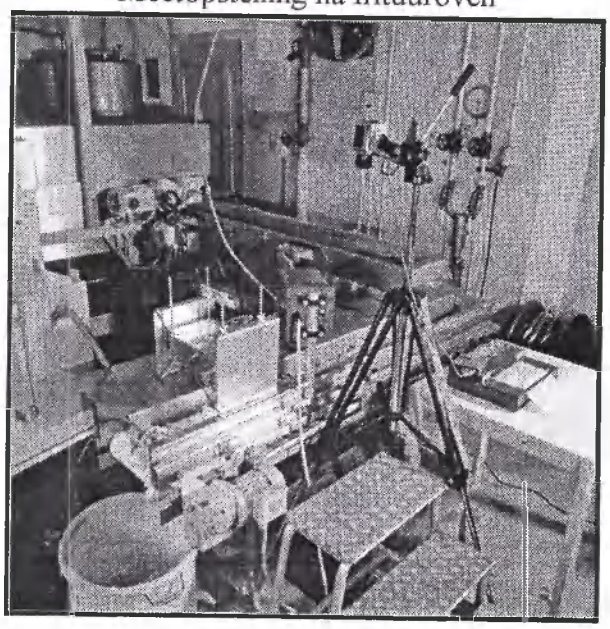
Meetopstelling voor droger



Meetopstelling na droger

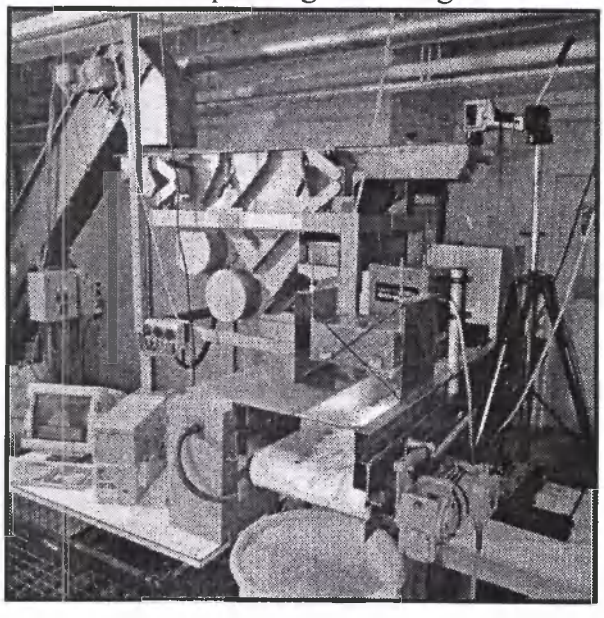


Meetopstelling na frituuroven

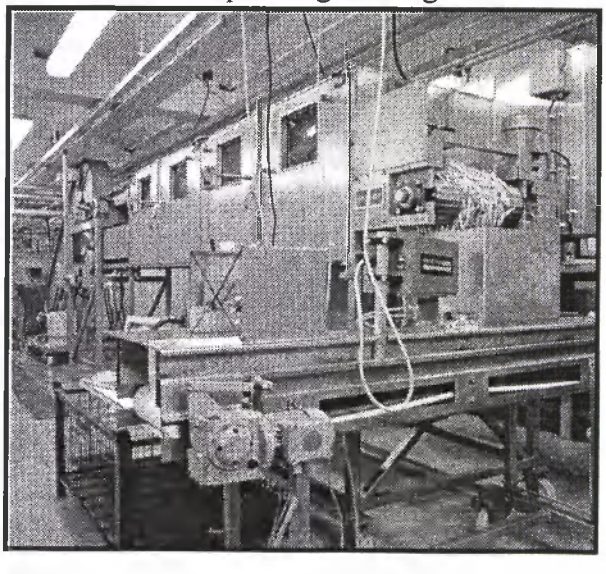


Bijlage 1 Opstelling meetapparatuur in experimenten

Meetopstelling voor droger



Meetopstelling na droger



Meetopstelling na frituuroven



Bijlage 2 Grondstof- en procesparameters in uitgevoerde experimenten onderdeel 1

Voor ieder ras en condities zijn met een hoge en een lage product laagdikte uitgevoerd:

- Combinaties bij meting vòòr droger:

Condities	OWG*	Snijmaat (mm)
Conditie 1A	L	10 x 10
Conditie 2B	L	7 x 7
Conditie 3C	H	7 x 7
Conditie 4D	H	10 x 10

- Combinaties bij meting na droger (ventilatie constant:=100%):

Condities	OWG*	Snijmaat (mm)	Verblijfstijd (min.)	Temperatuur (°C)
Conditie 1	L	7 X 7	12	90
Conditie 2	L	10 X 10	12	70
Conditie 3	L	7 X 7	2	70
Conditie 4	L	10 X 10	2	90
Conditie 5	H	7 X 7	2	90
Conditie 6	H	10 X 10	12	90
Conditie 7	H	7 X 7	12	70
Conditie 8	H	10 X 10	2	70

Combinaties bij meting na frituuroven (gebruik van standaard droogcondities: 4 min. op 70°C en 100% ventilatie):

Condities	OWG*	Snijmaat (mm)	Verblijfstijd (sec.)	Temperatuur (°C)
Conditie A	L	10 X 10	30	180
Conditie B	L	10 X 10	180	140
Conditie C	L	7 X 7	30	140
Conditie D	L	7 X 7	90	180
Conditie E	H	7 X 7	30	180
Conditie F	H	7 X 7	180	140
Conditie G	H	10 X 10	30	140
Conditie H	H	10 X 10	180	180

* OWG is Onderwatergewicht

Deze opzet is gebruikt voor zowel nieuwe als bewaarde aardappelen.

Bijlage 3 Voorspelde vocht- en vetgehalte uit onderdeel 4.

	Vochtbepaling			Vetbepaling		
Monster-nummer	voorspeld gehalte (%)	referentie gehalte (%)	meetfout (vrs. - ref.)	voorspeld gehalte (%)	referentie gehalte (%)	meetfout (vrs. - ref.)
1	73.06	72.12	0.95	2.79	2.28	0.52
2	73.26	72.12	1.15	2.72	2.28	0.44
3	68.00	67.40	0.61	4.21	3.58	0.63
4	67.83	67.40	0.43	4.16	3.58	0.58
5	71.15	69.37	1.78	3.05	2.58	0.47
6	70.08	69.37	0.72	3.04	2.58	0.47
7	70.80	69.01	1.79	2.52	2.08	0.45
8	70.39	69.01	1.38	2.49	2.08	0.42
9	73.19	71.90	1.29	2.59	2.38	0.22
10	72.90	71.90	0.99	2.74	2.38	0.37
11	74.44	72.87	1.57	2.31	1.85	0.46
12	74.18	72.87	1.32	2.28	1.85	0.43
13	68.67	67.93	0.73	2.73	2.25	0.48
14	68.63	67.93	0.69	2.69	2.25	0.44
15	75.07	73.87	1.20	1.94	1.55	0.39
16	74.81	73.87	0.94	1.96	1.55	0.41
17	66.94	66.13	0.82	3.75	3.35	0.40
18	66.85	66.13	0.72	3.71	3.35	0.36
19	70.30	69.31	0.98	5.30	5.48	-0.17
20	70.19	69.31	0.88	5.32	5.48	-0.16
21	71.02	69.88	1.14	5.46	5.63	-0.16
22	70.84	69.88	0.96	5.39	5.63	-0.23
23	71.60	70.74	0.86	4.51	4.60	-0.09
24	71.34	70.74	0.59	4.50	4.60	-0.10
25	68.03	67.76	0.27	4.65	4.70	-0.05
26	68.00	67.76	0.24	4.66	4.70	-0.04
27	67.03	66.70	0.33	5.46	5.60	-0.14
28	67.23	66.70	0.53	5.37	5.60	-0.23
29	68.09	67.12	0.97	6.26	6.45	-0.19
30	67.82	67.12	0.70	6.14	6.45	-0.31
31	64.19	64.59	-0.40	3.36	4.83	-1.46
32	64.23	64.59	-0.36	3.43	4.83	-1.40
33	74.77	74.32	0.45	2.03	2.73	-0.69
34	74.36	74.32	0.04	2.08	2.73	-0.65
35	70.04	68.70	1.35	3.73	3.40	0.33
36	70.05	68.70	1.35	3.70	3.40	0.30
37	72.35	71.67	0.67	4.19	4.05	0.14
38	72.07	71.67	0.40	4.33	4.05	0.28
39	70.14	69.25	0.89	4.02	3.88	0.15
40	69.89	69.25	0.64	4.47	3.88	0.60
41	67.21	66.78	0.44	5.82	5.55	0.27
42	67.01	66.78	0.23	5.71	5.55	0.16
43	72.21	71.59	0.62	2.32	2.15	0.17
44	72.25	71.59	0.66	2.35	2.15	0.20
45	67.64	67.33	0.31	3.09	2.88	0.22
46	67.61	67.33	0.28	3.08	2.88	0.21
47	65.45	65.15	0.30	4.10	4.13	-0.02
48	65.51	65.15	0.36	4.10	4.13	-0.03
49	70.53	69.69	0.84	2.94	3.28	-0.33
50	70.32	69.69	0.63	2.88	3.28	-0.39
51	63.63	63.71	-0.09	3.44	5.05	-1.61
52	62.97	63.71	-0.74	3.58	5.05	-1.47
53	70.86	69.95	0.90	2.46	2.50	-0.04
54	70.63	69.95	0.68	2.54	2.50	0.04
55	70.44	69.60	0.84	4.23	4.30	-0.07
56	70.26	69.60	0.66	4.26	4.30	-0.04
57	70.26	69.41	0.84	2.25	3.28	-1.02
58	70.11	69.41	0.69	2.26	3.28	-1.02
59	72.49	71.91	0.58	2.00	1.93	0.08
60	72.43	71.91	0.52	2.07	1.93	0.14

Monstes 1 t/m 18 zijn afkomstig uit bedrijf 1, 19 t/m 30 uit bedrijf 2, 31 t/m 42 uit bedrijf 3 en 43 t/m 60 uit bedrijf 4.