Verslagen

van de

Themadag Inuline

251731

Verslagen

van de

Themadag Inuline

gehouden op 11 juni 1985
in het Internationaal Agrarisch Centrum , Wageningen

onder redactie van

A.Fuchs

LANDBOUW-ECONOMISCH INSTITUUT DEN HAAG BIBLIOTHEEK
SIGN: 1 B-58
EX. NO:
MLV:

NRLO rapport W 203 , 1985

Dit rapport kan schriftelijk worden besteld bij het secretariaat van de Nationale Raad voor Landbouwkundig Onderzoek,
Postbus 297, 2501 BD 's-Gravenhage.
Prijs: *f* 15,--.

TEN GELEIDE

Door de jaren heen is er in Nederland een - wisselende - belangstelling geweest voor de teelt van aardpeer en andere inulinehoudende gewassen. Vooral in tijden van economische recessie of andere malaise (oorlogen!) blijkt de interesse voor aardpeer toe te nemen. Dat zal er ook wel de oorzaak van zijn geweest, dat gedurende en kort na de laatste Wereldoorlog door de Landbouwhogeschool in Wageningen gedurende vele jaren proefveldjes van aardpeer zijn aangehouden (Driever et al., 1948; zie ook Breen, 1964). Daarbij ging in die jaren de belangstelling echter zeker niet primair uit naar het voor dit en enkele andere gewassen (b.v. cichorei) meest kenmerkende produkt, het inuline, dat als reservevoedsel in de knollen - of andere ondergrondse delen - wordt opgeslagen. De toepassingen van inuline bleven in die tijd dan ook beperkt tot één enkele, een medische (cf. Fuchs, 1958). Naar de (mogelijke) industriële betekenis van de aardpeer, juist met het oog op het vermogen tot inulinesynthese, werd pas door Breen (1964) een uitgebreid onderzoek ingesteld. Gevolgen heeft dit onderzoek toen overigens nauwelijks gehad; vele der uit inuline af te leiden produkten konden klaarblijkelijk goedkoper op andere wijze worden bereid. Desondanks bleef de aardpeer, naast cichorei als goede tweede, de gemoederen bezig houden. Dat resulteerde onder andere in enkele nooit-gepubliceerde studies (b.v. Van Vliet, 1971; Kolff en Plantenberg, 1974) en in een veel-geciteerd onderzoek van Pilnik en Vervelde, verricht in de zestiger jaren, maar gepubliceerd in 1976.
Intussen was de belangstelling voor inuline geleidelijk in een stroomversnelling geraakt: naast onderzoek op universitair niveau, door doctoraalstudenten - bij Fuchs, Kieboom en Van Bekkum - aan de TH Delft en - bij Pilnik, Rombouts en Voragen, en later bij Van den Berg en Van 't Riet - aan de LH Wageningen, werd nu ook door de industrie "sonderend" onderzoek naar de mogelijkheden van inuline verricht. Het eerst geschiedde dit bij DSM, dat onder andere leidde tot een verbeterd processchema voor de winning van inuline uit cichorei (Dahlmans et al., 1983; zie ook Van den Berg en Fuchs, Themadag Inuline). In het laatstgenoemde onderzoek - en in dat aan de TH Delft - werd vooral ook aandacht besteed aan het werkingsmechanisme van inulinesplitsende enzymen, waardoor de hydrolyse van inuline tot fructose beter "stuurbaar" werd dan bij toepassing van de tot dan toe gebruikelijke zure hydrolyse. Daarmee verwierven de

inulinehoudende gewassen zich de belangstelling van de biotechnologie. Recentelijk is het vooral de Suiker Unie, die interesse voor de aardpeer toont (Anonymus, 1985).
Maar al eerder was de aardpeer begonnen, op nog geheel andere wijze, haar Assepoesterrol af te leggen; dankzij de niet-aflatende inzet en het aanstekelijk enthousiasme van één man "die zijn leven aan de aardpeer wijdde", namelijk Van Vloten, van de naar hem genoemde Technische Handelmaatschappij te Utrecht, is het nu mogelijk van diverse aardpeergerechten te genieten.
De tot voor enkele jaren zeer verspreid in ons land voorkomende belangstelling werd op een gelukkige wijze "in één bedding" gevoerd toen vanaf begin 1983 een reeks studentenwerkbesprekingen en voordrachten vele belangstellenden periodiek in het "Biotechnion" in Wageningen bijeenbracht. Daar werd ook de suggestie gedaan tot bundeling van de diverse onderzoekinspanningen en tot verdere "promotie" van de grondstof inuline, inzonderheid uit aardpeer. Daartoe werd in eerste instantie een "Themadag Inuline" georganiseerd door een commissie van voorbereiding bestaande uit A. Fuchs (oud-hoogleraar Algemene en Technische Biologie TH Delft), G.J. Vervelde (oud-hoogleraar Landbouwplantenteelt LH Wageningen), C. van den Berg (Vakgroep Levensmiddelentechnologie, Sectie Proceskunde, LH Wageningen) en A.P.G. Kieboom (Vakgroep Organische Chemie, TH Delft). Deze "Themadag Inuline" had tweeërlei doel: 1) een zo breed mogelijk forum van belangstellenden van universiteit, overheid en bedrijfsleven op de hoogte te stellen van de meest recente kennis en inzichten omtrent inuline en inulinehoudende gewassen, en 2) na gemeen overleg te komen tot oprichting van een Landelijke Werkgroep Inuline en Inulinehoudende Gewassen - af te korten als Lawine - die voortaan alle denkbare activiteiten ten aanzien van bestudering en "promotie" van inuline als grondstof, en van de deze grondstof leverende gewassen zou coördineren.
De gebundelde verslagen van de op 11 juni 1985 gehouden eerste "Themadag Inuline" liggen thans voor U. Veel dank is de Commissie verschuldigd aan de heer A.H.K. van Vloten, die de Themadag financieel mogelijk maakte en aan de NRLO - en met name Ir. J.D. Bijloo - die de publikatie van de voordrachten "voor haar rekening nam". De teksten zijn op zeer bedreven wijze op een IBM-visietekst getypt door Mw. H. van Brakel van de NRLO, Wageningen. De meeste der tekeningen en foto's zijn vervaardigd of "aangepast" door de heren J.W. Brangert, F.J.J. von Planta en S.G. Wever,

van de Gecombineerde Diensten Binnenhaven, LH Wageningen. De eerste "uitdraai" van de volledige tekst is gelezen en van kritisch commentaar voorzien door Prof.Dr.Ir. G.J. Vervelde. Alle sprekers tenslotte leverden goede manuscripten en gingen desondanks "con amore" accoord met de door de redacteur voorgestelde wijzigingen.

Wageningen, november 1985
A. Fuchs, redacteur

Literatuur

- Anonymus. 1985. Suiker Unie en alternatieve gewassen. Maandblad Suiker Unie 19 (3): 12.
- Breen, J.J. 1964. De landbouwkundige en industriële betekenis van de aardpeer (Helianthus tuberosus L.). Proefschrift, TH Delft.
- Dahlmans, J.J., Meijer, E.M., Bakker, G. en Beekhuis, G. 1983. An enzymatic process for the production of fructose from inulin. Antonie van Leeuwenhoek 49: 88.
- Driever, H., Mayer Gmelin, H. en Vervelde, G.J. 1948. Enkele gegevens betreffende de aardpeer of topinambour (Helianthus tuberosus). Maandblad Landbouwvoorlichting 316-320.
- Fuchs, A. 1958. Over het voorkomen en de betekenis van polyfructosiden en hun toepassing. Vakbl. Biol. 38: 150-166.
- Kolff, G.F. en Plantenberg, F.A. 1974. Fructosebereiding uit cichoreiwortels. Afstudeerverslag Laboratorium voor Chemische Technologie, TH Delft.
- Pilnik, W. en Vervelde, G.J. 1976. Jerusalem artichoke (Helianthus tuberosus L.) as a source of fructose, a natural alternative sweetener. Z. Acker- Pflanzenbau 142: 153-162.
- Van Vliet, C.B. 1971. Onderzoek naar de mogelijkheden van fructose produktie op industriële schaal. Afstudeerverslag Afd. Levensmiddelentechnologie, LH Wageningen.

INHOUDSOPGAVE

	pag.
TEN GELEIDE	i
INULINE, EEN UITDAGING (A. Fuchs)	
1. Inleiding	1
2. De aardpeer, een inulinehoudend gewas	1
3. Fructose, bouwsteen van inuline	2
4. HFCS, het Amerikaanse alternatief voor saccharose	3
5. Fructose/inuline versus bietsuiker	4
6. Aardpeer, bron van een Europees alternatief voor saccharose en HFCS?	5
7. De extractie van inuline	6
8. De hydrolyse van inuline	7
9. Toepassingen van fructose en inuline	9
10. Resumé van mogelijke toepassingen van aardpeer, inuline en fructose	11
10.1. Toepassingen van aardpeer	11
10.2. Toepassingen van inuline	12
10.3. Toepassingen van fructose	12
11. Conclusies en aanbevelingen	12
12. Literatuur	13
AARDPEER ALS PLANT EN GEWAS; TEELT EN VEREDELING (G.J. Vervelde)	
1. Overzicht	21
2. De herkomst van agrarische grondstoffen	21
3. Bezwaren van de eenzijdigheid van geconcentreerde teelten	22
4. De rol van inulineleverende gewassen	24
5. De veredeling van aardpeer	26
6. In welke kolom(men) past de aardpeer?	27
7. Samenvatting en conclusies	28
8. Literatuur	29
BEWARING VAN DE AARDPEER (HELIANTHUS TUBEROSUS L.) (R. Wustman)	
1. Inleiding	30
2. Bewaring van aardpeerknollen	30
2.1. Enkele botanische aspecten van de aardpeerknol	30
2.2. Bewaring in de grond	31
2.3. Bewaring onder geconditioneerde omstandigheden	31
3. Resultaten van het IBVL-bewaaronderzoek	33
4. Mogelijkheden van aardpeerbewaarsystemen	34
5. Samenvatting	35
6. Verantwoording	35
7. Literatuur	36
DE PROCESMATIGE WINNING VAN INULINE UIT AARDPEER (C. van den Berg en A. Fuchs)	
1. Inleiding	41
2. Bestaande processen voor winning van inuline/fructose	42
3. Onderzoek verricht binnen de Sectie Proceskunde	45
4. Procesvoorstel voor winning van inuline/fructose uit aardpeer	48
5. Verantwoording	49
6. Literatuur	49

pag.

BEREIDING VAN GLYCEROL EN 5-HYDROXYMETHYLFURFURAL (HMF) UIT INULINE (B.F.M. Kuster en K. van der Wiele)
1. Inleiding 57
2. Glycerol 57
3. HMF 58
4. Literatuur 58

INULINE EN HMF ALS UITGANGSPRODUKTEN VOOR VERDERE SYNTHESE (A.P.G. Kieboom en H. van Bekkum) 64
1. Inuline als grondstof voor chemische omzettingen 64
2. Conclusie 65

LEVENSMIDDELENTECHNOLOGISCHE EN VOEDINGSFYSIOLOGISCHE ASPECTEN VAN INULINE (W. Pilnik en A.G.J. Voragen) 70
1. Historie 70
2. Fructosewinning, eigenschappen en toepassingen 72
3. Toepassingen voor inuline 75
4. Toepassing voor de aardpeer 75
5. Conclusie 76
6. Literatuur 76

CONCLUSIES EN SLOTBESCHOUWING (A. Fuchs) 82
1. Conclusies 82
2. Slotbeschouwing 83

LANDELIJKE WERKGROEP INULINE EN INULINEHOUDENDE GEWASSEN (LAWINE) 86

Lijst van titels van mogelijk te entameren projecten en van projectvoorstellen voor onderzoek op het gebied van teelt van inulinehoudende gewassen, en winning en toepassing van inuline en daaruit te verkrijgen produkten 88

INULINE, EEN UITDAGING[1)]

A. Fuchs
Vakgroep Fytopathologie, Landbouwhogeschool, Wageningen

1. Inleiding

In de Nederlandse akkerbouw vormen aardappel, (suiker)biet en granen (met mais) de voornaamste gewassen. Aangezien de beide rooivruchten (aardappel, biet) van deze het meest rendabel zijn (cf. NRLO, 1984), is er al een paar decennia een duidelijke tendens tot z.g. bouwplanvernauwing te bespeuren: dat houdt in dit geval in, dat men in vruchtwisselingsschema's per drie of vier jaar tenminste één keer (en ook wel twee keer) aardappelen en één keer bieten teelt, waarbij granen het derde gewas vormen. Een zo intensieve opeenvolging van aardappelen en bieten heeft - vooral door het optreden van "bodemziekten" - een belangrijke oogstderving ten gevolge. Voor aardappelen kan deze 20 à 25% bedragen; voor door Rhizomania - waarover hieronder meer - aangetaste suikerbieten kunnen de kg-opbrengsten per ha zelfs tot 30% teruglopen.
Er bestaat in landbouwkringen dan ook grote behoefte aan bouwplanverruiming, waarbij door het in het vruchtwisselingsschema opnemen van andere gewassen (bijvoorbeeld (conserven)erwten, vlas en karwij) en dientengevolge de minder frequente teelt van de "hoofdgewassen" aan de genoemde ongunstige ontwikkeling een halt wordt toegeroepen. De teelt van de genoemde "alternatieve" gewassen is helaas weinig of nauwelijks rendabel, of in hoge mate speculatief. Als resultaat van een recente afweging van mogelijk nog andere gewassen (NRLO, 1984) zijn er zes als veelbelovend voor (her)nieuw(d)e teelt aanbevolen (NRLO, 1985), en wel vier "oude", namelijk brouwgerst, graszaad, voedererwten en uien, en twee "nieuwe", teunisbloem en aardpeer (Helianthus tuberosus), de laatste een tot de composieten behorend knolgewas, en dus een rooivrucht.

2. De aardpeer, een inulinehoudend gewas

Als consumptiegewas zal de aardpeer een zeer bescheiden plaats kunnen innemen, als veevoer komen de knollen en het loof in aanmerking, evenals - na passende behandeling - het stro, maar zijn werkelijke waarde ontleent

---

1) Geactualiseerde versie van het, onder dezelfde titel op 19 oktober 1984 gegeven, afscheidscollege van de schrijver als buitengewoon hoogleraar aan de Technische Hogeschool Delft.

Tabel 1. Zoetkracht van enkele suikers; sterk afhankelijk van omstandigheden[1]; cf. Heijns, 1978

lactose	0.27[2]
D-glucose	0.5-0.6
maltose	0.6
invertsuiker	0.8-0.9
saccharose	1.0
D-fructose	1.0-1.5
β-D-fructopyranose	1.8-2.0
β-D-fructofuranose	0
di-D-fructose anhydride I	0

1) Met concentratie neemt zoetkracht af; hangt ook af van pH en "smaakomgeving"; ook synergistische effecten!
2) Vaak ook weergegeven in getallen op basis van saccharose = 100.

dit gewas aan het in de knollen voorkomende inuline. Inuline is een polymeer van circa 30-40 β-(2 → 1)-gebonden fructose-eenheden dat, als gevolg van zijn ontstaanswijze uit saccharose, aan één der einden altijd een glucose-eenheid draagt (Fig. 1). Voor de aardpeer vormt inuline het natuurlijke reservevoedsel, dat bij het uitlopen van de knollen door een inulinase in zijn bouwstenen, fructose, wordt ontleed. Extractie van inuline kan geschieden op een soortgelijke wijze als die van saccharose ("suiker") uit suikerbieten; de hydrolyse van inuline tot fructose zal met behulp van enzymen dienen te geschieden (Fig. 2) (een zure hydrolyse komt om meer dan één reden niet in aanmerking). Aardpeer zal bij eventuele introductie dus een industriegewas zijn, dat in zijn verwerking een belangrijke biotechnologische stap vereist.

3. Fructose, bouwsteen van inuline

Fructose is de zoetste bekende suiker, althans indien aanwezig in de pyranosevorm (Tabel 1). Het evenwicht tussen de niet-zoete furanose- en de zoete pyranose-vorm is onder andere afhankelijk van de temperatuur, de concentratie en de aard van het oplosmiddel (Fig. 3). De zoetkracht van fructose (gemeten op gewichtsbasis, tegen saccharose als referentie) hangt daarom sterk af van de omstandigheden, waaronder fructose wordt genuttigd; ook de smaakomgeving oefent grote invloed uit. Onder de meest gunstige omstandigheden (waterig milieu, lage temperatuur, relatief lage concentratie) kan de zoetkracht van fructose tot 2 maal die van saccharose zijn;

Tabel 2. Enkele voor- en nadelen van fructose

Voordelen:
1. hoge zoetkracht (afhankelijk van furanose/pyranose evenwicht)
2. in verband met 1: minder calorieënverbruik
3. niet cariogeen
4. ook geschikt bij bepaalde vormen van diabetes
5. gemakkelijk oplosbaar
6. kristalliseert niet gemakkelijk
7. fructosestropen minder visceus (pompen!)
8. "bak- en braad"eigenschappen
Nadelen:
1. bij "alleen-gebruik" geen insuline-mobilisatie
2. bij overdosering (> circa 100 g/dag) soms darmstoornissen
3. ontoelaatbaar in geval van fructose-intolerantie
4. (zie voordeel 5) hygroscopisch
5. (zie voordeel 6) kristalliseert niet gemakkelijk
6. (zie voordeel 8) bij temperaturen > circa 80°C instabiel
Eindconclusie: voordelen groter dan nadelen!

gemiddeld ligt de zoetkracht van fructose 25 à 30% boven die van saccharose. Fructose is daarom de minst calorierijke natuurlijke suiker, is bovendien niet cariogeen, en heeft slechts een gering effect op de bloedglucosespiegel van diabetespatiënten. Daarnaast heeft fructose nog een aantal niet-fysiologische voordelen (Tabel 2).
Aangezien fructose (althans de zoete pyranose-vorm) moeilijk kristalliseert, komen vooral fructosestropen, bijvoorbeeld in frisdranken, in aanmerking. Fructose is echter niet geschikt in die levensmiddelen, waarvan de bereiding met hoge temperaturen gepaard gaat, zoals bakkerijprodukten. Het zou andere mono- en disacchariden zinvol kunnen vervangen in ongeveer de helft van die voedingsmiddelen die deze suikers bevatten (Voedingsraad, 1983).

4. HFCS, het Amerikaanse alternatief voor saccharose

Naast andere (economische, landbouwkundige, landbouwpolitieke) overwegingen hebben zeker de voedingsfysiologische aspecten een belangrijke rol gespeeld in de introductie van HFCS (high fructose corn syrup) in de Verenigde Staten, met een geschat marktaandeel tot circa 50% van de totale zoetmarkt. HFCS heeft als grondstof maiszetmeel, dat na hydrolyse tot glucose wordt geïsomeriseerd tot een fructose/glucose-mengsel, met een fructosegehalte van 42%. Uitgaande van HFCS worden tegenwoordig ook

E(nriched)FCS en V(ery)EFCS geproduceerd, met fructosegehalten tot circa 90% (Fig. 2); in het laatste geval wordt ook de term U(ltra)HFG(lucose)S gebruikt. Binnen de EG speelt de produktie en consumptie van HFCS tot nu toe geen rol van betekenis. Gezien de in Europa heersende omstandigheden lijkt produktie van HFCS uit maiszetmeel ook weinig aantrekkelijk; de veel directere produktie van fructose (hetzij kristallijn, hetzij in de vorm van fructosestropen) uit polyfructosiden lijkt hier meer voor de hand liggend. Aardpeer voldoet aan deze eis uitstekend (Fleming en GrootWassink, 1979; zie ook Dambroth, 1984; Mulder, 1984). Met de teelt van aardperen wordt dus aan twee in de Nederlandse maatschappij levende "verlangens" voldaan: ze kan leiden tot de zo zeer gewenste bouwplanverruiming in de landbouw, en ze levert een alternatieve zoetstof, fructose, die vele voordelen biedt boven saccharose[1)].

5. Fructose/inuline versus bietsuiker

Aldus zou fructose (inuline) een directe concurrent zijn voor bietsuiker, ja zelfs zou - bij vergelijkbaar prijsniveau - de vervangende markt minder "opleveren" (omdat er minder fructose nodig is dan "suiker" om een gelijke zoetkracht te bewerkstelligen!). De behoefte van de Nederlandse suikerindustrie aan een dergelijke alternatieve zoetstof zal dus - zuiver economisch gezien - bepaald niet groot zijn! Tenzij er externe bedreigingen zijn voor de Nederlandse suikerbietenteelt! Die zijn er in drieërlei vorm: 1. de mogelijkheid van buitenlandse, maar wel Europese, "interventie" in de Nederlandse markt met high fructose syrups (of kristallijne fructose) (tegen bijvoorbeeld Amerikaanse interventie met HFCS is de Europese markt op "afdoende" wijze beschermd), 2. het optreden van een potentieel zeer bedreigende planteziekte (zie b.v. Hanrion et al., 1985), namelijk de Rhizomania-ziekte, een door een virus veroorzaakte, maar door een schimmel - Polymyxa betae - overgedragen ziekte, die voor 't eerst in 1983 met zekerheid in Nederland is gesignaleerd[2)] (Instituut voor Rationele Suikerproduktie, 1983), 3. het nog verder opdringende bietecysteaaltje (Heterodera schachtii).

---

1) Aardpeer heeft, als alternatief gewas, bovendien het niet te miskennen voordeel dat het in andere sectoren van de landbouw, vooral bij granen, optredende overschotten (cf. Rexen en Munck, 1984) kan helpen verkleinen.
2) En waarvoor sinds kort ook van officiële zijde zeer ernstig wordt gewaarschuwd (Ministerie van Landbouw en Visserij, 1985).

Tabel 3. Produktiviteit (droge stof, t/ha) van verschillende rassen ("cultivars") van aardpeer (naar Pilnik en Vervelde, 1976)

Cultivar	Knollen	Bovengrondse delen	Koolhydraatopbrengst van de knollen[1)]
Dwergras			
1965	4.6	3.4	3.7
1966	6.4	5.1	5.1
1968[2)]	7.0	6.7	5.6
1968[2)]	8.3	9.9	6.6
1969	11.1[3)]	n.m.[4)]	8.9
Précoce (vroeg)			
1965	6.4	(5.3)	5.1
1966	7.9	7.2	6.3
1968	7.0	7.7	5.6
Eigen nabouw (laat)			
1965	3.6	7.7	2.9
1966	5.1	9.6	4.1
1968	5.7	10.2	4.6
1969	11.8	n.m.	9.4

1) Gebaseerd op een geschat koolhydraatgehalte van 80%.
2) Bij een stikstofgift van 140 kg/ha.
3) Correspondeert met een knolopbrengst van 45.8 t/ha, en een koolhydraatopbrengst van circa 8 t/ha (verg. derde kolom).
4) n.m., niet vermeld.

6. Aardpeer, bron van een Europees alternatief voor saccharose en HFCS?

Geheel anders zou de situatie evenwel worden, indien met de introductie van inuline/fructose uit aardpeer ook een additionele markt zou kunnen worden "aangeboord". Er zijn vele redenen om aan te nemen, dat die mogelijkheid niet irreëel is, al zal hiervoor (veel) begeleidend en innoverend (wetenschappelijk) onderzoek nodig zijn. Grote behoefte bestaat in de eerste plaats aan een haalbaarheidsstudie, onder andere op (Europees) landbouwpolitiek gebied. Economisch lijkt de produktie van fructose met die van bietsuiker te kunnen concurreren, zeker bij vergelijking op basis van zoetkracht, al zullen grote investeringen nodig zijn (de "activeringsenergie" is groot!). Plantenteeltkundig worden de bezwaren tegen aardpeer door tegenstanders breed uitgemeten, maar de meeste ervan zijn òf wel irrelevant, òf wel achterhaald: men dient daarbij in aanmerking te nemen, dat het gewas nog nauwelijks veredeld is, en zich dus in tegenstelling tot bijvoorbeeld suikerbiet en aardappel, nog niet "van zijn beste zijde" heeft kunnen tonen. De opbrengsten kunnen - zeker onder

Tabel 4. Optimale condities voor maximale extractie van inuline uit aardpeerknollen (naar Fleming en GrootWassink, 1979, en Kierstan, 1983)

1.	"Slice-press" methode
2.	Temperatuur ten minste 60°C
3.	Lage polymerisatiegraad, maar geen fructose aanwezig (hangt onder andere van bewaarregime af!)
4.	(Toevoeging van inulinase niet aanbevelenswaardig!)
5.	(Toevoeging van 0.1% SO_2 is wenselijk om bruinkleuring te voorkomen)

gunstige omstandigheden - reeds nu met die van suikerbieten wedijveren: 45 ton/ha, met een gemiddeld droge stofgehalte van 20% en een koolhydraatgehalte van 80% van het drooggewicht, resulterend in ruim 7 ton koolhydraat per ha, is niet illusoir (Pilnik en Vervelde, 1976; zie Tabel 3). In veldproeven in Nederland, en bij normale teelt in Frankrijk (Guiraud en Galzy, 1982) zijn overigens aanzienlijk hogere opbrengsten verkregen, hetgeen de verwachting wettigt, dat de koolhydraatopbrengst tot 10 ton/ha kan stijgen. Veredeling op de "gewasgroei" (minder z.g. spreiding van knollen; regelmatiger knolvorm ter vermijding van te veel tarra (aanhangende grond) na oogsten), op opbrengst per ha en op inulinegehalte van de knol lijkt daarom perspectieven op een nog gunstiger concurrentiepositie ten opzichte van de genoemde andere gewassen te kunnen bieden. Het gewas stelt ten aanzien van grondsoort, kunstmestbehoefte, onkruidbestrijding, het voorkómen/bestrijden van planteziekten, e.d. weinig eisen. Gezien het feit, dat de knollen erg stevig met de stolonen verbonden blijven dient de oogstbaarheid echter te worden verbeterd. In verband met het mogelijke optreden van bewaarziekten kunnen de knollen het best "op afroep" worden geoogst en verwerkt, bij voorkeur in het verlengde van een suikerbieten- of fabrieksaardappelcampagne. Opslag van knollen kan in een volggewas lastig zijn, maar door gebruik van herbiciden worden vermeden.

7. De extractie van inuline

Aan de optimalisatie van de inuline-extractie (Tabel 4; zie ook Van den Berg, 1984, en Van den Berg en Fuchs, Themadag Inuline) is al veel wetenschappelijk onderzoek gewijd. Evenals suiker-extractie uit bieten is de inuline-extractie uit aardpeer een energieverslindend proces, in verband met de gewenste extractietemperatuur van tenminste 60°C. De polymerisatiegraad (DP) van het inuline is zeer beslissend: doordat in de meeste extractieschema's een kalkingsstap voorkomt, kunnen aanzienlijke verliezen

van vrije fructose optreden; anderzijds vergt inulinehydrolyse met behulp van geïmmobiliseerde enzymen of "whole cells" (bijvoorbeeld van gedere-presseerde mutanten van de gist Pichia polymorpha (Bajon et al., 1984)) een niet te hoge DP, vanwege de geringere wateroplosbaarheid van polymeren met hoge DP, en de gevolgen die dit heeft voor het optimaal functioneren van een "packed bed" (gepakt bed) reactor. Gedurende de knolgroei hebben inuline-synthese en - later - inuline-afbraak over een zekere periode simultaan plaats (Fleming en GrootWassink, 1979): dat resulteert in een ingewikkelde kinetiek met passage van een "most critical period" voor optimale extractie bij de gekozen procesvoering (Fig. 4).

8. De hydrolyse van inuline

De hydrolyse van inuline (al of niet na extractie van de knol; er kan namelijk ook, soms zelfs beter, van aardpeerknolperssap worden gebruik gemaakt!) kan in principe op twee manieren geschieden, en wel 1. door zure hydrolyse, en 2. door enzymatische hydrolyse. De eerste methode is minder gewenst, door mindere "stuurbaarheid" en door de noodzaak om ongewenste nevenprodukten te verwijderen. De tweede - enzymatische - methode is verkieslijker, aangezien deze hydrolyse beter "reguleerbaar" is, en er bovendien een uitgebreid arsenaal van potentiële bacterie- en gist- en schimmelinulinasen ter beschikking staat (Vandamme en Derycke, 1983; Fuchs et al., 1985). Deze inulinasen kunnen worden ingedeeld in hydrolasen en transferasen. Naar hun werkingsmechanisme onderscheidt men bij de hydrolasen endo- en exo-inulinasen, die het polymere inuline respectie-velijk "at random" en, vanaf het fructose-einde, per fructosemolecuul afbreken. De transferasen splitsen, vanaf het fructose-einde, telkens twee fructosemoleculen tegelijk af, onder gelijktijdige vorming van difructose-anhydriden (Fig. 5).

Terwijl de bacteriën en schimmels door een grote verscheidenheid van hydrolasen èn transferasen worden gekenmerkt, zijn de gisten zeer "eentonig" (Tabel 5): in alle onderzochte soorten betreft het exofruc-tanasen, met zowel inulinase- als levanase-activiteit (en dus in staat levan - een β-(2 → 6)- gebonden fructosepolymeer - te splitsen). Vele soorten produceren daarbij het enzym constitutief, een voordeel bij de grootschalige produktie ervan! Hun pH-optimum ligt plezierig (pH circa 4.0-5.0), het temperatuur-optimum is nog te laag (circa 50°C). De sterk fermentatieve (bijvoorbeeld Kluyveromyces marxianus) onder deze inulinase-

Tabel 5. Fructanasen in gisten; in alle onderzochte gevallen betreft het exofructanasen, met zowel inulinase- als levanase-activiteit; pH-optimum gewoonlijk tussen circa 4.0 en 5.0; temperatuur-optimum circa 50°C; inhibitie van enzymactiviteit door hexosen > pentosen > disacchariden (naar Fuchs et al., 1985)

Species	Inulinase- en levanase-activiteit na groei op inuline en levan (voor zover onderzocht)	Ethanolproduktie op	
		inuline (±, +, ++)	aardpeer-extract (!)
Candida kefyr	+[1)]	++	!
macedoniensis	+c[1)]	++	!
membranaefaciens	+c		
pseudotropicalis	+	++	!
salmanticensis	+		
Debaryomyces cantarellii	+		
phaffii	+		
polymorphus	+		
sp.			!
Hansenula beyerinckii	+	±	
jadinii	±c		
lynferdii	+c		
Kluyveromyces cicerosporus	+		!
fragilis	+c	++	!
lactis	+		
marxianus	+c	++	!
Lipomyces kononenkoae	+c		
Pichia guilliermondii	+		
Rhodotorula sp.	+		
Saccharomyces anamensis			!
cerevisiae	+		!
fermentati	+	+	!
florenzani	+		
fragilis	+		
rosei	+	+	!
Schizosaccharomyces pombe	+		!
Schwanniomyces alluvius	+	±	
castellii	+	+	!
Torulopsis colliculosa	+	++	!

1) c, constitutief (enzym wordt ook gevormd bij groei op glucose).

producenten vergisten aardpeerknolperssap meteen "door" naar ethanol: in dit geval kan men dus voor de bereiding van fructose niet van geïmmobiliseerde cellen gebruik maken, tenzij de alcoholische gisting zou kunnen worden geremd. Uiteraard zijn deze soorten juist wel zeer geschikt, indien men de produktie van ethanol beoogt.

Door de genoemde verscheidenheid van enzymen en andere zeer uiteenlopende eigenschappen zal veelal reeds nu aan bepaalde industriële wensen betref-

fende procesvoering (optimumtemperatuur!) en eindprodukt kunnen worden voldaan. Optimalisering van eigenschappen en eventueel immobilisering van deze inulinasen zal echter in andere gevallen nodig zijn alvorens aan industriële toepassing kan worden begonnen.

9. Toepassingen van fructose en inuline

De gevormde fructose kan, na zuivering, als fructosestropen (of eventueel als kristallijne fructose) in voedingsmiddelen worden toegepast. Daarnaast bestaan voor fructose echter talloze, ten dele nog slechts potentiële, toepassingsmogelijkheden. Door meervoudige dehydratatie kan uit fructose hydroxymethylfurfural (HMF) (Fig. 6) worden bereid, dat grondstof voor een veelheid van produkten kan zijn, zoals vóór 20 jaren reeds door Breen (1964) in zijn (Nederlandse!) proefschrift werd aangegeven. Zo kunnen HMF of derivaten ervan (zoals het 2,5-dihydroxymethyltetrahydrofuraan) worden gebruikt in de produktie van harsen, weekmakers, polyurethaanschuimen, polycarbonaten, onverzadigde polyesters, kroonethers, maar ook fungiciden, tuberculostatica en extractiemiddelen voor aromaten en geconjugeerde diënen. Een ander omzettingsprodukt van fructose is levulinezuur, dat via difenolzuur harsen kan leveren; het δ-aminoderivaat ervan (nu nog peperduur, aangezien het uit planten wordt geëxtraheerd) is geannonceerd als een revolutionair herbicide. Aangezien de beide "initiële" omzettingen (van fructose naar HMF en van fructose naar levulinezuur) in zuur milieu verlopen, is het gebruik van inuline als grondstof een aantrekkelijke optie. Hydrogenolyse van inuline in alkalisch milieu en bij verhoogde temperatuur levert anderzijds glycerol, klaarblijkelijk tegen concurrerende kostprijs. Een andere omzetting van fructose betreft de hydrogenering ervan naar mannitol, een zeer waardevolle suikeralcohol. Van Bekkum en Kieboom (en medewerkers) werken reeds enkele jaren aan de optimalisering van dit proces (zie Kieboom en Van Bekkum, Themadag Inuline). Gelijktijdige isomerisatie van glucose naar fructose door middel van het enzym glucose-isomerase en preferente hydrogenering van fructose heeft de mannitolopbrengst van dit z.g. combiproces van 30 naar 65% doen stijgen. Een verdere stijging van deze opbrengst valt te verwachten bij gebruikmaking van inuline als grondstof en inulinase voor de enzymatische hydrolyse naar fructose. Een andere - maar commercieel zeker niet haalbare - omzetting van fructose betreft die naar melkzuur. (Voor nog andere mogelijkheden tot chemische omzetting van fructose/inuline raadplege men de bijdragen van Kieboom en Van Bekkum, en Kuster en Van der Wiele aan de Themadag Inuline).

Nog verder weg liggende toepassingen betreffen die van inuline zelf. Reeds nu wordt inuline medisch gebruikt bij de bepaling van de glomerulusfiltratie van de nieren. Het is een reeds jaren bekend feit, dat inuline, na parenterale toediening, relatief snel wordt uitgescheiden via de nier, zodat reeds kort na toediening lage serumniveaus worden bereikt. In experimenteel onderzoek heeft men van deze eigenschap gebruik gemaakt door de farmacokinetiek van geneesmiddelen (vooral antibiotica) te beïnvloeden (Molteni, 1982, 1985). Inuline wordt daarbij middels epichloorhydrine covalent gekoppeld aan het antibioticum; het bewerkstelligt via deze carrier-functie een snelle uitscheiding van het geneesmiddel. Inuline biedt als zodanig perspectieven als slow release carrier van geneesmiddelen ter bestrijding van urinewegaandoeningen. Het kán ook bijdragen aan de optimalisering van de farmacokinetische eigenschappen van een op zich goed werkend geneesmiddel, dat bij lange verblijftijden in het lichaam evenwel tot neveneffecten of tot resistentie-ontwikkeling van het te bestrijden micro-organisme zou kunnen leiden.
Zeer interessant zou ook de toepassing van partieel gehydrolyseerde inuline in frisdranken kunnen zijn: terwijl de aanwezige fructose de nodige zoetkracht verschaft, zou de ongehydrolyseerde inuline, die in het maagdarmkanaal niet enzymatisch wordt afgebroken en niet door de darmwand wordt opgenomen, als "voedingsvezel" kunnen optreden, met positieve werking op verzadigingsgevoel en darmwerking. Overigens moet partiële zure hydrolyse tijdens het verblijf in de maag niet worden uitgesloten! Bovendien kan bacteriële hydrolyse van inuline en daaropvolgende vergisting in de dikke darm tot onaangename flatulentie leiden. Tenslotte mag aan de mogelijkheid van onverwachte effecten op de samenstelling van de mondholteflora niet worden voorbijgegaan. Het zal duidelijk zijn, dat veel (voedings)fysiologisch onderzoek nodig zal zijn om de preciese "lange termijn" gevolgen van een verhoogd gebruik van inuline en fructose te leren kennen. Dit klemt te meer omdat in de kring van voedingsdeskundigen en diabetologen nogal snel en sterk wisselende inzichten omtrent het nut en de effecten van inuline en fructose bestaan. Tegenwoordig worden deze als weinig positief beoordeeld (zie ook Pilnik en Voragen, Themadag Inuline). Een zeer recente publikatie claimt daarentegen zeer positieve effecten van aardpeer en aardpeersap; zo zou het, door het terugdringen van hyperinsulinismus, obesitas-, diabetes- en zelfs hartinfarctrisico's verminderen (Angeli en Bärwald, 1985).

Tabel 6. Potentiële opbrengsten, per ha per jaar, bij "totale" vergisting van aardpeerknollen door Kluyveromyces marxianus

	volgens Guiraud et al. (1982)	volgens Margaritis en Bajpai (1982)
ethanol	2000 - 5900 kg	3500 - 6700 kg[1)]
"veevoer"	1 - 3 ton	--[2)]
SCP (gisteiwit)	150 - 400 kg	320 - 620 kg[1)]

1) Bij een gerapporteerde maximale koolhydraatopbrengst van circa 15 ton/ha.
2) Daarbij zou dan nog 10 ton loof en stengels komen, te gebruiken als veevoer.
N.B. De genoemde cijfers komen goed overeen met door Stauffer et al. (1981) vermelde theoretische opbrengsten van 4580 kg ethanol + 1920 kg "ethanolequivalenten" voor het loof en de stengels, bij een biomassa-opbrengst van 75 ton/ha.

Een andere, eveneens nog zeer speculatieve, toepassingsmogelijkheid van inuline betreft het eventueel gebruik als substraat in de fermentatie-industrie. Inuline wordt tot de goedkope koolhydraatbronnen gerekend: gebruik ervan zal dan uiteraard de constitutieve of geïnduceerde vorming van inulinasen door het betrokken micro-organisme vereisen. Wellicht liggen hier mogelijkheden om via recombinant-DNA-technologie, inulinase-genen van verwante organismen te kloneren in "inulinase-behoeftige". Dit is minder denkbeeldig dan het op het eerste gezicht lijkt: zo is bijvoorbeeld het structurele gen, dat codeert voor de levansucrase van Bacillus subtilis tot expressie gebracht in Escherichia coli, na klonering in het bekende plasmide pBR325 (Gay et al., 1983).

10. Resumé van mogelijke toepassingen van aardpeer, inuline en fructose

De mogelijke, soms nog wel (zeer) speculatieve toepassingen van aardpeer, inuline en fructose kunnen als volgt worden samengevat:

10.1. Toepassingen van aardpeer

a. voor directe menselijke consumptie (knollen); het aantal recepten breidt zich uit;
b. als genotmiddelen "op basis van aardpeer" (chips, brandewijn);
c. als veevoer: direct (knollen), als aardpeerpulp (zeer waardevol, vooral door relatief hoog gehalte aan ruw eiwit), na hakselen en

eventuele ensilering (loof, weinig aantrekkelijk voor vee), na z.g. dry alkali treatment als pellets voor vee (bovengrondse plantedelen);

d. als stro, te verwerken tot papier (tweede kwaliteit) en karton;
e. (aardpeerknolperssap) als directe grondstof voor ethanolbereiding, bijvoorbeeld met behulp van Kluyveromyces marxianus (cf. Tabel 6);
f. (aardpeerpulp) als grondstof voor SCP (single cell protein).

10.2. Toepassingen van inuline

a. als grondstof in de fermentatie-industrie (dus eigenlijk SCP!);
b. voor medisch gebruik: meting glomerulus-filtratie van de nieren;
c. als carrier voor geneesmiddelen, ter beïnvloeding van de farmacokinetiek daarvan;
d. ter bereiding van circa 90%-ige fructosestropen (en kristallijne fructose);
e. (via fructose) ter bereiding van hydroxymethylfurfural en levulinezuur en derivaten daarvan, dus als grondstof voor een nog grotendeels te ontwikkelen furaanchemie;
f. ter bereiding van glycerol;
g. als grondstof voor ethanolbereiding.

10.3. Toepassingen van fructose

a. in levensmiddelen (frisdranken, "snoep", jams, e.d.), als alternatieve calorie-arme, niet-cariogene zoetstof;
b. zie 10.2.e.;
c. voor de bereiding van mannitol.

11. Conclusies en aanbevelingen

Het is duidelijk dat de aardpeer en met name zijn reservekoolhydraat inuline door deze talrijke mogelijke toepassingen voor een ondernemende Nederlandse landbouw en industrie een uitdaging vormen. De teelt van aardpeer biedt daarbij de mogelijkheid tot de zo zeer gewenste bouwplanverruiming in de Nederlandse landbouw. Inuline kan als grondstof dienen voor fructose als alternatieve zoetstof met vele voordelen boven de gebruikelijke zoetstoffen. Teelt van aardpeer en verwerking ervan tot inuline en fructose vereisen evenwel in wetenschappelijk en organisatorisch opzicht een "netwerk" van activiteiten, die op elkaar zullen moeten worden afgestemd.

De introductie van aardpeer als landbouwgewas dient door multidisciplinair onderzoek op het gebied van de plantenteelt en veredeling, de proceskunde en -technologie en de biotechnologie en microbiologie/enzymologie te worden begeleid. Aandacht dient te worden besteed aan de mogelijkheden tot gebruik van de bovengrondse plantedelen; tevens zullen planteziektenkundige aspecten moeten worden bestudeerd. Onderzoek dient voorts te worden gedaan naar derivatiseringsmogelijkheden van fructose en toepassingsmogelijkheden van inuline (of derivaten daarvan). De consumptieve mogelijkheden van aardpeer dienen te worden ontwikkeld.
Een Landelijke Werkgroep Inuline en Inulinehoudende Gewassen (Lawine), onder andere werkend in het kader van het IOP-Koolhydraten, zal bij al deze activiteiten een belangrijk sturend element kunnen zijn.

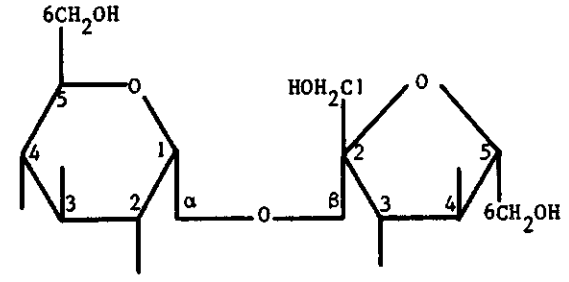
12. Literatuur

- Angeli, I. en Bärwald, G. 1985. Vorläufige Ergebnisse über die Verwendung von Topinambursaft in Diät und bei Diabetikern. Gordian 85: 239-244.
- Bajon, A.M., Guiraud, J.P. en Galzy, P. 1984. Isolation of an inulinase derepressed mutant of Pichia polymorpha for the production of fructose. Biotechnol. Bioeng. 26: 128-133.
- Breen, J.J. 1964. De landbouwkundige en industriële betekenis van de aardpeer (Helianthus tuberosus L.). Proefschrift, TH Delft.
- Dambroth, M. 1984. Topinambur - eine Konkurrenz für den Industriekartoffelanbau? Kartoffelbau 35: 450-453.
- Fleming, S.E. en GrootWassink, J.W.D. 1979. Preparation of high-fructose syrup from the tubers of the Jerusalem artichoke (Helianthus tuberosus L.). Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 12: 1-28.
- Fuchs, A., De Bruijn, J.M. en Niedeveld, C.J. 1985. Bacteria and yeasts as possible candidates for the production of inulinases and levanases. Antonie van Leeuwenhoek 51: 333-343.
- Gay, P., Le Coq, D., Steinmetz, M., Ferrari, E. en Hoch, J.A. 1983. Cloning structural gene sacB, which codes for exoenzyme levansucrase of Bacillus subtilis: expression of the gene in Escherichia coli. J. Bacteriol. 153: 1424-1431.
- Guiraud, J.P., Caillaud, J.M. en Galzy, P. 1982. Optimization of alcohol production from Jerusalem artichokes. Eur. J. Appl. Microbiol. Biotechnol. 14: 81-85.

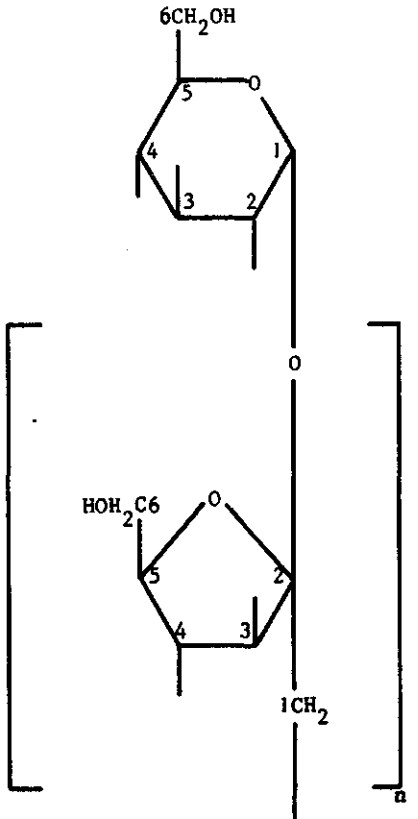
- Guiraud, J.P. en Galzy, P. 1982. Valorisation du topinambour par la levure: production de sirop riche en fructose, d'alcool et de proteines. Bio-Sciences 1: 55-58.
- Hanrion, M., Moreau, D. en Rabin, E. 1985. Progression de la rhizomanie dans un foyer du Loiret. Phytoma 366: 24.
- Heyns, K. 1978. D-Fructose - Struktur und Eigenschaften. Staerke 30: 345-351.
- Instituut voor Rationele Suikerproduktie. 1983. Jaarverslag. IRS, Bergen op Zoom, 70 pp.
- Kierstan, M. 1983. Studies on enzymic methods for extraction of inulin from Jerusalem artichokes. Enzyme Microb. Technol. 5: 445-448.
- Margaritis, A. en Bajpai, P. 1982. Ethanol production from Jerusalem artichoke tubers (Helianthus tuberosus) using Kluyveromyces marxianus and Saccharomyces rosei. Biotechnol. Bioeng. 24: 941-953.
- Ministerie van Landbouw en Visserij. 1985. Rhizomanie, een gevaarlijke ziekte van de suikerbiet. Vlugschrift voor de Landbouw nr. 405.
- Molteni, L. 1982. Effects of the polysaccharidic carrier on the kinetic fate of drugs linked to dextran and inulin in macromolecular compounds. p. 285-301. In H. Bundgaard, A.B. Hansen and H. Kofod (eds), Optimization of Drug Delivery. Alfred Benzon Symp. 17. Munksgaard, Copenhagen.
- Molteni, L. 1985. Dextran and inulin conjugates as drug carriers. Methods Enzymol. 112: 285-298.
- Mulder, F. 1984. Aspecten van de introductie van aardpeer (Helianthus tuberosus L.) in de Nederlandse landbouw. Doctoraalscriptie Landbouwplantenteelt, LH Wageningen, 79 pp.
- NRLO. 1984. Gewassen in het kader van bouwplanverruiming in de akkerbouw. Discussienota NRLO, 's-Gravenhage, 88 pp.
- NRLO. 1985. Nota inzake gewaskeuze voor bouwplanverruiming in de akkerbouw. Nota nrlo/85/17, 's-Gravenhage, 10 pp. + 2 bijlagen.
- Pilnik, W. en Vervelde, G.J. 1976. Jerusalem artichoke (Helianthus tuberosus L.) as a source of fructose, a natural alternative sweetener. Z. Acker- Pflanzenbau 142: 153-162.
- Rexen, F. en Munck, L. 1984. Cereal crops for industrial use in Europe. Report prepared for: The Commission of the European Communities, EUR 9617 EN.
- Stauffer, M.D., Chubey, B.B. en Dorrell, D.G. 1981. Growth, yield and compositional characteristics of Jerusalem artichoke as they relate

to biomass production. p. 79-97. In D.L. Klass and G.H. Emert (eds), Fuels from Biomass and Wastes. Ann Arbor Sci. Publ., Inc.

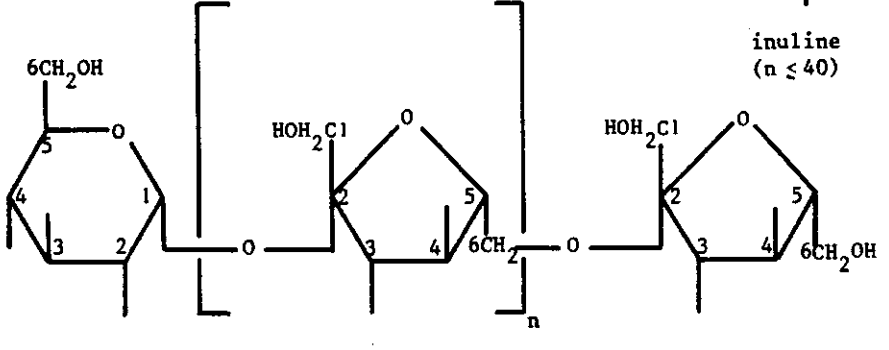
- Taniguchi, T. en Uchiyama, T. 1982. The crystal structure of di-D-fructose anhydride III, produced by inulin D-fructotransferase. Carbohydr. Res. 107: 255-262.
- Vandamme, E.J. en Derycke, D.G. 1983. Microbial inulinases: fermentation process, properties, and application. Adv. Appl. Microbiol. 29: 139-176.
- Van den Berg, C. (eindredacteur). 1984. Fabrieksvoorontwerp ter bereiding van fructose uit aardperen. Intern Rapport Vakgroep Levensmiddelentechnologie, Sectie Proceskunde, LH Wageningen, 80 pp.
- Voedingsraad. 1983. Concept-advies Richtlijnen Goede Voeding, U83. Voedingsraad, 's-Gravenhage.



α-D-glucopyranosyl-1-2-β-D-fructofuranoside
= saccharose



inuline
(n ≤ 40)



levan (n = c.10^5); op sommige C-1-plaatsen vertakt!

Fig. 1. Enkele structuurformules.

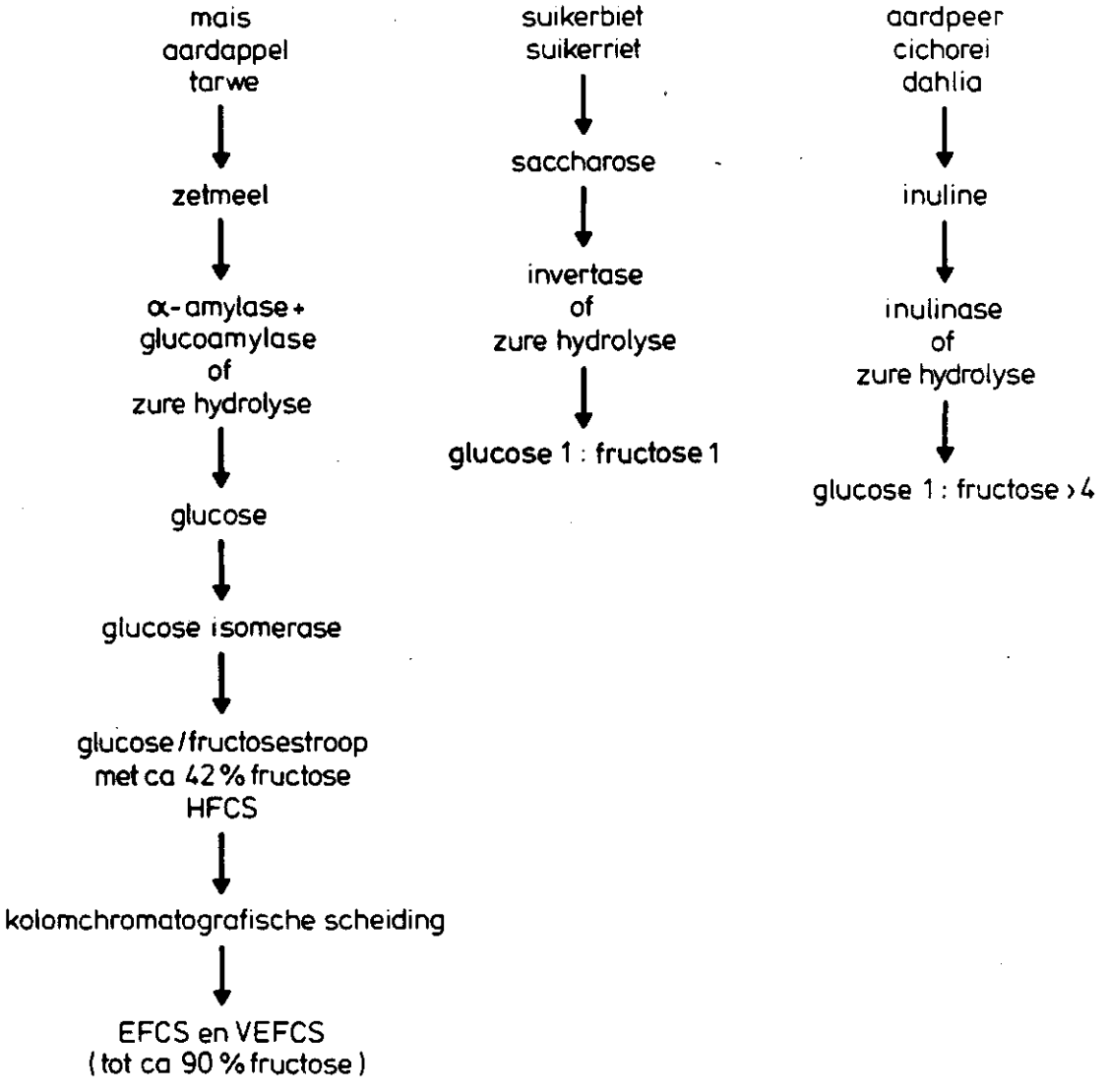
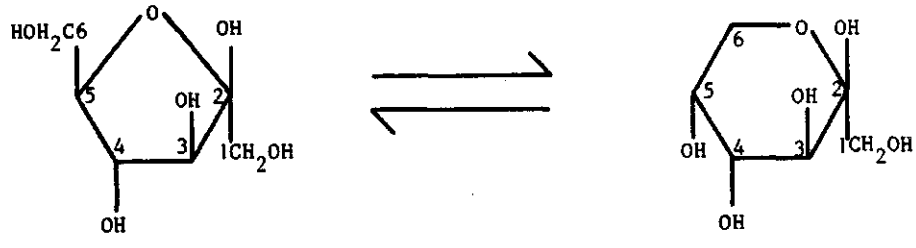


Fig. 2. Bereiding van fructose en/of glucose/fructosestropen.



β-D-fructofuranose

β-D-fructopyranose

evenwicht o.a. afhankelijk van
1. temperatuur
2. concentratie
3. aard oplosmiddel

N.B. Alleen de pyranose-vorm kristallijn te verkrijgen!

Enkele voorbeelden

	furanose	pyranose
water 0°C :	12	88
water 20°C :	20	80
alcohol 80% :	51	49
alcohol 90% :	57	43
dimethylformamide:	80	20
DMSO :	81	19

Zeer essentieel in verband met zoetkracht (alleen pyranose-vorm is zoet!)

Fig. 3. Factoren, die invloed uitoefenen op het evenwicht furanose/pyranose in fructose, en enige voorbeelden daarvan (naar Heyns, 1978).

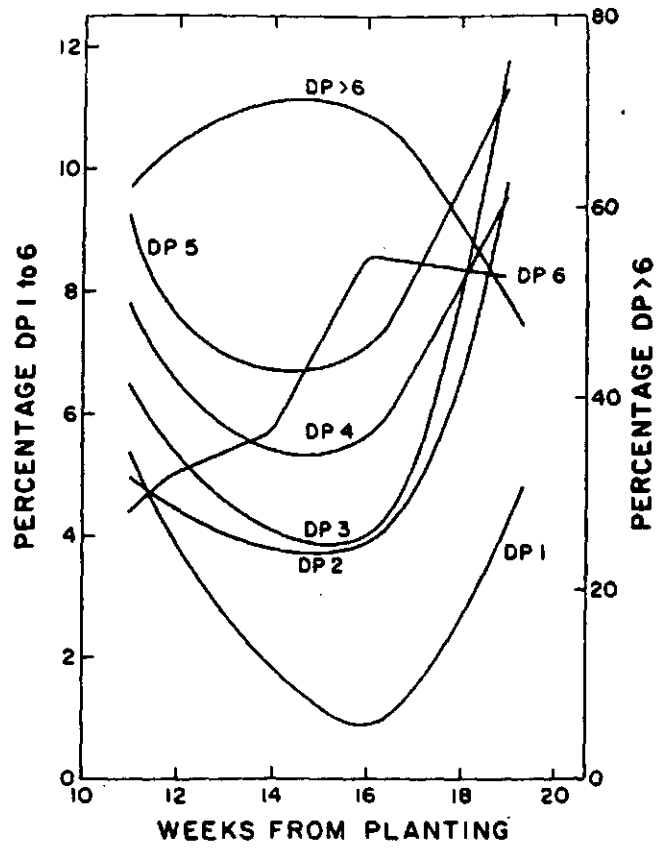


Fig. 4. Veranderingen in de inulinesamenstelling van aardpeerknollen tijdens de groei; DP = polymerisatiegraad (uit Fleming en GrootWassink, 1979).

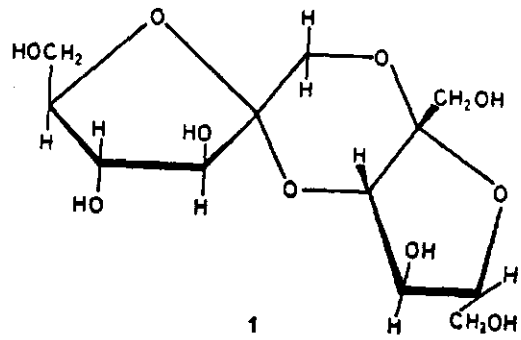


Fig. 5. Structuurformule van α-D-fructofuranose β-D-fructofuranose 2^1,1:2,3^1-dianhydride (uit Taniguchi en Uchiyama, 1982).

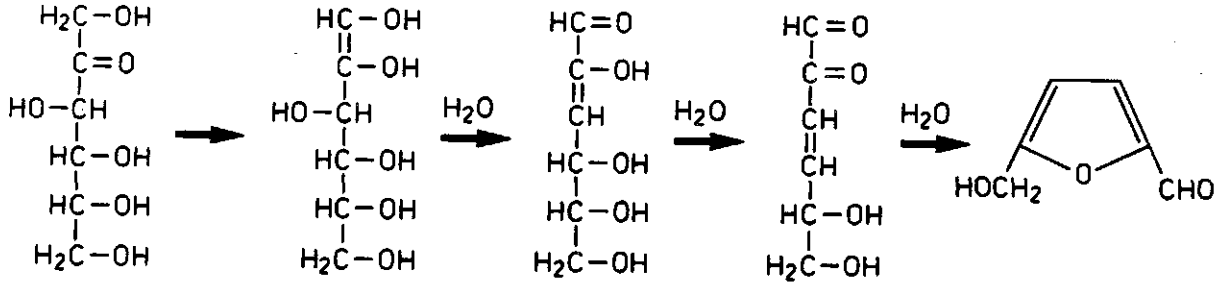


Fig. 6. Ontstaanswijze van hydroxymethylfurfural uit fructose (uit Heyns, 1978).

AARDPEER ALS PLANT EN GEWAS; TEELT EN VEREDELING

G.J. Vervelde
Vakgroep Landbouwplantenteelt en Graslandkunde, Landbouwhogeschool, Wageningen

1. Overzicht

In het navolgende wordt behandeld hoe in agrarische produktiekolommen met een industriële fase de huidige eisen van schaalgrootte en specialisatie kunnen worden verenigd met de op het landbouwbedrijf noodzakelijke biologische verscheidenheid. Het gewas aardpeer (Helianthus tuberosus L.) wordt als voorbeeld belicht.

2. De herkomst van agrarische grondstoffen

Wij mensen betrekken heel wat van onze voornaamste behoeften uit de plantenwereld. Wij hebben daarbij ervaren dat een plant geen eenvormig en homogeen produkt is. Al naar plantesoort en aard van het gebruikte orgaan levert een plant bijzondere, soms zelfs uitzonderlijke produkten, weliswaar niet chemisch zuiver, maar dikwijls toch erg toegespitst; men denke bijvoorbeeld aan latex uit de rubberpalm of aan honing die voor ongeveer 40% uit fructose bestaat en die bijen uit duizenden bloemen voor ons verzamelen. En indien het om delen van de plant gaat: een spinazieblaadje is weer heel wat anders dan een appel en geen van die beide lijkt ook maar iets op een aardpeerknol, een kastanje, een maiskorrel of een beukestam. Veel van de bijzondere produkten ontstaan aan het uiteinde van de stengelassen van de plant, zoals eigenlijk haast alle vruchten en knollen. Soms vormen ze zich ergens halverwege de assen als verdikte organen, zoals boomstammen, wortels, merg of vlezige bladbases (bollen). Teeltkundig gaat het er om of we die gespecialiseerde organen zonder al te veel omwegen in voldoende hoeveelheid in handen kunnen krijgen.

Het zou een hoogst interessante prestatie zijn als een plant er in zou slagen om enkel en alleen, met 100% rendement dus, de speciale produkten te maken waar het ons om begonnen is. Ervaring, maar ook theoretische overwegingen hebben ons geleerd dat dit niet kan. De plant moet eerst het fotosynthese-apparaat, dat is dus een produktie-apparaat, a.h.w. een fabriek, in elkaar zetten alvorens te produceren ten behoeve van de mens of de eigen nakomelingen. Dat is dus vergelijkbaar met bijvoorbeeld een rijwielenfabriek, die eerst moet worden gebouwd alvorens er rijwielen en

hulpapparatuur voor de fabricage kunnen worden gemaakt. De land-, tuin- en bosbouw dragen er zorg voor dat die "plantenfabriek" er komt, dat die "goed opgesteld wordt" en in stand blijft. Dankzij ook de bemoeienissen van de land-, tuin- en bosbouw is de leverantie van de bijzondere produkten in de loop van de decennia voor heel wat cultuurplanten aanmerkelijk goedkoper, overvloediger, rendabeler en oogstzekerder, kortom voordeliger geworden. Het is niet alleen gelukt om de totale produktie van planten te vergroten, maar eveneens het aandeel daarin van de gewenste bijzondere produkten. Veredeling heeft plantetypen opgeleverd waarbij één en ander gunstiger verloopt. Teeltmaatregelen zijn ontworpen die in dezelfde richting werken.
Op basis van dat soort kennis en vaardigheden heeft Nederland ettelijke goed functionerende produktiekolommen opgebouwd waar het buitenland ons om benijdt. Als kolommen tellen die produkties die in fasen verlopen, dus na de landbouwfase nog een verwerking tot bereide produkten ondergaan, soms voorafgegaan door een tussenbewerking zoals sorteren of speciaal bewaren. Men denke aan eindprodukten zoals verwerkte eetaardappelen, aan bietsuiker, aan brouwerijprodukten, aan aardappelzetmeel, maar ook aan conserven en aan linnen, al hebben we bij die laatste twee recentelijk het nodige terrein verloren. Hoge opbrengsten op het veld, een goed produktrendement en goede kwaliteit, geconcentreerde teelt met korte aanvoerlijnen en tenslotte efficiënt werkende industrieën maken het de produktiekolommen mogelijk om de afnemers goed te bedienen.

3. Bezwaren van de eenzijdigheid van geconcentreerde teelten

Voor de agrarische wereld is deze geconcentreerde en dus vaak op dezelfde akkers terugkerende teelt intussen tóch met flinke bezwaren behept gebleken. Die zijn van biologische aard. Veelvuldige aanwezigheid van telkens hetzelfde gewas brengt namelijk doorgaans teeltverstorende organismen tot ontwikkeling en uitbreiding. De teelt zal dan òf mislukken of in elk geval minder voordelig worden. Voor het geval dat de telers tegenmaatregelen kunnen nemen, blijven er in elk geval de kosten van deze maatregelen, waarbij men wel bedenkingen kan hebben tegen vooral sommige chemische maatregelen. De meeste last bezorgen storende bodemorganismen die dus in de grond plegen te huizen. Een voorbeeld is de aardappelmoeheid waarvoor zelfs wettelijke maatregelen ter bestrijding gelden.

Ter vermijding van zulk soort nadelige invloeden hebben akker- en tuinbouw, lang voordat men de achtergrond der verschijnselen doorgrondde, proefondervindelijk het inlassen van gewaspauzen leren toepassen. Men blijft dan een zekere tijd weg met het gewas totdat de schadeveroorzakers langs natuurlijke weg zodanig zijn uitgedund dat teelt zonder schade weer mogelijk is. Dat wegblijven heeft in de primitieve landbouw en bij ruime beschikbaarheid van akkergrond zijn letterlijke betekenis: men laat de grond ongebruikt (braak) liggen. In de meer ontwikkelde landbouw vult men die tussenperiode op met het telen van andersoortige gewassen (vruchtwisseling). Biologisch gezien klopt het dan keurig. Maar zo'n werkwijze is steeds meer gaan botsen met de economische eisen die de laatste decennia zwaar gingen wegen, namelijk specialisatie, d.w.z. het zich toeleggen op één of enkele grote produkten en het bereiken van een aanzienlijke, soms zéér omvangrijke schaalgrootte. Ook de afnemende verwerkende industrieën ondergingen dezelfde eisen. Sommige zien om die redenen liever geen "verdunning" van hun grondstoffenareaal ten behoeve van vruchtwisseling, omdat dat òfwel minder grondstof òf langere aanvoerlijnen betekent.
Terwijl vroeger de verschijnselen van onvoldoende vruchtwisseling vooral bekend waren bij daarvoor gevoelige gewassen als vlas, peulvruchten en tarwe, zijn ze zich de voorbije 30 jaar steeds hardnekkiger gaan voordoen bij onze belangrijke gewassen aardappelen en bieten. Uitgebreide inzet van bestrijdingsmaatregelen brengt niet alleen kosten met zich mee, maar ze zijn niet altijd in staat de werking van schadeveroorzakers geheel op te heffen en tegen vele van die maatregelen kunnen milieukundige bedenkingen bestaan.
Valt specialisatie, strakheid en omvang van een produktiekolom wel te verenigen met de biologische eis van de grotere verscheidenheid op het landbouwbedrijf? Strikt genomen lijkt het niet mogelijk: verscheidenheid betekent immers versnippering van het grondstoffenaanbod! Kunnen echter verschillende grondstoffen niet, bij een slimme aanpak, passen in één produktiekolom? Een niet uitvoerbaar, maar simpel fictief voorbeeld kan wellicht zo'n verstrengeling van kolommen duidelijk maken. Stel dat onze landbouwbedrijven suikerbieten en suikerriet zouden telen en beide aan de suikerfabriek zouden afleveren. De fabriek zou stellig wat aanpassingen in de eerste stadia van de fabrieksfase moeten aanbrengen, maar de vervolgstappen zouden "verstrengeld", gemeenschappelijk zijn. En wie weet zou de campagne ook nog wat voordeliger in de tijd komen te liggen. Biologische

verscheidenheid op het landbouwbedrijf zou aldus verzoend worden met de behoefte aan grootschaligheid van de industrie. Intussen past suikerriet niet op een Nederlands bietenbedrijf, want het is een warmteminnend gewas en dus ongeschikt om bij ons verbouwd te worden.
We zullen dus moeten uitzien naar wel op één bedrijf teelbare gewassen, waarbij waarschijnlijk de verwerkingsfase wat verdergaande aanpassing zal moeten ondergaan dan in het veronderstelde geval van suikerbiet plus suikerriet. Dit zal echter meer dan goedgemaakt dienen te worden door een in biologisch opzicht "gaver" en voordeliger functioneren van de teeltfase. En het zou extra welkom zijn indien in die teeltfase verstrengeling zou kunnen worden bereikt met de teeltfase van andere kolommen, overeenkomstig het gemeenschappelijk gebruik van maaidorser en verzorgingsapparatuur voor heel wat zaadgewassen. Dit geeft een deel van de voordelen van grootschaligheid.

4. De rol van inulineleverende gewassen

We kiezen de aardpeer (= topinamboer) als voorbeeld hoe een inulineleverancier past in de gedachtengang van zoëven. De sterk verwante zonnebloem is een olieleverancier, een sierplant en (in Midden- en Z.O.-Europa) een veevoederplant. Ook aardpeer zou al deze functies kunnen vervullen (al is bloei en zaadwinning nogal moeilijk, waarover verderop nog iets meer), maar ze vormt ook nog wat (weinig belangwekkende) vezel in het stro, doch vooral ondergrondse knollen met een hoog gehalte aan inuline, het onderwerp van deze themadag. De knollen zijn eetbaar, maar ook extraheerbaar. De plantesoort is afkomstig uit de Nieuwe Wereld en heeft als cultuurgewas al net zo'n lange geschiedenis achter zich als de aardappel. Ze heeft een minder grote vlucht genomen dan de aardappel. Daarvoor zijn zeker twee oorzaken aan te wijzen: de smaak is minder neutraal dan die van de aardappel, zodat de aardpeer niet een vast onderdeel van de dagelijkse maaltijd is geworden, daarenboven is het winnen van zaad minder goed mogelijk zodat er met de aardpeer minder gekruist en veredeld is om bruikbaarder smaken en knolvormen te krijgen, alsmede om produktievere vormen te vinden. Gebruik als grondstof voor alcoholwinning heeft plaatselijk ingang gevonden.
Teeltkundig komt de aardpeer een eindweegs overeen met de aardappel. Het gewas heeft, net als aardappel, stengelknollen die ontstaan aan het uiteinde van ondergrondse, horizontaal uitgroeiende stengels. Het kan in die

knollen ook een 7 à 8 ton en vermoedelijk meer koolhydraten per ha leveren (echter in de vorm van inuline), terwijl de aanleg der knollen wordt bevorderd door een korte daglengte. Er zijn ook verschillen met de aardappel: ongevoeligheid voor vorst in het voorjaar; de aanwezigheid van een lange, rechtopgaande stevige stengel; een wat later begin van de knolaanleg; de vorming van knollen die totaal ongevoelig zijn voor vorst (zodat die knollen levend in de grond achterblijven, net zoals bij de aardappel in sommige zachte winters); niet-giftigheid van de blad- en stengeldelen en aanmerkelijk geringere vatbaarheid voor ziekten en afwezigheid van beschadigers. Met name de ziekteverwekkers die in de grond achterblijven en die ons bij de aardappel zoveel zorgen geven zijn bij de aardpeer onbekend; wij kunnen aardperen zonder bezwaren jarenlang op dezelfde plek zien groeien.

De teelt vangt in het voorjaar aan met het poten van de knollen, waarbij men geen vorstgevaar hoeft te duchten omdat knollen en jonge planten daartegen bestand zijn. Verwijdering van onkruid is in het jonge gewas, zolang het "open" is, wel even nodig, maar al spoedig wordt een goed groeiend gewas zo dicht dat geen enkele onkruidplant daaronder nog een kans maakt. (De aardappel wil later in het seizoen nog wel eens wat "in elkaar zakken" zodat er toch nog onkruid doorkomt, maar de aardpeer blijft stevig overeind). De aardpeer begint wat later in het seizoen met knolvorming dan de aardappel, maar kent net als de aardappel ook "vroege" en "late" rassen. De vroege hebben doorgaans al vóór het einde van het groeiseizoen hun loof, d.w.z. hun fotosynthese-apparaat, "versleten" en dus eigenlijk voortijdig hun definitieve opbrengst bereikt. Ze kunnen dan, vooral in een gunstige herfst, in eindopbrengst aan knollen ingehaald en overtroffen worden door latere rassen. De indruk bestaat dat het gewas in de late groeistadia meer knolgroei vertoont dan het gehele gewas in diezelfde tijd aan nieuwe produkten aanmaakt. Een deel van de knolgroei zal dus ten koste van het loof gaan. Uitgedrukt in termen van het hoofdbestanddeel van de knollen, het koolhydraat, zijn in enkele wat zorgvuldiger waarnemingen van een 20 jaar geleden opbrengsten van 7 à 8 ton per ha gemeten (zie Pilnik en Vervelde, 1976), maar uit Frankrijk worden experimentele opbrengsten tot zelfs 14 ton per ha gemeld (Guiraud en Galzy, 1982). Er is daarom alle aanleiding om de potenties van het gewas nog eens in het licht van onze huidige inzichten en op grond van recente ervaringen te evalueren. Er bestaat weinig twijfel dat het gewas in

koolhydraatproduktie kan wedijveren met aardappelen en suikerbieten. We mogen met vertrouwen aannemen dat veredeling op verlenging van de knolvullingsperiode en op een langere levensduur van het loof, alsmede verdere ontwikkeling van teeltmaatregelen de opbrengsten nog zullen vergroten.
Het rooien zou kunnen beginnen vanaf het laatst van oktober. Dat is een tijd die het werken op zware grond niet aantrekkelijk maakt. De knollen brengen op zulke grond ook veel aanklevende grond, de z.g. tarra, mee. Voor de teelt wordt daarom het eerst gedacht aan wat lichtere rulle grond, ofschoon de produktie op de betere gronden wat gunstiger zou verlopen. Als de toestand van de grond dat wenselijk maakt, kunnen de knollen zonder bezwaar tot in of na de winter in de grond blijven.
Men stelt wel eens de vraag of de in de grond achterblijvende knollen enerzijds niet de basis kunnen vormen voor een tweede oogstjaar, anderzijds in een volggewas geen hinderlijke opslag kunnen geven. Inderdaad blijven er voldoende knolletjes in de grond achter na de oogst om in het volgende jaar weer een goed gesloten gewas te vormen. Ook al mag dat uit een oogpunt van wegvallende plantkosten aantrekkelijk lijken, de bespaarde kosten vallen weer weg doordat de opbrengst doorgaans submaximaal is. De hoofdoorzaak daarvoor is een te dichte stand. Het zou trouwens ook niet raadzaam en bovendien "onlogisch" zijn om, als men de aardpeer ter wille van de vruchtwisseling in gebruik neemt, het gewas dan weer op zichzelf te laten volgen zodat het bedrijf als geheel onvoldoende profiteert van de vruchtwisseling. Wat betreft de aardpeeropslag: die is gemakkelijk tegen te gaan met herbiciden.

5. De veredeling van aardpeer

De veredeling van het gewas is nog verre van voltooid. Daarvan is ongetwijfeld de moeilijke zaadwinning de oorzaak. In de gebruikelijke teeltgebieden bloeit de aardpeer zo laat dat er zelden rijp zaad verschijnt of, indien het zaad al rijp wordt, is het in de late herfst van een zo matige bewaarkwaliteit dat het in het volgende voorjaar weinig planten levert. In de vrije natuur en bij eenmaal gevestigde cultuurrassen heeft de plant deze vermeerdering via zaad dan ook niet nodig omdat ze zich vegetatief in stand houdt. Veel minder dan bij de aardappel hebben aardpeergebruikers dus spontaan gevormd zaad of opzettelijk gekweekt zaad kunnen uitzaaien om uit de verkregen planten betere typen te zoeken. De aardpeer is daardoor dichter bij de wilde vorm gebleven dan de aardappel in dezelfde periode.

De vormenrijkdom die zich voordoet als men verschillende aardpeerstammen vergelijkt is groot. Dambroth (1984) meldt in een bij particulieren ingezamelde collectie ook grote en interessante variaties waargenomen te hebben. Dat betekent dat van de veredeling nog aanmerkelijke vooruitgang verwacht mag worden. Bij een ruim op te zetten veredelingsprogramma zal de bloei en zaadzetting van de te kruisen planten vervroegd en veelal ook gesynchroniseerd moeten worden. Dat blijkt te kunnen lukken. Van de Sande Bakhuizen en Wittenrood (1952) bezorgden "te late" planten een kortere daglengte door een enkel blad per plant in te hullen in verduisterende folie met als gevolg vervroegde bloei.
Ten aanzien van de veredeling zijn er nog heel wat voor de hand liggende wensen:

- wat betreft produktie: eerdere knolaanleg (met minder loofvorming) en verlenging van de levensduur van het loof.
- wat betreft de tafelaardpeer: smaakverbetering, betere knolvorm, betere geschiktheid van de knol voor industriële bereidingstechnieken.
- wat betreft de geschiktheid als grondstof voor extractie: hoger fructose-aandeel dat ook bij bewaring stand houdt.
- wat betreft de hanteerbaarheid bij oogst: gladdere knolvorm en breekbaarder stolonen die de knollen niet tot kluiten bijeenhouden.
- betere bewaarbaarheid.

De veredeling kan daarbij veel profijt hebben van de in Nederland zo ruimschoots voorhanden ervaringen met de veredeling van aardappelen, te meer omdat de aardpeer eveneens een allopolyploïde plant is. Wellicht kan ook het telen van pootgoed op ietwat overeenkomstige leest geschoeid worden.

6. In welke kolom(men) past de aardpeer?

Hoewel de aardpeer met haar landbouwkundige gedrag nogal in de sfeer van de aardappel komt, heeft de fabriekmatige verwerking meer weg van die van de suikerbiet. Dat betekent dat bietentelers op grond, die geschikt is voor aardpeer, er profijt van zullen hebben als ze in staat gesteld worden de suiker aan hun fabriek ten dele in de vorm van aardperen te leveren. Dit zou de akkers ontlasten van een te dichte bezetting met suikerbieten, het kan ook de bietenopbrengsten per ha nog wat verbeteren of voordeliger maken. De verwerkende industrie zal enige aanpassing tot stand moeten brengen en zal compensatie vinden in een nog stabielere en ook goedkopere

grondstoffenbron, in een wat gunstiger tijdschema voor de campagne en een vergrote afzet, doordat met grotere verscheidenheid van eindprodukten meer afnemers bereikt worden.
Door de teeltkundige parallelliteit met de aardappel rijst de vraag of de aardpeer zou kunnen passen op bijvoorbeeld de bedrijven die zich op de fabrieksaardappelteelt toeleggen. Uit een oogpunt van vruchtwisseling zou het daar uiterst welkom zijn, mits tevens de leverantie van grondstof aan de fabriek op peil blijft. Kan de aardpeer tevens grondstof zijn voor de aardappelmeelindustrie? Zijn er wellicht inulinederivaten die, bijvoorbeeld om hun reologische eigenschappen, een aanvulling vormen op het sortiment aardappelmeelprodukten? Het Innovatiegerichte Onderzoekprogramma Koolhydraten kan, naar we mogen hopen, meehelpen hiervoor openingen te verschaffen.
Teelt van aardperen voor andere doeleinden dan fabriekmatige verwerking, zoals voor directe consumptie, voor veevoer en voor voedering van wild, kan natuurlijk geschieden op allerlei bedrijven en terreinen. Voor veevoer kan het hele gewas dienen, omdat het loof, zoals gezegd, niet zoals de aardappel giftig is. Het is helaas niet bijzonder smakelijk voor het vee, maar ook daarin zou met veredeling wellicht verbetering kunnen komen.

7. Samenvatting en conclusies

- Het streven naar doelmatigheid en beter rendement, onder andere via schaalvergroting en specialisatie, heeft binnen nogal wat agrarische produktiekolommen geleid tot biologische eenzijdigheid op landbouwbedrijven.
- De zozeer gewenste vergroting van de biologische verscheidenheid zou met de eisen van doelmatigheid en schaalgrootte verenigd kunnen worden indien niet-biologische delen van de produktiekolommen "verstrengeld", gemeenschappelijk zouden kunnen zijn, bijvoorbeeld ten aanzien van bruikbaarheid van dezelfde landbouwwerktuigen of het passen in eenzelfde fabricagelijn.
- Hoewel de aardpeer in beginsel ook sierbloemen, oliezaden, ruwvoer of vezel kan leveren, vormen de ondergrondse stengelknollen met hun hoge gehalte aan inuline haar voornaamste produkt.
- Het landbouwkundige gedrag van de aardpeer komt een eindweegs met dat van de aardappel overeen. Verschillen zijn de ongevoeligheid voor vorst in het voorjaar, de aanwezigheid van een stevige rechtopgaande

stengel, de omvang van vorstbestendige knollen en de geringe vatbaarheid voor ziekten en beschadigingen.

- In opbrengst aan koolhydraten doet de aardpeer zeker niet onder voor de aardappel of de suikerbiet.
- In de veredeling van het cultuurgewas aardpeer is nog slechts een beperkte weg afgelegd. Veel verbeteringen van het gewas zijn nog mogelijk. Daarbij zullen de ervaringen met veredeling en pootgoedteelt van aardappelen van veel nut kunnen zijn.
- De aardpeer past met haar suikerleverantie in de produktiekolom van de suikerbiet. Het is denkbaar dat zij met reologisch belangwekkende inulinederivaten ook een rol kan spelen in de produktiekolom van het aardappelzetmeel.
- De aardpeer kan, los van de genoemde produktiekolommen, ook dienen voor directe consumptie, voor voedering van vee en wild en ook voor vergisting tot alcohol.

8. Literatuur

- Dambroth, M. 1984. Topinambur - eine Konkurrenz für den Industriekartoffelanbau? Kartoffelbau 35: 450-453.
- Guiraud, J.P. en Galzy, P. 1982. Valorisation du topinambour par la levure: production de sirop riche en fructose, d'alcool et de proteines. Bio-Sciences 1: 55-58.
- Pilnik, W. en Vervelde, G.J. 1976. Jerusalem artichoke (Helianthus tuberosus L.) as a source of fructose, a natural alternative sweetener. Z. Acker- Pflanzenbau 142: 153-162.
- Van de Sande Bakhuizen, H.J. en Wittenrood, H.G. 1949. Het tot bloei en zaadvorming brengen van topinambourrassen. Versl. Centr. Inst. Landbouwk. Onderz. over 1948: 137-143.

BEWARING VAN DE AARDPEER (HELIANTHUS TUBEROSUS L.)

R. Wustman
Instituut voor Bewaring en Verwerking van Landbouwprodukten (IBVL), Wageningen

1. Inleiding

De bestemming van aardpeerknollen kan variëren van bulkafzet voor industriële verwerking tot afzet als verse groente. In het eerste geval zijn aardpeerknollen te vergelijken met produkten als fabriekmatig te verwerken aardappelen, wortelen, schorseneren, rode bieten en andere vollegrondsgroenteteeltprodukten. In het tweede geval is er meer overeenkomst met vers af te zetten groenteprodukten.
Bij mogelijke industriële verwerking van aardpeerknollen is te verwachten dat een systeem van bewaring nodig zal zijn om een continue aanvoer voor een verwerkingslijn zeker te kunnen stellen.
In het volgende zal een overzicht worden gegeven van aardpeerbewaarregimes vermeld in de literatuur; tevens zullen resultaten van één seizoen kleinschalig aardpeerbewaaronderzoek op het IBVL worden gegeven. In deze bespreking zal soms de aardappel worden betrokken, vooral omdat dit produkt in Nederland goede bekendheid geniet.

2. Bewaring van aardpeerknollen

2.1. Enkele botanische aspecten van de aardpeerknol

In botanisch opzicht zijn aardpeerknollen verdikte ondergrondse stengeldelen en als zodanig te vergelijken met het produkt aardappel (Solanum tuberosusm L.). Een kenmerkend verschil tussen de aardpeer en de aardappel is de afwezigheid van een stevige schil bij de aardpeer.
Bij de bewaring van aardappelen wordt veel gebruik gemaakt van de "curing" of het wondhelend vermogen van het produkt. Het gevolg van een goede wondhelingsperiode is een verkurking en afdichting van de schil van de knol tegen zowel waterverlies als tegen binnendringen van pathogenen, welke kunnen optreden bij onrijp rooien en bij handlingsprocedures.
Aardpeerknollen missen dit vermogen tot "curing" en hebben geen dikke stevige schil zodat eenmaal beschadigde knollen een nog sterker waterverlies vertonen dan ze van nature al doen; bovendien kan gemakkelijker aantasting door micro-organismen optreden. Bij metingen aan de specifieke

Tabel 1. Bewaarcondities van aardpeerknollen

Temperatuur (in °C)	Relatieve luchtvochtigheid (in %)	Bewaarduur (in maanden)	Bron
0	90-95	2-5	Lorenz en Maynard, 1980
0	90-95		Jackson, ongedateerd
0 - 1.7	82-92		Fleming en GrootWassink, 1979
0	hoog	enkele	Boswell, 1959
0 - 1.5	89-92	5	Johnson, 1931
-1 - +1	hoog		Kiehn, 1984

vochtafgifte van aardpeerknollen gedurende januari en februari 1985 is gebleken dat deze bij aardpeerknollen 18-43. 10^{-10} kg. kg^{-1}. Pa^{-1}. sec^{-1} bedraagt, d.w.z. ongeveer een factor 100 maal hoger is dan bij ongekiemde aardappelen (Slettenhaar, 1984; Van Beek, 1985; Wustman, 1985). Het ontbreken van een dikke schil en het afwezig zijn van wondheling na beschadiging zullen hieraan waarschijnlijk in aanzienlijke mate debet zijn (Boswell, 1959).

2.2. Bewaring in de grond

Aardpeertelers in Nederland (cf. Mulder, 1984) en in andere landen (Shoemaker, 1927) zijn bekend met een goedkope methode van aardpeerbewaring. Deze bestaat hierin, dat de knollen na afsterven van de bovengrondse delen niet eerder geoogst worden dan op het tijdstip van consumptie of verwerking. Van deze wintervastheid wordt reeds lange tijd in de praktijk gebruik gemaakt in gebieden waar de aardpeerknollen worden benut als wintervoeding voor in het wild levende dieren. Nadelen van deze bewaarmethode zijn de periodieke ontoegankelijkheid van de locatie en het moeten rooien onder omstandigheden met lage temperaturen, waardoor mogelijk in toenemende mate uitwendige en inwendige beschadigingen kunnen optreden.

2.3. Bewaring onder geconditioneerde omstandigheden

In Tabel 1 is een aantal bewaarregimes gerangschikt welke in de literatuur worden vermeld. Daaruit blijkt, dat vaak bewaarregimes met temperatuurniveaus rond 0°C en hoge luchtvochtigheden in de bewaarfaciliteit worden aanbevolen.

Het is opvallend dat vrijwel nooit het verloop van bewaarverliezen in de

Tabel 2. Bewaarverliezen van aardpeerknollen bij twee bewaarregimes (zie Klaushofer en Schiesser, 1984)

Bewaarregime		Bewaarduur (in maanden)	Produktkwaliteit		
Temperatuur (in °C)	Relatieve luchtvochtigheid (in %)		%gezond	%ingedroogd	%bedorven
0.2-1.8	89-92	5	80	15	5
1.2-9.5	74-86	5	7	6	87

literatuur wordt vermeld. Wel wordt het optreden van snelle indroging en het vóórkomen van rotontwikkeling beschreven. Klaushofer en Schiesser (1984) citeren Traub, Thor, Willaman en Oliver (1927), die gegevens omtrent bewaarverliezen bij twee regimes vermelden (Tabel 2); helaas geven Klaushofer en Schiesser daarbij niet de wijze en de duur van bewaring aan welke door Traub et al. is toegepast. Bovendien verschaffen Traub et al. gegevens over de knolsamenstelling tijdens bewaring (Tabel 3). In de loop van de bewaarperiode verminderde het fructosegehalte sterk, in het begin van de bewaarperiode nam het glucosegehalte toe, zodanig dat de verhouding fructose/glucose eerst sterk daalde en daarna meer constant bleef.
Wat bederf door schimmelaantasting tijdens de bewaring betreft vermeldt Johnson (1931) het frequent optreden van Botrytis cinerea en Rhizopus nigricans en het minder frequent optreden van Rhizopus tritici en

Tabel 3. Veranderingen in de knolsamenstelling van het aardpeerras "Portland" bij een bewaarregime met temperaturen van 0.2-1.8°C en 89-92% relatieve luchtvochtigheid (zie Klaushofer en Schiesser, 1984)

Tijdstip	Op basis van groene massa				Op basis van droge stof			Verhouding fructose/ glucose
	d.s.	fructose	glucose	WOK	fructose	glucose	WOK	
3 nov.	20.1	9.9	5.0	15.0	49.5	25.0	74.6	1.97
20 dec.	21.2	7.9	5.7	13.6	37.4	26.9	64.3	1.39
20 jan.	22.3	8.0	7.0	15.1	36.0	31.7	67.8	1.14
22 mrt.	23.7	8.5	6.1	14.7	36.0	26.0	62.0	1.39

(d.s. = droge stof; WOK = water-oplosbaar koolhydraat)

Fusarium tijdens de bewaarperiode, maar deze auteur vond geen Sclerotinia sclerotiorum op de knollen. Dit organisme was echter na inoculatie ook bij lagere temperaturen zeer destructief. Sclerotinia sclerotiorum is eveneens geconstateerd in de bovengrondse delen, en wel tijdens de teeltperiode onder Nederlandse omstandigheden (Wustman, 1984).
Kiehn (1984) vermeldt een redelijk succesvolle bewaarmethode waarbij de knollen werden opgeslagen in afgesloten plastic zakken bij -1 tot +1°C. In op deze wijze bewaarde partijen kon echter reeds na enkele maanden complete afbraak voorkomen.
Uit deze waarnemingen kan geconcludeerd worden, dat de aardpeerknol een, ook onder geconditioneerde omstandigheden, niet eenvoudig te bewaren produkt is.

3. Resultaten van het IBVL-bewaaronderzoek

In Nederland is weinig gepubliceerd over aardpeerbewaring. Waarschijnlijk is, ook gezien de omvang van het gewas, de ervaring beperkt tot bewaring in de grond (zie ook Pilnik en Vervelde, 1976 en Mulder, 1984).
Vanwege de aandacht voor het gewas in verband met de akkerbouwplanverruiming in Nederland is in het najaar 1984 een oriënterende kleinschalige aardpeerbewaarproef gestart op het IBVL, Wageningen. Het meest relevante doel was het vergaren van enige kennis met name over bewaarverliezen. Hierbij dient opgemerkt te worden dat geen periodieke analyses op inuline-, fructose- en glucosegehalten zijn uitgevoerd. Er werden bewaarregimes met temperaturen van 0.5, 4 en 10°C bij relatieve luchtvochtigheden van 90-95% toegepast.
De aardpeerknollen werden bewaard onder de volgende omstandigheden:

- gewassen knollen met een laagdikte van ongeveer 10 cm in open plastic kratten. Bruto gewicht bij het begin van de bewaarperiode ± 10 kg;
- ongewassen knollen met een laagdikte van ongeveer 10 cm in open plastic kratten. Bruto gewicht bij het begin van de bewaarperiode ± 10 kg;
- ongewassen knollen in afgesloten plastic zakken (dichtgebonden). Bruto gewicht bij het begin van de bewaarperiode ± 20 kg.

Het produkt was door de Suiker Unie geteeld in de Veenkoloniën (Noordoost Nederland) en gerooid met een tweerijige aardappelrooier. Het IBVL heeft in haar bewaarfaciliteiten enige ruimte ter beschikking gesteld. Periodieke bruto gewichtsverliezen zijn vermeld in Tabel 4.

Tabel 4. Percentage bruto gewichtsverliezen van in open plastic kratten bewaarde aardpeerknollen; IBVL 1984-1985

Aantal weken na het begin van de bewaarperiode	Bewaartemperaturen (°C)					
	0.5		4		10	
	produkt		produkt		produkt	
	gewassen	ongewassen	gewassen	ongewassen	gewassen	ongewassen
5	20.9	13.8	12.6	11.7	18.7	11.1
10	36.0	27.6	22.3	25.5	28.2	16.7
15	49.2	40.8	32.9	34.7	31.8	42.7
22	58.2	50.7	43.3	42.1	53.5	45.2

De Figuren 1, 2 en 3 geven een grafische weergave van de verliezen tot 5 maanden na het begin van de bewaarperiode. Fig. 4 geeft de gemiddelde verliezen per temperatuurregime. Bij 4°C bewaartemperatuur lijkt het laagste verliesniveau op te treden. Bedacht moet worden dat de gewichtsverliezen zeer waarschijnlijk voor een zeer groot deel veroorzaakt worden door waterafgifte van de knol aan de omgeving. De relatieve dampspanning van de bewaarcel kan daarom invloed hebben op de bruto gewichtsverliezen. De gemeten relatieve luchtvochtigheid per bewaarcel was ± 95%. De gewichtsverliezen in de open plastic kratten waren hoog, terwijl de verliezen in de afgesloten plastic zakken vrijwel nihil waren. Rotontwikkeling trad in de kratten nauwelijks op. In de plastic zakken daarentegen was rotontwikkeling zeer duidelijk aanwezig vanaf ongeveer 1½ maand na de start van de bewaring. Zeer waarschijnlijk hangen de rotontwikkeling en de uitdroging zeer direct samen met de afwezigheid van een verkurkte, afgeharde schil van de knollen, waardoor, eventueel na een vorm van beschadiging, pathogenen snel kunnen binnendringen en zich verspreiden. Dit laatste kan relevant zijn bij de bewaring van grotere partijen produkt. Daarom kan het zinvol zijn te besluiten de omvang van de te bewaren partijen niet te groot te laten zijn, terwijl daarnaast sterke aandacht voor de bestrijding van bewaarziekten nodig zal zijn.

4. Mogelijkheden van aardpeerbewaarsystemen

Wanneer uitgegaan wordt van aardpeerbulkgrondstofverwerking dienen goedkope en betrouwbare bewaarsystemen beschikbaar te zijn of ontwikkeld te worden. Volgens het literatuuroverzicht van Mulder (1984) is inkuilen een

bewaarmethode die reeds in het begin van de 20e eeuw werd toegepast. Volgens dit overzicht moet een aardpeerbewaarplaats koel en vochtig zijn, met een geringe storthoogte van het produkt. Volgens Van Beek (1985) zijn de fysische eigenschappen van de aardpeerknol te vergelijken met die van wortelen en andere knolgewassen. Hak (1983) en Hak en Van der Schild (1983) rapporteren goede bewaarresultaten met wortelen, schorseneren (een ander inulinehoudend gewas!) en rode bieten. Deze voor industriële verwerking bestemde produkten zijn met succes opgeslagen in kuilen. De exploitatiekosten van deze bewaarmethode bedragen *f* 0.07/kg (Hak, 1983).
Een variant op de bewaring in de kuil is bewaring in een kuil waarin de aardpeerknollen afwisselend met grond (Belonje, 1984) of mogelijkerwijs met turfmolm worden opgeslagen. De aantrekkelijkheid van bewaring in kuilen bestaat uit de lage bewaarkosten per eenheid produkt en de permanente toegankelijkheid als de kuil op de bedrijven wordt opgezet. In de kuil wordt een hoge relatieve luchtvochtigheid op natuurlijke wijze gehandhaafd.
Tijdens de bewaring dienen geregeld analyses op gehalten aan fructose, glucose en inuline plaats te vinden.

5. Samenvatting

- Er wordt een overzicht gegeven van literatuurgegevens over de bewaring van aardpeerknollen (Helianthus tuberosus L.). De meest aanbevolen bewaaromstandigheden houden een temperatuur rond 0°C in bij hoge relatieve luchtvochtigheid.
- In oriënterend onderzoek gedurende 1984-1985 werden aardpeerknollen gedurende 5 maanden bewaard bij 0.5, 4 en 10°C en ± 95% RV. Het gewichtsverlies van materiaal in afgesloten plastic zakken was vrijwel nihil; dat van materiaal in open plastic kratten varieerde van 42-63%. Deze verliezen zijn waarschijnlijk grotendeels verklaarbaar door de dunne schil van de aardpeerknol en de hoge specifieke vochtafgifte.
- Mogelijkheden van goedkope bewaring in kuilen met een beperkte omvang worden besproken.

6. Verantwoording

Met dank aan E.E. van de Born, C. Gielen, F. Mulder en B. Vader voor de assistentie bij de uitvoering van de oriënterende bewaarproeven.

7. Literatuur

- Belonje, J.L.G. 1984. De mogelijkheden van de aardpeerteelt in Nederland; een literatuurrapport. MLV literatuurrapport no. 6, 's-Gravenhage, 11 pp.
- Boswell, V. 1959. Growing the Jerusalem artichoke. U.S. Dep. Agric. Leaflet 116, 8 pp. (first issue 1936).
- Fleming, S.E. en GrootWassink, J.W.D. 1979. Preparation of high-fructose syrup from the tubers of the Jerusalem artichoke (Helianthus tuberosus L.). Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 12: 1-28.
- Hak, P.S. 1983. Kuilbewaring van fabrieksaardappelen, suikerbieten, rode bieten, schorseneren en winterpeen. Bedrijfsontwikkeling 14: 795-801.
- Hak, P.S. en Van der Schild, J.H.W. 1983. Bewaring van schorseneren in kuilen. Landbouwmechanisatie 34: 1052-1055.
- Jackson, G.D. ongedateerd. Jerusalem artichoke production. Brochure B 796, Agricultural Extension Service, Univ. of Wyoming, 2 pp.
- Johnson, H.W. 1931. Storage rots of Jerusalem artichoke. J. Agric. Res. (Washington, D.C.) 34: 337-351.
- Kiehn, F.A. 1984. Personal communication.
- Klaushofer, H. en Schiesser, E. 1984. Zur Lagerfähigkeit von Topinamburknollen. I. Material und Methoden. Branntweinwirtschaft: 414-420.
- Lorenz, O.A. en Maynard, D.N. 1980. Knott's Handbook for Vegetable Growers, Second edition. John Wiley and Sons, New York.
- Mulder, F. 1984. Aspecten van de introductie van aardpeer (Helianthus tuberosus L.) in de Nederlandse landbouw. Doctoraalscriptie Landbouwplantenteelt, LH Wageningen, 79 pp.
- Pilnik, W. en Vervelde, G.J. 1976. Jerusalem artichoke (Helianthus tuberosus L.) as a source of fructose, a natural alternative sweetener. Z. Acker- Pflanzenbau 142: 153-162.
- Shoemaker, D.N. 1927. The Jerusalem artichoke as a crop plant. U.S. Dep. Agric. Tech. Bull., 32 pp.
- Slettenhaar, G.H. 1984. Bepaling van de warmteproduktie en de specifieke vochtafgifte bij vijf aardappelrassen in verband met de gewichtsverliezen tijdens bewaring. IBVL-rapport 515, 26 pp.
- Van Beek, G. 1985. Fysische en fysiologische eigenschappen van de aardpeerknol. Rapport 2291, Sprenger Instituut, Wageningen, 5 pp.
- Wustman, R. 1984 en 1985. Ongepubliceerde resultaten.

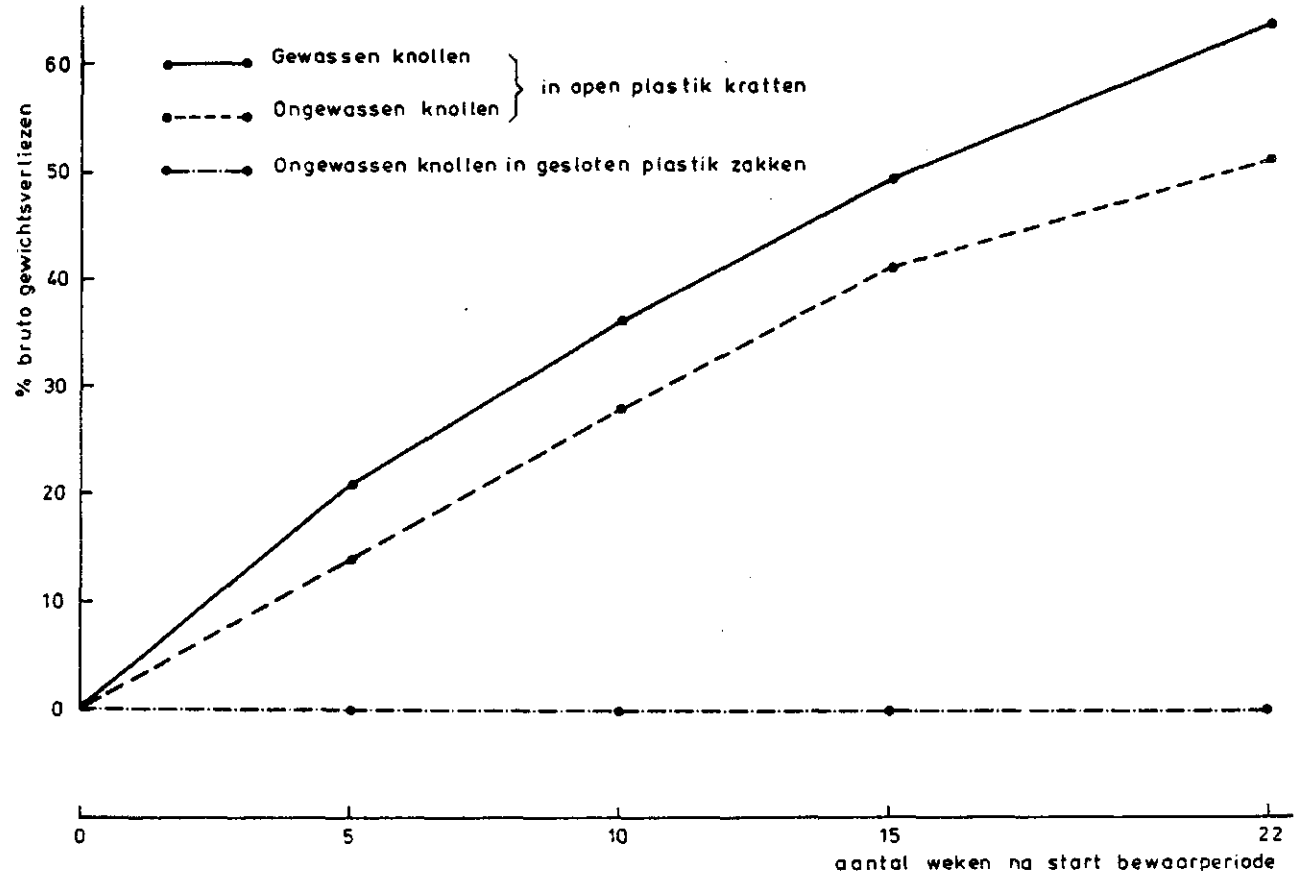


Fig. 1. Bruto gewichtsverliezen (%) van aardpeerknollen bewaard bij 0.5°C; 1984-'85.

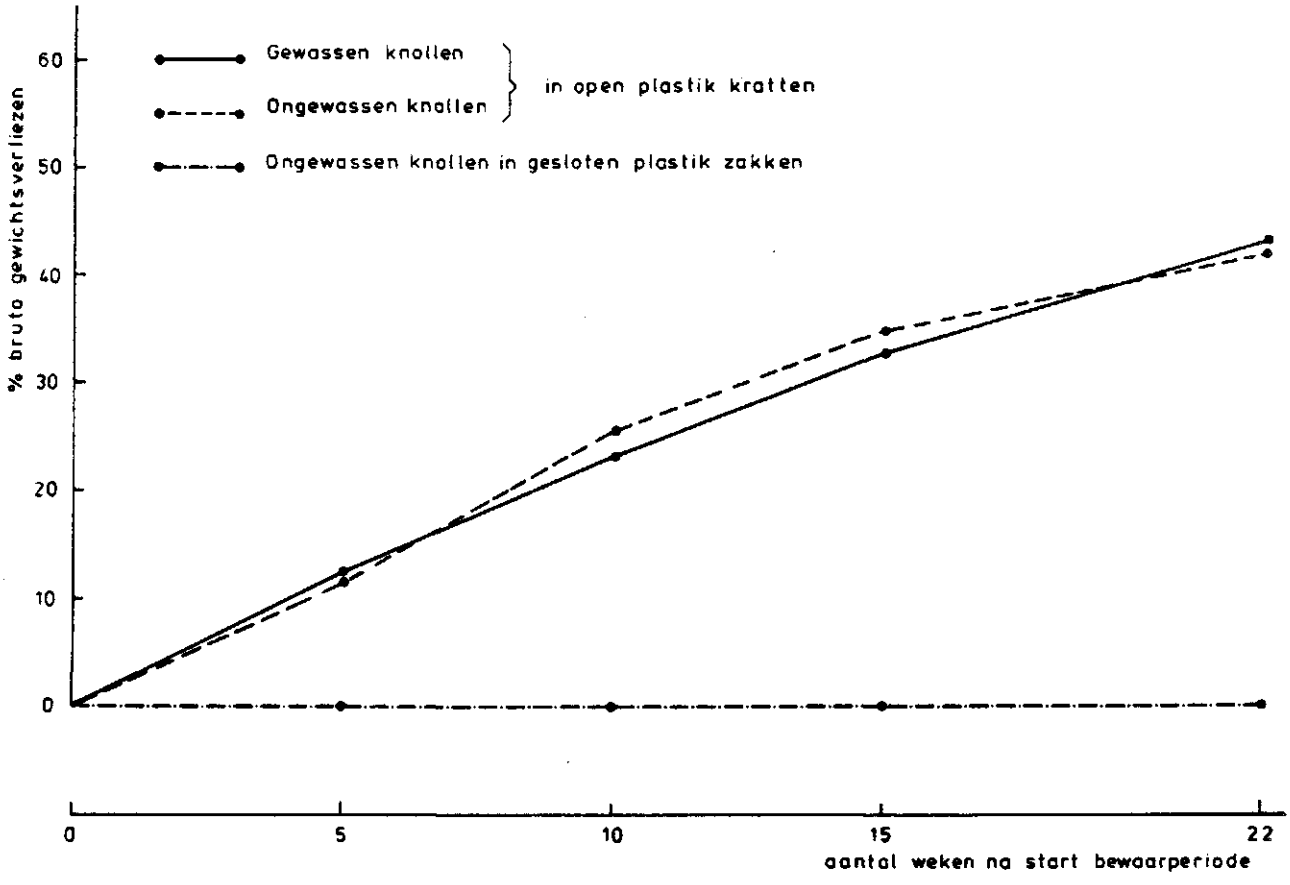


Fig. 2. Bruto gewichtsverliezen (%) van aardpeerknollen bewaard bij 4°C; 1984-'85.

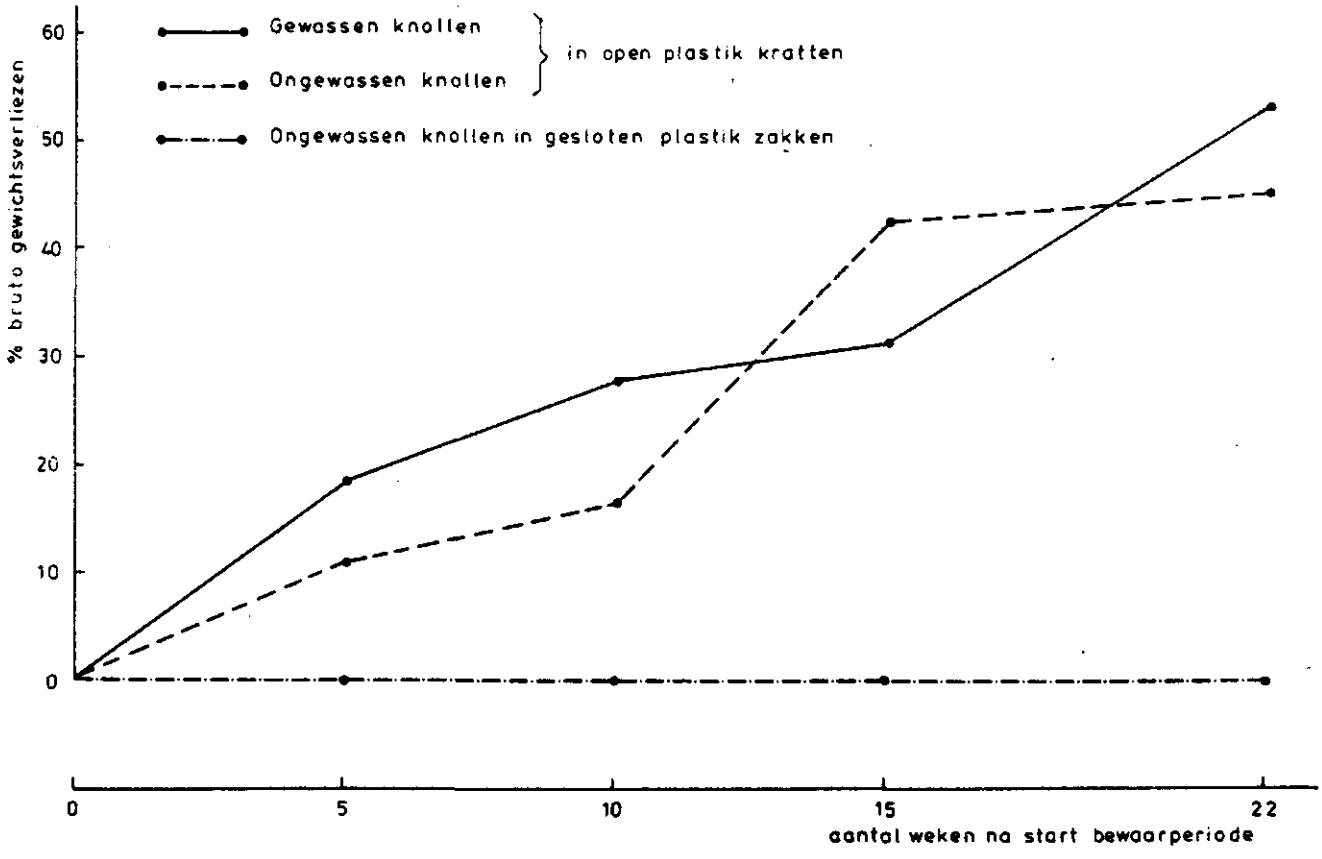


Fig. 3. Bruto gewichtsverliezen (%) van aardpeerknollen bewaard bij 10°C; 1984-'85.

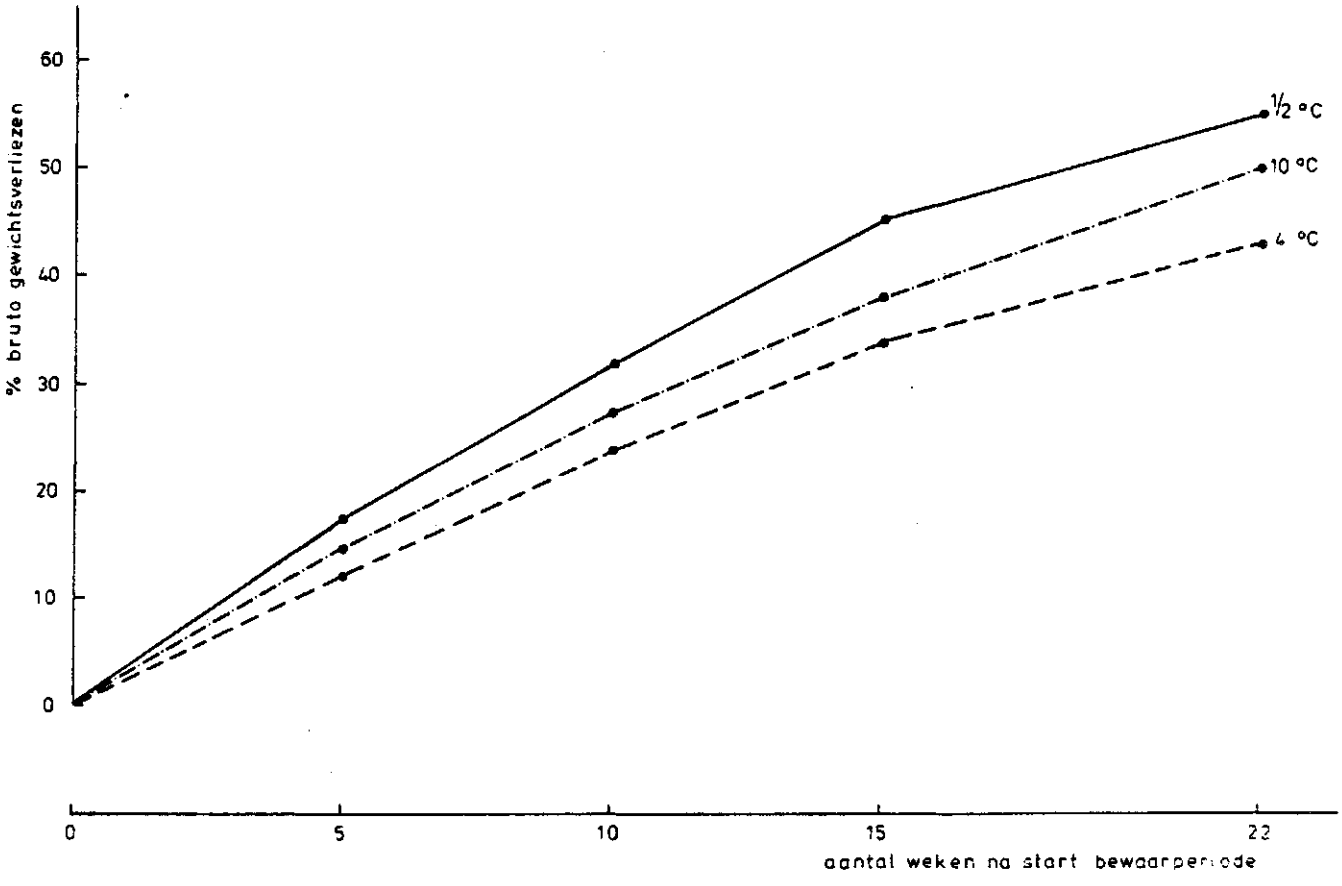


Fig. 4. Gemiddelde bruto gewichtsverliezen van aardpeerknollen bewaard bij 0.5, 4 en 10°C in open plactic kratten; 1984-'85.

DE PROCESMATIGE WINNING VAN INULINE UIT AARDPEER

C. van den Berg
Sectie Proceskunde, Vakgroep Levensmiddelentechnologie, Landbouwhogeschool, Wageningen
en
A. Fuchs
Vakgroep Fytopathologie, Landbouwhogeschool, Wageningen

1. Inleiding

Gemotiveerd door problemen in de Nederlandse akkerbouw, welke verband houden met het nog slechts geringe aantal voor de boer rendabele akkerbouwgewassen, èn de potentiële mogelijkheden van inulinehoudende gewassen als nieuwe grondstof voor industriële verwerking, houdt de Sectie Proceskunde van de Vakgroep Levensmiddelentechnologie zich sinds eind 1982 bezig met het onderzoek naar de verwerkingsmogelijkheden van aardpeer (topinamboer, *Helianthus tuberosus*). In het recente NRLO-rapport over potentiële nieuwe akkerbouwgewassen (NRLO, 1984) komt dit gewas als één der gunstigste naar voren. Teelten van verscheidene variëteiten toonden reeds de goede produktiepotentie van aardpeer. Er zijn opbrengsten gemeten van 40-60 ton knollen/ha.jaar met een inulinegehalte van circa 14%.
De knollen kunnen door de mens worden geconsumeerd als groente doch worden om hun wat zoete smaak door velen niet zeer gewaardeerd. Overigens zijn ze als zodanig nog te weinig bekend om over hun acceptatie door de mens reeds nu een definitief oordeel te vellen. Een andere interessante toepassing van aardpeer voor menselijke consumptie ontstaat door bijmenging van droog aardpeermeel in bestaande samengestelde voedingsmiddelen zoals deegwaren (macaroni, spaghetti, e.d.) en bakkerijprodukten. Voorts kunnen knollen zowel als jonge bovengrondse delen worden toegepast als veevoer.
Andere, evenals aardpeer tot de composieten behorende, inulinehoudende soorten zijn cichorei (en de als witlof gekweekte variëteit daarvan), dahlia, inula en paardebloem; onder grassen, Liliaceae en andere monocotylen treft men vele soorten aan, die van-inuline-verschillende fructanen produceren (Fuchs, 1958). Over de potentiële mogelijkheden van de andere composieten als inulinebron is nog weinig bekend. Na het oogsten van witlof blijven de afgestookte witlofwortels over. Deze wortels, die nog 7-10% inuline bevatten, worden nu als veevoer gebruikt. Ze vormen echter een potentiële grondstof voor de winning van inuline, zeker als

aanvullende grondstof voor een op aardpeer gebaseerde inuline-industrie. Cichorei wordt in België reeds voor dit doel geteeld. De opbrengsten bedragen rond 40 ton/ha.jaar met een inulinegehalte in de wortels van circa 17%. Cichoreiwortels worden, tijdens proefcampagnes op een (nog) kleine industriële schaal (Beyers, 1984), in Warcoing verwerkt tot fructosestroop.
De mogelijke toepassingen van inuline zijn vele (Fuchs, 1984). Het ligt voor de hand fructose, het belangrijkste bulkprodukt van een mogelijke industriële inulinebereiding en 1.1-1.8 maal zoeter dan witsuiker (= saccharose), als zoetstof te gebruiken. Hiernaast echter bieden inulobiose en andere oligomeren van fructose, alsmede inulinederivaten wellicht interessante mogelijkheden. Belangrijker zijn evenwel de suiker-alcoholen mannitol en sorbitol, die door katalytische hydrogenering uit fructose worden bereid (Kieboom en Van Bekkum, Themadag Inuline), en voorts chemicaliën op basis van hydroxymethylfurfural en andere produkten uit het gebied der furaanchemie.

Een grootschalige introductie van aardpeer in de akkerbouw staat of valt met voldoende kennis van het industriële verwerkingsproces. Daarom wordt bij de Sectie Proceskunde momenteel actief onderzoek gedaan naar de procesmatige winning van inuline uit aardpeer.

2. Bestaande processen voor winning van inuline/fructose

Afgezien van enig ouder onderzoek voor en tijdens de tweede wereldoorlog dat leidde tot produkties op semi-technische schaal (cf. Breen, 1964) zijn het vooral recente, gepubliceerde en ten dele niet-gepubliceerde, onderzoekingen geweest, die tot een zestal processchema's voor de bereiding van inuline uit aardpeer hebben geleid. Deze zullen in het hierna volgende kort worden besproken. Volgens vijf van deze schema's wordt de verkregen inuline direct via hydrolyse verwerkt tot zuivere fructose of stropen met een zeer hoog fructosegehalte, vergelijkbaar met de bekende VEFCS (=very enriched fructose corn syrup) stropen. Slechts drie van deze genoemde processchema's (Breen, 1964; Dahlmans et al., 1982; Van den Berg, 1984) zijn ontworpen met het oog op een grootschalige industriële toepassing. Daarnaast bevat de literatuur meer gegevens over onderzoekingen naar details van één of enkele stappen uit bovengenoemde processchema's. Met name de hydrolyse van inuline is vrij uitgebreid onderzocht. Een samenvatting van deze literatuur valt echter buiten het kader van dit rapport.

Het meest uitgebreide processchema werd ontworpen door Breen (1964) die tijdens langdurig onderzoek zijn proces (Fig. 1) uitvoerig op semi-technische schaal kon toetsen, met als doel goedkoop zuivere fructose te produceren. Breen toonde aan dat diffusieve extractie van inuline uit aardpeerschijfjes goed mogelijk is. De inuline in het extract wordt daarbij na zuivering met zwavelzuur gehydrolyseerd tot fructose, vervolgens wordt voorzichtig geneutraliseerd met kalkmelk, en het ontstane gips afgecentrifugeerd. Hierna wordt meer kalk toegevoegd om de fructose te zuiveren via het onoplosbare calcium-fructosaat complex. Uit dit laatste produkt wordt vervolgens via carbonatatie de kalk weer afgescheiden. Deze zuiveringsstappen zijn nogal kritisch en men kan zich afvragen of bij deze wijze van werken op grote schaal de fructose-opbrengst niet nadelig wordt beïnvloed. Anderzijds wordt een zeer zuivere fructose verkregen, geschikt voor speciale toepassingen.

Fig. 2 geeft het processchema weer dat voor de semi-technische bereiding van inuline werd ontwikkeld door Dahlmans en medewerkers (1982). Dit schema gaat uit van witlofwortels als grondstof, doch is eveneens geschikt voor aardpeer. Interessant is de sapzuivering met behulp van aceton waarbij moet worden opgepast voor het neerslaan van hoogpolymeer inuline dat onoplosbaar is in vele organische oplosmiddelen. Bij onvoldoende scheiding wordt door de auteurs een complementaire hyperfiltratie aangeraden om nog niet neergeslagen eiwit te verwijderen. Door de verwijdering, door middel van strippen, van aceton uit de processtroom wordt ook water verwijderd. Hierdoor kan de navolgende fabricagelijn kleiner en dus goedkoper worden uitgevoerd. De hydrolyse geschiedt enzymatisch. Hiervoor werd een gezuiverde inulinase uit Aspergillus phoenicis gebruikt (Dahlmans et al., 1983). Belangwekkend is ook de tweetrapsverwijdering van zouten via electrodialyse èn ionenwisseling, die naar verwachting gunstig uitwerkt op de produktiekosten. Het proces bereidt kristallijne fructose voor consumptiedoeleinden. Uit kostencalculaties bleek een sterke invloed van de produktieschaalgrootte op de kostprijs van fructose.

Een studie (Van den Berg, 1984) van bestaande literatuurgegevens alsmede enkele ongepubliceerde rapporten leidden tot een procesontwerp waarvan het blokschema van "unit operations" is weergegeven in Fig. 3. In de bijbehorende fabriek worden theoretisch 400 kton schone aardperen verwerkt gedurende 90 campagnedagen. Een dergelijke capaciteit komt qua ordegrootte overeen met die van een kleine Nederlandse witsuikerfabriek. Ook het

gevolgde proces lijkt enigermate op de bereiding van witsuiker. Afgezien van een extra blancheerstap om excessieve verkleuring tegen te gaan en enkele specifieke aanpassingen wordt de witsuikerbereiding gevolgd tot na de kalk-sapzuivering, welke hier bij wat lagere temperatuur wordt uitgevoerd om fructoseverliezen te beperken. Inuline wordt daarna enzymatisch afgebroken in een enzymreactor met een geïmmobiliseerde endo-inulinase uit Aspergillus niger, ontwikkeld door NOVO Industri A/S, Denemarken (Zittan, 1981). De verkregen oplossing die circa 87% fructose bevat (op koolhydraatbasis) wordt vervolgens ingedampt en verwerkt tot kristallijne fructose. Daar de laatste stap relatief duur is verdient het waarschijnlijk aanbeveling als eindprodukt fructoserijke stroop te bereiden. Er kon worden aangetoond dat op deze wijze kristallijne fructose kan worden bereid voor circa 60% van de huidige marktprijs! Ook hier bleek dit getal overigens vrij sterk te worden beïnvloed door de produktieschaalgrootte. Een vierde processchema (Fig. 4) waarbij de voorziene grootte van de produktieschaal niet duidelijk wordt aangegeven, is voorgesteld door Fleming en GrootWassink (1979) in een uitgebreid overzicht over de verwerking van aardpeer tot stropen met hoog fructosegehalte. Na een herhaalde verkleining en extractie wordt een sapscheiding en sapzuivering toegepast via decanteren en filtratie door actieve kool. Vervolgens wordt de inuline naar keuze, enzymatisch of met zuur, gehydrolyseerd waarna de verkregen oplossing wordt geklaard en ingedampt tot een stroop. Door aanzuren en neutraliseren, hier uitgevoerd met behulp van ionenwisselaars, wordt deze stap gecombineerd met een gedeeltelijke sapzuivering. De hoeveelheden hulpstoffen nodig voor de scheidingen en omzettingen worden globaal aangegeven. De benodigde hoeveelheden per kg aardpeer zijn relatief hoog en wijzen meer op een proces op laboratoriumschaal dan op een industrieel proces. De verschillende scheidingsstappen zijn niet gespecificeerd voor opschaling. Verder schatten de auteurs het verlies aan fructose, vooral als gevolg van de bewerkingen actieve koolfiltratie en ionenwisseling, op ruim 20% van het totaal aan inuline. Dit laatste is voor een dergelijk proces volstrekt ontoelaatbaar, zowel vanuit economisch als milieukundig oogpunt, en ook niet nodig indien een andere procesgang wordt gevolgd.

Kierstan (1980) stelde, als resultaat van uitgebreid laboratoriumonderzoek aan inuline, het processchema voor zoals weergegeven in Fig. 5. Het schema zou geschikt zijn voor diverse inulinebevattende plantedelen. Alhoewel

niet genoemd in het schema, is na wassen koken de eerste stap om bruinkleuring te voorkomen. Extractie en scheiding worden bij temperaturen boven 60°C uitgevoerd. Het sap wordt gezuiverd via een kalk-sapzuivering met koolzuur of het duurdere fosforzuur, gevolgd door ultrafiltratie. Deze extra zuivering wordt nodig geacht om ofwel de ionenwisselaars (voor zure hydrolyse) niet overmatig te belasten ofwel de alternatieve inulinezuivering via solventprecipitatie efficiënt te kunnen uitvoeren. Vooral bij de ionenwisselaarprocedure moet worden gewaakt tegen fructoseverliezen door adsorptie. Een invertasebehandeling is toegevoegd om de moeilijker te hydrolyseren binding in het "rest-produkt" saccharose te splitsen. Dit laatste lijkt niet nodig als alleen zoetkracht is gewenst.
Tenslotte geeft Fig. 6 het schema weer dat De Bruijn en Westera op het Laboratorium voor Algemene en Technische Biologie, TH Delft (cf. De Bruijn, 1981; Westera, 1981) volgden voor de winning - op laboratoriumschaal - van inuline uit de knollen van verschillende plantesoorten. Van alle schema's is dit het enige dat gericht is op bereiding van zuivere inuline als droog eindprodukt. Het schema is samengesteld uit kleinschalige laboratoriumtechnieken geschikt voor onderzoek en komt als zodanig niet in aanmerking voor grootschalige produktie. Interessant is de aandacht voor het constant houden van de zuurgraad ter voorkoming van een vroegtijdige hydrolyse van inuline.

3. Onderzoek verricht binnen de Sectie Proceskunde

De bestaande literatuur geeft nogal wat mogelijkheden aan voor grootschalige verwerking van inulinehoudende grondstoffen, doch verschaft over enkele cruciale processtappen onvoldoende details om een betrouwbaar procesontwerp te rechtvaardigen. Daarom wordt bij de Sectie Proceskunde nader onderzoek verricht naar enkele belangrijke onderdelen en aspecten van het verwerkingsproces. Dit zijn vooral: (a) de winning en karakterisering van inuline uit aardpeer, (b) het mechanisme van de hierbij optredende sterke verkleuring, (c) de zuivering van het verkregen extract of ruwsap, (d) voor het proces belangrijke eigenschappen van de verkregen inuline, (e) de enzymatische hydrolyse van inuline en (f) "snelle" methoden om de inulineconcentratie te meten. In het volgende worden enkele voorlopige resultaten van dit onderzoek, waarbij verschillende rassen zijn vergeleken, weergegeven.

Daar inuline in aardpeercellen zich in een opgeloste vorm bevindt, kan het gewonnen worden door extractie van aardpeersnijdsels met water ofwel door vermaling van het gehele weefsel (bijvoorbeeld raspen) gevolgd door een sapafscheiding. Beide methoden voor de winning van inuline uit de grondstof lijken mogelijk te zijn. De diffusieve extractie van aardperen op grote schaal is vergelijkbaar met die van suikerbieten. Cellen van de aardpeer verliezen hun turgor omstreeks 71°C omdat bij die temperatuur de celmembraan zijn semi-permeabiliteit verliest. Hij wordt daarbij ook permeabel voor inuline. In plaats van V-vormige snijdsels zoals bij de suikerbiet lijken hier schijfjes beter geschikt in verband met de mechanische sterkte ervan tijdens de langdurige extractie (circa 1½ uur). Ten aanzien van de evenwichtsconcentratie binnen en buiten de schijfjes kan de theorie over extractie direct worden toegepast. De tweede methode werkt sneller en behoeft kleinere apparatuur (goedkoper!) doch vereist een nawassing van de pulp voor een maximale inuline-afscheiding. Hierdoor wordt de verkregen oplossing verdund. Een verdere optimalisatie van deze methode en vergelijking met de eerste moet uitwijzen welke van beide de voorkeur verdient.

Een probleem bij deze winning is de sterke verkleuring welke bij de verkleining van aardperen onder invloed van de luchtzuurstof optreedt. Aardpeerpulp is daardoor na circa 15 minuten bruinzwart verkleurd. Uitsluiting van zuurstof of verhitting van de aardperen vooraf (circa 30 minuten op 85°C) verhindert de kleurvorming geheel of nagenoeg geheel. De kleurvorming treedt op doordat bij celbeschadiging het voornamelijk membraangebonden enzym polyfenoloxydase in contact komt met luchtzuurstof en een fenolisch substraat (hier hoogstwaarschijnlijk vooral chlorogeenzuur), dat daarbij oxydatief gepolymeriseerd wordt tot bruinzwart gekleurde verbindingen. Bij vermaling van het celweefsel (door bijvoorbeeld raspen) wordt het enzym verder vrijgemaakt in het celsap en treedt de kleuring versneld op. De stabiliteit van aardpeer-polyfenoloxydase is met standaardmethoden onderzocht. Tabel 1 geeft hiervan enige resultaten voor drie aardpeerrassen (Fuchs, De Vries, Van den Berg en Moëst, publikatie in voorbereiding). Hieruit blijkt dat de stabiliteit van het enzym rasafhankelijk is. Het "Rozo"-enzym is minder stabiel dan dat van andere rassen. Bij selectie van aardpeerrassen zou hiermee rekening kunnen worden gehouden. Verder blijken optimale omstandigheden ter voorkoming van bruinkleuring te zijn lage pH (<5.0) en hoge temperaturen (tenminste 75°C). Ook kan de enzym-

Tabel 1. Enzymstabiliteit van voor bruinkleuring verantwoordelijke polyfenoloxydasen van drie aardpeercultivars ("rest"activiteit gemeten bij pH = 6.0 en kamertemperatuur, met als substraat dopa)

Cultivar	t_{E50} [1] (pH 6.0; 70°C)	pH, waarbij t_{E50} ⩽10 min (70°C)	T, waarbij t_{E50} <5 min (pH 6.0)
Rozo	18 min	n.m.[2]	80-85°C
"Delft" (wit)[3]	37.5 min	4.0 (<5 min) 4.5-5.0 (⩽10 min)	>85°C
Waldspindel	45 min	n.m.	85°C

1) t_{E50}, tijd nodig voor 50% inactivering van het enzym (in buffer) bij incubatie onder gegeven omstandigheden.
2) n.m., niet gemeten.
3) Onbekende cultivar afkomstig uit de Cultuurtuin voor Technische Gewassen, TH Delft.

werking worden geremd door toevoeging van voldoende sulfiet of cysteine (Zawistowski en Murray, 1985), terwijl theoretisch toevoeging van fenylthioureum denkbaar is (Fuchs et al., publikatie in voorbereiding).
Uit voorlopige experimenten bleek dat het mogelijk is om, ondanks sterke verkleuring, op nog geheel andere wijze, een zeer licht gekleurd aardpeersap te verkrijgen. Door geraspte aardpeerpulp langere tijd (bijvoorbeeld gedurende een nacht) aan de lucht bloot te stellen en vervolgens een sap-pulp scheiding uit te voeren, ontstaat een vrijwel zwarte pulp en een helder, nagenoeg ongekleurd sap. Blijkbaar worden de sterk gekleurde geoxydeerde fenolen na langere tijd onoplosbaar en hechten zich aan de pulp. Deze scheiding gaat echter met aanzienlijke verliezen van inuline gepaard.
Uit een en ander blijkt dat bijvoorbeeld koken voorafgaand aan de inulinewinning, zoals voorgesteld door Kierstan (1980), niet nodig is. Dit is zelfs nadelig daar aardperen daarbij zacht worden en "hun samenhang verliezen", hetgeen de scheidingen tijdens de latere procesgang zeer moeilijk uitvoerbaar (duur!) maakt. Door de sterke reactiviteit van fructose en fructosiden zullen in het algemeen ongunstige reactie-omstandigheden (hoge temperatuur, hoge pH) zo veel mogelijk moeten worden vermeden en de duur van de bewerkingen beperkt. Een lage pH kan ongunstig zijn daar deze een

voortijdige hydrolytische afbraak van inuline bevordert. Hierdoor gaat het niet-reducerende karakter van inuline deels verloren en kunnen ongunstige reacties optreden. Zo zal een sapzuivering met behulp van kalk van een deels afgebroken inuline-extract grote verliezen aan fructose geven.

4. Procesvoorstel voor winning van inuline/fructose uit aardpeer

Concluderend wordt in Fig. 7 een schema van procesbewerkingen voorgesteld volgens welke uit aardperen zowel inuline als fructoserijke stroop kan worden bereid. In dit processchema is rekening gehouden met inzichten verkregen en ervaringen opgedaan sinds het eerder gepubliceerde procesvoorstel (Van den Berg, 1984). Het blijft echter een keuze die pas realistisch getoetst kan worden door experimenten in grootschalige apparatuur. Bij een voldoend grote produktieschaal zal de kostprijs van de fructoserijke stroop concurrerend kunnen zijn ten opzichte van bestaande vergelijkbare produkten. Toepassingsmogelijkheden van het geproduceerde inuline moeten nader worden onderzocht. De kostprijs ervan wordt bij produktie op voldoende schaal geschat op circa *f* 2,- per kg, waardoor ook de prijzen van afgeleide stoffen gunstig kunnen zijn.
Tenslotte worden enige details van het schema in Fig. 7 besproken. Voor het reinigen van de aardperen ligt een goede combinatie van droog borstelen en nat wassen voor de hand. Na de wassing is ontluchten nodig om de aanwezige circa 2 vol. % lucht uit de aardperen te verwijderen. De in deze lucht aanwezige zuurstof is reeds voldoende om tijdens het raspen verkleuring te veroorzaken. De desondanks optredende zeer lichte verkleuring kan worden tegengegaan door tijdens het raspen enig sulfiet toe te voegen. Het sulfiet wordt verderop met de aanwezige aceton verwijderd.
Voor een gunstige fasescheiding wordt de pulp na het raspen gecentrifugeerd met een decanter en vervolgens nagewassen, afgezeefd en geperst. De verkregen perspulp kan, na menging met het van aceton ontdane neerslag uit de sapzuivering, worden ingekuild of gedroogd voor veevoer.
De sapzuivering wordt met aceton uitgevoerd waarbij voorkomen moet worden dat hoogpolymere inuline met het gevormde neerslag verloren gaat. Door strippen en destillatie wordt aceton weer uit de produkten verwijderd. Met deze bewerkingen bestaat grote ervaring. Een voordeel is dat een deel van het water reeds uit de inuline-oplossing is afgescheiden. Vervolgens is, afhankelijk van het volgende proces, misschien nog een ultrafiltratiestap nodig. Het gezuiverde sap kan dienen om inuline ofwel fructoserijke stroop

òf beide te bereiden. De bereiding van fructoserijke stroop volgt verder één der reeds bekende wegen. Voor een efficiënte winning van zuivere inuline dient de kristallisatie of precipitatie nader onderzocht te worden.

5. Verantwoording

De beide auteurs danken de in dit verslag vermelde experimentele resultaten aan Frits W. de Vries (Vakgroep Fytopathologie) en Rudolf A.F. Moëst, Peggy Tjon Kon Joe en J. Dick van Olderen (Sectie Proceskunde). Zonder hun werk zou er experimenteel weinig tot stand zijn gekomen.

6. Literatuur

- Beyers, A. 1984. Niet alleen suiker uit suikerbieten maar ook uit cichoreiwortels. De Boer (België), 16-17.
- Breen, J.J. 1964. De landbouwkundige en industriële betekenis van de aardpeer (Helianthus tuberosus L.). Proefschrift, TH Delft.
- Dahlmans, J.J., Bakker, G. en Meyer, E. 1982. Industrial Fructose Process. Enzymatic process for the production of fructose out of inulin. Schema gepresenteerd tijdens een voordracht voor de Nederlandse Biotechnologische Vereniging te Wageningen, 17 maart 1982; persoonlijke mededeling.
- Dahlmans, J.J., Meijer, E.M., Bakker, G. en Beekhuis, G. 1983. An enzymatic process for the production of fructose from inulin. Antonie van Leeuwenhoek 49: 88.
- De Bruijn, J.M. 1981. Winning en enzymatische hydrolyse van inuline. Ingenieursonderzoekverslag, Vakgroep Algemene en Technische Biologie, TH Delft.
- Fleming, S.E. en GrootWassink, J.W.D. 1979. Preparation of high-fructose syrup from the tubers of the Jerusalem artichoke (Helianthus tuberosus L.). Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 12: 1-28.
- Fuchs, A. 1958. Over het voorkomen en de betekenis van polyfructosiden en hun toepassing. Vakbl. Biol. 38: 150-166.
- Fuchs, A. 1984. Inuline, een uitdaging. Afscheidscollege, TH Delft.
- Kierstan, M. 1980. Production of fructose syrups from inulin. Process Biochem. 1980 (5): 2, 4, 32.
- NRLO. 1984. Gewassen in het kader van bouwplanverruiming in de akkerbouw. Discussienota NRLO, 's-Gravenhage, 88 pp.

- Van den Berg, C. (ed.). 1984. Fabrieksvoorontwerp ter bereiding van fructose uit aardperen. Intern Rapport Vakgroep Levensmiddelentechnologie, Sectie Proceskunde, LH Wageningen, 80 pp.
- Westera, A.B. 1981. Winning en zure hydrolyse van inuline. Chromatografische scheiding van produkten. Ingenieursonderzoekverslag, Vakgroep Organische Chemie, TH Delft.
- Zawistowski, J. en Murray, E.D. 1985. Inhibition of enzymatic browning in Jerusalem artichoke extracts. Abstr. paper 66 at the Conference "Food Links for Progress", Toronto, 23-26 June 1985.
- Zittan, L. 1981. Enzymatic hydrolysis of inulin - an alternative way to fructose production. Staerke 33: 373-377.

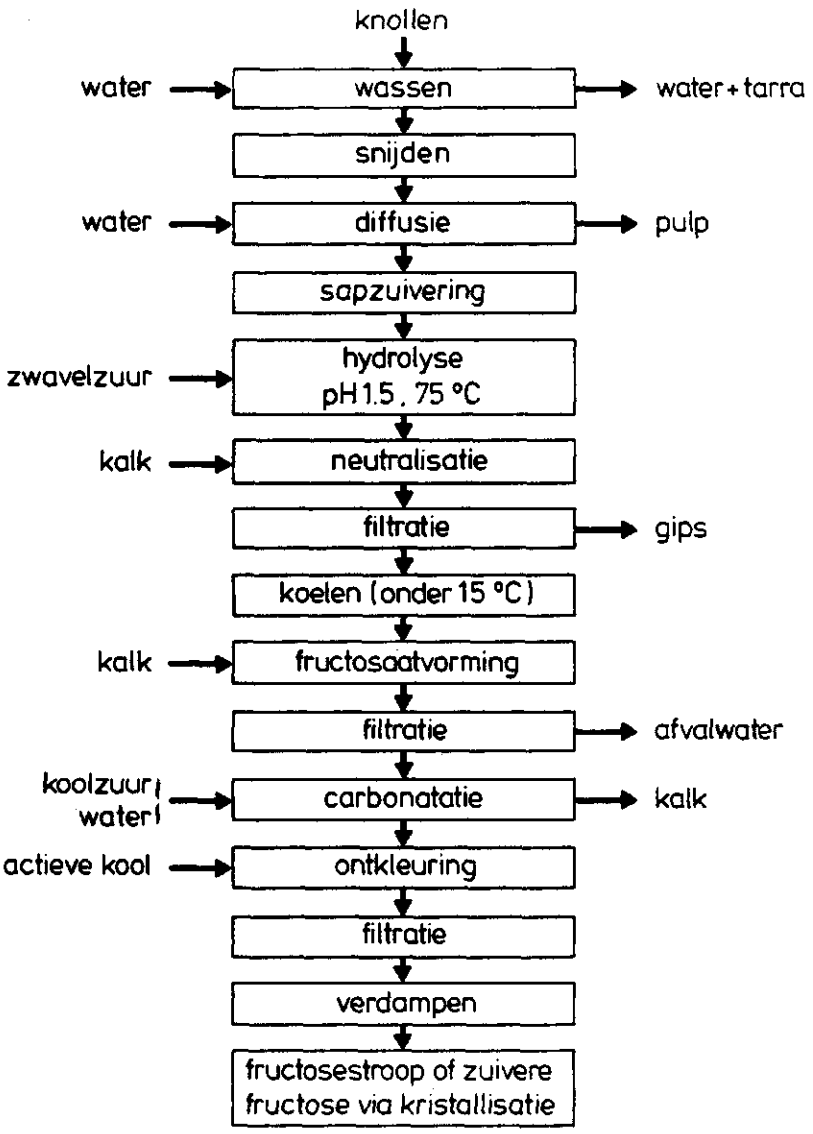


Fig. 1. Processchema voor de produktie van fructose via inuline uit aardpeer volgens Breen (1964).

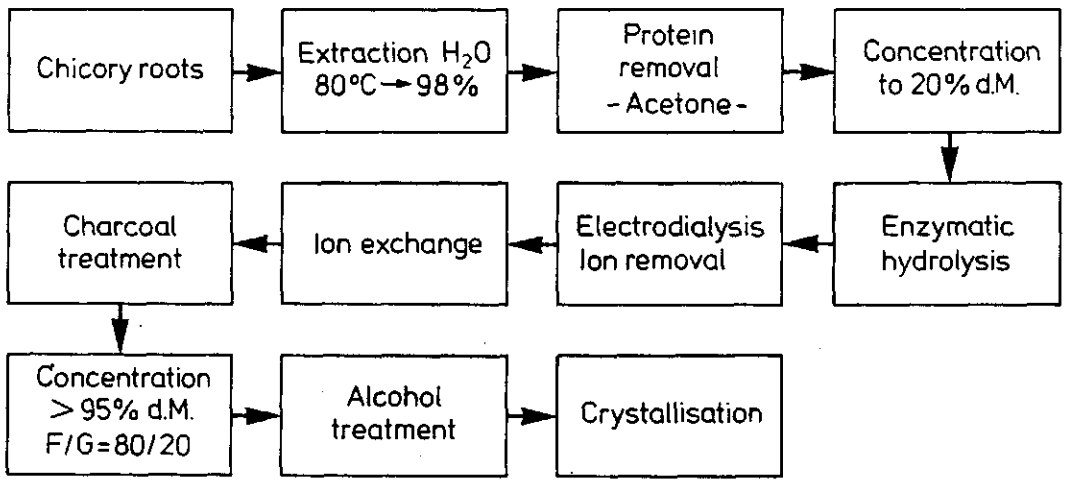


Fig. 2 Schema van DSM-proces voor de bereiding van fructose uit inulinehoudende knolgewassen (Dahlmans et al., 1982, 1983)

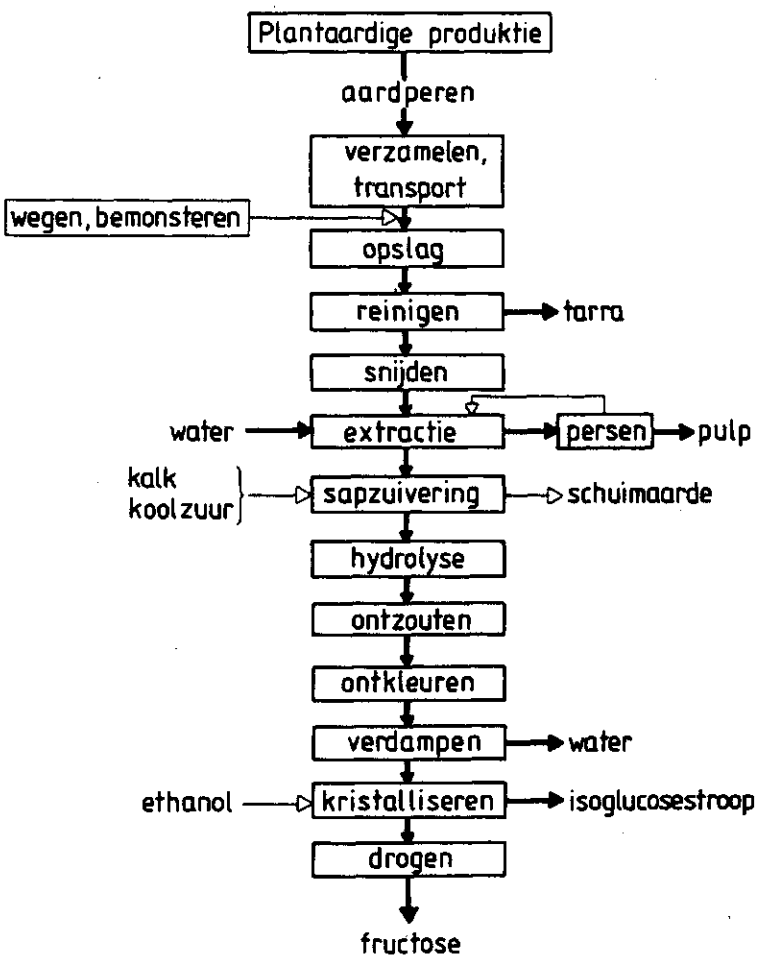
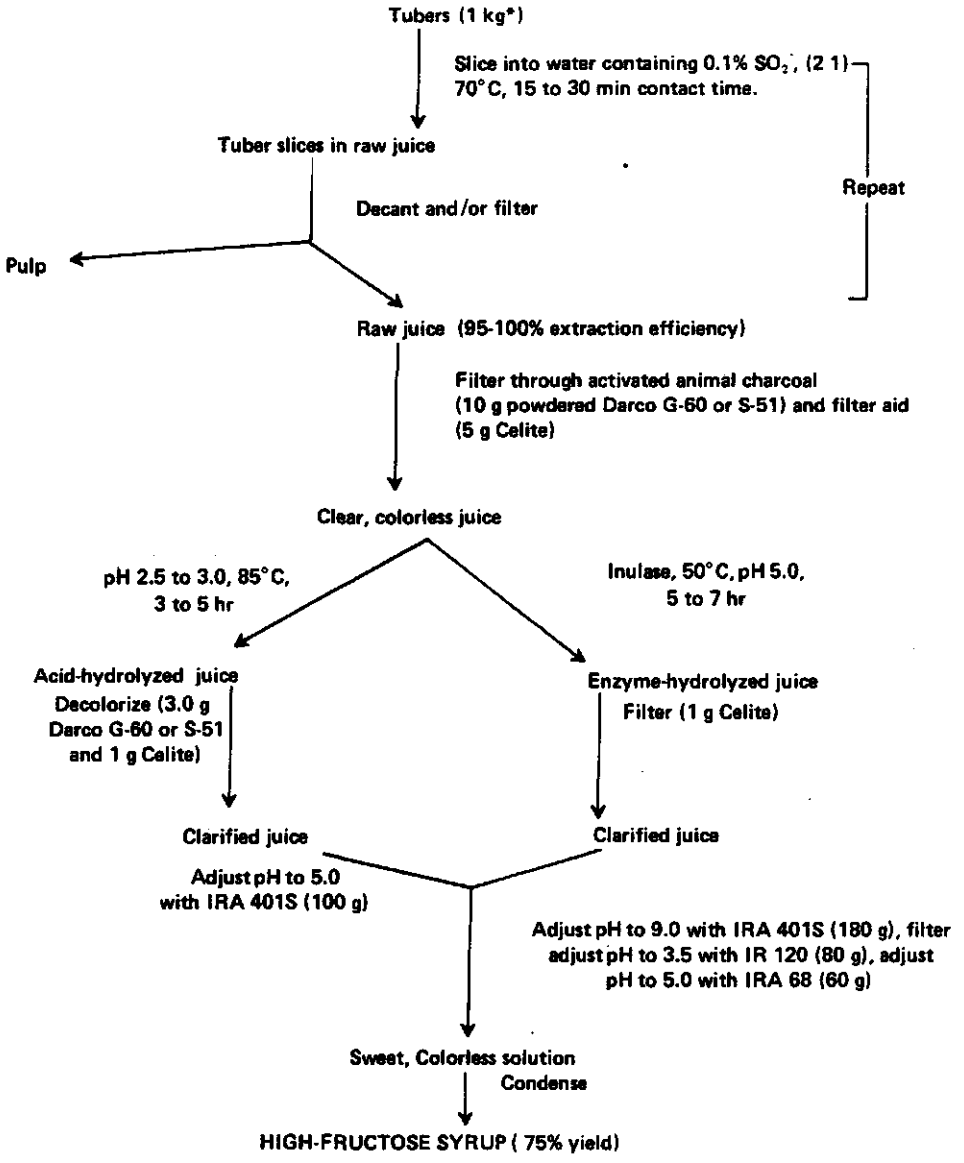


Fig. 3. Blokschema van een produktieproces voor de bereiding van fructose uit aardpeer (uit literatuurstudie; Van den Berg, 1984).



* Quantities designated in brackets are to be used only as guidelines due to wide variations inherent to the process.

Fig. 4. Processchema voor de bereiding van fructoserijke stroop uit aardpeer, zoals aanbevolen door Fleming en GrootWassink (1979).

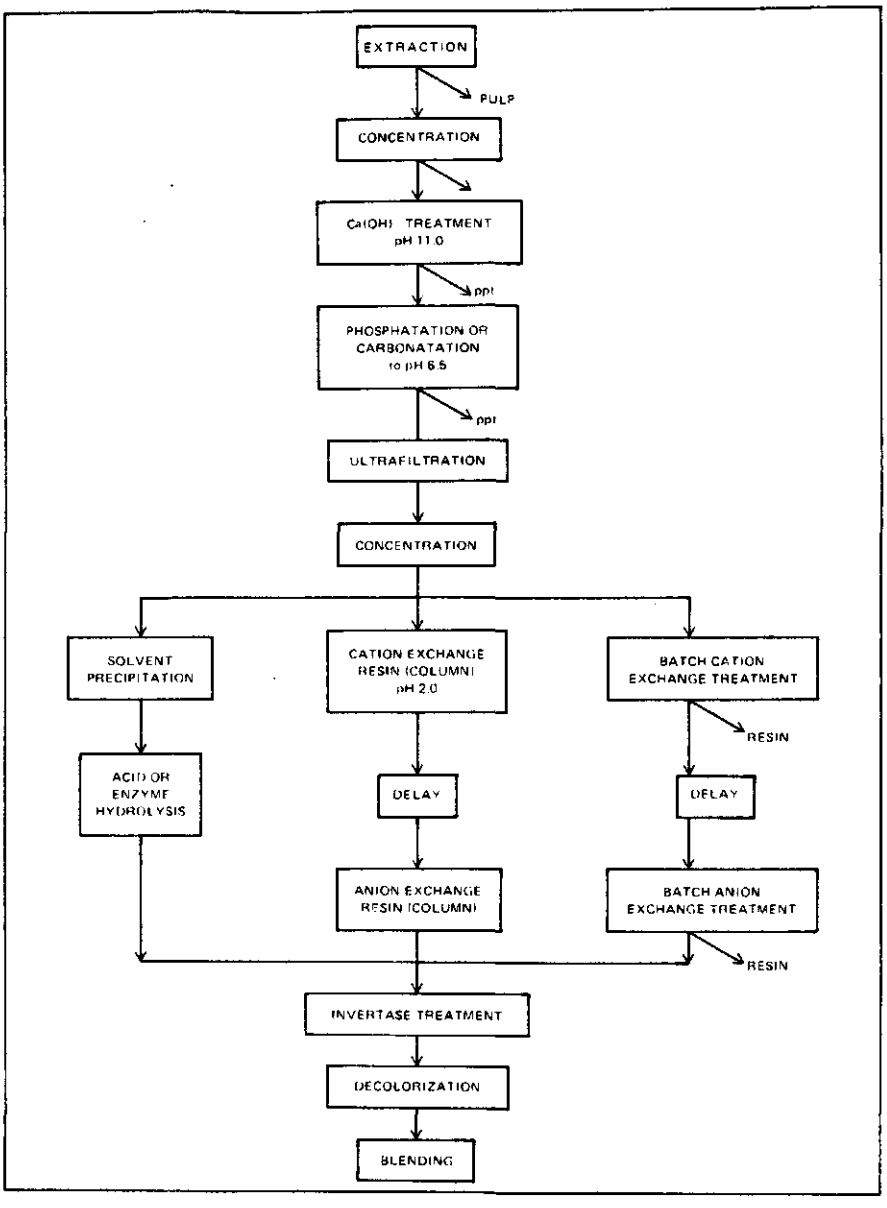


Fig. 5. Processchema voor de bereiding van fructoserijke stroop uit inulinehoudende grondstoffen, volgens Kierstan (1980).

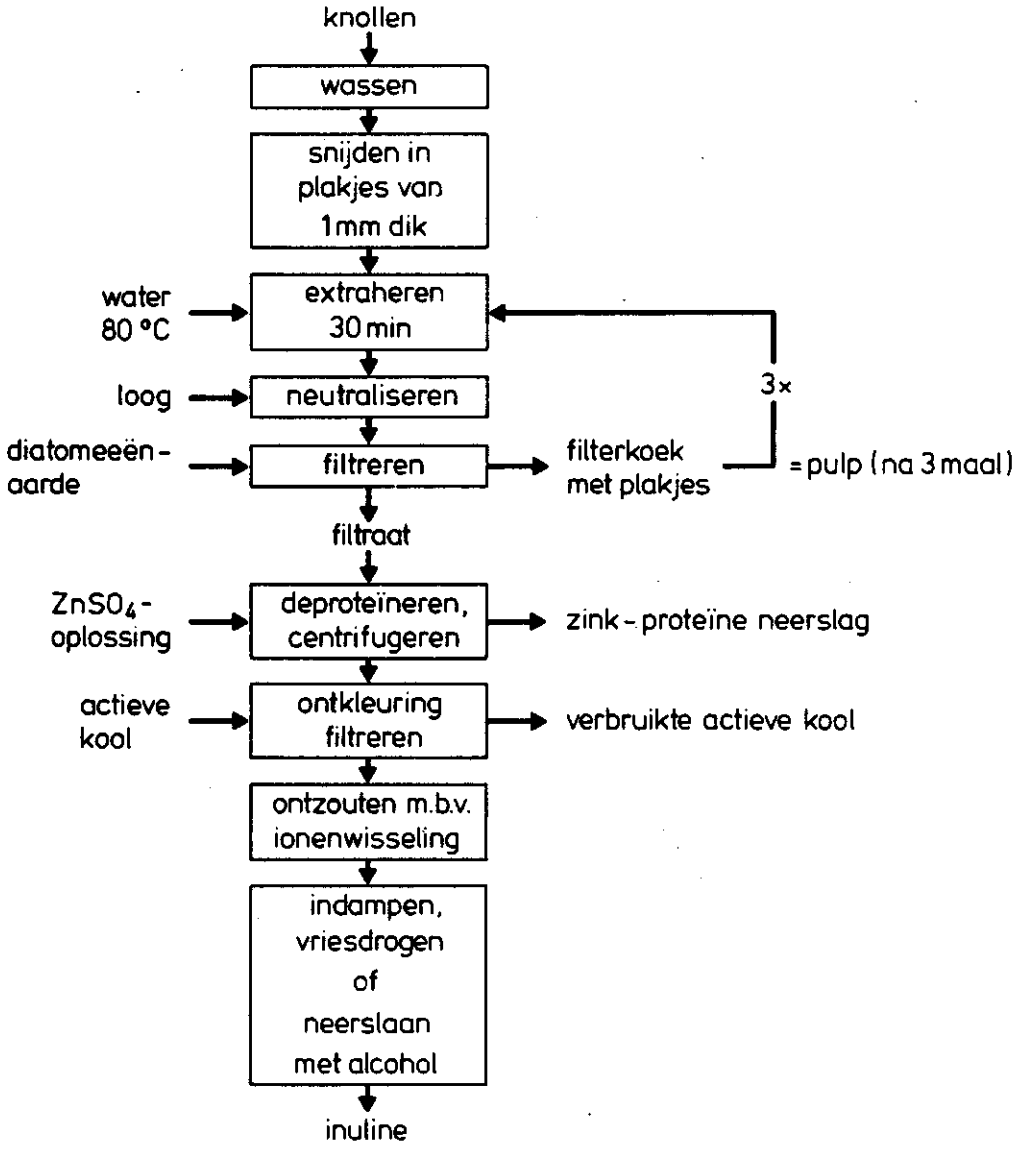


Fig. 6. Schema voor de extractie- en zuiveringsprocedure bij de winning van inuline uit knollen van diverse plantesoorten (cf. De Bruijn, 1981; Westera, 1981).

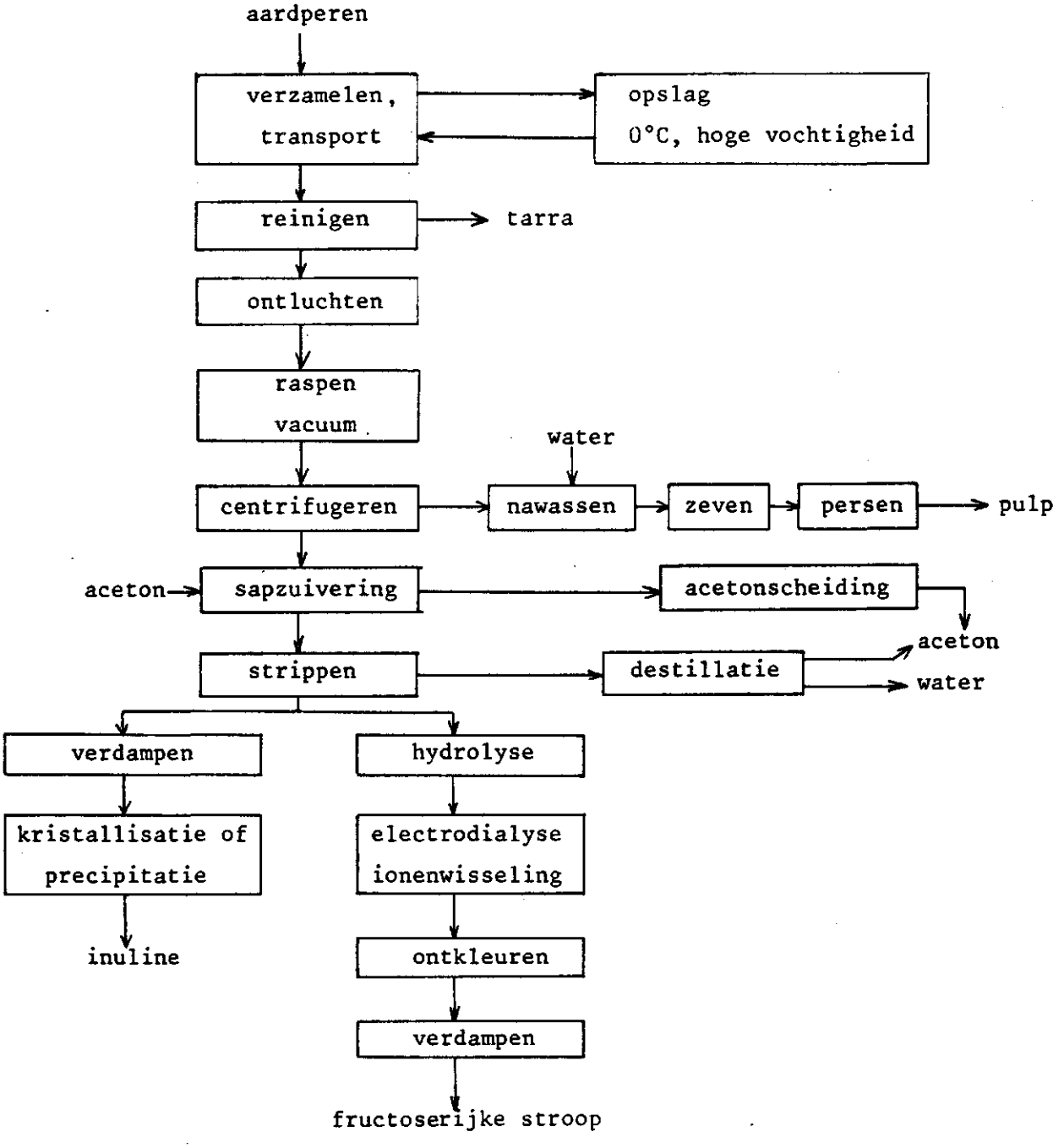


Fig. 7. Blokschema van bewerkingen voor een mogelijk produktieproces van inuline en fructoserijke stroop uit aardpeer.

BEREIDING VAN GLYCEROL EN 5-HYDROXYMETHYLFURFURAL (HMF) UIT INULINE

B.F.M. Kuster en K. van der Wiele
Werkgroep Koolhydraten, Vakgroep Chemische Technologie,
Technische Hogeschool Eindhoven, Postbus 153, 5600 MB Eindhoven

1. Inleiding

Bij het gebruik van koolhydraten als chemische grondstof springen twee produkten in het oog voor de bereiding waarvan inuline als uitgangsstof een duidelijk voordeel heeft ten opzichte van zijn concurrenten glucose ex zetmeel (of cellulose) en saccharose. Het zijn:

- glycerol, een gevestigd produkt met een markt van ongeveer 500.000 ton/jaar en een prijs rond de 4 Dfl./kg;
- en HMF, een nog niet toegepast produkt, maar een stof met een reactiviteit die het mogelijk moet maken hiermee zeer veel nuttige chemicaliën te synthetiseren.

2. Glycerol

"Hydrogenolyse" van inuline levert glycerol, 1,2-propaandiol en glycol zoals in Schema 1 is aangegeven. Typische procesomstandigheden zijn ontleend aan het werk van Van Ling (1967) en weergegeven in Schema 2. De reactie is een "alkalische degradatie" gevolgd door hydrogenering. Hij treedt op bij temperaturen rond 200°C bij gebruik van diverse alkaliën en hydrogeneringskatalysatoren en drukken van 100 bar en hoger (Vidyarthi, 1983). De chemie van de reactie is globaal geschetst in Schema 3. Hogere polyolen kunnen na afdestilleren van de vluchtiger componenten naar believen verder "gekraakt" worden. In Schema 4 zijn opbrengsten vermeld (Van Ling, 1967). Het blijkt dat inuline van alle tot nu toe onderzochte koolhydraten de hoogste opbrengst aan glycerol, het meest gewenste produkt, geeft.

Om te kunnen vaststellen of hydrogenolyse van inuline economisch aantrekkelijk is, is hernieuwd onderzoek noodzakelijk (Verslag, 1984). Voorwaarden voor een goede optimalisatie van de glycerolopbrengst is een goede beheersing van temperatuur en pH en een nauwkeurige en snelle analyse der reactieprodukten. Hiertoe wordt voorgesteld een differentieel bedreven CSTR te gebruiken met on-line HPLC-analyse. Dit geeft een goed inzicht in de deactivering van de katalysator en in de relatieve snelheden van

degradatie en hydrogenering als functie van slurry-samenstelling en procesomstandigheden.

3. HMF

Bij verhitting in zuur milieu dehydrateert fructose en wordt HMF gevormd samen met diverse neven- en volgprodukten. Tijdens de reactie kunnen dimerisaties optreden (Van Dam, 1984), zie Schema 5. De volgreactie (een rehydratatie) naar levulinezuur en mierezuur kan worden onderdrukt door gebruik te maken van extractie of door watervrij te werken. Typische procesomstandigheden (Kuster, 1975) zijn weergegeven in Schema 6, een vereenvoudigd reactiemechanisme in Schema 7. Glucose levert wegens zijn grotere stabiliteit en neiging tot vorming van hogere sacchariden, slechts geringe opbrengsten. Indien inuline goedkoper zou zijn (of worden) dan fructose ex zetmeel of saccharose, is het zinvol HMF-vorming uit inuline, al of niet via fructose, nader te bestuderen.
Een interessante mogelijkheid tot verhogen van de HMF-opbrengst biedt het werken via fructosederivaten. Hierdoor kunnen diverse, goedkope en eenvoudig af te destilleren, oplosmiddelen gebruikt worden. Indien het derivaat onder dehydratatie-omstandigheden stabieler is dan fructose en daaropvolgende intermediairen, kunnen de hogere orde nevenreacties die leiden tot humines mogelijkerwijs onderdrukt worden terwijl toch met economische, hoge concentraties gewerkt kan worden (zie Schema 8). Allereerst kan het werken via fructose-acetonides worden voorgesteld (Van de Bosch, 1985). Nader onderzoek dient dan te worden verricht aan de vorming van fructose-acetonides uit fructose, inuline of gemalen gedroogde aardpeer. Een behandeling met aceton en zuur heeft een hydrolyserende en extraherende werking die selectief is voor de fructosebestanddelen. Vervolgens kan dan de bereiding van HMF uit deze acetonides bestudeerd worden. Hiervoor is het gebruik van een fixed-bed flow-reactor, gepakt met zure ionenwisselaar, en een on-line UV-analyse, het meest aangewezen.

4. Literatuur

- Kuster, B.F.M. 1975. The dehydration of D-fructose. Proefschrift TH Eindhoven.
- Van Dam, H.E. 1984. Reacties van enkele monosacchariden en furfuralderivaten in zuur milieu. Afstudeerverslag TH Delft.

- Van de Bosch, C.M. 1985. 5-hydroxymethylfurfural. Afstudeerverslag TH Eindhoven.
- Van Ling, G. 1967. Katalytische hogedruk hydrogenolyse van sacchariden. Proefschrift TH Twente.
- Verslag Werkcollege Procesontwikkeling TC. 1984. Hydrogenolyse van koolhydraten. TH Eindhoven.
- Vidyarthi, S.R. 1983. Hydrogenolysis of sugars. J. Sci. Ind. Res. 42: 286-292.

GLYCEROL UIT KOOLHYDRATEN

MIDDELS HYDROGENOLYSE

INULINE $\xrightarrow[\text{ALKALI}]{\text{KAT / } H_2}$ C_2 TOT C_6 POLYOLEN

PRODUKTENPAKKET:

HEXITOLEN PENTITOLEN TETRITOLEN	TERUGVOEREN
GLYCEROL 1,2- PROPAANDIOL GLYCOL	EINDPRODUKTEN

- SCHEIDING DOOR DESTILLATIE
- OPBRENGSTEN TOT 60% GLYCEROL

Schema 1.

TYPISCHE PROCESOMSTANDIGHEDEN

SUBSTRAAT 100 G.
SORBITOL , GLUCOSE , FRUCTOSE , SUCROSE , INULINE

OPLOSMIDDEL 150 G.
B.V. METHANOL - WATER 3:1

KATALYSATOR 10 G.
B.V. $CuO\text{-}CeO_2\text{-}SiO_2$ 95:5:100

ALKALI 1 G.
$CA(OH)_2$

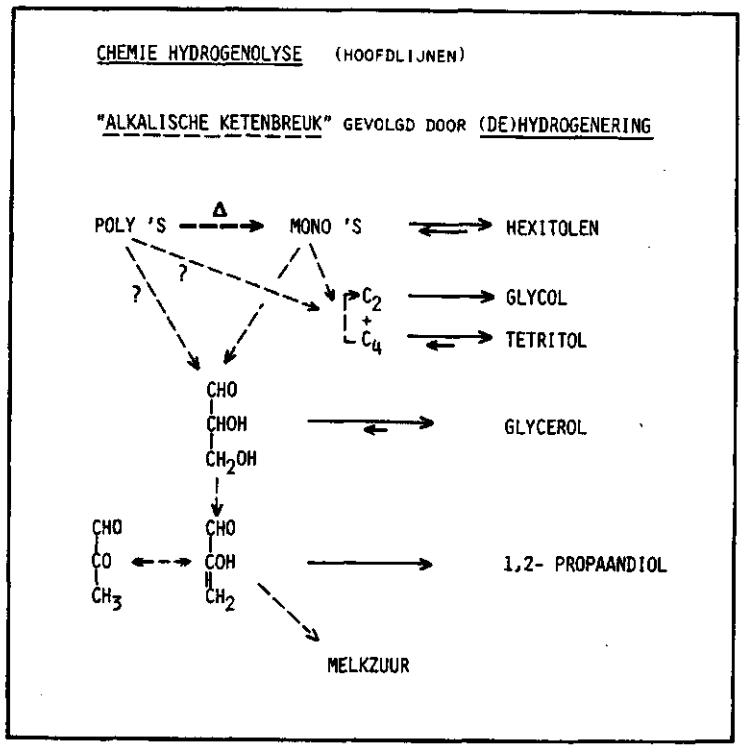
200 BAR H_2
200 ^oC
30 MINUTEN

3-FASEN SLURRIESYSTEMEN G - L - S

GEROERDE AUTOKLAAF

BATCHGEWIJS

Schema 2.



Schema 3.

OPBRENGSTEN

(VLUGTER - KORF - VAN LING)

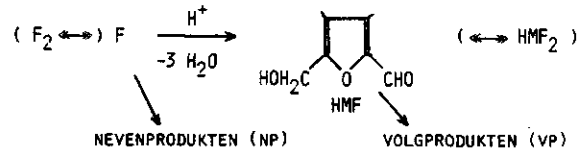
SPLITSINGS-SELEKTIVITEIT (S.S.) : $\frac{\Sigma C_3}{\Sigma C_1 \text{ T/M } C_5}$

IS SUBSTRAAT AFHANKELIJK

SUBSTRAAT	REAKTIVITEIT	S.S. %
GLUCITOL	-	
GLUCOSE	o	67
FRUCTOSE	+	
SUCROSE	+	72
INULINE	+	88

Schema 4.

HMF UIT FRUCTOSE (F) MIDDELS DEHYDRATATIE



NEVENPRODUKTEN (NP)

VOLGPRODUKTEN (VP)

NP + VP :

HUMINES (DONKERBRUINE, VAAK ONOPLOSBARE POLYMEREN)

VP :

LEVULINEZUUR + MIEREZUUR (REHYDRATATIE)

DERIVATEN (ACETALEN, ETHERS, ESTERS)

- OPBRENGSTVERHOGING DOOR EXTRAKTIE
  OF DOOR GEBRUIK VAN (WATERVRIJE) OPLOSMIDDELEN

- OPBRENGSTEN TOT 80% HMF (MOL BASIS)
  100% ?

Schema 5.

TYPISCHE PROCESOMSTANDIGHEDEN

CSTR

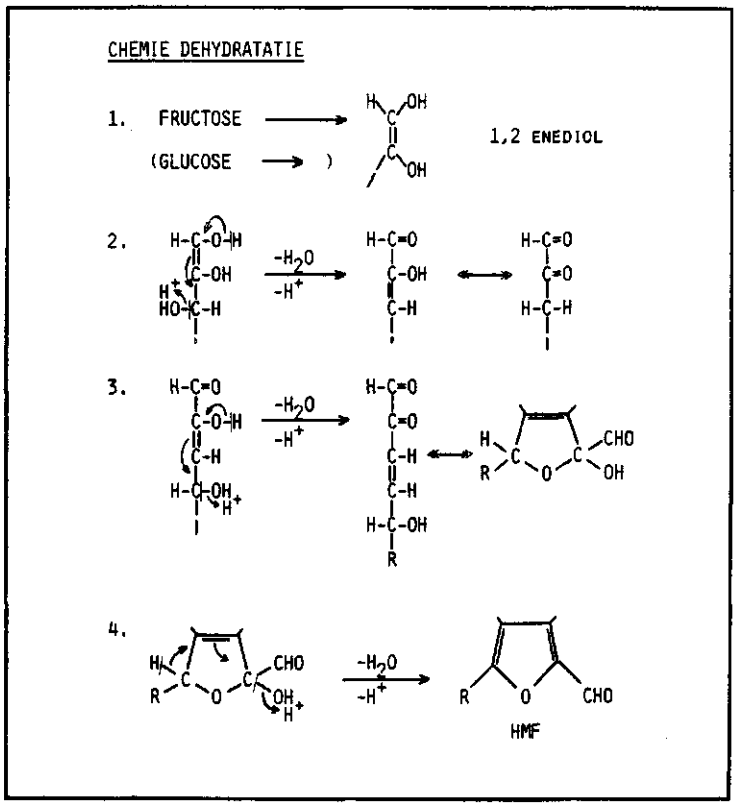
VOEDING : F 1.0 M
H_3PO_4 0.1 M
} IN H_2O

FLOW : MIBK / H_2O = 2

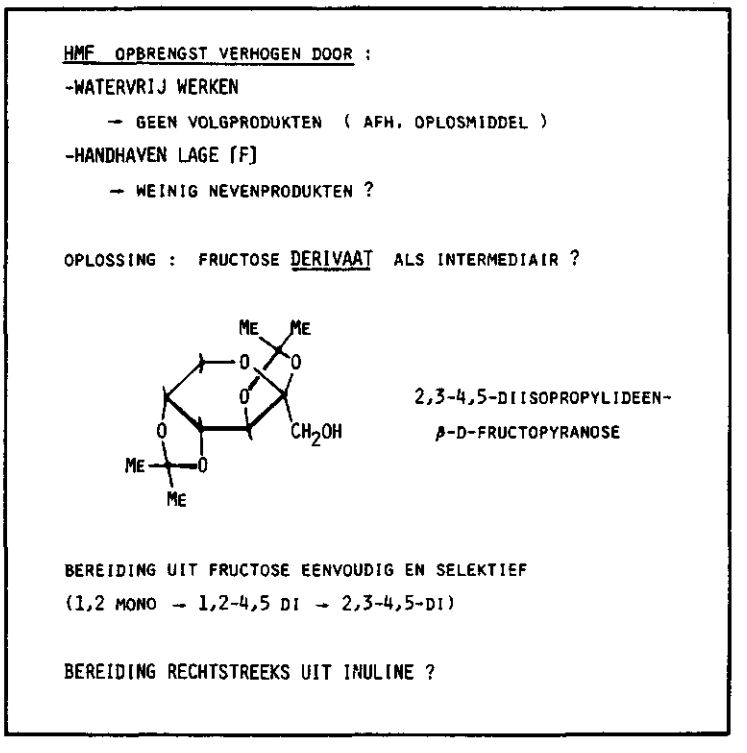
50 BAR (DAMPDRUK)
200 °C
5 MINUTEN (VERBLIJFTIJD)

RESULTAAT : CONVERSIE 80%
SELEKTIVITEIT 75%

Schema 6.



Schema 7.



Schema 8.

INULINE EN HMF ALS UITGANGSPRODUKTEN VOOR VERDERE SYNTHESE

A.P.G. Kieboom en H. van Bekkum
Laboratorium voor Organische Chemie, Technische Hogeschool Delft

1. Inuline als grondstof voor chemische omzettingen

Inuline → fructose → hydroxymethylfurfural (HMF) → levulinezuur, dat is de reeks verbindingen op grond waarvan bezien moet worden welke waarde en mogelijkheden inuline bezit als grondstof voor verdere chemische omzetting. Hierbij wordt de indeling, zoals weergegeven in Fig. 1, aangehouden. Derivaten van koolhydraten met "medium" molecuulgewicht (A) hebben tot nu toe weinig aandacht gekregen. Dit geldt zowel voor inuline als voor de maltodextrinen (partieel gehydrolyseerd zetmeel). Onderzoek is nodig naar de reactiviteit en structuur-eigenschap relaties van deze klasse verbindingen. Oligosacchariden bestaande uit 2-4 fructose-eenheden (eventueel gebonden aan glucose) (B) staan op het ogenblik in de belangstelling als "low-calorie sweeteners". Produktie hiervan vereist een selectieve hydrolytische splitsing van inuline naar dergelijke oligosacchariden. Hydrolyse van inuline tot fructose gevolgd door katalytische hydrogenering levert als hoofdprodukt mannitol (C) op, een hoogwaardige zoetstof die niet hygroscopisch is en geen cariogene eigenschappen bezit. Een dergelijk proces lijkt zeker aantrekkelijk, hoewel het door ons ontwikkelde combiproces (Makkee et al., 1985) (gelijktijdige enzymatische isomerisatie van glucose naar fructose en koper-gekatalyseerde hydrogenering van de gevormde fructose) het nu reeds mogelijk maakt mannitol te bereiden uit glucosestroop met een omzettingsrendement van 60-70%.
Hydroxymethylfurfural (HMF), dat verkregen kan worden door omzetting van inuline of fructosestroop met zure katalysatoren, biedt aantrekkelijke mogelijkheden voor de vervaardiging van diverse bifunctionele monomeren ten behoeve van "(specialty) polymers" (Fig. 2). Daarnaast zijn oligo- en cyclomerisaties mogelijk (Fig. 3), die verder gemodificeerd en gefunctionaliseerd kunnen worden door Diels-Alder reacties van de furaanring met alkanen en alkynen (Fig. 4). Dergelijke omzettingen zijn op ons laboratorium in onderzoek om de "scope" en "limitations" na te gaan. Interessant daarbij is het "wegtrekken" van het Diels-Alder evenwicht door gelijktijdige verdere omzetting van de gevormde produkten.

In Fig. 5 en 6 zijn tenslotte enkele mogelijke en geclaimde toepassingen van produkten weergegeven die uit HMF en levulinezuur kunnen worden gemaakt.

2. Conclusie

Er zijn velerlei mogelijkheden tot chemische omzetting vanuit inuline, met name via HMF als tussenprodukt. Er zal echter nog veel wetenschappelijk onderzoek moeten worden verricht om uit te maken wat technisch haalbaar is en wat de verdere mogelijkheden zijn. Op dit moment kan dan ook nog geen uitspraak gedaan worden omtrent het "uitzicht" op een eventuele bulk of semi-bulk chemie op basis van inuline. Bovendien moet bedacht worden dat voor een groot deel van de genoemde chemische omzettingen zetmeel en saccharose eveneens aantrekkelijke grondstoffen zijn. Daarom zal de problematiek van de bouwplanverruiming in de akkerbouw via de aardpeer veel meer dan de vraag van de chemie naar inuline als grondstof de eerste drijfveer moeten zijn voor het toewerken naar van inuline afgeleide processen en produkten. Uiteindelijk zal echter de prijs van de grondstof (inuline versus zetmeel/saccharose) van beslissende invloed kunnen zijn op de toekomstige ontwikkelingen op dit gebied.

3. Literatuur

- Makkee, M., Kieboom, A.P.G. en Van Bekkum, H. 1985. Combined action of an enzyme and a metal catalyst on the conversion of D-glucose/D-fructose mixtures into D-mannitol. Carbohydr. Res. 138: 237-245.

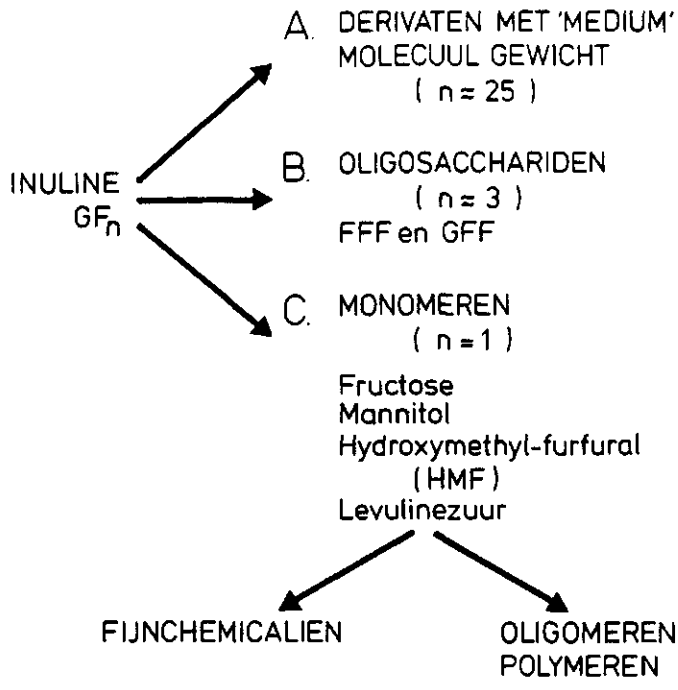


Fig. 1. Mogelijke produkten uit inuline.

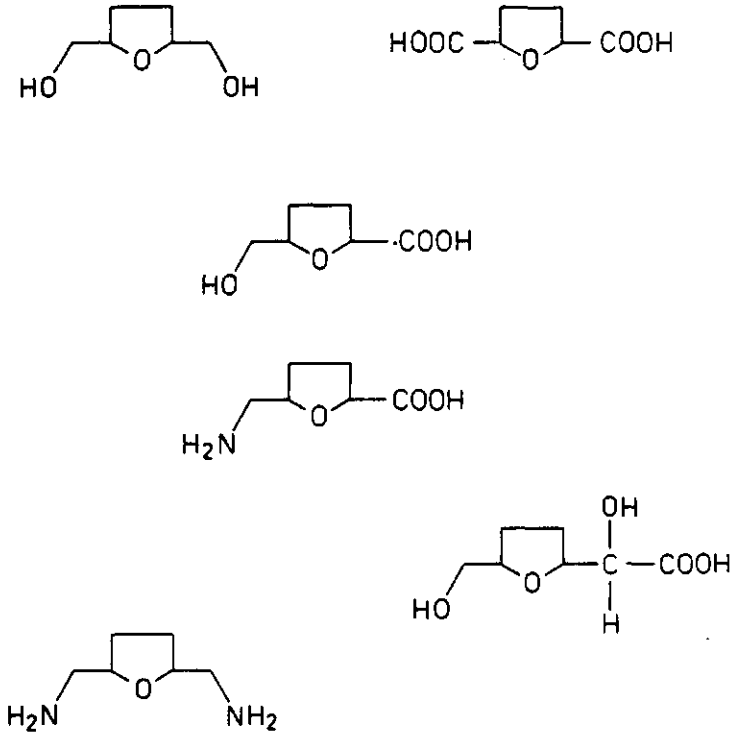


Fig. 2. Bereiding, uit HMF, van bifunctionele monomeren ten behoeve van "(specialty) polymers".

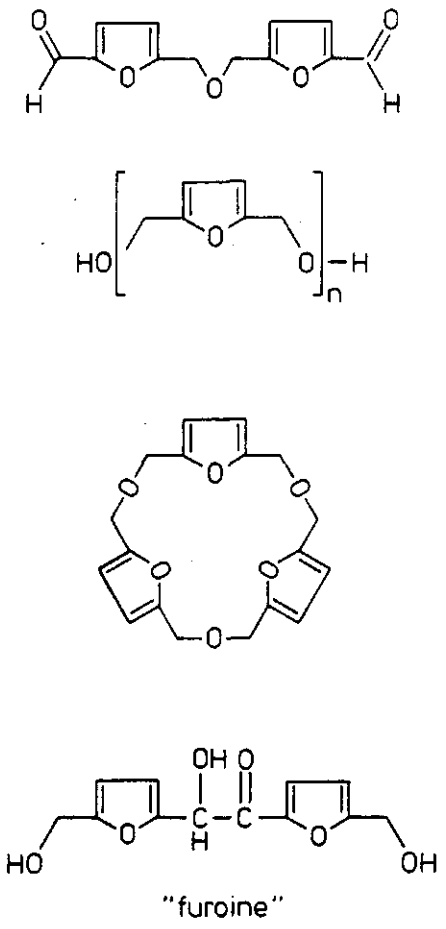


Fig. 3. Produkten, die ontstaan door oligo- en cyclomerisatie van HMF.

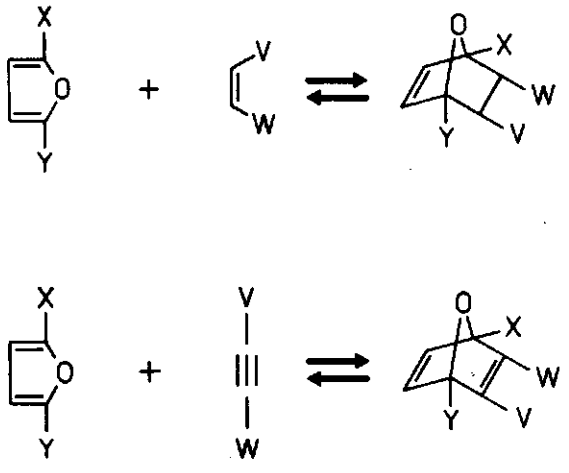
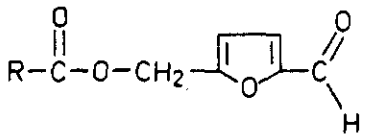
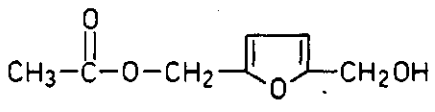


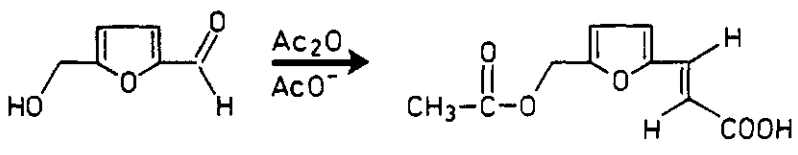
Fig. 4. Produkten, die ontstaan door Diels-Alder modificatie en functionalisering.

a. 

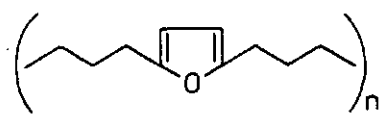
tegen schimmelvorming en bacteriegroei,
R=alkyl met name in/op textiel, schilderijen en leer.

b. 

als extractievloeistof van aromaten

c. 

bezit antibacteriële activiteit

d. 

als zonnebrandcreme (bescherming)

e. HMF - fenol condensatieproducten als harsen

Fig. 5. Enkele geclaimde toepassingen van HMF-derivaten.

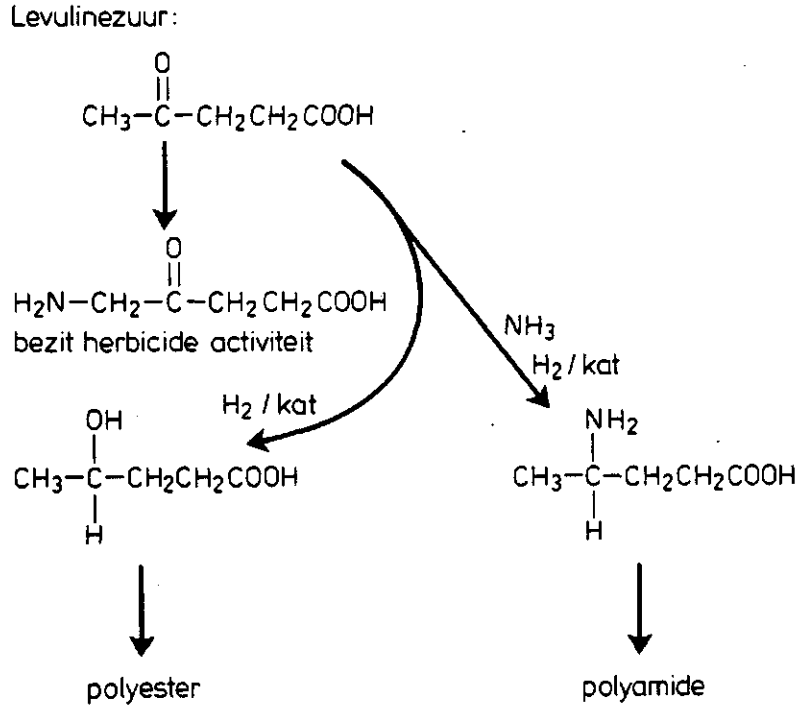


Fig. 6. Mogelijke omzettingen en toepassingen van levulinezuur-derivaten.

LEVENSMIDDELENTECHNOLOGISCHE EN VOEDINGSFYSIOLOGISCHE ASPECTEN VAN INULINE

W. Pilnik en A.G.J. Voragen
Vakgroep Levensmiddelentechnologie, Sectie Levensmiddelenchemie en -microbiologie, Landbouwhogeschool, Wageningen

1. Historie

Eén van de auteurs van deze bijdrage (W. Pilnik) werd voor het eerst geconfronteerd met inuline toen hij als soldaat in het Zwitserse leger gestationeerd was in een klein dorpje. De soldaten werden vaak door de locale bevolking uitgenodigd en zo gebeurde het dat Pilnik op een avond de maaltijd deelde met een oud vrouwtje die hem een soort pap voorschotelde, bereid uit een "bijzonder soort aardappel" geteeld in haar eigen tuin. Zij mocht alleen deze "aardappelen" eten, omdat die volgens haar zeggen een hoog gehalte aan insuline bevatten en vanwege haar suikerziekte daarom goed voor haar waren. Als chemical engineering student aan de ETH te Zürich wist Pilnik niet erg veel van biochemie, wel was hij, evenals vele leeftijdgenoten, in zijn jeugd enthousiast geweest over de boeken van de nu in vergetelheid geraakte Nederlandse auteur Paul de Kruif. Met name herinnerde hij zich diens verhaal over Dr. Banting en zijn zielige hond in het boek "Männer die den Tod besiegen" en het leek hem zeer onwaarschijnlijk dat insuline in aardappelen zou voorkomen. Een bezoek aan de bibliotheek tijdens het volgende studieverlof bracht opheldering. Het ging niet om insuline maar om inuline en de bijzondere aardappelen waren aardperen. In die tijd en situatie was het vanuit medisch oogpunt zeker een goed advies aan diabetici gerechten van de aardpeer (inuline, fructose) in plaats van de aardappel (zetmeel, glucose) aan te bevelen. De verwarring omtrent de begrippen diabetes, fructose, insuline en inuline komt men overigens vandaag de dag nog steeds tegen, ook bij mensen met een hoger opleidingsniveau dan dat van het boerenvrouwtje geboren in de vorige eeuw. Vele jaren later kwam Pilnik weer in aanraking met inuline, nu als levensmiddelentechnoloog. In het kader van een lezing over additieven werden de mogelijkheden voor de winning van fructose besproken aan de hand van Fig. 1 (Pilnik, 1973). Zowel de net in zwang komende enzymatische isomerisatie van glucose gewonnen uit zetmeel als ook de hydrolyse van inuline zijn er vermeld. Inuline werd als een veelbelovende bron voor fructose besproken en dit werd verder in Wageningen onderzocht in veld en laboratorium. Enkele resultaten van dit onderzoek zijn gepubliceerd door

Pilnik en Vervelde (1976). Te oordelen naar de reacties hierop uit de gehele wereld stonden ze niet alleen met hun belangstelling voor de aardpeer, inuline en fructose. Voor die belangstelling toen was een aantal oorzaken. De synthetische zoetstoffen saccharine en cyclamaat waren sinds 1970 toxicologisch verdacht geraakt en bijna overal verboden of alleen in zeer beperkte mate toegestaan. Vanuit de voedingsleer van die tijd werden diabetici speciale diëten en produkten aanbevolen waarin fructose als zoetstof een belangrijke rol speelde. Ook was er een vraag van niet-diabetici naar een alternatieve suiker. In vele publikaties had Yudkin (1971) in Engeland saccharose gekarakteriseerd als "sweet, white and deadly" en verantwoordelijk gesteld voor hart- en vaatziekten. Zijn bevindingen ondervonden veel instemming. In dezelfde tijd werd ten gevolge van grote maatschappelijke weerstand afgezien van fluoridering van het drinkwater ter bestrijding van tandcariës en ging de aandacht uit naar de minder cariogeen geachte fructose (een misverstand ten aanzien van tandplaquevorming en cariës). Tegen deze achtergrond en vooral ook omdat fructose een zuivere en zoete smaak heeft kan men de belangstelling voor fructose en inuline van toen goed begrijpen.

Deze golf van belangstelling voor inuline als bron voor fructose was voorafgegaan door een eerdere periode van belangstelling welke culmineerde in een proefschrift van Conti (1955). In de literatuur van deze tijd is veel gewag gemaakt van de mogelijkheden voor een diabetesdieet. Bekend is verder dat de aardpeer in die tijd door kleine tuinbouwbedrijven en zaadhandelaren als gezond en lekker voedsel werd aangeprezen. Het proefschrift van Breen (1964) was zeker geïnspireerd door de wens de capaciteit van suikerfabrieken beter te benutten en door de sterke schommelingen van de wereldsuikerprijs.

De Themadag Inuline is een uitvloeisel van een hernieuwd opgelaaide belangstelling voor inuline en fructose ex inuline. Deze derde golf is moeilijker te begrijpen: als dieetsuiker is fructose commercieel niet meer interessant. De voedingsdeskundigen hebben hun ideeën ten aanzien van suikerziekte gewijzigd. Diabetici wordt nu geadviseerd op hun gewicht te letten en vezelrijk voedsel te eten. Op de aard van de suikers wordt niet meer ingegaan en er is een discussie in gang of de overheid etikettering van voedingsmiddelen en preparaten als geschikt voor diabetici nog mag toestaan (Voedingsraad, 1984). Fructose wordt niet meer als minder cariogeen beschouwd dan andere koolhydraten. Saccharine en cyclamaat zijn

weer toegestaan evenals nieuwe synthetische zoetstoffen (aspartaam, acetosulfaam).

2. Fructosewinning, eigenschappen en toepassingen

Fructose wordt op grote schaal gemaakt door een aantal enzymatische omzettingen uitgaande van zetmeel. Tot nu toe wordt hoofdzakelijk maiszetmeel gebruikt. Het proces is in grote lijnen als volgt. Zetmeel wordt enzymatisch afgebroken tot het voor 95% in glucose is omgezet. Het gevormde glucose wordt dan enzymatisch geïsomeriseerd tot 42% fructose; enzymatische isomerisatie tot een hoger percentage verloopt nog slechts langzaam. Het verkregen produkt wordt dan geconcentreerd tot 70% droge stof. Voor zo'n stroop bestaan diverse namen: isoglucose, isomerose, high fructose corn syrup. Door glucose door middel van ionenwisselaars selectief af te scheiden kan een stroop met 90% fructose gemaakt worden en na mengen met isoglucose worden stropen met 55% en 70% fructose in de handel gebracht.
Projecten op het gebied van fructosewinning uit inuline schijnen dus eigenlijk alleen interessant wanneer inulinegewassen voor de verbreding van het akkerbouwplan interessant geacht worden. Ze zijn gedeeltelijk (overigens geheel legitiem) zeker ontstaan door de noodzaak innovatie te postuleren om aan middelen voor onderzoek te komen.
Isoglucose- en fructosestropen vinden grote toepassing in frisdranken; daarbij spelen enkele belangrijke factoren een rol. De stroopvorm is geen nadeel, om redenen van opslag en intern transport werkt de frisdrankenindustrie graag met "liquid sugar"; het produkt zelf bevat veel water, zodat suikers in oplossing toegevoegd kunnen worden. Frisdranken worden koud bewaard en koud geconsumeerd. Onder deze omstandigheden komt de hogere zoetkracht van fructose tot zijn recht en treedt het ontstaan van off-flavours en bruinkleuring als gevolg van Maillard-reacties voor welke fructose een actieve precursor is niet op. Natuurlijk geldt dit ook voor produkten als drinkyoghurt en consumptie-ijs. De steeds aangehaalde factor 1.3 - 1.6 voor de zoetkracht van fructose ten opzichte van saccharose is sterk afhankelijk van het evenwicht tussen de verscheidene ring- en anomere vormen, waarin fructose in waterige oplossing voorkomt. Met name de β-D-fructopyranose-1C-stoelvorm bepaalt de zoetkracht van fructose (Fig. 2). Dit is volledig in overeenstemming met de theorie van Shallenberger (Shallenberger en Acree, 1967) volgens welke zoete moleculen

Tabel 1. Oplosbaarheid van diverse suikers bij verschillende temperaturen (Doty en Vanniven, 1975)

Temperatuur (in °C)	Fructose (%)	Saccharose (%)	Glucose (%)
20	79	67	47
30	82	68	55
40	84	70	62
50	87	72	71

moeten beschikken over een protondonor AH en een protonacceptor B in een bepaalde configuratie, welke door H-bruggen met een complementaire AH,B configuratie van moleculen van de smaakpapillen complexen kunnen vormen. Zulke AH,B groepen kunnen de hydroxylgroepen van het suikermolecuul zijn; de zoetheid van een suiker hangt dan hoofdzakelijk af van het feit of de hydroxylgroepen sterisch gezien de juiste conformatie innemen en welke paren van hydroxylgroepen door intramoleculaire associatie verloren gaan of geactiveerd worden (Birch, 1977; Shallenberger, 1979). Alle omstandigheden welke het mutarotatie-evenwicht beïnvloeden veranderen ook de zoetkracht. Zo kan men uit Fig. 3a zien, dat bij temperatuursverhoging β-D-fructopyranose overgaat in α-D-fructopyranose en α-D-fructofuranose die minder zoet zijn. Hierdoor neemt de zoete smaak van fructose bij temperatuursverhoging (Fig. 3b) af.

Technologisch zou bij de toepassing als liquid sugar een hoog fructosegehalte voordelen bieden. Tabel 1 laat zien, dat door zijn betere oplosbaarheid fructosestropen van hogere concentraties mogelijk zijn dan het geval is voor andere suikers. Bij deze hoge concentraties wordt een zelfconserverende werking bereikt. Uit Fig. 4 blijkt dat de viscositeit van fructosestropen lager is dan die van overeenkomstige saccharose- en glucosestropen, waardoor ze ook makkelijker pompbaar zijn. Bij de toepassing van stropen met een hoog fructosegehalte kunnen produkten gemaakt worden welke bij dezelfde zoete smaak een lagere energie-inhoud hebben. Dit maakt echter niet zo veel uit. In sommige kringen denkt men daarom eerder aan de verbetering van de zoete smaak van synthetisch gezoete dieetdranken met behulp van kleine hoeveelheden fructose (Von Tornaut et al., 1985). Een impact op de markt hebben deze ideeën (nog) niet.

Tabel 2. Evenwichtswatergehalte van droge suikers bij 20°C en verschillende relatieve vochtigheid (Nemitz, 1963)

	Relatieve vochtigheid (%)										
	5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	95
Glucose	-	1.0	4.8	7.3	8.2	8.6	8.6	8.6	8.6	27.0	70
Fructose	-	0	0	0	0	0.2	8.0	25.1	34.0	57.0	-
Saccharose	-	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	5.6	-
Lactose	-	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.5	-
Sorbitol	-	0	0.3	0.5	1.2	2.6	5.2	13.0	30.8	50	-
Dulcitol	-	-	-	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.7	0.9	1.8
Xylitol	-	0	0	0	0	0	0	0	5.2	41	70

Fructose versnelt het ethanolmetabolisme van de mens (Pletscher et al., 1952). De alcohol-euforie komt sneller (zoete wijn) en de concentratie in het bloed daalt sneller. Er zijn pogingen geweest fructose-drankjes of -tabletten op de markt te brengen voor mensen die na een feestje nog een auto willen besturen. Als zeer geschikt daarvoor werd geconcentreerd peresap gesuggereerd (valorisatie van overschotten). Gelukkig heeft men ingezien dat dit op aanmoediging van alcoholmisbruik zou kunnen uitlopen. Fructose in vaste vorm is viermaal zo duur als saccharose en wordt als levensmiddel waarschijnlijk alleen door "food faddists" gebruikt. Tengevolge van de vele isomere en anomere vormen waarin fructose in oplossing voorkomt, is kristallisatie zeer moeilijk. Fructose in vaste vorm is bovendien zeer hygroscopisch (Tabel 2). Deze hygroscopiciteit vormt tevens een rem op het gebruik van vruchtesappen in poedervorm. Een fundamenteel onderzoek over het hygroscopisch gedrag van fructose zou zeker interessant zijn.

Samenvattend kan men stellen dat fructose op grote schaal toegepast wordt in de vorm van geconcentreerde oplossingen met een fructosegehalte van 42 tot 70%. Het is een vraag van landbouwbeleid of zulke produkten uit suiker-, zetmeel- of inulinehoudende gewassen gemaakt worden.

Tabel 3. Functies van polysacchariden

.	viscositeitsverhoging, verdikking
.	gelvorming
.	stabilisering { emulsie, suspensie, schuim }
.	filmvorming
.	aromabinding
.	kleefeigenschappen

3. Toepassingen voor inuline

Kan inuline als zodanig een functie vervullen in de levensmiddelentechnologie? Inuline is een polysaccharide (zie Fig. 1, Fuchs, Themadag Inuline). Een aantal belangrijke functionele eigenschappen van polysacchariden is samengevat in Tabel 3. Het waterbindend vermogen ligt ten grondslag aan de meeste van deze eigenschappen. Dit waterbindend vermogen wordt onder andere bepaald door het molecuulgewicht van het polysaccharide. Inuline valt hier door de mand; het is slecht oplosbaar in water en heeft een laag molecuulgewicht (± 8000). Pectine bijvoorbeeld heeft een molecuulgewicht van ± 80.000 en zou bij een afbraak tot 8000 zijn geleereigenschappen volledig verliezen. Eigenschappen als filmvorming, stabiliserend vermogen en aromabinding zijn zeker de moeite van nader onderzoek waard, maar kunnen inuline ten hoogste in een reeks van andere polysacchariden plaatsen.

4. Toepassing voor de aardpeer

Is er een toepassing van de aardpeer als zodanig? De directe consumptie is al genoemd. In de Verenigde Staten van Amerika zijn snijdsels van de ruwe knol geliefd in salades of als z.g. dips voor sauzen. Men zou zeker ook "aardappel-analogues" kunnen maken, zoals rösti, frites en chips. Ook behoren produkten na melkzuurvergisting tot de mogelijkheden (sap of een soort zuurkool). Vanuit een voedingsoogpunt zou de aantrekkelijkheid van dat soort produkten groter zijn wanneer zou blijken dat inuline een werking heeft als voedingsvezel. Dit is echter nog niet onderzocht, gezien het lage molecuulgewicht mag men hier echter geen grote verwachtingen

koesteren. Aardpeerpulp is een goed uitgangsmateriaal voor de winning van alcohol (veel gisten bevatten inulinase). Dit opent tevens de mogelijkheid voor de produktie van een aardpeerazijn. Hierbij moeten we ons wel realiseren dat azijn tegenwoordig uit synthetisch azijnzuur bereid wordt.
Het is ook mogelijk de aardpeer direct tot een sap te verwerken door middel van het enzymatisch vervloeiingsproces (Fig. 5). Dit proces heeft een grote impact bij de groente- en fruitverwerking en is ook onderzocht voor de valorisatie van biomassa (Beldman et al., 1984). In dit proces worden de plantecelwanden en de reserve-polysacchariden enzymatisch afgebroken tot monomere suikerbouwstenen. Uit aardpeer zou een oplossing ontstaan welke op droge stof basis meer dan 70% fructose zou bevatten. Dit eenvoudige proces, eventueel gecombineerd met omgekeerde osmose voor de concentrering zou vergeleken kunnen worden met de produktie van maple sugar siroop in de V.S. Over een markt hiervoor durven we geen voorspelling te doen.

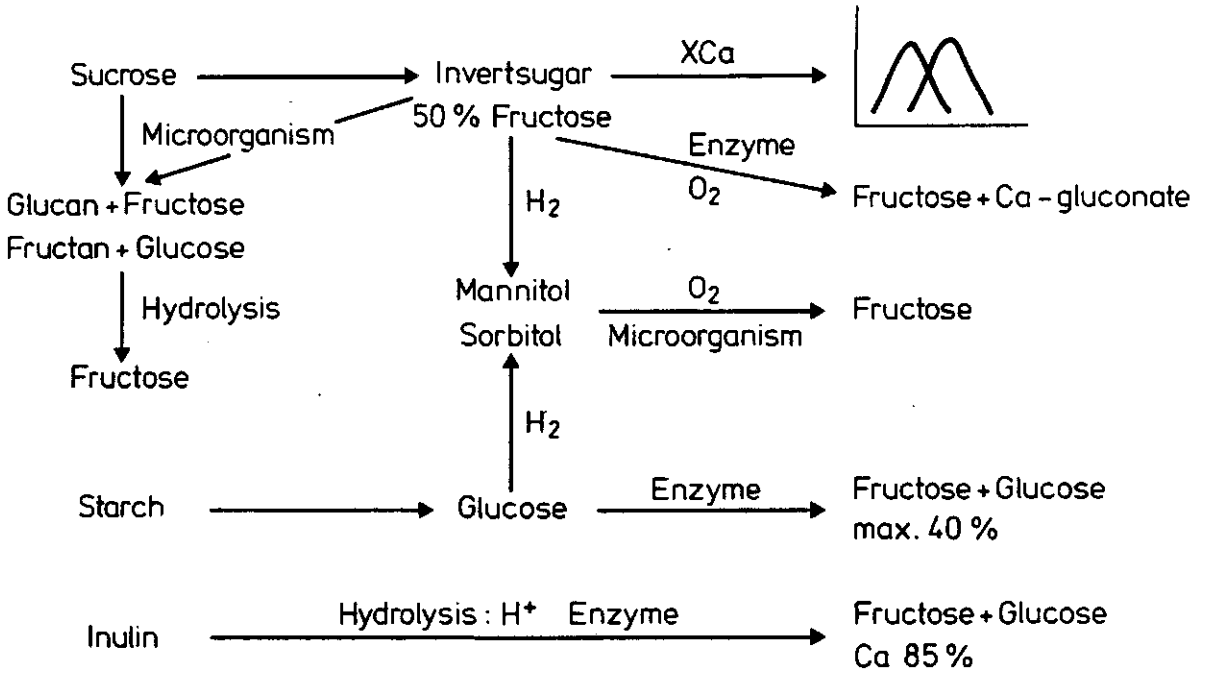
5. Conclusie

Als levensmiddelentechnoloog moet men stellen, dat fructose een interessante suiker is die op grote schaal gebruikt wordt. Of inuline uit de aardpeer als grondstof voor fructosebereiding in aanmerking komt is geen technologisch vraagstuk, maar een vraagstuk van landbouwbeleid. Voor inuline als polysaccharide en voor de aardpeer als consumptiegewas zien wij weinig mogelijkheden.

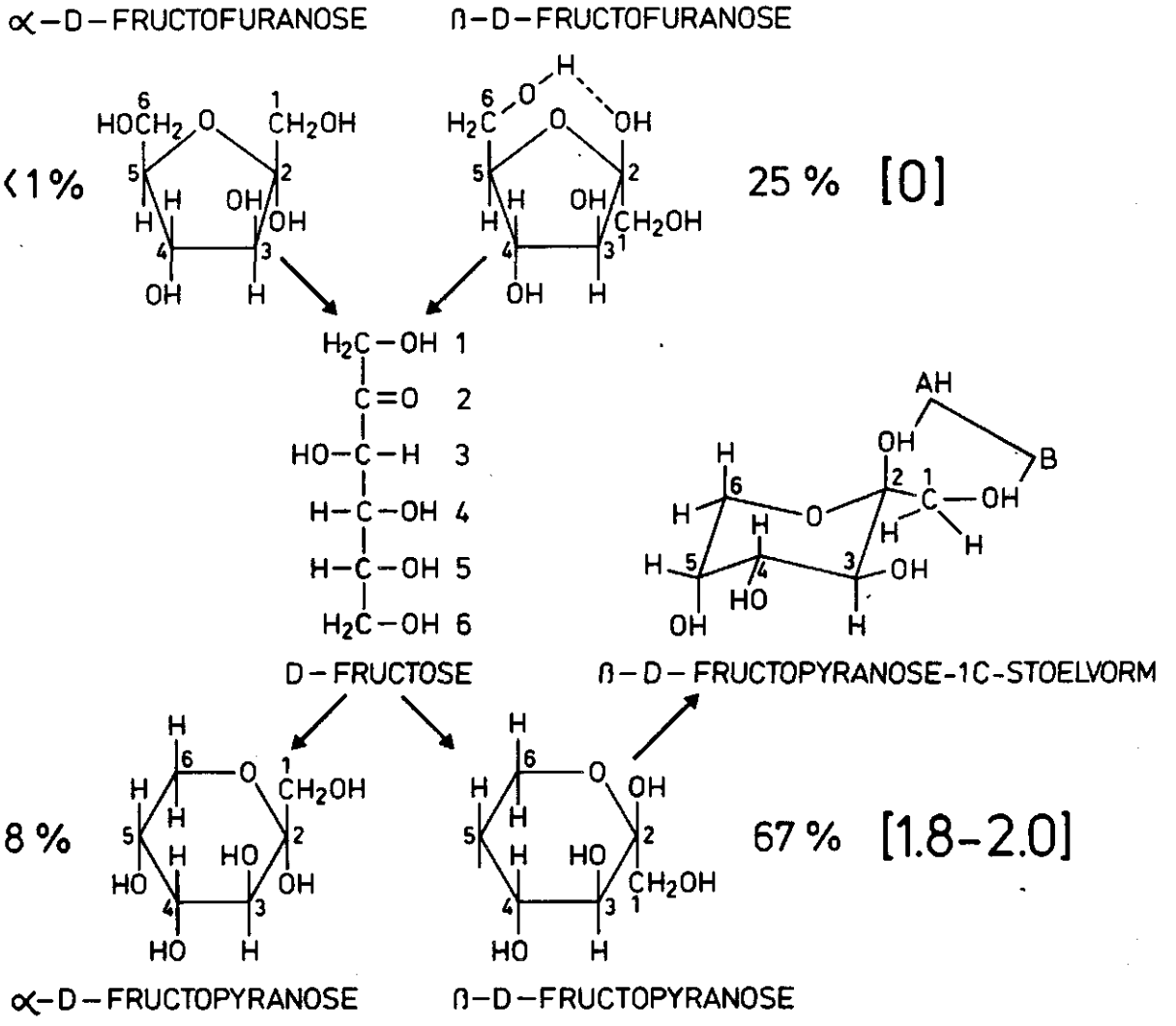
6. Literatuur

- Beldman, G., Rombouts, F.M., Voragen, A.G.J. en Pilnik, W. 1984. Application of cellulase and pectinase from fungal origin for the liquefaction and saccharification of biomass. Enzyme Microb. Technol. 6: 503-507.
- Birch, G.G. 1977. Structural relationships of sugars to taste. CRC Food Sci. Nutr. 8: 57-95.
- Breen, J.J. 1964. De landbouwkundige en industriële betekenis van de aardpeer (Helianthus tuberosus L.). Proefschrift, TH Delft.
- Conti, F.W. 1955. Das Glucose-Fructose-Verhältnis in den Knollen der Topinambur. Dissertation, TH Braunschweig.
- Doty, T.E. en Vanniven, E. 1975. Crystalline fructose: use as a food ingredient expected to increase. Food Technol. 29: 34-38.

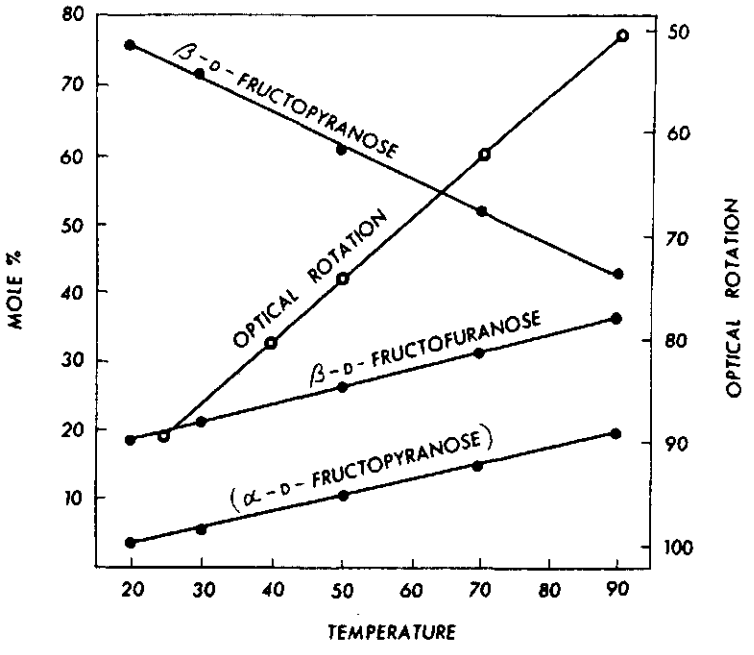
- Nemitz, G. 1963. Die hygroskopischen Eigenschaften getrockneter Lebensmittel. Z. Lebensm. Unters. Forsch. 123: 1-5.
- Pilnik, W. 1973. Food additives. Recent developments in the food industry. Gordian 73: 208-214; 252-256; 299-302; 305-307.
- Pilnik, W. en Vervelde, G.J. 1976. Jerusalem artichoke (Helianthus tuberosus L.) as a source of fructose, a natural alternative sweetener. Z. Acker- Pflanzenbau 142: 153-162.
- Pletscher, A., Bernstein, A. en Staub, H. 1952. The acceleration of ethyl alcohol metabolism by fructose in man. Experientia 8: 307-308.
- Rombouts, F.M. en Pilnik, W. 1978. Enzymes in fruit and vegetable juice technology. Process Biochem. 13 (8): 9-13.
- Shallenberger, R.S. 1979. Taste and chemical structure. Structural basis of taste substances. Proc. 5th Int. Congr. Food Sci. Technol. Kodanska Ltd, Tokyo, pp. 360-366.
- Shallenberger, R.S. en Acree, T.E. 1967. Molecular theory of sweet taste. Nature (London) 216: 480-482.
- Shallenberger, R.S. en Birch, G.G. 1975. Sugar Chemistry. The Avi Publ. Co., Westport, Connecticut.
- Voedingsraad. 1984. Advies fructose als zoetstof in produkten voor diabetici. Voeding 45: 215-221.
- Von Tornaut, Ph., Pelgroms, J. en Van der Meeren, J. 1985. Sweetness evaluation of mixtures of fructose with saccharin, aspartame or acesulfame K. J. Food Sci. 50: 469-472.
- Yudkin, J. 1971. Sucrose in the aetiology of coronary thrombosis and other diseases. p. 231-242. In J. Yudkin, J. Edelman and L. Hough (eds), Sugar: Chemical, Biological and Nutritional Aspects of Sucrose. Butterworth, London.



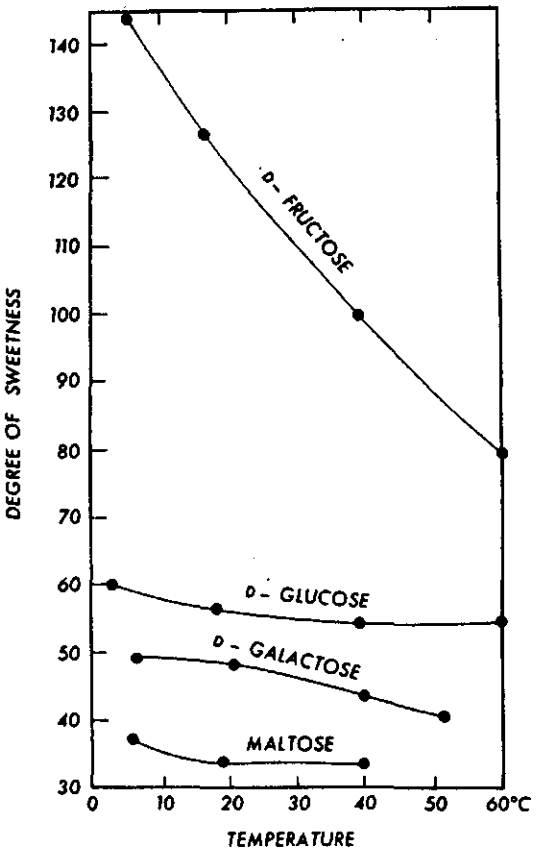
Figuur 1. Mogelijkheden voor de bereiding van fructose.



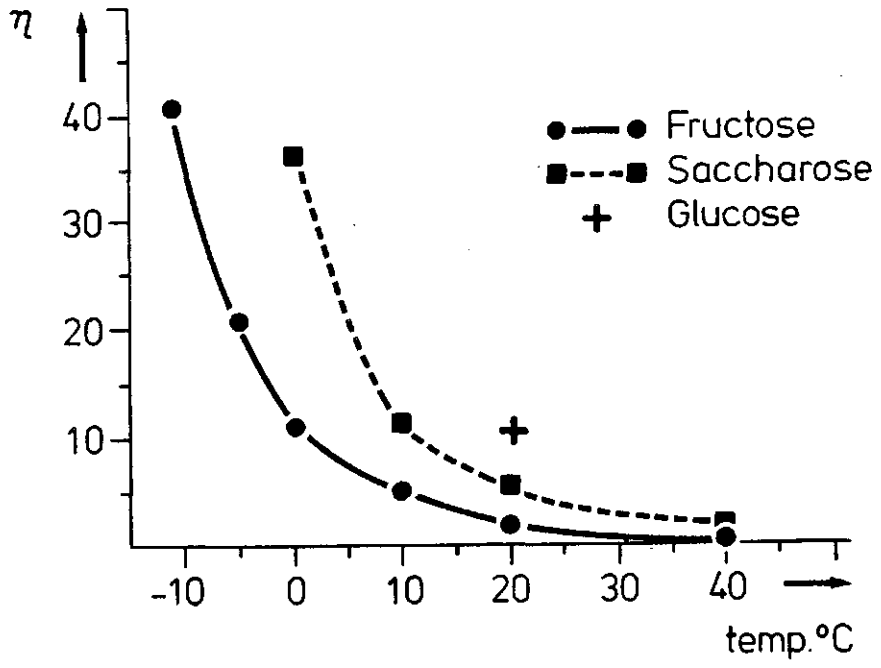
Figuur 2. Mutarotatie en zoetkracht. De getallen geven de evenwichtssamenstelling in waterige oplossing bij 40°C, in % weer; de getallen tussen haakjes geven de relatieve zoetkracht weer (saccharose = 1.0).



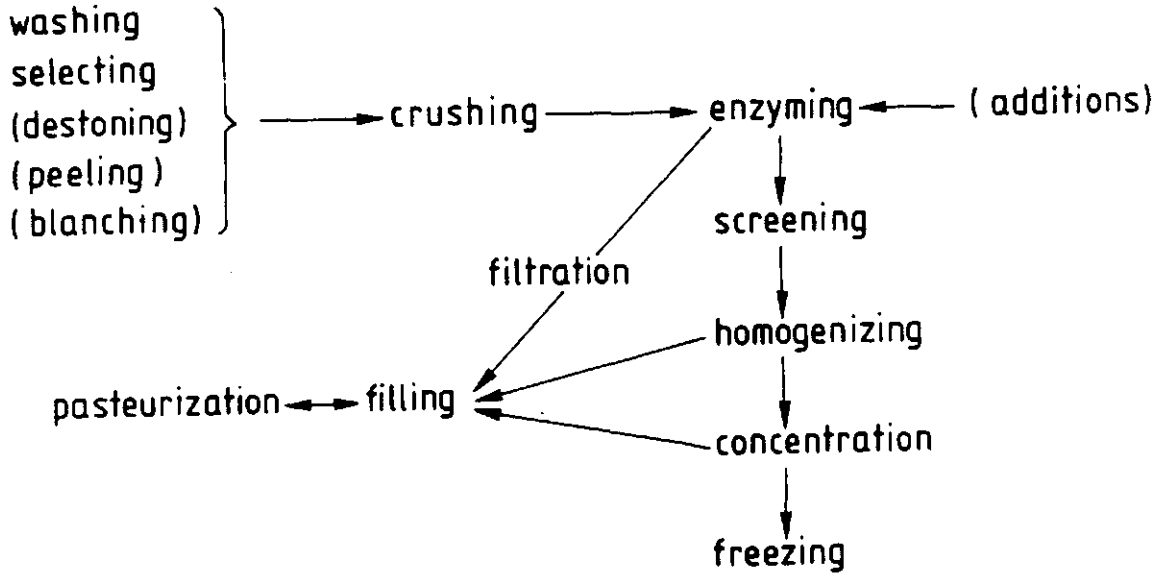
Figuur 3a. Invloed van de temperatuur op de evenwichtssamenstelling en de optische rotatie van een waterige oplossing van D-fructose (uit Shallenberger en Birch, 1975).



Figuur 3b. Invloed van de temperatuur op de relatieve zoetkracht van verschillende suikers (uit Shallenberger en Birch, 1975).



Figuur 4. Invloed van de temperatuur op de viscositeit van 70%-ige suikeroplossingen (uit Doty en Vanniven, 1975).



Figuur 5. Bereiding van vruchtesap door middel van enzymatische vervloeiing (uit Rombouts en Pilnik, 1978).

CONCLUSIES EN SLOTBESCHOUWING

A. Fuchs
Vakgroep Fytopathologie, Landbouwhogeschool, Wageningen

1. Conclusies

Uit de Verslagen van de Themadag Inuline komen als belangrijkste conclusies de volgende naar voren:

a) Wat de inulinehoudende gewassen betreft wordt nagenoeg uitsluitend aandacht besteed aan de aardpeer (Helianthus tuberosus L.). Dat weerspiegelt ongetwijfeld de vooral voor deze soort bestaande interesse als mogelijk alternatief gewas in de Nederlandse akkerbouw.

b) Plantenteeltkundig levert de aardpeer geen bijzondere problemen op. Wat betreft vorst- en ziekteresistentie steekt aardpeer gunstig af bij andere vergelijkbare gewassen.

c) De consumptieve mogelijkheden voor aardpeer worden in het algemeen als vrij gering beoordeeld; aan potentiële mogelijkheden tot verwerking ervan in voedingsmiddelen, zoals deegwaren, chips, e.d. en in alcoholische en niet-alcoholische dranken is echter nog weinig serieuze aandacht besteed.

d) De perspectieven als veevoer (zowel loof als knollen, ook z.g. pellets) moeten nog nader onderzocht worden.

e) Aardpeerpulp en -perssap zouden als substraat in de fermentatie-industrie van belang kunnen zijn.

f) De grootste interesse voor aardpeer berust op het er in voorkomende polyfructoside inuline. Daarbij dient in aanmerking te worden genomen dat inuline als polysaccharide weinig specifieke perspectieven lijkt te bieden, die niet al - en vaak veel beter - met ándere polysacchariden kunnen worden gerealiseerd. Ten aanzien van de mogelijke toepassing van oligosacchariden zou inuline wellicht wél als concurrent kunnen optreden.

g) Inuline biedt perspectieven als slow release carrier van geneesmiddelen, vooral ter bestrijding van urinewegaandoeningen.

h) Als bron van fructose is inuline als polyfructoside (glucose)polysacchariden, zoals zetmeel, en suiker vanzelfsprekend de baas: de isomerisatiestap van glucose naar fructose en de kolomchromatografische scheiding van deze beide monomeren ontbreken in het geval van inuline.

i) Voor de bereiding van glycerol via "kraken" door middel van hydrogenolyse is inuline het beste koolhydraatuitgangsprodukt.

j) Doordat inuline van nature de bron van fructose bij uitstek vormt, kan het direct of indirect (namelijk via fructose) uitgangsprodukt voor een nog grotendeels te ontwikkelen furaanchemie zijn, met zeer vergaande mogelijkheden tot vervaardiging van nieuwe produkten.

k) Aangezien aardpeer tot de gewassen met de - zeker potentieel - hoogste biomassaproduktie per ha behoort, en ook de koolhydraatopbrengst per ha kan wedijveren met die van zetmeel- en suikerhoudende gewassen, zullen het vooral plantenteeltkundige en landbouweconomische en -politieke overwegingen zijn, die de doorslag zullen moeten geven in een discussie omtrent de haalbaarheid van aardpeer als alternatief landbouwgewas.

2. Slotbeschouwing

Deze verslagen geven de persoonlijke visie van een aantal Nederlandse auteurs ten aanzien van de mogelijkheden van de teelt van inulinehoudende gewassen, in het bijzonder aardpeer, en van inuline weer. Deze auteurs hebben een zeer verschillende wetenschappelijke achtergrond, hetgeen hun expertise op sommige deelgebieden groot, maar op andere klein(er) doet zijn. Vanzelfsprekend zal dit "dualisme" van meer of mindere expertise zijn invloed hebben op de ideeën en "standpunten" van de verschillende auteurs wat de in deze verslagen behandelde problematiek betreft. De lezer zal daarom, zeker bij aandachtige bestudering van deze verslagen, ten dele controversiële visies ontdekken, ja zelfs uiteenlopende meningen ten aanzien van soms vrij simpele wetenschappelijke feiten. Dat is voor de hand liggend, temeer omdat de behandelde onderwerpen een zeer breed scala van wetenschapsgebieden beslaan.

Toch zal er nog een andere belangrijke factor meespelen: dat zal de persoonlijk gekleurde, maar vaak nauwelijks als zodanig geëxpliciteerde, appreciatie en bereidheid tot acceptatie van nieuwe alternatieve gewassen, processen en produkten zijn. Want hoe verschillend kan men de afweging van de voor- en nadelen van een mogelijk nieuw gewas, een nieuwe produktiekolom en een nieuwe produktenreeks al niet uitvoeren! Dat geldt trouwens zeker niet alleen de onderhavige auteurs; integendeel, het lijkt een zeer algemeen verschijnsel. Snel en sterk wisselende inzichten van medici en voedingsdeskundigen ten aanzien van de (on)wenselijkheden van bepaald(e)

voedsel(componenten) dragen bovendien niet bij tot een gemakkelijke oordeelsvorming waar het de meer of mindere geschiktheid van ons dagelijkse voedsel betreft.
Daarbij komt nog het volgende. De een zal een nieuw proces of produkt (of wat dan ook voor nieuwigheid) sui generis op zijn merites trachten te beoordelen, een ander vergelijkt een "innovatie" met gevestigde processen/ produkten op basis van de ad hoc situatie, zonder scherp te beseffen dat het gevestigde proces/produkt een enorme voorsprong in ontwikkeling en acceptatie kan hebben, zodat de vergelijking mank gaat, een derde zal elke nieuwigheid alleen al vanwege het inherente karakter van "verandering" toejuichen en een vierde zal wellicht zelfs persoonlijke of groepsbelangen in het geding brengen bij aanvaarding of afwijzing van innovaties en daarbij aan het algemeen belang voorbijgaan.
Het zou in dit verband belangwekkend kunnen zijn, zich de implicaties van een, overigens volstrekt imaginaire situatie voor te stellen (en laten we ons daarbij tot ons huidige onderwerp bepalen), namelijk dat de aardpeer sinds de jaren van de Terneuzense dominee en "aardpeerenthousiast" Hondius - dus al sinds 3½ eeuw - een wijd en zijd geteeld gewas zou zijn, en de andere koolhydraatleverende rooivruchten, aardappel en suikerbiet, de bescheiden plaats van nu van de aardpeer zouden innemen (en al die eeuwen hebben ingenomen!). Wat zouden dan de conclusies en aanbevelingen van de twee vergelijkbare Themadagen zijn geweest? En dringt zich dan niet een analogie op met de eisen, die de overheid stelt ten aanzien van nieuw te introduceren stoffen, te gebruiken in de landbouw of voor menselijke consumptie, in vergelijking met die, welke gelden voor reeds eeuwen bestaande en geaccepteerde, of van nature in onze voedingsmiddelen voorkomende? Immers, gemeten naar de eerstbedoelde maatstaven zou ons voedingsmiddelen- en gebruiksartikelenpakket waarschijnlijk drastisch moeten worden uitgedund!
Dit is geen pleidooi voor een onbesuisde stellingname voor introductie van de aardpeer in de Nederlandse akkerbouw op een zo kort mogelijke termijn. Het bedoelt slechts gehoor te vinden voor een zo zuiver en objectief mogelijk afwegen van de potentiële mogelijkheden van inuline en inuline-houdende gewassen met inachtneming van het feit, dat de laatste "jong en (door ons!) niet ervaren" zijn, en de andere, gevestigde, gewassen "oud en daardoor vertrouwd".

De verslagen van de Themadag worden besloten met een schets van de Landelijke Werkgroep Inuline en Inulinehoudende Gewassen (Lawine) en een lijst van titels van projectvoorstellen, die bij Lawine zijn ingediend, en die ter beoordeling aan subsidieverlenende instanties zullen worden voorgelegd.

LANDELIJKE WERKGROEP INULINE EN INULINEHOUDENDE GEWASSEN (LAWINE)

In ons land leeft al vele jaren de wens tot verruiming van het gewassensortiment in de akkerbouw. Uitbreiding met een "klein" gewas komt aan die wens niet tegemoet; toevoeging van een ruim geteeld gewas met voldoende afzetmogelijkheden echter wel. Dit verklaart de belangstelling voor, onder andere, de - inulinehoudende - aardpeer, Helianthus tuberosus, die in een recente afweging van een aantal alternatieve gewassen als kanshebbend naar voren kwam, en als plant goed bij de hier te lande heersende omstandigheden past.

Aan inuline, een polyfructoside van β-(2→1)-gebonden fructose-eenheden is tot nu toe relatief weinig onderzoek verricht. Alleen door de Vakgroep Levensmiddelentechnologie der LH Wageningen (Secties Levensmiddelenchemie en -microbiologie en Proceskunde) werd en wordt nog steeds onderzoek gedaan aan inuline (uit de aardpeer). Bovendien werd gedurende de jaren 1979-1981 binnen de toenmalige Vakgroep Algemene en Technische Biologie, in samenwerking met de Vakgroep Organische Chemie der TH Delft onderzoek verricht naar de winning van inuline uit inulinehoudende gewassen en het voorkomen van inulinasen in micro-organismen alsmede de kinetiek van de hydrolyse van inuline.

Deze onderzoeksactiviteiten hebben onder andere geleid tot een viertal wetenschappelijke bijeenkomsten in het Biotechnion der LH, waar een grote interesse voor de aardpeer als gewas en voor inuline als polymeer koolhydraat bleek te bestaan. Om uit te maken of de aardpeer als landbouwgewas en als "uitgangspunt" van een nieuwe produktiekolom een redelijke kans van slagen zal hebben, zal verder wetenschappelijk onderzoek noodzakelijk zijn. Landelijke coördinatie van zulk onderzoek lijkt daarbij onontbeerlijk. Op de Themadag Inuline is het voorstel om hiertoe een Landelijke Werkgroep Inuline en Inulinehoudende Gewassen (af te korten als Lawine) in te stellen in beginsel aanvaard. De eerste taak van deze Werkgroep zal de formulering van een gewenst researchprogramma betreffen, waarin alle - zeer uiteenlopende - facetten van het onderzoek van aardpeer en andere inulinehoudende gewassen, en van inuline, fructose en daaruit af te leiden produkten tot uiting komen. De Werkgroep Lawine zal daartoe werkbesprekingen met de bij het onderzoek betrokkenen organiseren, om aldus de coördinatie van het onderzoek tot stand te brengen en de voortgang ervan te bevorderen.

Gedacht wordt aan een kern van onderzoekers van universiteiten, instituten en industrieën, met daaromheen een "kring" van geïnteresseerden vooral uit het bedrijfsleven, voor wie de Werkgroep als "vraagbaak" zal kunnen fungeren.
Naast het houden van geregeld werkoverleg door de leden van de kerngroep is het de taak van de Werkgroep om periodiek (gedacht wordt aan één à twee maal per jaar) Themadagen te organiseren, bestemd voor de veel bredere kring van geïnteresseerden uit het bedrijfsleven, waarop verschillende aspecten van inuline en inulinehoudende gewassen zullen worden belicht. Lawine wil aldus een platform zijn, waar alle geïnteresseerden in de gehele produktiekolom een ontmoetingsplaats kunnen vinden.
De coördinerende werkzaamheden van Lawine kunnen verder bijdragen tot het opstellen van goed-gefundeerde projectaanvragen bij diverse subsidie-verlenende instanties, onder andere bij het recentelijk van start gegane IOP-koolhydraten. In dit programma wordt vooral belang gehecht aan lange-termijn-onderzoek aan inuline en daaruit af te leiden "fijnchemicaliën" op basis van furaanchemie en -technologie.

Het voorlopig Bestuur van Lawine,

Dr. A. Fuchs, voorzitter
Prof.Dr.Ir. G.J. Vervelde
Dr.Ir. C.J. van den Berg
Dr.Ir. A.P.G. Kieboom
Ir. J.D. Bijloo

Lijst van titels van mogelijk te entameren projecten en van projectvoorstellen voor onderzoek op het gebied van teelt van inulinehoudende gewassen, en winning en toepassing van inuline en daaruit te verkrijgen produkten.

---

1. Winning van inuline uit aardpeer in relatie tot de grondstof alsmede de eigenschappen van de verkregen inuline in verband met verdere toepassingen (Dr.Ir. C. van den Berg en Prof.Dr.Ir. K. van 't Riet, Vakgroep Levensmiddelentechnologie, Sectie Proceskunde, Landbouwhogeschool, Wageningen).
2. Optimalisatie van de grootschalige afbraak van inuline tot fructose (als onder 1).
3. Bereiding van hydroxymethylfurfural en levulinezuur uit inuline (Dr.Ir. A.P.G. Kieboom en Prof.Dr.Ir. H. van Bekkum, Laboratorium voor Organische Chemie, Technische Hogeschool, Delft).
4. Bereiding van mannitol uit inuline (als onder 3).
5. Bereiding van glycerol uit inuline (Dr.Ir. B.F.M. Kuster en Prof.Dr.Ir. K. van der Wiele, Vakgroep Chemische Technologie, Technische Hogeschool, Eindhoven).
6. Bereiding van hydroxymethylfurfural uit inuline (als onder 6).
7. Enzymatische hydrolyse van inuline (Prof.Ir. K.C.A.M. Luyben, Vakgroep Bioprocestechnologie, Technische Hogeschool, Delft).
8. Enzymatische ontsluiting van de aardpeer. Enzymatische hydrolyse van de celwanden van de aardpeer. Bestudering van de polysaccharidesamenstelling van het celwandmateriaal, alsmede met het oog op de betekenis van de aardpeer als voedingsvezel (Prof.Dr.Ir. W. Pilnik, Dr.Ir. F.M. Rombouts en Dr.Ir. A.G.J. Voragen, Vakgroep Levensmiddelentechnologie, Sectie Levensmiddelenchemie en -microbiologie, Landbouwhogeschool, Wageningen).
9. Bestudering van de van nature in aardpeer aanwezige inhoudsstoffen andere dan inuline: polyfenolen en polyfenoloxydase, aminozuren en eiwitten, eventueel vitaminen en andere "minor constituents" (als onder 8).
10. Enzymatische en zure afbraak van inuline. Produktie, zuivering en karakterisering van inulinasen. Produktsamenstelling van hydrolysaten. Gebruiksmogelijkheden van hydrolysaten (als onder 8).

11. Bepaling van de nutritionele waarde van de aardpeer in verterings- en groeiproeven met varkens (Ing. J.B. Schutte, Instituut voor Graan, Meel en Brood, TNO, Afdeling ILOB, Wageningen).
12. Bepaling van de nutritionele waarde van aardpeerpulp in verterings- en groeiproeven met schapen en mogelijk ook met varkens (als onder 11).
13. Bepaling van de nutritionele waarde van al of niet voorbehandelde, bovengrondse delen van de aardpeer in verterings- en groeiproeven met schapen (als onder 11).
14. Onderzoek naar voederwaarde en conservering van aardpeer en bijprodukten als veevoer (onder andere kuilvoer) (Dr.Ir. S.F. Spoelstra, Instituut voor Veevoedingsonderzoek, Lelystad).
15. Ontwikkeling van eenvoudige bewaarsystemen voor aardperen (Ir. R. Wustman, Instituut voor Bewaring en Verwerking van Landbouwprodukten, Wageningen).
16. Ontwikkeling van een eenvoudig sorteersysteem voor aardperen (als onder 15).
17. Methoden ter vaststelling van "uitbetaling naar kwaliteit" van aardperen (als onder 15).
18. Bestrijding van bewaarziekten bij aardpeer door toepassing van chemische middelen (als onder 15).
19. Optimalisering van aardpeerpootgoedkwaliteit (als onder 15).
20. Computergesteunde fytopathologische teeltbegeleiding van aardpeer (Prof.Dr. J.C. Zadoks, Laboratorium voor Fytopathologie, Landbouwhogeschool, Wageningen).