

Topinambur - eine Pflanze mit vielen Verwendungsmöglichkeiten

 Workshop am 18.02.2009



IMPRESSUM

Herausgeber:

Landwirtschaftliches Technologiezentrum
Augustenberg (LTZ)
Neßlerstr. 23-31
76227 Karlsruhe

Tel.: 0721 / 9468-0

Fax: 0721 / 9468-112

eMail: <mailto:poststelle@ltz.bwl.de>

Internet: www.ltz-augustenberg.de

Bearbeitung und Redaktion:

LTZ Augustenberg, Außenstelle Rheinstetten-Forchheim
Kutschenweg 20, 76287 Rheinstetten
Tel. 0721 / 9518 - 30

Referat 11, Pflanzenbau und produktionsbezogener
Umweltschutz

Auflage: 100 Exemplare

Druck: Eigendruck

Stand: 16. Februar 2009



Tagungsband

Topinambur - Eine Pflanze mit vielen Verwendungsmöglichkeiten

Inhaltsverzeichnis	Seite
1 Qualitätsanforderungen und Möglichkeiten der Qualitätsbeeinflussung des Rohstoffes Topinambur	1-1
2 Einfluss des Erntetermins auf Knollenertrag, Knollengröße und Trockensubstanzgehalt sowie von Inulin- und Zuckerertrag bei Topinambursorten unterschiedlicher Reifezeit im semiariden Produktionsgebiet	2-1
3 Eignung verschiedener Topinambursorten zur Produktion von Leichtbetonbaustoffen	3-1
4 Aktuelles zum Brennen von Topinambur	4-1
5 Über die kontinuierliche Ethanolgewinnung aus Topinambur am Modell von Ahausen-Eversen (Niedersachsen)	5-1
6 Berechnungswürdigkeit von Topinambur zur Biogaserzeugung	6-1
7 Polyphenole in Topinambur - wertvoll für die menschliche Ernährung	7-1
8 Einsatzmöglichkeiten von Topinambur bei Pferden und Hunden.....	8-1
9 Einfluss der Sorte und des Erntezeitpunktes von Topinamburkraut auf ernährungsrelevante Aspekte in der Schweinefütterung	9-1
10 Aktuelles zum Anbau von Topinambur	10-1

Tagungsband

Topinambur - Eine Pflanze mit vielen Verwendungsmöglichkeiten

1 Qualitätsanforderungen und Möglichkeiten der Qualitätsbeeinflussung des Rohstoffes Topinambur

Kerstin Stolzenburg, Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg

1.1 Einleitung

Topinambur (*Helianthus tuberosus* L.) ist aufgrund des Gehaltes und der Verteilung der wertgebenden Inhaltsstoffe eine sehr vielseitig nutzbare Kulturpflanze. Stellt man die Qualität eines landwirtschaftlich erzeugten Rohstoffes in den Mittelpunkt der Betrachtung, so ergeben sich produktlinienspezifische Ansprüche der weiterverarbeitenden Industrie an das Ausgangsprodukt, denen man mit ackerbaulichen Möglichkeiten, zu denen beispielsweise die Ausschöpfung des genetischen Potenzials geeigneter Sorten und Herkünfte, gezielte pflanzenbauliche Maßnahmen wie Düngung und Zusatzbewässerung, aber auch die Wahl des optimalen Erntezeitpunktes zählen, in gewissem Maße entgegenkommen kann. Dazu müssen Qualitätsparameter definiert werden.

Dieser Beitrag soll und kann einleitend zu diesem 4. Topinambur-Workshop nur einen Überblick über die Vielfalt im Hinblick auf die Vermarktungsmöglichkeiten geben und anhand ausgewählter Beispiele exemplarisch auf die Parameter der Qualitätsbeeinflussung einiger Produktlinien eingehen.



- Herkunft:**
- vermutlich Nordamerika
 - durch französische Seefahrer entdeckt und zu Beginn des 17. Jh. nach Europa gebracht
 - seit Mitte des 17. Jh. Anbau in Deutschland

- Botanik:**
- *Helianthus tuberosus* L.
 - Familie: Korbblütler (*Asteraceae*)

- Morphologie:**
- starkes Krautwachstum (Stängel bis 5 m)
 - Bildung von Sprossknollen an unterirdischen Seitentrieben (Stolonen)
 - Speicherung des Reservekohlenhydrates Inulin in den Sprossknollen (Stängel fungieren als Zwischenspeicher)

Abb. 1: Herkunft, Botanik und Besonderheiten von Topinambur im Überblick

1.2 Vermarktungsmöglichkeiten von Topinambur

Bei Topinambur ist sowohl die Verarbeitung des krautartigen Biomasseaufwuchses als auch die Verwertung der ganzen Knollen bzw. bestimmter Inhaltsstoffe der Knollen möglich. In Abhängigkeit der Verwertungsrichtung können dabei entweder Kraut oder Knollen oder aber beide Komponenten parallel genutzt werden.

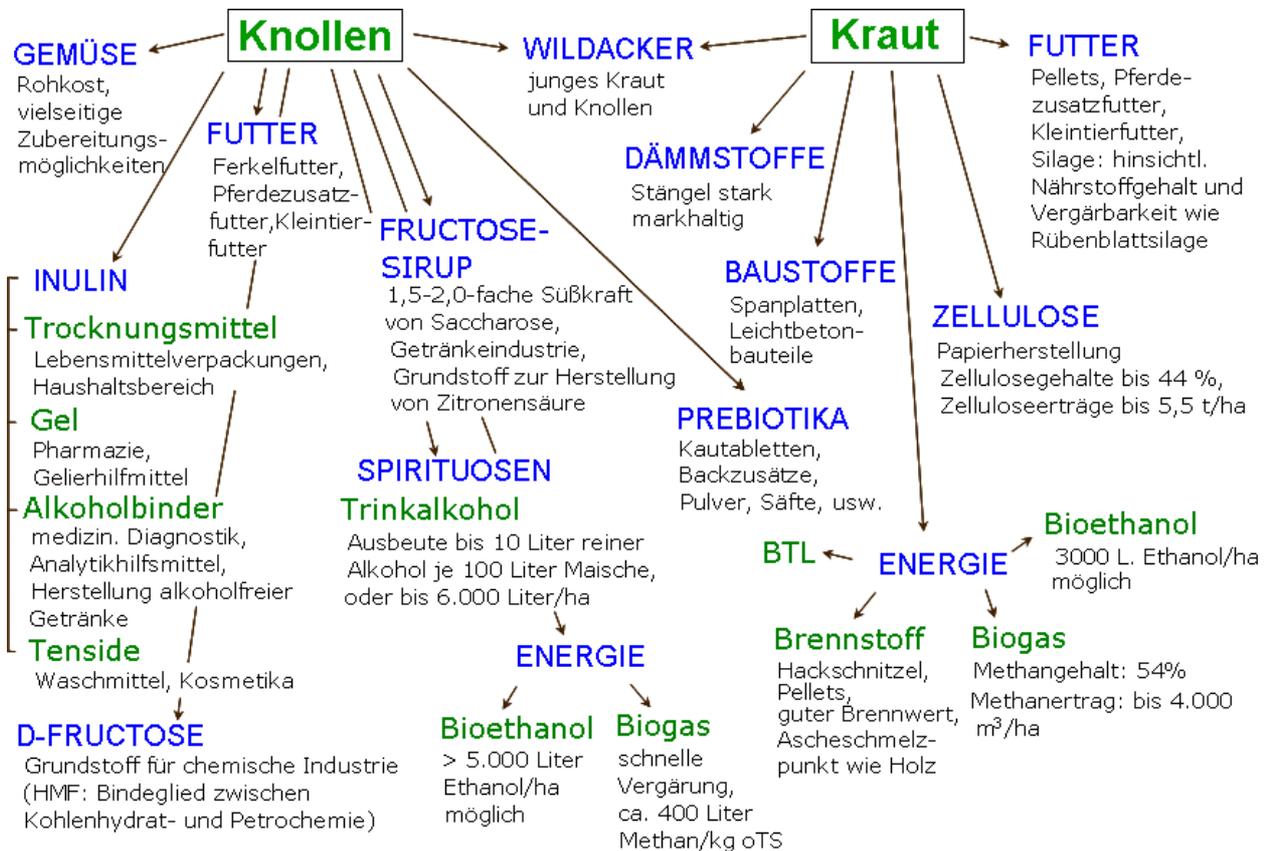


Abb. 2: Vermarktungsmöglichkeiten von Topinambur

1.3 Qualitätsanforderungen an den Rohstoff

Die Abbildung 2 gibt einen Überblick über die Vermarktungsmöglichkeiten von Topinambur. Gliedert man diese in Produktionsbereiche bzw. Produktlinien, so kann man ihnen wiederum Qualitätsparameter zuordnen. Wie sich in verschiedenen Versuchen zeigte, die in den vergangenen Jahren am LTZ Augustenberg an der Außenstelle Rheinstetten-Forchheim durchgeführt wurden, kann die Rohstoffqualität durch die Wahl geeigneter Sorten bzw. durch angepasste ackerbauliche Maßnahmen positiv beeinflusst werden.

Zu diesen Maßnahmen zählen beispielsweise die Düngung - hier sind insbesondere die Stickstoff-, die Kalium und die Phosphatdüngung zu nennen - sowie die Zusatzbewässerung im Bedarfsfall, der Erntezeitpunkt sowie Lagerdauer und Lagerbedingungen. Umfassende Veröffentlichungen der Ergebnisse können auf der Internetseite des LTZ Augustenberg (www.ltz-augustenberg.de) unter der Rubrik „Nachwachsende Rohstoffe“ abgerufen werden.

Produktionsbereich		Qualitätsparameter
Nahrungsmittelindustrie	Frisches Wintergemüse	Reifegruppe, Knollenform, Geschmack, Lagerung, Mineralstoffgehalt, Inulingehalt, Polymerisationsgrad, Proteingehalt, Proteinmuster, Rohfettgehalt, Fettsäuremuster, Vitamine, sekundäre Pflanzenstoffe, Acrylamid
	Trockenprodukte	
	Konserven, Getränkeindustrie	Reifegruppe, Mineralstoffgehalt, Proteingehalt, Proteinmuster, Rohfettgehalt, Fettsäuremuster, Vitamine, Zucker-, Inulingehalt, Polymerisationsgrad
Futtermittelindustrie	Ferkelfutter (Knollen, Mehl)	Zucker-, Inulingehalt, Polymerisationsgrad, Proteingehalt, Proteinmuster, Rohfettgehalt, Fettsäuremuster, Vitamine
	Grünfutter (junges Kraut)	
	Pellets (Kleintierfutter, Pferdezusatzfutter)	Zucker-, Inulingehalt, Mineralstoffgehalt, Proteingehalt, Proteinmuster
Diätprodukte, Arzneimittelherstellung	Homöopathisches Arzneimittel zur Gewichtsreduktion	Inulingehalt, Polymerisationsgrad
	Diabetes-mellitus-Diät	
Spirituosenherstellung		Zucker-, Inulingehalt, Polymerisationsgrad, Knollenform, Geschmack
Technische Anwendungen	Tenside, Alkoholbinder, Gele	Inulingehalt, Polymerisationsgrad
	Dämmstoffbereich	Krautertrag, Markgehalt
Energiegewinnung	Biogas	Reifegruppe, Knollenertrag, Krautertrag
	Bioethanol	Knollenertrag, Zucker- und Inulingehalt
	Biomasse (Festbrennstoff; Pyrolyse; BTL-Kraftstoffe)	Krautertrag, Mineralstoffgehalt, Brennwertigenschaften

Abb. 3: Ausgewählte Produktlinien und Qualitätsparameter bei Topinambur

1.4 Beispiele von Produktlinien und der Einflussnahme auf die Rohstoffqualität

Topinambur als Rohstoff für die Spirituosenherstellung und zur Bioethanolgewinnung

Ein Bereich, der sich über Jahrzehnte fest etabliert hat, ist die Spirituosenherstellung aus Topinambur. In Baden-Württemberg werden zu diesem Zweck schätzungsweise etwa 300-400 ha angebaut. Die Erntemenge wird derzeit zu ca. 90 % über den Brennkessel verwertet. Interessant sind die Knollen vor allem für Kleinbrenner mit einem Jahreskontingent von 300 l Alkohol, da nach dem Branntweinmonopol-Gesetz Topinambur zu den Obststoffen zählt und somit gesetzlich zugelassener Rohstoff für Obstbrennereien ist. Die theoretische Alkoholausbeute liegt im 8jährigen Versuchs-Mittel sortenspezifisch zwischen 8,3 und 9,2 l/100 l Maische bzw. zwischen 2.575 und 4.843 l Ethanol/ha. Diese bemerkenswerten Erträge machen die Kultur auch für die großtechnische Bioethanolgewinnung interessant. Der Flächenethanolertrag geeigneter Sorten wird lediglich durch die Zuckerrübe mit 5.600 l Alkohol/ha bei 90 % Ausbeute überboten.

Knollenertrag und Ethanolertrag korrelieren bei Topinambur miteinander ($R=0,99$) (Abb. 4). Alle Maßnahmen (pflanzenbaulich, Sortenwahl), die die Knollengröße und den –ertrag beeinflussen, wirken sich somit auch direkt auf den zu erwartenden Ethanolertrag aus.

Wie sich anhand der am LTZ durchgeführten Zuckeranalysen berechnen lässt, stammen ca. 82 % des Ethanols aus dem eingelagerten Inulin (Abb. 5). Da auch der Inulingehalt selbst in einer direkten Wechselwirkung mit dem Knollenertrag steht, ist hier also bereits ein wichtiger Ansatzpunkt gegeben. In diesem Kontext spielt die Wasserversorgung eine wichtige Rolle. Wie in der Grafik der Abbildung 6 verdeutlicht wird, reagieren Knollenansatz, Knollenwachstum und –ertrag sowie die Einlagerung an Reservekohlenhydraten diesbezüglich sehr stark. Die theoretisch ermittelte Hektarausbeute an Ethanol schwankt dementsprechend (Abb. 7).

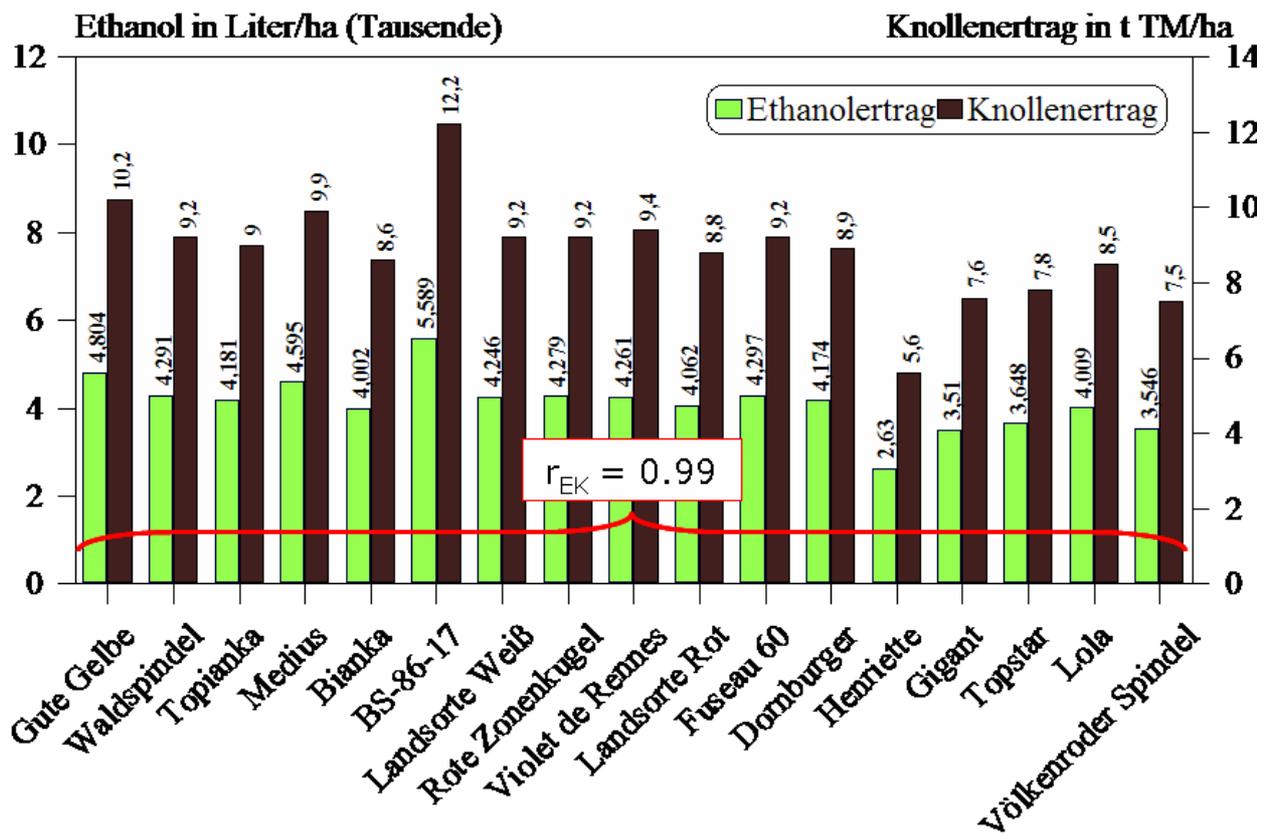


Abb. 4: Knollenertrag und berechneter Ethanolерtrag (LTZ Augustenberg, Untersuchungszeitraum 1994/95-2000/01, Ernte Februar/März)

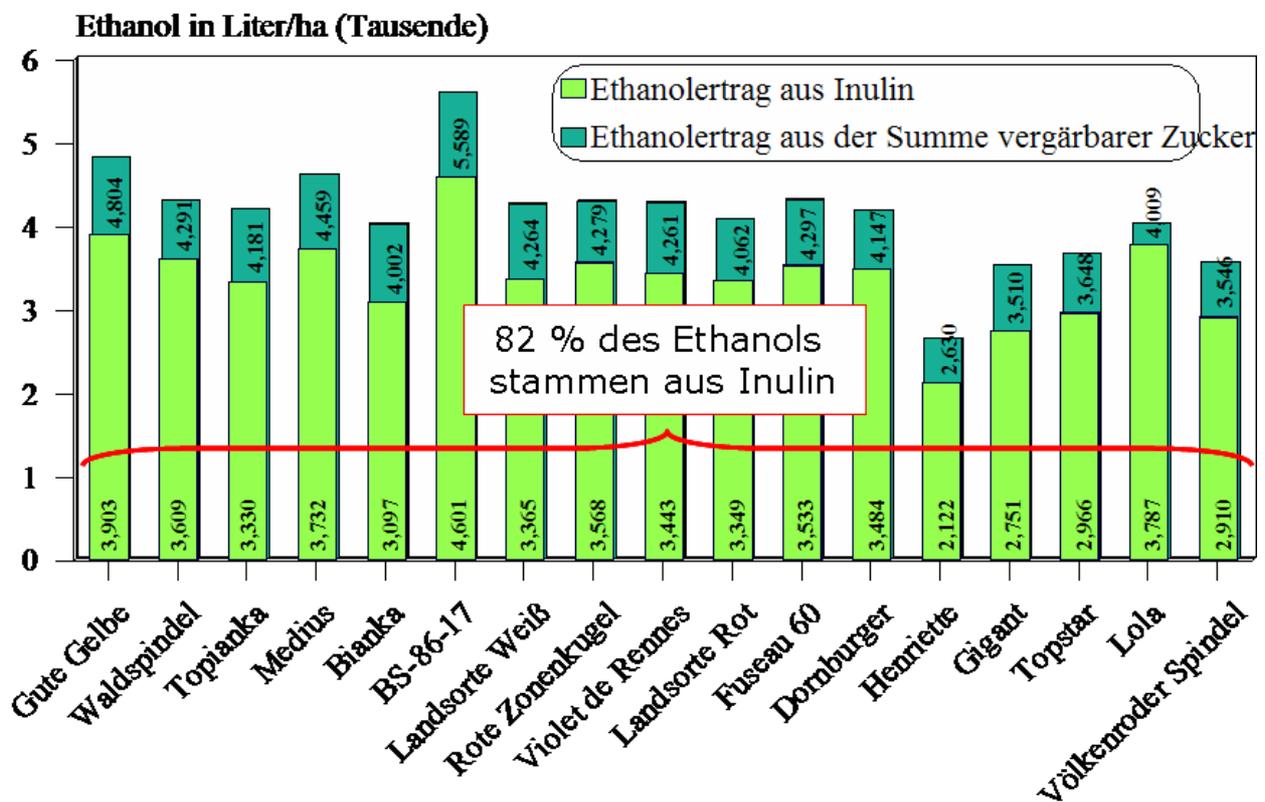


Abb. 5: Ethanolерtrag auf der Basis von Inulin und vergärbarem Gesamtzuckergehalt (LTZ Augustenberg, Mittel aus 3 Sorten und 3 Jahren, Ernte Februar/März)

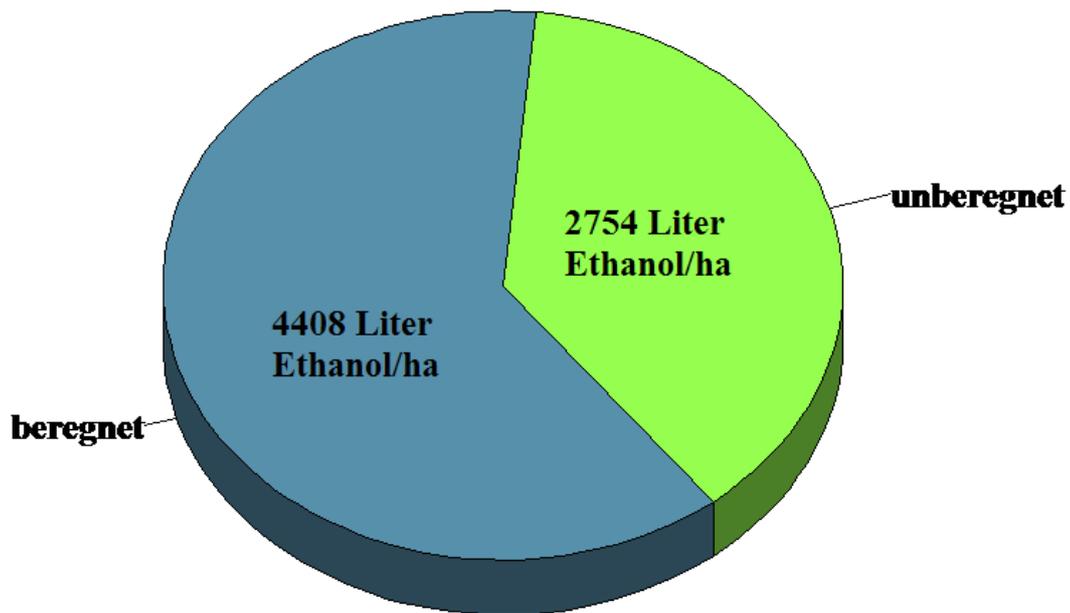


Abb. 6: Einfluss der Zusatzbewässerung auf den Ethanolерtrag von Topinambur (LTZ Augustenberg, Mittel aus 3 Sorten und 3 Jahren)

Inulin: Möglichkeiten der Beeinflussung von Gehalt und Zusammensetzung

Topinambur bildet, ähnlich wie die Kartoffel, unterirdisch Sprossknollen aus, in denen, abhängig von Sorte und Erntezeitpunkt, große Mengen des Polyfructans Inulin als Reservekohlenhydrat eingelagert werden.

Inulin wird zur Gruppe der Polyfructane gezählt. Die zumeist linear strukturierte Molekülkette besteht aus einer im Verlauf der Vegetationszeit variierenden Anzahl an Fructoseeinheiten, welche in furanosider Form vorliegen und (β -2,1)-glycosidisch miteinander verknüpft sind. Grundform des Fructans stellt das Trisaccharid Kestose dar, eine glycosidische Verbindung eines Saccharosemoleküls mit einem Fructosemolekül. Mit Hilfe des Enzyms SST (Sucrose-Sucrose-1-Fructosyltransferase) wird zunächst ein Fructoserest auf eine zweite Saccharose übertragen. Die entstehende 1-Kestose ist als kleinstes Inulinmolekül zu betrachten. SST ist ausschließlich während der Fructaneinlagerung aktiv und von der Saccharosekonzentration der Umgebung abhängig. Ein zweites Enzym FFT (Fructan-Fructan-1-Fructosyltransferase) ist für die Polymerisation der Fructanketten verantwortlich. Der freie Fructoserest eines Trisaccharides wird auf ein längererkettiges Fructan übertragen. FFT bleibt während des gesamten Lebenszyklus der Knollen aktiv.

Das Polyfructan wird in Topinambur vorrangig in der Zentralvakuole des Knollenspeicherparenchyms synthetisiert und ist aus einer endständigen Glucoseeinheit und bis zu 30 linear verknüpften Fructosemolekülen aufgebaut.

Die Fructansynthese beginnt bereits mit der Krautentwicklung. Vier Wochen nach Feldaufgang konnten in Forchheimer Versuchen bis zu 2 % Inulin in der Krauttrockenmasse nachgewiesen werden (zur Entwicklung des Inulingehaltes im Kraut siehe Abb. 7).

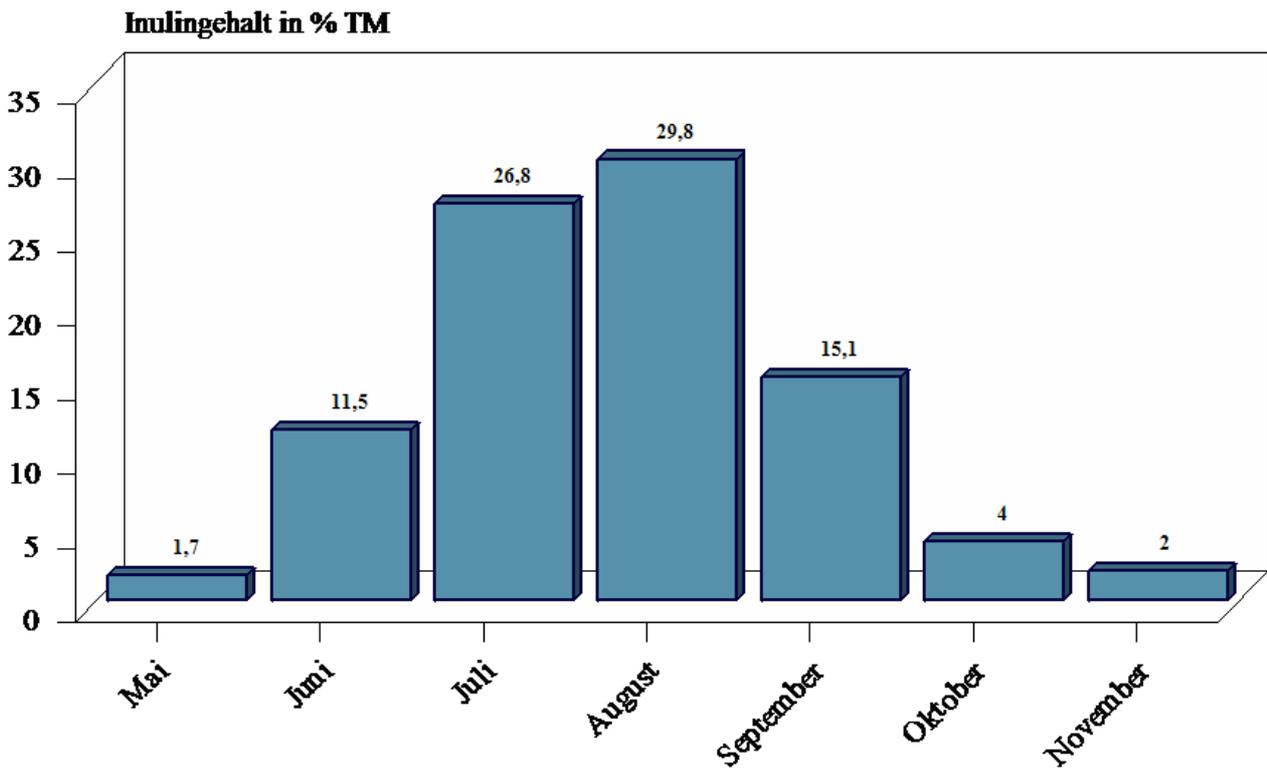


Abb. 7: Inulingehalt im Verlauf der Vegetationszeit (LTZ Augustenberg, Mittel aus 3 Jahren und 3 Sorten)

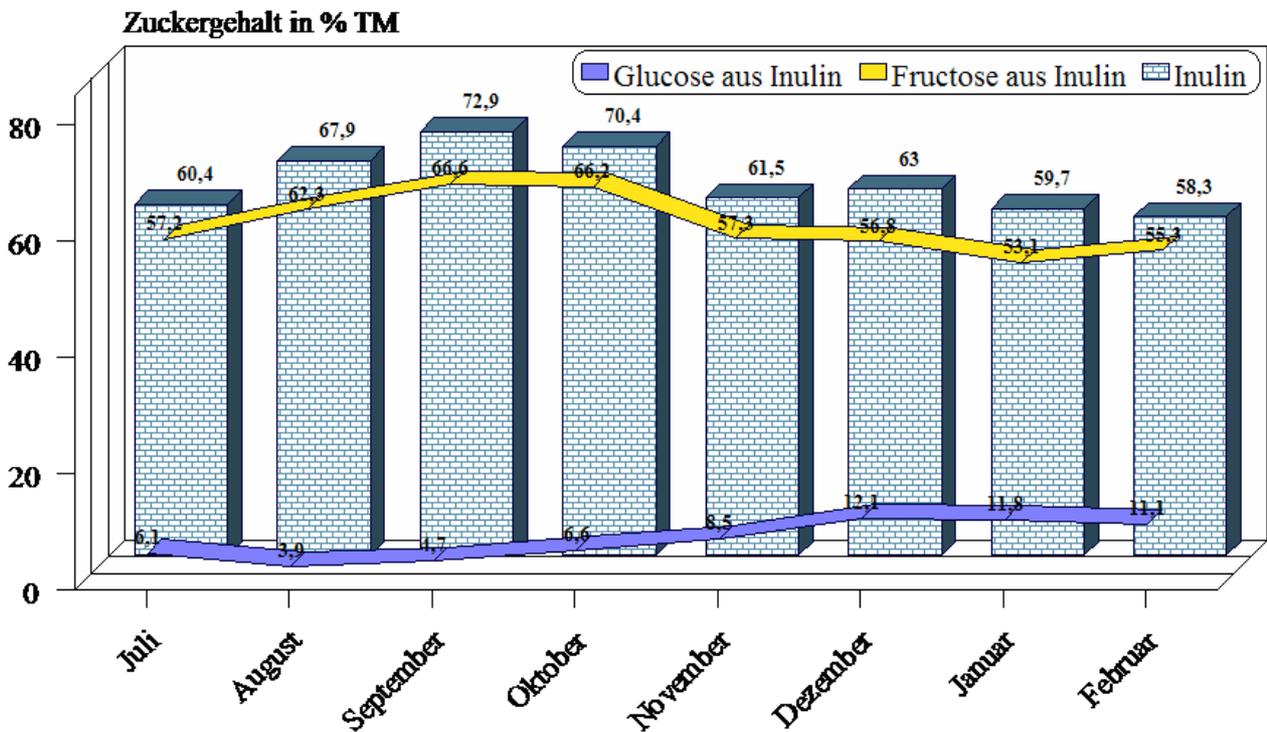


Abb. 8: Gehalt an Zucker und Inulin in den Knollen zu verschiedenen Ernteterminen (LTZ Augustenberg, Mittel aus 3 Jahren und 3 Sorten)

Knolleninduktion und –wachstum setzen bei Topinambur erst ab Mitte Juli ein (Abb. 8). Parallel dazu ist der Saccharosetransport in die Speicherorgane und die darauf aufbauende Inulinsynthese quantifizierbar. Ende Juli wurden zwischen 60 und 76 % Inulin in der Knollentrockenmasse gemessen. Mit dem Wachstum der Sprossknollen nehmen Einlagerung und Konzentration der gelösten Kohlenhydrate zu, wobei die Knollengröße die Speicherkapazität beeinflusst. Topinamburstängel können die Funktion eines Zwischenspeichers übernehmen. Der Anteil hochmolekularer Fructane in der Knolle erreicht Ende September sein Maximum. Mit durchschnittlich 74 % in der Trockenmasse ist der Inulingehalt in den Knollen zu Beginn des Erntezeitraumes am höchsten und sinkt über die Wintermonate um ca. 20 % ab.

Der Gesamtzuckergehalt nach der Hydrolyse bleibt dabei nahezu konstant. Der Polymerisationsgrad der Fructane ist vor allem für die Verwendung von Topinambur im Nahrungsmittelbereich entscheidend. In der Veredelung von Topinambur zu Spirituosen bzw. in der großtechnischen Ethanolgewinnung spielt die Länge der Inulinmoleküle keine Rolle, da das Polyfructan durch Hefen nicht direkt vergärbbar ist. Hier interessiert lediglich der Gesamtgehalt an vergärbaren Zuckern. Knollenertrag und Inulinausbeute korrelieren eng miteinander. Neben der angebauten Sorte haben vor allem Klima- und Bodenbedingungen einen entscheidenden Einfluss auf die Inulinsynthese.

- Steigende **Wasserverfügbarkeit** beeinflusst die Einlagerung sowie die Hektarausbeute an Inulin und Fructose signifikant positiv.
- **Kaliumdüngerformen** wirken sich unterschiedlich auf Ertrag und Einlagerung der Zuckerstoffe aus.
 - *Kaliumsulfat* unterstützte den qualitativen Aspekt.
 - Der Hektarertrag an Inulin wurde durch *Kaliumchlorid* in der unberegneten Variante verbessert.
 - *Kaliumsulfat* reagierte diesbezüglich entgegengesetzt, hier war die Inulinausbeute in der beregneten Variante höher.
- **Erntetermin**
- **Lagerung**
- **Züchtung**: früher Knollenansatz, frühere Erntbarkeit der Knollen

Abb. 9: Einflussfaktoren in Bezug auf Gehalt und Ertrag an Inulin und Fructose

Topinambur als Nahrungsmittel

Topinamburknollen gelten aufgrund ihrer hochwertigen Zusammensetzung als prebiotisches Gemüse und zählen zum „functional food“, da sie einen über den ernährungsphysiologischen Nutzen hinausgehenden gesundheitlichen Wert haben.

Frische Topinamburknollen enthalten 79 % Wasser und 15 % verschiedene Zuckerkomponenten. Die restlichen 6 % verteilen sich auf Mineralstoffe, einen geringen Rohfettgehalt, Proteine und Rohfasern. Der wichtigste wertgebende Inhaltsstoff ist das wasserlösliche Polymer Inulin. Zwischen 11 und 14 % werden in frischen Knollen synthetisiert und als Reservekohlenhydrat gespeichert. Ernährungsphysiologisch bedeutsam ist, dass der langkettige Zucker im Dünndarm aufgrund fehlender Enzyme nicht resorbiert wird und deshalb im menschlichen Körper als Ballaststoff wirkt. Erst im Dickdarm erfolgt eine mikrobielle Fermentierung in kurzkettige Fettsäuren. Regelmäßiger Inulinverzehr senkt die Blutfettwerte und verschiebt die Darmflora zugunsten der erwünschten Bifidus-Population.

Im Ernährungsbereich (Fructosesirupgewinnung, diätetischer Einsatz) wird Inulin mit möglichst hohem Polymerisationsgrad benötigt. Erntezeitpunkt, Lagerbedingungen und –dauer spielen in diesem Bereich deshalb eine nicht unerhebliche Rolle in Bezug auf die Inulin- und Fructoseausbeute sowie die Eigenschaften als Nahrungsmittel.

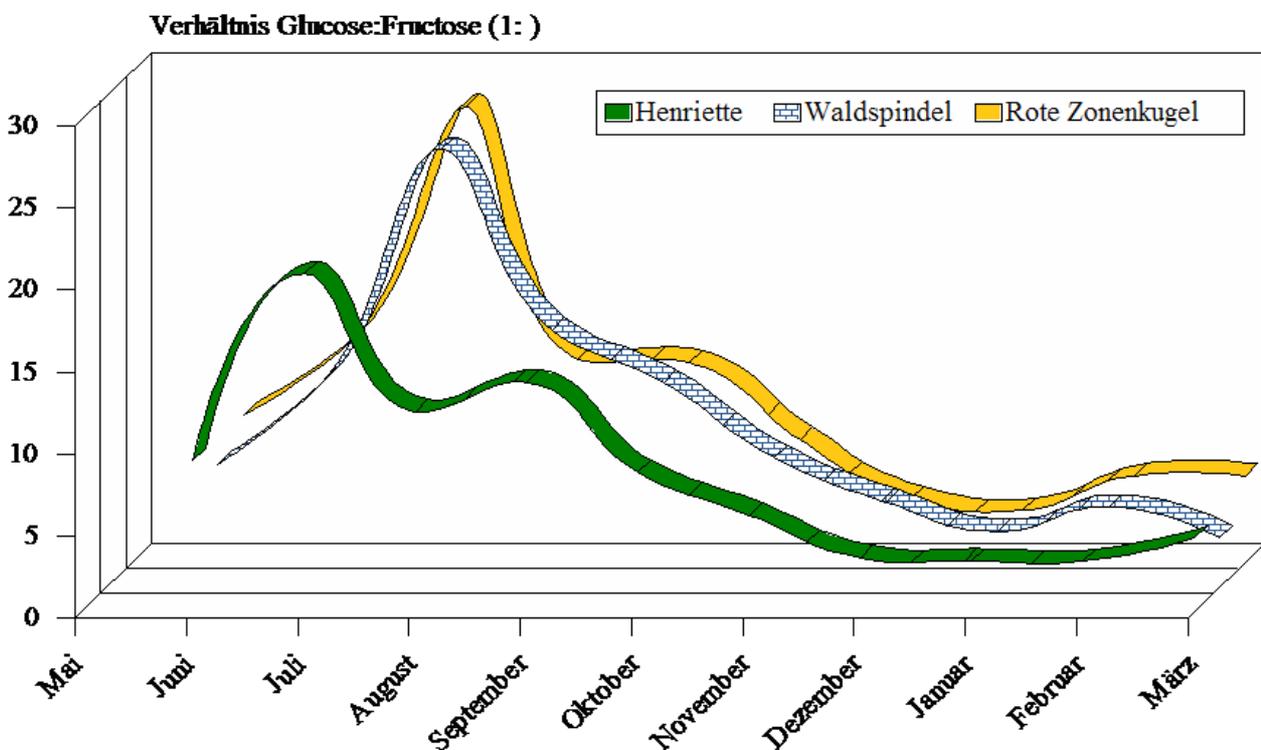


Abb. 10: Einfluss des Erntetermins auf den Polymerisationsgrad der Fructane (LTZ Augustenberg, 2006)

Bemerkenswert sind neben dem Inulingehalt auch die hohen Gehalte an Kalium und Eisen. Mit 657 mg Kalium /100 g Frischmasse (FM) gehört Topinambur zu den kaliumreichsten Gemüsearten überhaupt. Die Sortenunterschiede sind dabei recht groß.

Der durchschnittliche Proteingehalt liegt etwa im Bereich von Kartoffeln, wobei auch hier der Anteil sortenbedingt stark schwankt. Entsprechend differenziert muss auch der Anteil und die Zusammensetzung der Aminosäuren betrachtet werden. Da Topinambur auf verschiedene Weise verarbeitet werden kann (roh, gekocht, trocken erhitzt), muss auch die Acrylamid-Thematik Beachtung finden, beispielsweise bei der Herstellung von Chips. Acrylamid entsteht als Nebenprodukt der Maillard-Reaktion. Untersuchungsergebnisse weisen darauf hin, dass sich Acrylamid insbesondere in Gegenwart von reduzierenden Zuckern und Asparagin bei Hitzeeinwirkung und niedrigem Was-

sergehalt bildet. Bei Topinambur finden wir diese Zucker in recht hoher Konzentration, dabei ist der Erntezeitpunkt entscheidend.

Der Asparaginsäureanteil liegt im Mittel etwas höher als bei der Kartoffel, weist jedoch ebenfalls sortenspezifisch unterschiedliche Gehalte auf.

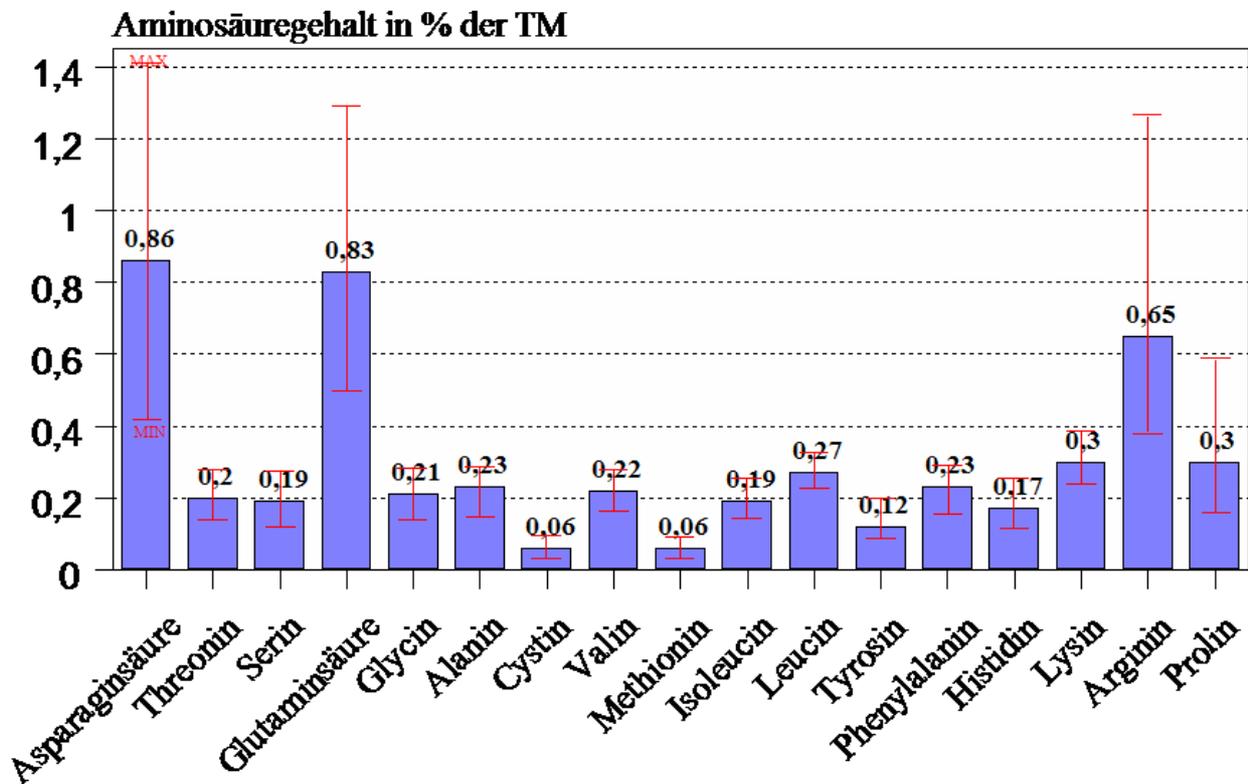


Abb. 11: Aminosäuremuster in Topinambur (LTZ Augustenberg, 2006)

Wie erste Ergebnisse einer noch nicht abgeschlossenen Versuchsreihe am LTZ zeigen, kann der Asparaginsäureanteil in den Knollen durch Düngungsmaßnahmen beeinflusst werden.

Nicht zuletzt entscheidet die Lagerung der Knollen über deren Qualität und Zusammensetzung der Fructane.

1.5 Zusammenfassung

Topinambur (*Helianthus tuberosus* L.) ist eine Kulturpflanze mit hohem Leistungspotenzial, einer interessanten Zusammensetzung ihrer wertgebenden Inhaltsstoffe und daraus resultierend vielseitig nutzbar. Die verschiedenartigen Produktions- und Anwendungsbereiche stellen unterschiedlichste Ansprüche an die Qualitätsparameter des zu verarbeitenden Rohstoffes. Das genetische Potenzial der seit über 50 Jahren züchterisch kaum bearbeiteten Kultur ist sehr stabil und breit angelegt.

Die Auswahl von Sorten, der Erntezeitpunkt und der Einfluss pflanzenbaulicher Maßnahmen, wie Düngung und Wasserversorgung sind aufgrund des speziellen Ablaufes von Synthese und Einlagerung sowie der Zusammensetzung der im Kraut und in den Knollen enthaltenen Inhaltsstoffe, Zucker und Fructane entscheidend für die Qualität des Rohstoffes Topinambur im Hinblick auf dessen Weiterverarbeitung.

2 Einfluss des Erntetermins auf Knollenertrag, Knollengröße und Trockensubstanzgehalt sowie von Inulin- und Zuckerertrag bei Topinambursorten unterschiedlicher Reifezeit im semiariden Produktionsgebiet

Prof. Dr. Peter Liebhard, Universität für Bodenkultur Wien

2.1 Einleitung

Der Bedarf an fruktanhaltigen Pflanzen für die Produktion von „Functional Foods“, Gemüse, Futtermitteln sowie Energie- und Industrierohstoffen ist weltweit steigend. Erst seit wenigen Jahren wird der gesundheitsbezogene Aspekt in der Ernährung hervorgehoben. Lebensmittel, die zusätzlich zu ihrem ernährungsphysiologischen Wert die Gesundheit positiv beeinflussen, wie die physische Leistungsfähigkeit und den Gemütszustand, sowie das Krankheitsrisiko vermindern (KIEFER et al. 2002), sind funktionelle Lebensmittel. Fruktane (Inulin) sind Polymere von Fruktose mit einem Glukoserest.

Bei Topinambur werden bei niedrigem Input (Düngung, Pflanzenschutz) hohe Knollenerträge erzielt. Häufig unterscheiden sich aber bei gleicher Sorte und ähnlichen Standortbedingungen die Erträge. Die starken Ertragsschwankungen sind auf mehrere meist vernetzte Ursachen wie Vegetationsdauer, Temperaturverlauf und Niederschlagsverteilung zurückzuführen (SCHITTENHELM 1999, KOCSIS et al. 2007a). Der Knollenertrag ist im Besonderen von der Krümmenmächtigkeit, der Niederschlagsmenge und der Länge eventuell auftretender Trockenperioden abhängig. Der Einzelpflanzenknollenertrag liegt zwischen 0,5 kg und 1,0 kg. Unter speziellen Bedingungen kann er aber auf 8 bis 10 kg ansteigen (SOJA 1983, RAGAB et al. 2003).

GROTHUS (1990) zeigt in seiner Arbeit, dass das Knollentrockengewicht bis Mitte Oktober ansteigt (Sorte Medius), bis Ende November bleibt es konstant. INCOLL and NEALES (1970) weisen darauf hin, dass je nach Sorte das Knollenwachstum vom 155. bis zum 203. Vegetationstag andauert. Bis zur physiologischen Knollenreife steigt beinahe parallel mit dem Knollenwachstum der Trockensubstanzgehalt an, von 15,6% auf ca. 28,3%. Die Knollengröße korreliert mit dem Fruktangehalt. Obwohl die Fruktansynthese bereits während des frühen Krautwachstums beginnt, werden im Kraut bis zu 30% der Krauttrockenmasse Fruktane eingelagert (STOLZENBURG 2006).

Im gemäßigten Produktionsgebiet wird Inulin überwiegend aus Zichorien und Topinambur, in geringeren Mengen aus Dahlien, produziert. Die Topinambur speichert in ihren Ertragsorganen, sowohl in den Knollen als auch im Kraut, bedeutende Mengen Kohlenhydrate. 87% des Knollengewichtes werden durch die Umlagerung der Photosyntheseprodukte gebildet.

Industriell wird derzeit Inulin überwiegend aus der Wurzelzichorie gewonnen. Für spezielle Produkte wird Topinambur verwendet. Bei der Be- und Verarbeitung der Topinambur sind die Knollengröße und Knollenform von entscheidender Bedeutung. In der Topinamburknolle sind ca. 60% Inulin enthalten (BECK, R.H.F. und W. PRAZNIK 1986, PRAZNIK and BECK 1987, SOJA et al. 1991, ANGELI et al. 2000, De MASTRO et al. 2004, STOLZENBURG 2005, KOCSIS et al. 2007b).

2.1.1 Zielsetzung

Bei Topinambur können je nach Sorte und Nutzungsziel durch Optimierungsmaßnahmen in der Produktionstechnik sowohl der Ertrag als auch die Gewinnbarkeit von Inulin verbessert werden. Für den semiariden Klimaraum, mit zum Teil kontinentalen Witterungsbedingungen, liegen von bedeutenden Sorten kaum Ergebnisse vor, die während der langen möglichen Ernteperiode (Früh-

herbst bis Frühjahr) die Veränderungen im Inulin- und Zuckerertrag aufzeigen. Aufgrund der unterschiedlichen Witterungsbedingungen ermöglichen nur lang-jährige Feldversuche eine Beurteilung des Einflusses der Managementmaßnahmen und des Erntetermins auf Knollengröße und Knollenertrag sowie auf den Inulingehalt und den Zuckerertrag während der gesamtmöglichen Erntezeit.

Ziel der mehrjährigen Feldversuche war es, den Einfluss des Erntetermins unter Berücksichtigung der Jahreswitterung auf die Höhe des Knollenertrages von ausgewählten frühen, mittelspäten und späten Topinambursorten zu beurteilen sowie die Veränderungen im Trockensubstanzgehalt, im Zucker- und Inulingehalt aufzuzeigen.

2.2 Material und Methode

An der Versuchswirtschaft der Universität für Bodenkultur Wien in Groß Enzersdorf, am östlichen Stadtrand von Wien, wurden mehrjährig Feldversuche durchgeführt. Angeführt werden Ergebnisse der Jahre 2000/2001, 2001/2002 und 2002/2003.

Die landwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Flächen gehören zum Produktionsgebiet Niederterrasse des Marchfeldes, sie befinden sich in halboffener Lage, auf 170 m Seehöhe. Das trockene, pannonische Klima ist in dieser Region besonders ausgeprägt. Im langjährigen Durchschnitt fallen 500 bis 550 mm Niederschlag, die mittlere Jahrestemperatur liegt bei 9,7 °C. Während der Hauptvegetationszeit kommt es meist zu längeren Trockenperioden. Außerdem verschärfen die austrocknenden Südostwinde die sommerlichen Dürreperioden. Tiefe Wintertemperaturen sowie geringe Schneedecken verursachen vielfach Kahlfröste. Wie aus Abb. 2-1 und Abb. 2-2 ersichtlich, waren sowohl die Jahresniederschlagsmengen als auch die mittleren Monatstemperaturen in den drei Untersuchungsjahren unterschiedlich hoch.

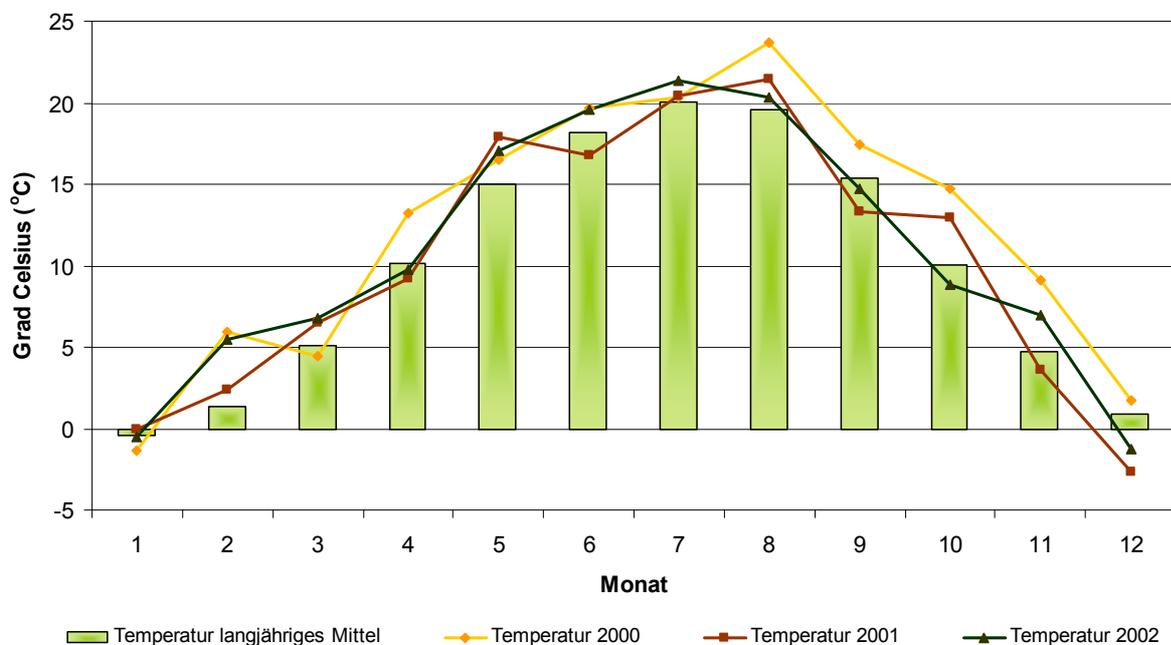


Abb. 2-1: Monatsmittel in °C in den Jahren 2000, 2001 und 2002 im Vergleich zum langjährigen Mittel (Messstelle Versuchswirtschaft der Universität für Bodenkultur Wien)

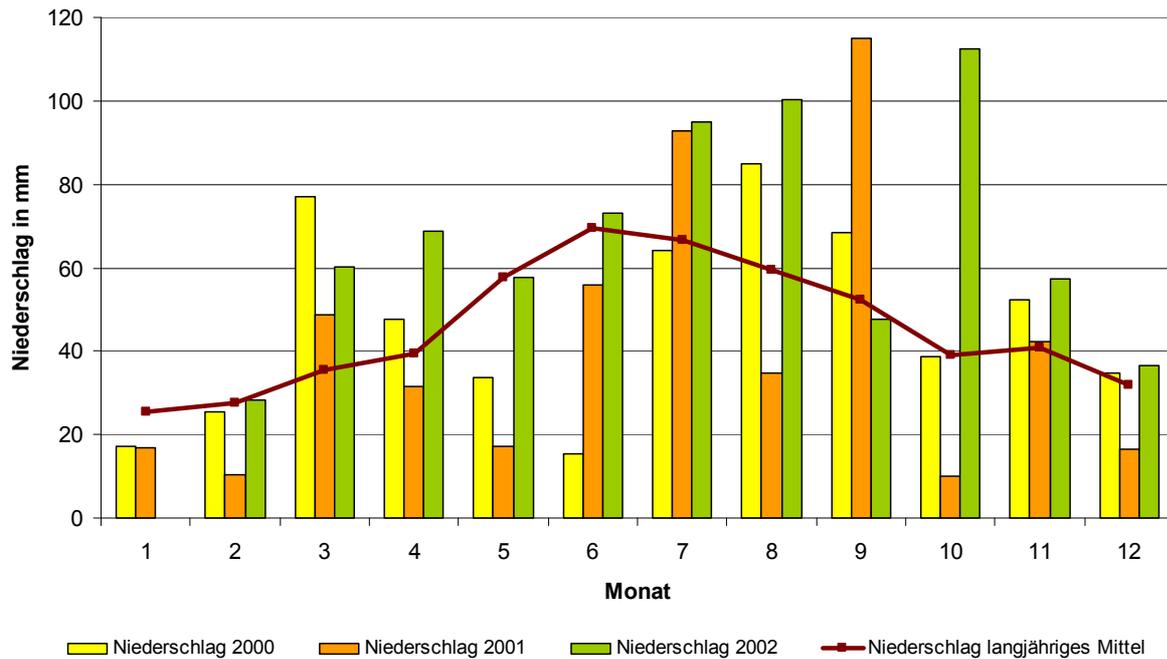


Abb. 2-2: Monatliche Niederschlagsverteilung in mm in den Jahren 2000, 2001 und 2002 im Vergleich zum langjährigen Mittel (Messstelle Versuchswirtschaft der Universität für Bodenkultur Wien)

Der Boden des Versuchsfeldes ist ein flach bis mitteltiefgründiger Tschernosem (30 bis 120 cm zur Schottergrenze) mit mittlerer Wasserspeicherkapazität (ca. 120 bis 170 mm nFK). Die Bodenart der Bearbeitungskrumme (bis 30 cm) ist ein mittelhumoser sandiger Schluff mit guter Durchwurzelbarkeit und mittlerer biologischer Aktivität.

Der Versuch wurde als zweifaktorielle Blockanlage mit sieben Sorten und neun Ernteterminen- nur sechs angeführt - (Tab. 2-1) in zweifacher Wiederholung angelegt. Die Zeitstufenernten von 3. August bis 20. März waren Grundlage für die umfassenden Laboranalysen.

Tab. 2-1: Erntetermine (Kraut- und Knollen) in den Vegetationsjahren 2000, 2001 und 2002/2003

Erntetermin	Termin	ca. Vegetationszeit in Wochen
03. bis 08. August	Termin 1	17
05. bis 10. September	Termin 2	21
14. bis 20. Oktober	Termin 3	26
08. bis 13. Dezember	Termin 4	34
01. bis 05. März	Termin 5	47
17. bis 25. März	Termin 6	50

Die Bruttoparzelle betrug 30 m² (10 m x 3 m, Parzellenbreite 4 Reihen, Reihenabstand 0,75 m, Pflanzabstand 0,33 m). Zur Ermittlung des Knollenertrages, der mittleren Knollenzahl je Pflanze und des mittleren Knollengewichtes wurden jeweils sechs abfolgende Pflanzen der zwei mittleren

Reihen aus der Bruttoparzelle geerntet. Die erste Pflanze je Reihe wurde wegen eines möglichen Randeffektes nicht in die Versuchsauswertung hineingenommen.

Die Bodenbearbeitung und Saatbettvorbereitung wurden nach der guten fachlichen Praxis wie für Kartoffel durchgeführt. Die Pflanztermine lagen zwischen 10. und 20. April. Gedüngt wurde jeweils unmittelbar vor dem Auspflanzen (50 kg N, 40 kg P₂O₅ und 120 kg K₂O ha⁻¹).

Trockensubstanzbestimmung (Kraut und Knollen)

Zu den jeweils angeführten Ernteterminen (Tab. 1) wurden von 6 Pflanzen sämtliche Knollen (über 1,5 cm Länge) mit der Grabgabel händisch geerntet und unmittelbar nach dem Reinigen gewogen.

Trockensubstanzbestimmung (Kraut und Knollen)

Die vorgetrockneten Proben (60 °C) wurden bei 110 °C im Trockenschrank bis zur Gewichtskonstanz getrocknet. Der Trockensubstanzgehalt wurde durch Differenzwägung ermittelt.

Enzymatische Zuckerbestimmung

200 mg gefriergetrocknete Probe wurden mit UHQ Wasser bei 80 °C 2 Stunden extrahiert, danach wurde die Probe zentrifugiert und je nach Bedarf verdünnt. Aus dieser Lösung wurden die Glukose, die Fruktose und die Saccharose enzymatisch mittels der Glukose/Fruktose/Saccharose –UV-Testkombination von Boehringer –Mannheim (Nr.716 260) bestimmt.

Enzymatische Inulinbestimmung

Glukose und Fruktose wurden nach Säurehydrolyse der Fruktane mit der Glukose/Fruktose UV – Testkombination von Boehringer –Mannheim (Nr.716 269) nach Abzug der freien Glukose, Fruktose und Saccharose als Inulin berechnet. Der Zucker- und Inulinertrag wurden unter Einbezug des Knollenertrages rechnerisch ermittelt.

Die Auswertung der ermittelten Daten erfolgte mit dem Statistikprogramm SPSS Version 10.07 (gemischtes lineares Modell). Bei der statistischen Verrechnung der Mittelwerte wurden das Jahr und die Sorte sowie Wechselwirkung Sorte x Jahr als feste Faktoren, die Wiederholung als Zufallsfaktor behandelt. Bei den signifikanten Ergebnissen wurden Mittelwertvergleiche zwischen den Sorten mithilfe des Tukey-Tests mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha \leq 0,05$ durchgeführt. Korrelationen wurden mithilfe des Pearson Korrelationskoeffizienten geprüft.

2.3 Ergebnisse und Diskussion der Ergebnisse

Die Optimierung des Erntetermins bei unterschiedlichen Topinambursorten zur Erreichung hoher Erträge und der geforderten Qualitätsprofile - Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten, Inulingehalt und dessen Polymerzusammensetzung, Protein- und Mineralstoffgehalt - ist sowohl für die Kraut- als auch für die Knollennutzung entscheidend.

Obwohl in den angeführten Jahren die Auspflanzung aufgrund des jeweiligen Witterungsverlaufes in der Zeit zwischen 2. bis 13. April erfolgte, lag der Feldaufgang aller Sorten innerhalb sechs abfolgender Kalendertage.

Der unterschiedliche Witterungsverlauf während der Vegetationszeit in den drei Versuchsjahren führte zu einem sorten- und jahresabhängigen unterschiedlichen Kraut- und Knollenwachstum.

Zwischen Kraut- und Knollenertrag kam es in allen Jahren zu einer negativen Korrelation ($r = -0,11^*$).

Der Knollenansatz und die Knollenbildung wurden entwicklungsphysiologisch gesteuert. Im **Knollenertrag** kam es zu einem hohen Sorten-, Jahres- und Standorteinfluss. Die sortenbezogenen maximalen Knollenerträge wiesen deutliche Jahresunterschiede auf (Abb. 2-3). Bei allen Sorten mit Ausnahme der Frühsorte Bianka wurden durch höhere Wärmesummen höhere Knollenerträge erreicht (Ergebnisse nicht angeführt). Die maximalen Knollenerträge wiesen deutliche Unterschiede auf.

Die frühe Sorte Bianka erreichte bereits ab Mitte September, die mittelfrühe Sorte Topstar ab Ende September; die mittelspäte Sorte Violet de Rennes sowie die späten Sorten Rote Zonenkugel, Fuseau 60 und Waldspindel hingegen erst ab Mitte bis Ende November den höchsten Knollenertrag.

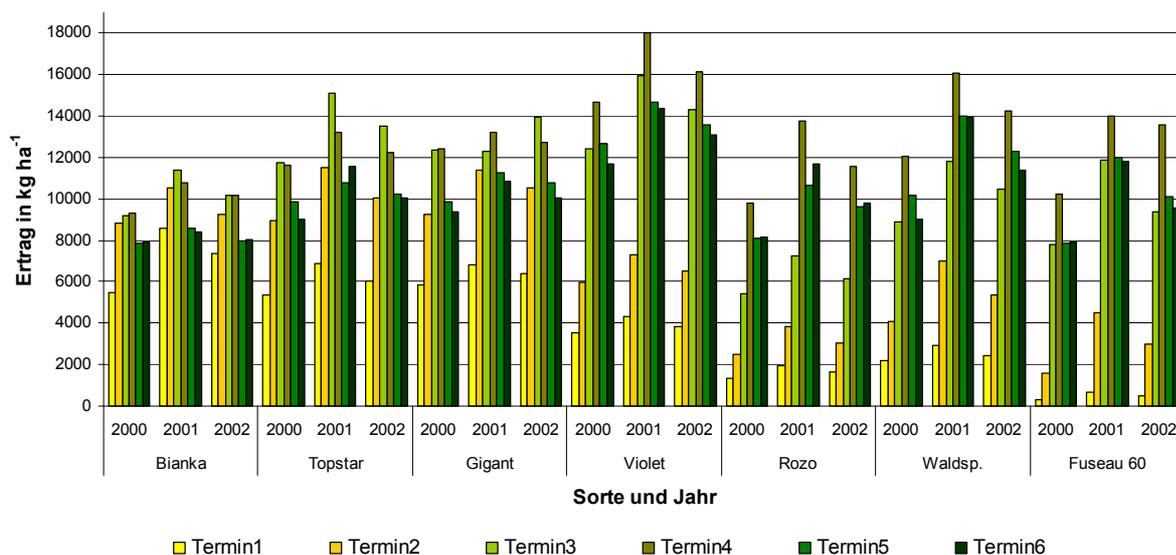


Abb. 2-3: Einfluss der Sorte und des Erntetermins auf den Knollenertrag in kg/ha^{-1} , im Hinblick auf die unterschiedlichen Witterungsbedingungen in den Vegetationsjahren 2000, 2001 und 2002

Knollengröße und Knollenform sind bei der Verwertung von geschälten Knollen von besonderer Bedeutung. Die mittlere Knollengröße war mit wenigen Ausnahmen von der mittleren Knollenzahl/Pflanze (Werte nicht angeführt) abhängig. Die Sorten Waldspindel und die frühen Sorten Bianka und Topstar wiesen die höchste mittlere Knollenzahl/Pflanze auf, die mittelspäten und späten Sorten Violet de Rennes, Fuseau 60, und Rote Zonenkugel eine relativ geringere mittlere Knollenzahl/Pflanze.

Die Knollengröße wurde bei allen Sorten absteigend durch die Faktoren Sorte, Temperaturverlauf und Niederschlagsmenge beeinflusst. Aufgrund des unterschiedlichen Witterungsverlaufes in den angeführten Jahren (Abb. 2-1 und Abb. 2-2) wurde sortenabhängig das maximale Einzelknollengewicht bei unterschiedlichen Ernteterminen erreicht. Mittelspäte und späte Sorten nützen die Niederschläge im Spätsommer und Herbst noch voll für das Knollenwachstum (Abb. 2-2). Die Knollen der Sorte Violet de Rennes und Rote Zonenkugel waren im Vergleich zu den Sorten Fuseau 60 und Waldspindel beinahe doppelt so schwer. Sorten mit spätem Knollenbildungsbeginn weisen wesentlich mehr schwach verdickte Stolonen auf. Hervorzuheben ist die Sorte Waldspindel mit hoher Knollenzahl, stark verzweigten Knollen und geringem Knollengewicht.

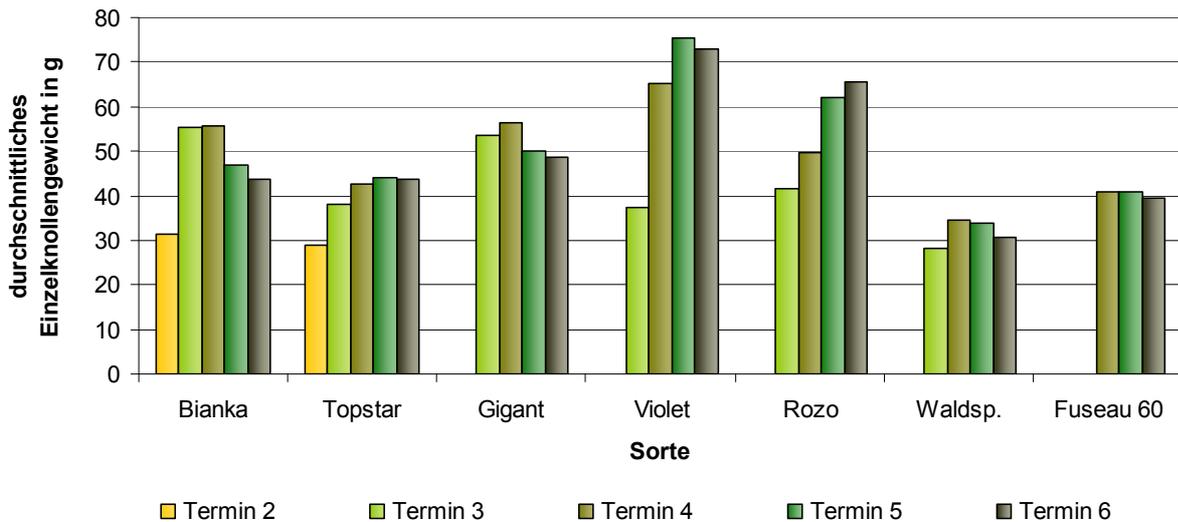


Abb. 2-4: Einfluss der Sorte und des Erntetermins auf das Einzelknollengewicht in g (Mittelwerte) im Hinblick auf die unterschiedlichen Witterungsbedingungen in den Vegetationsjahren 2000, 2001 und 2002

Das zum Teil extrem unterschiedliche Einzelknollengewicht ist einerseits sowohl bei den frühen als auch bei den späten Sorten auf die unterschiedliche Knollenzahl/Pflanze und andererseits auf die unterschiedlich hohe Zahl der frostfreien Tage im Spätherbst zurückzuführen (Abb. 2-4). Die mittelspäten und späten Sorten konnten durch die jeweils höhere Wärmesumme (nicht angeführt) die geringen Niederschlagsmengen für ein höheres maximales Einzelknollengewicht nutzen.

Der **Trockensubstanzgehalt in den Knollen** weist im Verlauf des möglichen Erntezeitraumes große Unterschiede auf. Einerseits wurde er vom Erntetermin und andererseits von der Sorte beeinflusst. Bei jeder Sorte wurde der höchste Trockensubstanzgehalt in den Knollen zum Zeitpunkt der Krautvergilbung, von Anfang September bis Mitte November, erreicht (Abb. 2-5).

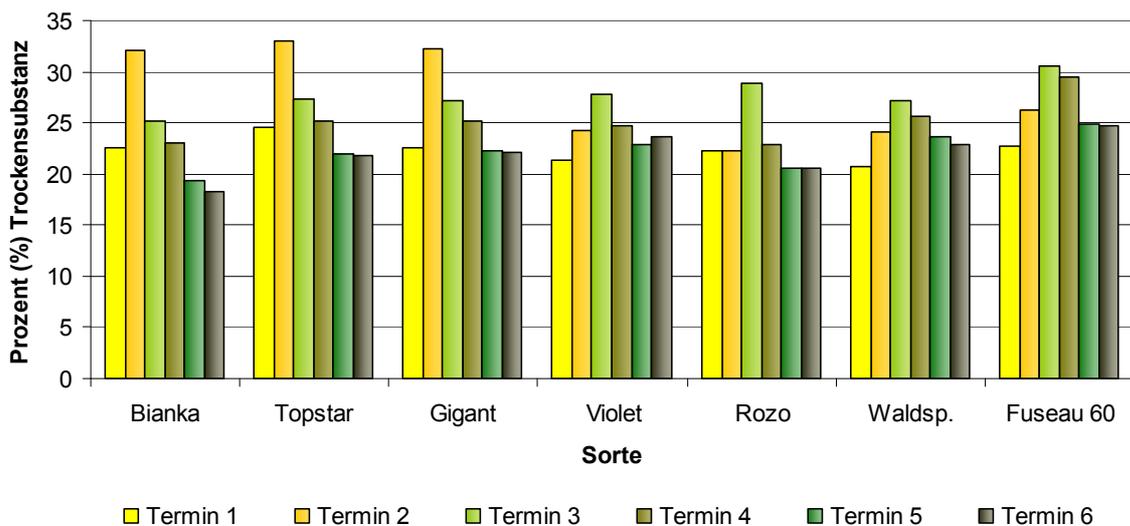


Abb. 2-5: Einfluss der Sorte und der Witterung auf den Verlauf des Trockensubstanzgehaltes der Knollen in %. Mittelwert Vegetationsjahr 2000, 2001 und 2002

Mittelspäte und späte Sorten weisen meist einen höheren Trockensubstanzgehalt auf (SCHITTENHELM und SOMMER 1993, LIEBHARD et al. 2007). In den Knollen kam es während der Frühfrostperiode von Ende Oktober bis Mitte Dezember entweder nur zu einer geringen oder gar keiner Änderung im Trockensubstanzgehalt. Ergebnisse dieser Art werden auch von ISHIKAWA and YOSHIDA (1985) sowie KOCSIS et al. (2008) angeführt. Bis zum spätestmöglichen Erntetermin - Ende März - kam es je nach Sorte und Witterungsverlauf zu einem mehr oder weniger starken Rückgang des Trockensubstanzgehaltes in den Knollen. Ursache ist die Umlagerung der Kohlenhydrate von der hochmolekularen in die niedermolekulare Form (KOCSIS et al. 2007b).

Der **Inulingehalt** verhält sich überwiegend entgegengesetzt dem Knollenertrag und wurde durch den Erntetermin und die Sorte beeinflusst (Abb. 2-6).

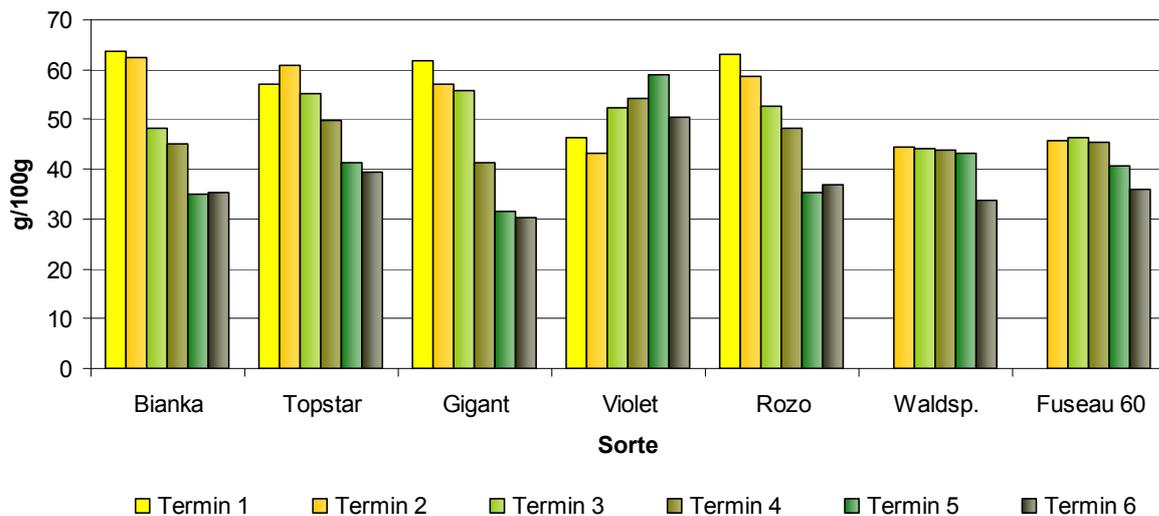


Abb. 2-6: Einfluss der Sorte und des Erntetermins auf den Inulingehalt in % der TM

Die höchsten Inulinerträge (nicht angeführt) konnten bei den Frühsorten Bianka (9,8 t/ha) und Topstar (10,7 t/ha) bis zum Eintreten leichter Fröste (Frühfrost), bei den übrigen Sorten erst bei Eintreten stärkerer Fröste geerntet werden. Hohe Inulinerträge wurden mit frühen und mittelspäten Sorten erzielt.

Im **Zuckerertrag** werden die Erträge der niedermolekularen Zucker (Glukose, Fruktose und Saccharose vor der Hydrolyse) angeführt. Im Vergleich zum Inulinertrag lag der Zuckerertrag um ein Mehrfaches niedriger.

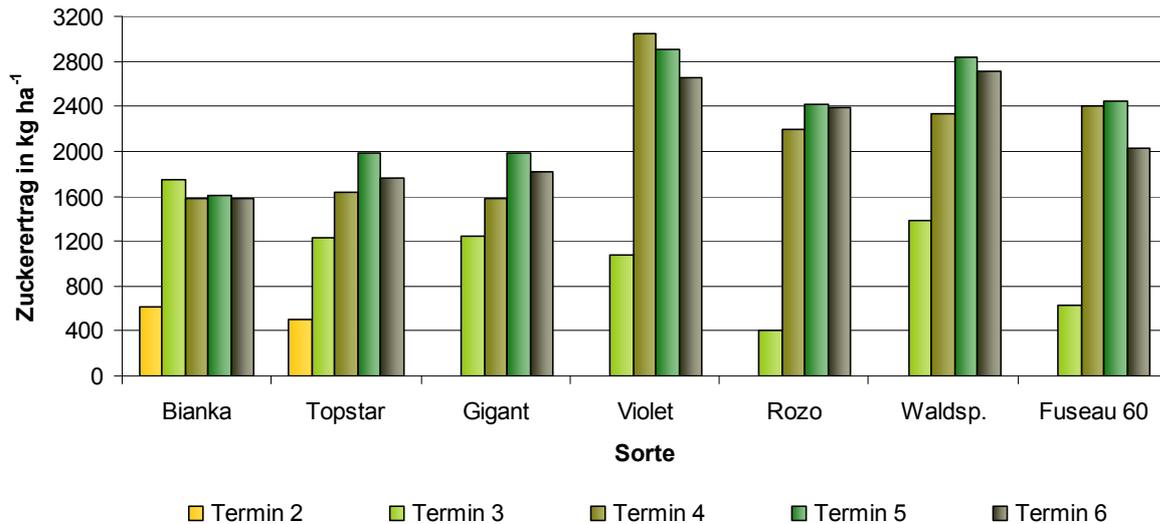


Abb. 2-7: Einfluss der Sorte und des Erntetermins auf den Zuckerertrag in kg der TM ha⁻¹

Für die Biospritproduktion ist der Gesamtertrag der wasserlöslichen Kohlenhydrate, d.h. niedermolekulare Zucker (Fruktose, Glukose, Saccharose) und Inulin, entscheidend. Das Maximum der Bildung der wasserlöslichen Kohlenhydrate wird bezogen auf die Wärme-Summe bei allen untersuchten Sorten wesentlich früher erreicht als der maximale Knollenertrag. Zum Zeitpunkt des maximalen Knollenertrages ist noch eine ausreichende Menge an Gesamtkohlenhydraten vorliegend, daher ist dieser Erntezeitpunkt für die Fermentation zu Alkohol als optimal anzusehen. Generell erhöhte sich bei allen untersuchten Topinambursorten der Anteil der niedermolekularen Zucker durch den Froststress. Die Kältetoleranz steigt mit Zunahme der niedermolekularen Kohlenhydrate (besonders Saccharose), diese wirken in den Knollen als Membranschützer (ISHIKAWA and YOSHIDA 1985).

2.4 Zusammenfassung

Aufgrund des extrem sortenunterschiedlichen Verhaltens von Topinambur ist es nicht möglich, den oberirdischen Entwicklungszustand als Beurteilungsgrundlage für das Knollenwachstum oder die Knollenreife heranzuziehen. Der jahresunterschiedliche Witterungsverlauf führt zu einem unterschiedlich frühen oder späten Erreichen einer speziellen Wärmesumme, die für die Zuckereinlagerung bzw. das Knollenwachstum wesentlich verantwortlich ist. Die Zuckerbildung verläuft in verschiedenen Pflanzenteilen parallel, zwischen Blättern und Stängeln sowie Wurzeln und Knollen kommt es zu einer Interaktion.

Maximale Knollenerträge werden bei frühen Sorten bereits im Frühherbst, bei mittelspäten und späten Sorten kurz vor Winterbeginn erreicht. Bei Frühjahrsernten muss bei allen Sorten mit Ertragsverminderung gerechnet werden. Die Kenntnis des durch Sorten und Witterung beeinflussten Knollenertrages bzw. des mittleren Knollengewichtes ist für die Verarbeitung entscheidend.

In Abhängigkeit der Reifezeit der Sorte kommt es zu einer zeitlich unterschiedlichen Maximierung des Inulingehaltes in den Knollen. Je nach Sorte liegt der optimale Erntetermin für den maximalen Inulinertrag von Herbstbeginn bis spätestens Frühwinter. Die regional früher oder später auftretenden Frosttage in diesem Zeitraum sind für den maximalen Inulinertrag entscheidend.

Hohe Zuckererträge ergaben die Sorten Violet de Rennes, Rote Zonenkugel und Fuseau 60. Die höchsten Inulin- und Zuckererträge wurden je nach Sorte zu unterschiedlichen Ernteterminen erreicht.

Bei Überwinterung der Knollen im Boden kommt es zu einem Abbau von Inulin (in Abhängigkeit der Frost- und Eistage) und zu einer Erhöhung des Saccharosegehalts. Für bestimmte Verarbeitungsrichtungen wie für die Hochfruktosesirup – und Inulin Herstellung ist ein früher Erntetermin besonders wichtig, wenn möglich vor Eintritt des Frostes. Die Frühjahrsernte weist gewisse Vorteile für eine niedermolekulare Zucker- bzw. Ethanolproduktion auf.

5. Literaturverzeichnis

- ANGELI, I., J. BARTA & L. MOLNÁR, 2000: A gyógyító csicsóka, Mezőgazda Kiadó., Budapest.
- BECK, R.H.F. und W. PRAZNIK, 1986: Inulinhaltige Pflanzen als Rohstoffquelle: Biochemische und Pflanzenphysiologische Aspekte. *Starch (Stärke)* 38, 391-394.
- GROTHUS, R., 1990: Fruktanspeicherung bei Topinambur (*Helianthus tuberosus* L.) unter dem Einfluß variierter Kalium – und Wasserversorgung. Diss. Georg August Universität, Göttingen.
- INCOLL, L.D. and T.F. NEALES, 1970: The stem as a temporary sink before tuberization in *Helianthus tuberosus* L. *J. Exp. Bot* 21, 469-476.
- ISHIKAWA, M. and S. YOSHIDA, 1985: Seasonal changes in Plasma membranes and Mitochondria Isolated from Jerusalem artichoke Tubers. Possible Relationship to Cold Hardiness. *Plant Cell Physiol.* 26, 1331-1344.
- KIEFER, I. P. BURGER, M. BLASS, E. BERGHOFER and F. HOPPICHLER, 2002: Functional Food – Lebensmittel mit Zusatznutzen? *J. Ernährungsmed.* 2, 10-15.
- KOCSIS, L., H. –P. KAUL, W. PRAZNIK und P. LIEBHARD, 2007a: Einfluss des Erntetermins auf den Kraut- und Knollenertrag unterschiedlicher Sorten von Topinambur (*Helianthus tuberosus* L.) im semiariden Produktionsgebiet Österreichs. *Pflanzenbauwissenschaften*, 11 (2),67-76.
- KOCSIS;L., P. LIEBHARD and W. PRAZNIK, 2007b: Effect of Seasonal Changes on Content and Profile of Soluble Carbohydrates in Tubers of Different Varieties of Jerusalem Artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) *J. Agric. Food Chem.* 55, 9401-9408.
- KOCSIS, L., W. PRAZNIK und P. LIEBHARD, 2008: Einfluss des Erntetermins auf Knollengröße und Trockensubstanzgehalt sowie Inulin- und Zuckerertrag bei Topinambursorten unterschiedlicher Reifezeit (*Helianthus tuberosus* L.) im semiariden Produktionsgebiet Österreichs. *Pflanzenbauwissenschaften*, 12 (1),8-21.
- LIEBHARD, P., W. PRAZNIK und H.–P. KAUL, 2007: Einfluss von Sorte und Erntetermin auf ausgewählte auf den Kraut- und Knollenertrag sowie ausgewählte Inhaltsstoffe bei Topinambur im semiariden Produktionsgebiet Österreichs. Tagungsunterlage zum 3. Fachtag für Topinambur an der Landesanstalt für Pflanzenbau Forchheim: Rohstoffqualität und Verwertungsmöglichkeiten für Topinambur. P. Schweiger und K. Stolzenburg. Landesanstalt für Pflanzenbau Forchheim, D-76287 Rheinstetten, 52-57.
- MASTRO, G. DE, G. MANOLIO and V. MARZI, 2004: Jerusalem Artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) and Chicory (*Cichorium intybus* L.): Potential Crops for Inulin Production in the Mediterranean Area. *Acta Hort.* 629, 365-374.
- PRAZNIK, W. and R.H.F. BECK, 1987: Inulin composition during growth of tubers of *Helianthus tuberosus*. *Agric. Biol. Chem.* 51, 1593-1599.

- RAGAB, M.E., Kh. A. OKASHA, I.I.EL – OKSH and N.M. IBRAHIM, 2003: Effect of cultivar and Location on Yield, Tuber Quality and Storability of Jerusalem Artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) I. Growth, Yield and Tuber Characteristics. *Acta Hort.* 620, 103–110.
- SCHITTENHELM, S., 1999: Agronomic performance of Root Chicory, Jerusalem Artichoke and Sugarbeet in Stress and Nonstress Enviroments. *Crop Sci* 39, 1815–1823.
- SCHITTENHELM, S. und E. SOMMER, 1993: Einfluß von Beregnung und Stickstoffdüngung auf agronomische Eigenschaften von Topinambur (*Helianthus tuberosus* L.). *Landbauforsch. Volk* 43, 5-11.
- SOJA, G., 1983: Untersuchungen über die Dynamik von Wachstum und Stoffeinlagerung in die Knollen dreier Topinambursorten (*Helianthus tuberosus* L.). Diplomarbeit. Universität für Bodenkultur Wien.
- SOJA, G., G. DERSCH and W. PRAZNIK, 1991: Harvest Dates, Fertilizer and Varietal Effects on Yield, Concentration and Molecular Distribution of Fructan in Jerusalem Artichoke (*Helianthus tuberosus* L.). *J. Agron. Crop. Sci* 165, 181-189.
- STOLZENBURG, K., 2005: Rohstoffqualität und Vermarktungsmöglichkeiten von Topinambur. *Landinfo* 2, 44-46.
- STOLZENBURG, K., 2006: Topinambur (*Helianthus tuberosus* L.) als energieliefernde Pflanze im Bereich Biogas und Bioethanol: *Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss.* 18. Verlag Schmidt & Klanig., Kiel, 126-127.

Methanbildungsvermögen und Biogasqualität bei der Vergärung von Topinamburkraut

P. Liebhard, C. Zeitlhofer, H.P. Kaul und T. Amon

1. Einleitung

Die Produktion und Nutzung von Biogas wurde im vergangenen Jahrzehnt von vielen landwirtschaftlichen Betrieben aus mehrfachen Gründen ausgeweitet. Zum Einen war es der technische Fortschritt bei den Fermentations- und Aufbereitungsanlagen und der Marktanreiz durch die sichere Abnahme des Ökostroms. Im Weiteren erfordert die gesicherte Energiebereitstellung eine dezentrale Produktion und außerdem treten ökologische Aspekte immer mehr in den Vordergrund. Motiviert durch die marktwirtschaftlichen Rahmenbedingungen und die gesellschaftspolitischen Zielsetzungen werden an die Landwirtschaft hohe Anforderungen gestellt. Das Potential der Energiegewinnung aus Biogas ist bezogen auf die hochwertige Rohstoffaufbringung aus nachwachsender Biomasse noch nicht ausgeschöpft.

Das hohe Ertragspotential und die vielfältigen Verwertungsmöglichkeiten von Topinambur erhöhen das aktuelle Interesse an dieser Pflanze. In den vergangenen Jahrzehnten war Topinambur vor allem als Futterpflanze von Bedeutung, derzeit hingegen als Diät-Nahrungsmittel oder als Rohstofflieferant für die Alkohol- und Zuckererzeugung sowie für die Biogasproduktion.

1.1. Problemstellung und Zielsetzung

Die hochwertige Verwertungsmöglichkeit von Topinamburkraut und -knollen wird noch während der Hauptvegetationszeit oder der Wintermonate durch die relativ kurzzeitige Veränderung des Kohlenhydratmusters im Erntegut beeinträchtigt. Im Weiteren wird durch eine relativ späte Krauternte der Knollenertrag nur mehr geringfügig vermindert. Die großen Sortenunterschiede in der Reifezeit, gekoppelt an den Auf-, Ab- und Umbau der Kohlenhydrate im Stängel und in den Knollen sowie die gute ökologische Anpassungsfähigkeit an die großen regionalen Standortunterschiede heben die zunehmende Bedeutung der Topinambur als Energielieferant hervor.

Ziel der angeführten Feldversuche mit den unterschiedlichen Sorten und der Krautzeitstufenernte war es, den spätestmöglichen sortenabhängigen Krauterntetermin für eine noch wirtschaftliche Biogasproduktion im semiariden Produktionsraum zu ermitteln.

2. Material und Methode

Die mehrjährigen Feldversuche wurden an der Außenstelle der Universität für Bodenkultur Wien, an der Versuchswirtschaft der Universität für Bodenkultur Wien in Groß Enzersdorf, am östlichen Stadtrand von Wien, durchgeführt.

Der Boden des Versuchsfeldes ist ein flach- bis mitteltiefgründiger Tschernosem (30 bis 120 cm zur Schottergrenze) mit mittlerer Wasserspeicherkapazität (ca. 120 bis 170 mm nFK). Die Bodenart der Bearbeitungskrumme (bis 30 cm) ist ein mittelhumoser sandiger Schluff mit guter Durchwurzelbarkeit und mittlerer biologischer Aktivität.

Die Bodenbearbeitung und Saatbettvorbereitung wurden nach der guten fachlichen Praxis wie für Kartoffel durchgeführt. Gedüngt wurde jeweils unmittelbar vor dem Auspflanzen (50 kg N, 40 kg P₂O₅ und 120 kg K₂O ha⁻¹).

Abb. 2-8 zeigt den Witterungsverlauf im Vegetationsjahr 2004.



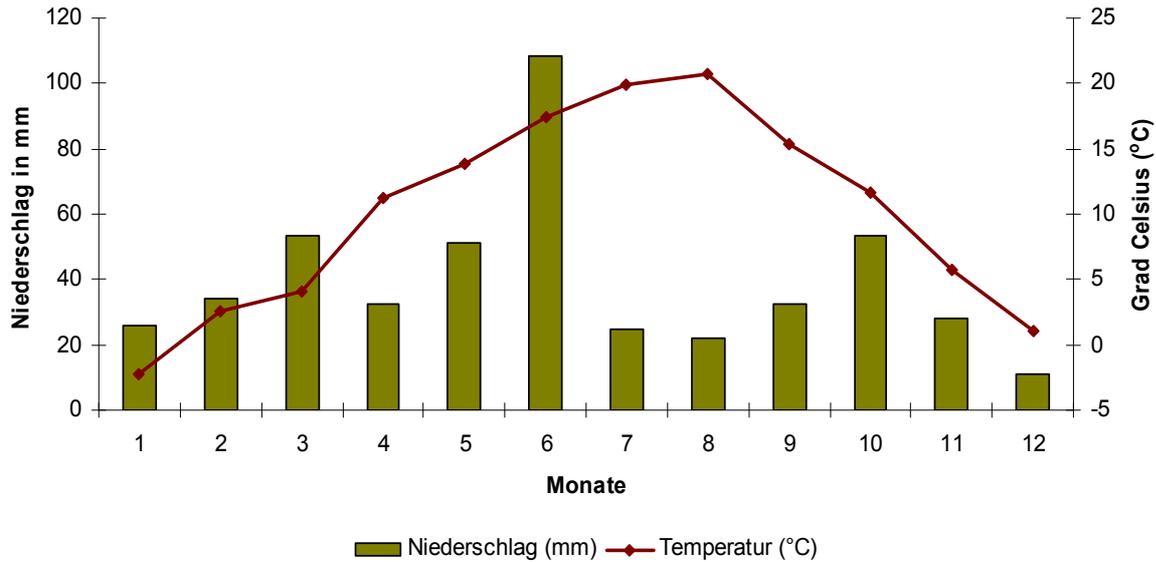


Abb. 2-8: Monatliche Niederschlagsverteilung in mm und Temperatur-Monatsmittel in °C im Jahr 2004 (Messstelle Versuchswirtschaft der Universität für Bodenkultur Wien)

Der Sortenvergleichsfeldversuch umfasst insgesamt 64 Sorten und ist als zwei-faktorielle Blockanlage in zweifacher Wiederholung angelegt.

Der Anbau der Sorten für die Kraut-Zeitstufenernte und die weiterführenden Analysen erfolgte am 6. April 2004 mit frischgeerntetem Pflanzgut eigener Produktion. Der Feldaufgang aller angebauten Sorten erstreckte sich über eine Woche und wurde mit Beginn der 17. Kalenderwoche festgelegt (19. April 2004).

Die Bruttoparzelle betrug 30 m² (10 m x 3 m, Parzellenbreite 4 Reihen, Reihenabstand 0,75 m, Pflanzabstand 0,33 m). Zur Ermittlung des Krautertrages je Pflanze wurden jeweils sechs abfolgende Pflanzen der zwei mittleren Reihen aus der Bruttoparzelle händisch (mit Sichel) geerntet. Die erste Pflanze je Reihe wurde wegen eines möglichen Randeffektes nicht in die Versuchsauswertung hinein-genommen.

Zur Ermittlung des Biogasertrages aus Topinamburkraut wurden die frühe Sorte Bianka und die spätreifende Sorte Fuseau 60 herangezogen.

Tab. 2-2: Krauterntetermine im Vegetationsjahr 2004

Erntetermin	Vegetationszeit in Wochen (ab Feldaufgang)
22. Juli	14
24. August	18
24. September	23
27. Oktober	28

Das Erntegut wurde unmittelbar mit einem Proben-Axialhächsler (Wintersteiger) auf eine Länge von 1,0 bis 3,0 cm geschnitten und danach mit einem Mixer (Büchli) auf eine Partikelgröße von 0,1 cm feinzerkleinert.

Das zerkleinerte Erntegut wurde nach guter Durchmischung in Polyflaschen von 2 l Volumen gefüllt, mit einem Kolben händisch verdichtet und für den Siliervorgang über einem Zeitraum von mindestens 4 bis 6 Wochen gelagert. Diese Art der Silierung entspricht der Standardkonservierung von Energiepflanzen in der Biogaserzeugung.

Vor und nach der Vergärung wurden von den Proben Analysen durchgeführt. Die Analysen erfolgten nach dem Standardverfahren ALVA (1983).

Trockensubstanzbestimmung (Kraut) TS

Rohasche XA

Organische Trockensubstanz oTS

Rohprotein XP

Rohfett XL

Rohfaser XF

Gehalt an organischem Stickstoff (N_{org}) und organischem Kohlenstoff (C_{org}) – Elementaranalysator

Ammoniumstickstoff (NH₄-N) Destillation (DIN 38406/Teil5)

NDF (neutral detergent fibre und ADF (acid detergent fibre = Rohlignin) Methode Van Soest et al. (1991)

Gehalt an Zellulose (Zel) = Differenz zwischen ADF und ADL Gehalt an Hemizellulose (H-Zel) Differenz zwischen NDF und ADF

Methanertrag – Biogasproduktion mit Eudiometer (nach DIN 38414/Teil 8 bzw. VDI 4630 (2006)), die gebildete Biogasmenge von 40 Tagen wird ermittelt.

Die Methankonzentration (CH₄) des Biogases wurde mit einem transportablen Gasanalysator „Dräger X-am 7000“ alle drei Tage ermittelt.

Verwendetes Inokulum: Mischung aus zwei laufenden Biogasanlagen (Substrat Anlage A: Energiepflanzen. Anlage B: Energiepflanzen und Schweinegülle).

3. Ergebnisse und Diskussion der Ergebnisse

Der Witterungsverlauf im Frühjahr und Frühsommer entsprach etwa dem lang-jährigen Mittel und so kam es zu einem erwarteten sortentypischen unterschiedlichen Jugendwachstums- und Entwicklungsverlauf des Topinamburbestandes im semiariden Produktionsgebiet. Ab Anfang Juli bis Mitte Oktober war die Niederschlagsmenge äußerst gering (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**) und daher kam es bei der Spätsorte Fuseau 60 zu einem vorzeitigen Krautwachstumsabschluss, was sich sowohl im Ertrag als auch im Trockenmassegehalt zeigt (Tab. 2-2). Im Mittel der Jahre stieg an diesem Versuchsstandort der Krautertrag bei der Sorte Fuseau 60 bis Anfang Oktober an (LIEBHARD et al. 2007, KOCSIS et al. 2007).

Tab. 2-3: Krautertrag (Stängel und Blätter) in kg ha von Ende August bis Ende Oktober im Vegetationsjahr 2004

	Kraut Erntetermine							
	22. 7. 2004		24. 8. 2004		24. 9. 2004		27.10. 2004	
Sorte	Bianka	Fuseau 60	Bianka	Fuseau 60	Bianka	Fuseau 60	Bianka	Fuseau 60
Mittlere Wuchshöhe [in cm]	185	220	205	235	210	225	180	210
Krautertrag [kg FM ^x ha ⁻¹]	66 900	68 700	23 300	35 300	18 100	29 500	10 200	17 500
TS Gehalt in der FM [%]	30,87	34,56	58,32	48,30	47,62	46,37	73,45	55,52
oTS Gehalt in der TS [%]	89,42	89,64	91,80	92,47	91,96	92,49	92,56	93,34
Krautertrag [kg oTM ^x ha ⁻¹]	18 500	21 300	12 500	15 800	7 900	12 700	6 900	9 100

Aufgrund des besonderen Witterungsverlaufes im Jahr 2004 wurden nur die Ernte-proben der Sorte Fuseau 60 vom ersten, zweiten und vierten Erntetermin zur Biogas-ertragsermittlung herangezogen.

Tab. 2-4: Analyseergebnis der silierten Krautproben (Stängel und Blätter) vor der Methan-ertragsermittlung, Erntegut der Sorte Fuseau 60 im Vergleich zum Inokulum

Erntetermin	TS Gehalt in der FM [%]	oTS Gehalt in der TS [%]	(NH ₄ -N) TS [%]	Rohprotein TS [%]	Rohasche TS [%]
22. 7. 2004	31,57	28,17	0,13	6,006	10,7
24. 8. 2004	30,84	27,75	0,12	5,57	10,0
27.10. 2004	56,61	50,30	0,07	2,83	11,1
Inokulum	5,60	44,33	1,80	17,3	20,9

Der Methanertrag wurde bei einer Gärdauer von 50 Tagen ermittelt. Die anaerobe Gärung aller Proben verlief bei optimalen Bedingungen (pH-Wert 7,5 und bei 37,5 °C).

Tab. 2-5: Biogas- [NI Biogas (kg oTS)⁻¹] und Methanertrag [NI CH₄ (kg oTS)⁻¹] der silierten Krautproben (Stängel und Blätter) unterschiedlicher Erntetermine, Erntegut der Sorte Fuseau 60

Erntetermin	Biogasertrag	Methanertrag
22. 7. 2004	466	228
24. 8. 2004	437	203
27.10. 2004	358	193
27.10. 2004 + Enzyme	314	202

Erwartungsgemäß sank auch bei Topinamburkraut mit zunehmendem Trockensubstanzgehalt im Erntegut der Biogasertrag. Zu einer deutlichen Verminderung kam es bei Überschreiten der 50%-Grenze. Die erzielten Biogas- bzw. Methanerträge je (kg oTS)⁻¹ liegen im Vergleich zu anderen Resterntegütern im oberen Bereich. Bei einer Verwertung der Knollen und des Krautes zum spätestmöglichen Termin sind hohe ha-Biogaserträge zu erwarten. Topinamburknollen ergaben einen Biogasertrag von ca. 774 l_N/kg_{oTS} (HENGELHAUPT et al. 2008), von mindestens 100 l_N/kg_{oTS} über allen übrigen einjährigen alternativen Fuchtarten, auch von Mais. Bereits die Ergebnisse von SOJA und LIEBHARD (1984), STOLZENBURG (2002 und 2006) sowie AMON et al. (2003) weisen darauf hin.

Tab. 2-6: Methan- [Vol. %], Schwefelwasserstoff- [ppm] und Wasserstoffkonzentration [ppm] im anfallenden Biogas der silierten Krautproben (Stängel und Blätter) unterschiedlicher Erntetermine, Erntegut der Sorte Fuseau 60. Mittelwert von je 8 Messwerten

Erntetermin	CH ₄ -Gehalt [Vol. %]	H ₂ S-Gehalt [ppm]	H ₂ -Gehalt [ppm]
22. 7. 2004	49	126	355
24. 8. 2004	46	165	450
27.10. 2004	54	123	324
27.10. 2004 + Enzyme	64	117	321

Der Methangehalt vom Erntegut der ersten beiden Beprobungstermine lag unter 50 %. Die Zugabe einer Enzymmischung aus Zellulasen und H-Zellulasen erhöhte deutlich den Methangehalt im Biogas. Relativ gering ist der Schwefelwasserstoffgehalt bei der Vergärung von Topinamburkraut. Ebenso im unteren Bereich lag die Wasserstoffkonzentration im Biogas (im Vergleich zu anderen Substraten bei nachwachsenden Rohstoffen).

4. Zusammenfassung

Unter semiariden Standortbedingungen mit besonderer Sommertrockenheit (von Anfang Juli bis Anfang Oktober) wurde für das aufwachsende Kraut einer frühen (Bianka) und einer späten Topinambursorte (Fuseau 60) von vier Ernteterminen, von 22. Juli bis 27. Oktober, nach einer Silierung im Labor der Biogas- bzw. der Methanertrag ermittelt (mit einem Eudiometer nach DIN 38414/Teil 8 bzw. VDI 4630 (2006)),

Die erzielten Biogaserträge je $(\text{kg oTS})^{-1}$ lagen im Vergleich zu Ergebnissen der Literatur aufgrund des höheren Trockensubstanzgehaltes des Erntegutes mit 466 bis nur 358 $\text{I}_\text{N}/\text{kg}_{\text{oTS}}$ geringfügig unter den erwarteten Werten. Die Qualität des anfallenden Biogases war hoch (Methangehalt, Schwefelwasserstoffgehalt). Bei Nutzung des unterschiedlichen Sortenverhaltens der Krautreife und mittelspäter Krauternte können sowohl hohe Biogaserträge vom Kraut und noch mittlere Knollenerträge erzielt werden. Der unterschiedliche Sorten-, Standort – und Witterungseinfluss muss zur Erzielung optimaler Erträge vernetzend berücksichtigt werden.

5. Literaturverzeichnis

AMON, Th., V. KRYVORUCHKO, B. AMON, G. MOITZI, D. LYSON, E. HACKL, D. JEREMIC, W. ZOLLITSCH und E. PÖTSCH, 2003: Optimierung der Biogaserzeugung aus den

Energiepflanzen Mais und Klee gras. Forschungsprojekt nr. 1249, Endbericht Juli 2003. Im Auftrag des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt- und Wasserwirtschaft, Wien.

HENGELHAUPT, F., A. NEHRING und K. GÖDECKE, 2008: Biogas- und Methanerträge alternativer Fruchtarten, Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Jena

KOCSIS, L., H. –P. KAUL, W. PRAZNIK und P. LIEBHARD, 2007: Einfluss des Ernte-termins auf den Kraut- und Knollenertrag unterschiedlicher Sorten von Topinambur (*Helianthus tuberosus* L.) im semiariden Produktionsgebiet Österreichs. Pflanzenbauwissenschaften, **11** (2), 67-76.

LIEBHARD, P., 1991: Kulturartenvergleich von Nutzpflanzen als Rohstoffe für die industrielle Verarbeitung und zur Alternativen Energieversorgung.

Forschungsbericht. Im Auftrag der Arbeitsgemeinschaft „Erneuerbare Energien“. Universität für Bodenkultur Wien.

LIEBHARD, P., W. PRAZNIK und H.–P. KAUL, 2007: Einfluss von Sorte und Erntetermin auf ausgewählte auf den Kraut- und Knollenertrag sowie ausgewählte Inhaltsstoffe bei Topinambur im semiariden Produktionsgebiet Österreichs.

Tagungsunterlage zum 3. Fachtag für Topinambur an der Landesanstalt für Pflanzenbau Forchheim: Rohstoffqualität und Verwertungsmöglichkeiten für Topinambur. P. Schweiger und K. Stolzenburg. Landesanstalt für Pflanzenbau Forchheim, D-76287 Rheinstetten, 52-57.

SOJA und LIEBHARD (1984): Nährstoff- und Zuckerbildung während der Knollenbildung dreier Topinambursorten (*Helianthus tuberosus* L.) unterschiedlicher

Reifezeit. Die Bodenkultur 35, 317-327.

STOLZENBURG, K., 2002: Anbau und Verwertung von Topinambur (*Helianthus tuberosus* L.). Versuchsbericht. Sonderheft, Landesanstalt für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Forchheim.

STOLZENBURG, K, 2006: Topinambur (*Helianthus tuberosus* L.) als energieliefernde Pflanze im Bereich Biogas und Bioethanol: In A. HERMANN & F.TAUBE (Eds.): Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 18. Verlag Schmidt & Klanig., Kiel, 126-127.

3 Eignung verschiedener Topinambursorten zur Produktion von Leichtbetonbaustoffen

Dr. Ralf Pude, Universität Bonn

Heribert Höhn, Ingenieurbüro, Luxemburg

Prof. Dr. Reinhard Trettin, Universität Siegen

Von Topinambur (*Helianthus tuberosus* L.) wird in Deutschland hauptsächlich der unterirdische Teil, also die Knolle verwendet. Der oberirdische Teil der Pflanze, der ein enormes Aufkommen an Biomasse von 6-8 t TM/ha darstellt, verbleibt zumeist ungenutzt auf dem Acker. Da sich eine thermische Verwertung der Krautmasse als nur bedingt wirtschaftlich erwiesen hat, liegt eine stoffliche Nutzung nahe. Für den Anbau von Topinambur könnte die zusätzliche Nutzung der Krautanteile eine Steigerung der Wirtschaftlichkeit bedeuten.

Zum Einsatz von Pflanzenmaterial als Zuschlag für Leichtbeton-Baustoffe liegen bereits seit langem Erfahrungen mit verschiedenen Großgräsern – Chinaschilf (*Miscanthus spp.*), Switchgrass (*Panicum virgatum*), und Wasserschilf (*Phragmites australis*) – vor (Pude, 2005; Pude et al., 2005). Topinambur erscheint in diesem Zusammenhang besonders vielversprechend, da der Stängel neben einer großen Festigkeit auch einen hohen Markanteil aufweist (Böhmer und Pude, 2006). Das Markparenchym verfügt über ein geringes spezifisches Gewicht (Tab. 3-1) und einen großen Porenanteil, wodurch möglicherweise ein hohes Dämmvermögen der Baustoffe erreicht werden kann.

Tab. 3-1: Volumengewichte und Wasseraufnahme unterschiedlicher gehäckselter nachwachsender Rohstoffe (nach Höhn)

Rohstoff	Volumengewicht (kg/m ³)	Wasseraufnahme (%)
Nadelholz	140-152	131
Miscanthus	120-125	230
Hanf	112-120	250
Zuckerrohr	115	389
Topinambur	80	338

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung sollte zunächst die grundsätzliche Eignung von Topinambur-Stängelmaterial als Zuschlagstoff geprüft werden. Zudem sollten technische Unterschiede zwischen verschiedenen Sorten ermittelt werden. Ferner wurde versucht, den Einfluss der untersuchten Parameter auf die Druckfestigkeit der hergestellten Leichtbeton-Baustoffe zu klären. Dazu wurden in einem Feldversuch auf dem Campus Klein-Altendorf der Universität Bonn im Jahr 2005/2006 drei krautbetonte Topinambur-Sorten („Rote Landsorte“, „Rote Zonenkugel“ und „Violet de Rennes“) angebaut. Nach der Ernte im Frühjahr 2006 wurden aus dem gehäckselten Material Leichtbeton-Proben hergestellt, an denen nach 21-tägiger Trocknungszeit die Druckfestigkeit (N) bestimmt wurde.

Zunächst wurde im Rahmen des Feldversuchs festgestellt, dass die Sorte „Violet de Rennes“ eine größere Lageranfälligkeit, höhere Gehalte an Restassimilaten (Inulin und Fruktose) im Stängel und geringere Lignin- und Zellulosegehalte als die Sorten „Rote Landsorte“ und „Rote Zonenkugel“ hatte (Tab. 3-2).

Tab. 3-2: Unterschiede in chemischen und physikalischen Eigenschaften der drei Topinambursorten ($\alpha=0,05$)

	„Rote Landsorte“	„Rote Zonenkugel“	„Violet de Rennes“
Markanteil (M.-%)	15,67 n.s.	17,43 n.s.	15,37 n.s.
Lignin (M.-%)	23,98 a	24,44 a	21,17 b
Zellulose (M.-%)	39,50 a	41,08 a	34,66 b
Fruktose (M.-%)	0,00 b	0,00 b	2,34 a
Inulin (M.-%)	0,56 b	0,53 b	2,88 a
Wasserbindung (M.-%)	80,32 a	79,73 a	74,48 b
Druckfestigkeit (N/mm ²)	0,70 a	0,72 a	0,32 b

Bei der anschließenden Herstellung von Leichtbetonproben mit gehäckseltem Stängelmaterial als Zuschlag und der Untersuchung der Proben auf Baustofffestigkeit zeigte sich dann, dass auch hier „Violet de Rennes“, mit deutlich geringeren Festigkeitswerten, eine Sonderstellung einnahm (Tab. 3-2). Als Einflussfaktoren auf die Druckfestigkeit konnten insbesondere Zucker-, Inulin- und Ligningehalt ermittelt werden. Während die Speicherstoffe einen negativen Einfluss hatten, ging mit einem hohen Ligningehalt auch eine hohe Festigkeit der Proben einher (Tab. 3-3).

Ein weiterer, direkter Zusammenhang konnte zwischen der Druckfestigkeit und der Wasserbindung der Betonproben festgestellt werden. Je weniger Wasser die Proben vom Zeitpunkt der Herstellung bis zum Ende der Trocknung verloren, umso fester waren sie bei der Materialprüfung (Tab. 3-3).

Tab. 3-3: Korrelationen zwischen chemischen und physikalischen Parametern und der Druckfestigkeit

	Fruktose	Inulin	Zellulose	Lignin	Wasserbindung	Druckfestigkeit
Fruktose (M.-%)	1,00	-	-	-	-	-
Inulin (M.-%)	1,00	1,00	-	-	-	-
Zellulose (M.-%)	-0,79	-0,75	1,00	-	-	-
Lignin (M.-%)	-0,70	-0,69	0,31	1,00	-	-
Wasserbindung (M.-%)	-0,98	-0,98	0,68	0,75	1,00	-
Druckfestigkeit (N/mm ²)	-0,96	-0,98	0,64	0,70	0,98	1,00

Aus den vorliegenden Ergebnissen geht hervor, dass die Sorten „Rote Landsorte“ und „Rote Zonenkugel“ gute Festigkeitswerte zeigten und daher mit Großgräsern, zu denen vergleichbare Untersuchungen vorliegen, konkurrieren können. Als Haupteinflussfaktoren auf die Druckfestigkeit konnten Fruktose-, Inulin- und Ligningehalt, sowie die Wasserbindung im Beton bestimmt werden.

Zur Umsetzung der Forschungsergebnisse in die Praxis laufen derzeit Untersuchungen vom Ingenieurbüro für Forschung und Entwicklung, Luxemburg und der Universität Siegen. Erste Ergebnisse zeigen, dass bei einer Rohstoffmischung von 50% Topinambur („Rote Landsorte“ oder „Rote Zonenkugel“), 40% *Miscanthus x giganteus* und 10% Hanf, die nach einem Spezialverfahren mit einem natürlichen Produkt mineralisiert werden, ein idealer Leichtbeton entsteht, der ein Gewicht von nur 650 kg/m³ aufweist. Somit entsteht ein Baustoff, der einen Wärmeleitwert von nur 0,05 W/m x k besitzt. Ziel ist es auf dieser Basis weitere Produkte wie z.B. Wände, Decken, Dachele-

mente, Mauersteine, Putz, Schallschluckwände, Schnellbauplatten oder Estrich zu entwickeln und herzustellen.

Literatur

BOEHMER, J. und R. PUDE, R, 2006: Eignung von Topinambur-Stängelmaterial zur Herstellung von Leichtbeton-Baustoffen. Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. **18**, 88-89.

PUDE, R. (2005): Bedeutung morphologischer, chemischer und physikalischer Parameter sowie ihre Interaktionen zur Beurteilung der Baustoffeignung unterschiedlicher *Miscanthus*-Herkünfte. Verlag Wehle, Bad Neuenahr.

PUDE, R., BANASZUK, P., TRETTIN, R. and G. NOGA, 2005: Suitability of *Phragmites* for lightweight concrete. Journal of Applied Botany **79**, 141-146.

4 Aktuelles zum Brennen von Topinambur

Roman Bühler, Edelbranntweinbrennerei, Rheinmünster-Stollhofen

Stichworte

Problem sind die Keime der Knollen - sauberes Waschen der Knollen - mehrmals - Bekämpfung der Keime und Bakterien in der Maische - Desinfektion - verschiedene Verfahren der Desinfektion der Maische - Prof. Pieper Hohenheim vor ca. 30 Jahren mit Formalin - Problematisch in der praktischen Anwendung - heute Schwefelsäure 1,5 - max. 2 ./. (Promill) - Aromaverlust - pH 3,0 ? - Hefe Topiform - Backhefe - verschiedener Gärbeginn - Enzymanwendung = Topizym - 100 l Maische 20 - 30 ml = Verflüssigung - schneller Insulinabbau - Fructosefreisetzung - Gärung der Topimaische ! - Rührtank = 40 % Befüllung - Schaumbekämpfung sehr problematisch - Silicon Antischaum US nicht immer zufriedenstellend - Weitol von FA. Tensid-Chemie war besser - wird nicht mehr produziert! - Destillation! - Qualitätserzeugnis abtrennen von Vor- und Nachlauf, beachten! - Alkoholausbeute = 8 -10 % je nach Jahrgang und Sorte - Topstar 10,6 % in 2005 -

13.08.08: Topistengel einmaischen (Ro-Za)

110 Pflanzen = 107 kg = 95 ° (Oechsle)

Schwefelsäure 200 ml

Topizym 60 ml

Hefe 500 gr

am 13.08.08 10 l Wasser

am 14.08.08 40 l Wasser

20.08.08:

Ro-Za Stengel 80 ° (Oechsle) ohne Blätter

Top-Star Stengel 78 ° (Oechsle) etwas Zweige

21.08.08

Schimmelbildung und stickiger Geschmack - Gärung beendet!

5 Über die kontinuierliche Ethanolgewinnung aus Topinambur am Modell von Ahausen-Eversen (Niedersachsen)

Prof. Dr. Günter Bärwald, Technische Universität Berlin

Technische Universität Berlin



7

TU Berlin - Sekr. ACK 25 · Ackerstrasse 76 · D-13355 Berlin

Fakultät III -
Prozesswissenschaften

kommissarischer Leiter
des Fachgebiets
Gärungstechnologie

Univ.-Prof. a. D.,
Prof. Dr.-Ing.
Günter Bärwald
Tel./Fax: <030> 401 83 21

www.baerwald-prof.de

e-mail: baerwald-prof@web.de

LTZ - 2009: Mittwoch, 18.02.2009
Vortrag: Prof. Dr.-Ing. G. Bärwald

Kurzfassung

„Über die kontinuierliche Ethanolgewinnung aus Topinambur am Modell von Ahausen-Eversen (Niedersachsen)“

Vorbemerkung

In der amerikanischen Fachzeitschrift „Human Ecology“ hat kürzlich *Dr. David Pimentel*, Professor für Ökologie und Landwirtschaft an der Cornell University, Ithaka, US-Staat New York, die Effizienz der Energiegewinnung aus nachwachsenden Rohstoffen berechnet. Dabei stellte sich heraus, dass diese erneuerbaren Energien nicht nur ineffizient und belastend für die Umwelt sind, beispielsweise bei Getreide, Soja und Raps. Der Energie-Input bei Mais beträgt, gerechnet vom Anbau auf dem Feld bis zum Ethanol, $\approx 31.400 \text{ kJ (7.474 kcal) / A}$ und der Energieinhalt $\approx 21.546 \text{ kJ (5.130 kcal) A}$ gerechnet auf 1 Liter absoluten Alkohol. Das entspricht einer negativen Energiebilanz von 46%. Die negativen Energiebilanzen betragen bei Hirse 50%, bei Diesel aus Raps 58% und bei Soja 63%. Palmöl lag mit -8% noch relativ günstig. Es kann deshalb nicht allein auf die Ethanolausbeute gesehen werden, sondern die Nebenprodukte sind in die Bilanz mit einzubeziehen.

Diskontinuierliche Ethanolgewinnung aus Topinambur als nachwachsendem Rohstoff

An der TU Berlin wurde seit 1982 bezüglich Topinambur an der Verwertung der Stolonen am Wurzelstock, die als „Knollen“ bezeichnet werden, im technischen Maßstab geforscht. Man vergärt diese Knollen zu Alkohol, der einmal als Ethanol/Biosprit heute in unser Benzin kommt = „Energie aus nachwachsenden Rohstoffen“, oder stellt den historisch zu den Edelobstbranntweinen gehörenden „Topi“ oder „Borbel“ und unter weiteren örtlich bekannten Bezeichnungen vertriebenen Topinamburbranntwein her.

Anstelle von Stärke, das ist polymer gebundene Glukose, enthält die Topinambur das Reservekohlenhydrat Inulin, das ist polymer gebundene Fruktose mit nur einer Glukose am Anfang des Moleküls. Wie bei der Verarbeitung stärkehaltiger Rohstoffen muss auch dieses Kohlenhydratpolymer aufgeschlossen werden. Es bedarf dazu mehrerer Schritte, denn nur die Monosaccharide Glukose und Fruktose sind vergärbar. Zum Zellaufschluss eignen sich physikalische und biochemische Verfahren. Die Vergärung erfolgt durch Hefen.

Der Zellaufschluss der Knollen und Freilegen des Inulins

Zu den physikalischen Aufschlussverfahren gehören der Druck und das mechanische Zerkleinern. Druckgefäße sind die Henze-Dämpfer (HD-Verfahren), in denen mit 4 ... 6 bar Überdruck die Topinamburknollen aufgeschlossen werden. Das Inulin wird gänzlich in Lösung gebracht. Der Dampfbedarf liegt, wenn der Dämpfer wärmegeklämt ist, bei ≤ 250 kg/t Knollen. Er ist vom Kesselwirkungsgrad und von der Rückführung von temperiertem Kesselspeisewasser aus der Destillatkühlung abhängig.

Schon in den 30er Jahren war das mechanische Zerkleinern ein Thema. *Lühder, Lampe* und *Kilp* ließen sich 1935 ein Verfahren zum Aufschluss von Kartoffeln durch Reiben patentieren. Dieses „Reibselverfahren“ erbrachte 20 ... 25% Brennstoffeinsparung, wie *B. Drews* durch praktische Versuche berechnete. Heute wird es als DAS-Verfahren bezeichnet. Die Topinamburknollen werden mittels Hammermühle zu Mus zertrümmert und durch ein Sieb passiert. Das Inulin ist zum Teil gelöst, es verbleibt aber eine unlösliche Fraktion. Nachteilig beim DAS-Verfahren ist die Deckenbildung durch Zell- und Schalentellen der Knollen, die schließlich auch im Gärtank infolge von Schaumgärung („Maischehut“) ein entsprechend höheres Steigraumvolumen erfordern. Dieser Nachteil wurde schon 1935 beim Reibselverfahren zum mechanischen Aufschluss von Kartoffeln beschrieben.

Bei den biochemischen Verfahren wird das Inulin „verzuckert“, und zwar durch Zusatz von aus Schimmelpilzen gewonnenen Enzymen mit dem Trivialnamen „Inulinase“. Es handelt sich dabei um verschiedene Enzymaktivitäten, die in dem technischen Enzym Inulinase aktiv sind: Endo- und Exoinulinase als Hauptaktivitäten sowie Zellulase und Pektinase neben proteolytischen Enzymen als erwünschte Nebenaktivitäten. Der Enzymzusatz reguliert die Viskosität, was für die Konstruktion von Pumpen, Rohrleitungen und Plattenwärmetauschern PWT im späteren kontinuierlichen Betrieb sehr wichtig ist.

Vergärung von Inulin durch spezielle Hefen

In einer partnerschaftlichen Studie des Hessischen Landesamtes mit der Technischen Universität Berlin 1982/84 wurde u. a. die Vergärung von Inulin durch spezielle Hefen geprüft. Eine „Direktvergärung“ von Inulin ist, wie schon erwähnt, nicht möglich, da nur die Monosaccharide vergärbar sind. Hier handelt es sich um Hefen, die sich durch Inulinasehaltige Enzyme auszeichnen, wie *Kluyveromyces* Species (*Kl. marxianus*; *Candida kefyr*). Diese hydrolysieren das Inulin in kleinere Spaltprodukte, wie Oligofruktane, Difruktoseanhydrid und schließlich bis zu den Monosacchariden, die dann in der Topinamburmaische direkt zu Alkohol vergoren werden. Es zeigte sich, dass unter Praxisbedingungen in der Brennerei nur schlechte Ethanolausbeuten bei zu langer Gärdauer zu erzielen waren. Weitere Nachteile, wie mikrobielle Kontamination der reifen Maische, waren die Folge. Deshalb wurde diese Verfahrensweise im kontinuierlichen System nicht angewandt.

Überlegungen zur kontinuierlichen Ethanolerzeugung

Das aus der Brennereitechnik bekannte Hochdruck-Dämpfverfahren (HD) kam zwar in der absatzweise geführten Brennerei zu guten Ausbeuteergebnissen, sollte jedoch nicht in ein kontinuierliches Verfahren eingefügt werden, obwohl die Alkoholausbeuten am höchsten lagen. Außerdem werden für HD-Verfahren zum Dämpfen der Knollen Drücke von 4 ... 6 bar Überdruck benötigt, sodass der vorzuhaltende Dampfdruck im Kessel bis zu 11 bar betragen kann. Der dazu erforderliche Energieaufwand reduziert sich nach *Drews*, später konkretisiert

von *Goslich*, um 20 ... 25% an Brennstoff in der langjährigen Praxis, wenn DSA-Verfahren und Maischeerwärmung <100°C angewandt werden. Gegenüber dem Dampfbedarf von 250 kg/t benötigte der kontinuierlichen Betrieb mit dem DAS-Verfahren ≈ 20 kg Dampf/t, je nach Dämmung und Rekuperation. Bekanntlich ist der Strombedarf bei dem kontinuierlichen DSA-Verfahren, bedingt durch das Mahlwerk (z. B. Hammermühle, Siebweite 1,5 mm) sowie diverse Maischepumpen höher und lag zwischen 35 ... 40 kWh/t Knollen. Der stündliche Durchsatz von Knollen hatte in der Ethanol-Versuchsanlage der DAA (Deutsche Agrar-Alkoholversuchsanlage) Ahausen-Eversen, Niedersachsen, bei 10 t/h (maximal: 20 t/h) gelegen. Schwankungen traten auf, wenn sich im kontinuierlichen System Unterbrechungen einstellten. Insbesondere Pflanzenfasern wirkten sich hemmend auf die Pumpleistungen aus und führten zu unvorhergesehenen Unterbrechungen besonders am Plattenwärmetauscher.

Verfahren der kontinuierlichen Topinambur-Verarbeitung in der DAA

Durch Subvention in Höhe von DM 5.000,-- pro ha Anbaufläche nahmen zunächst 16, später 12 landwirtschaftliche Betriebe den Anbau von Topinambur, Sorten: Bianca (überwiegend) und Waldspindel, auf. Ab 1986 wurde der Vortragende in die Verarbeitung als externer Berater und Kontrolleur mit einbezogen. Die gesamte Anlage kostete insgesamt 36 Mill. DM, wobei Fördermittel vom Land Niedersachsen, vom BML und von der EU eingeflossen waren. Die Gesamtkontrolle oblag der Bundesforschungsanstalt für Pflanzenbau (FAL) in Braunschweig. Die landwirtschaftlichen Betriebe hatten sich in der RABE organisiert.

Es sollten pro Jahr in einem Zuge ca. 1.000 t Topinamburknollen kontinuierlich zu Ethanol verarbeitet werden. Diese Menge konnte in den 4 Jahren der begleitenden Verarbeitung durch den Vortragenden nicht erreicht werden. Die angelieferte Menge lag etwas unter 500 t Knollen. Obwohl der stündliche Durchsatz 20 t betragen konnte, wurde aus Zweckmässigkeit diese Kapazität wegen der Beschaffenheit der Knollen nur zu 10 t/h bis 15 t/h zurückgeführt. Es handelte sich ja schliesslich um Versuche, aus denen Erfahrungen gesammelt werden sollten.

Die Knollen wurden angefahren, gewogen, der Schmutzfaktor für die Mengenvergütung bestimmt und in einem 1.000 t Feldfrüchte fassendem offenen Silo eingelagert. Von hier aus wurden die Knollen mittels Förderband über eine Stein- und Wurzelstockentfernung, Magnet und anschließende Wäsche zu einem 2. Förderband zur Nachlese auf Steine und weiterer Knollenwäsche transportiert. Die Böden der westlichen Lüneburger Heide enthalten durch die Eiszeit viele Steine, welche die Knollenverarbeitung durchaus erschweren. Der weitere Weg der gereinigten Knollen führt in die Brennerei, und zwar in die Hammermühle. Diese wurde mit einem 1,5 mm Sieb, dem vorteilhaftesten DAS-Aufschlussverfahren aus unseren Vorversuchen, ausgestattet. Der Topinamburbrei = Maische wurde in einem Sammelbehälter sofort mit Schwefelsäure und zellaufschließenden Enzymen versetzt. Die Originalmaische hat ein pH von 6,0. Es wurden Versuche variiert in Abstufungen von pH = 5,0; 4,5 sowie 4,0, um die kontinuierliche Maischefertigung zu optimieren. Dazu gehörte auch die Kontrolle der Pumpfähigkeit, sodass schliesslich, wie bei der Verarbeitung von Kartoffeln, der Extraktgehalt der Maische auf 15% durch Wasserzusatz dort eingestellt wurde. Ein weiterer Gesichtspunkt war die Optimierung der Gärgeschwindigkeit. Um bei der alkoholischen Gärung den Gärverlauf zügig zu gestalten, sollte die reife Maische nur einen Ethanolgehalt von etwa 8%vol. aufweisen. Es ist bekannt, dass bereits ab 5%vol. Alkohol in der Maische eine Gärhemmung erfolgt. Hinzu kommt, dass durch die Fermenterhöhe sich ein statischer Druck aufbaut, der die Gärgeschwindigkeit ebenfalls herabsetzt. Das Gärungs-CO₂ als zweites Endprodukt des Fermentationsprozesses wirkt in gleicher Weise hemmend.

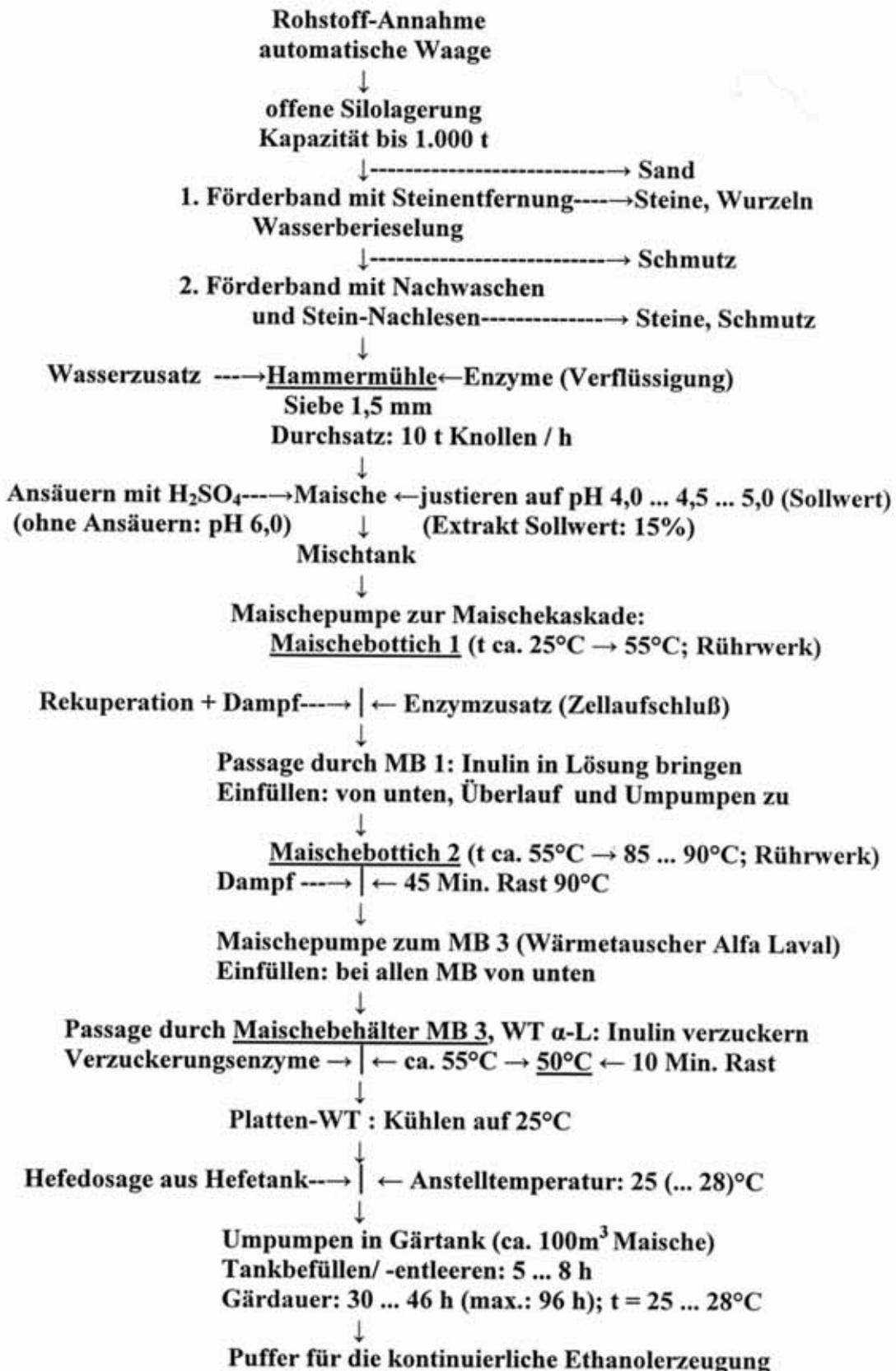
Der Maischprozess erfolgte nach dem Kaskadenprinzip. Dabei wird die Maische kontinuierlich bis auf 85 ... 90°C erhitzt, erhält eine Inulin-Lösungsrast bei Höchsttemperatur über 45 Minuten und wird auf Verzuckerungstemperatur bei 50°C wieder gekühlt. Der Maischetransport durch die Maischebottiche erfolgte von unten nach oben. Der Temperaturausgleich innerhalb der Maische sollte durch kontinuierliches Rühren von oben (MB 1 + 2) erfolgen. Die Maische durchlief schließlich einen Alfa Laval -Spiralwärmetauscher als letztem Maisch“bottich“ und wurde in einem Plattenwärmetauscher auf Anstelltemperatur von 25°C für die Brennereihefe gekühlt. Die einzelnen Stationen unterlagen dem Wärmetausch bis auf MB 1 + 2, wo direkt mit Dampf die notwendigen Temperaturen erreicht wurden.

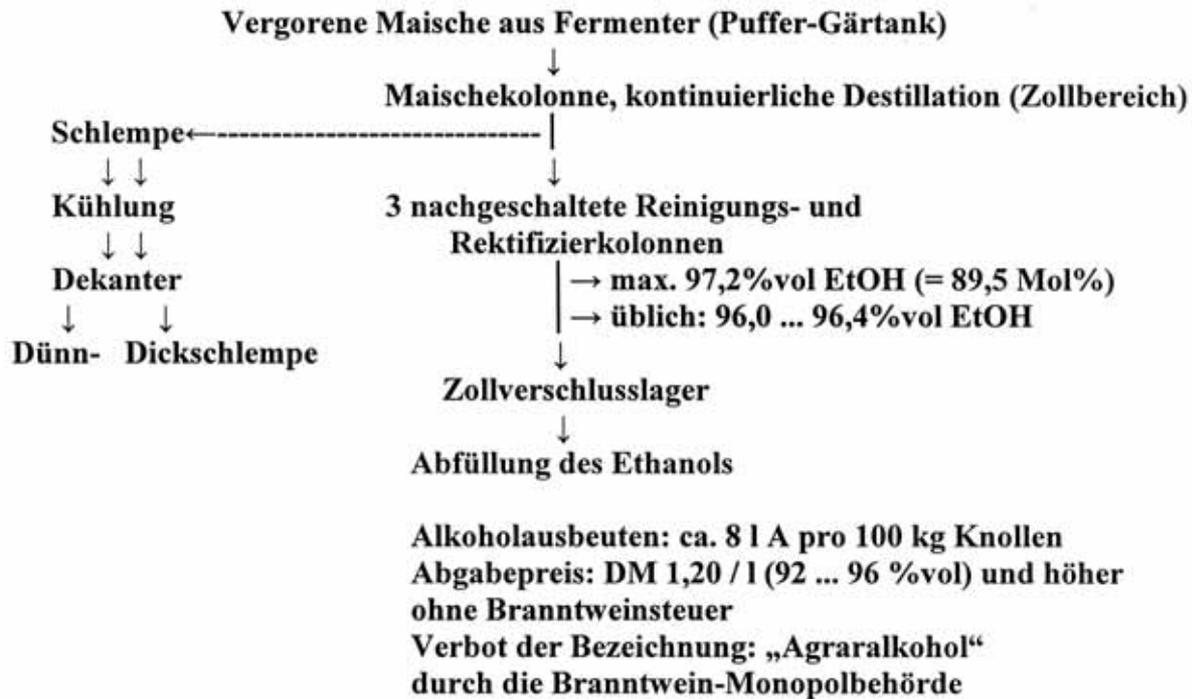
Die Brennereihefe wurde von den Deutschen Hefewerken Hamburg bezogen. Es war möglich die Hefe in einer separaten Station auf steriler Maische heranzuziehen, genau so wie die mehrfache Verwendung eingeplant war. Allerdings erwies es sich als wirtschaftlicher und biologisch sicherer, stets mit frischer Hefe, die aufgelöst wurde, anzustellen. Um das Versieden von Alkohol durch zu hohe Gärtemperatur und Auswaschen mit CO₂ zu verhindern, wurde die gärende Maische bei 28°C gekühlt. Das Tankvolumen von 125 m³ erlaubte bei allen anderen Agrarprodukten, die ausser Topinambur verarbeitet wurden, eine Befüllung mit 100 m³ Maische. Je nach Maischekonzentration dauerte die Befüllung eines Tanks (Fermenters) 5 ... 8 Stunden, wobei die Hefe praktisch mit der Erstbefüllung vorgelegt wurde. Somit war der Anfang schon in voller Gärung, wenn die Restmaische zugegeben wurde. Um die frische süße Maische in der alkoholischen Maische optimal zu verteilen, waren bei den stehenden Fermentern entsprechende Zuleitungen in verschiedenen Höhen installiert worden. In der Regel dauerte die Gärung 30 ... 46 h; ganz selten blieb eine Gärung stecken, sodass auch bei Minder-Alkoholausbeute nach 96 h der Tank gezogen, d. h. in die Maischekolonie zwecks Destillation gepumpt wurde.

Grundsätzlich war die Fermentationsstufe der einzige Puffer in der vorher und bei der Destillation kontinuierlichen Verfahrenstechnik.

Aufgrund der praktischen Erfahrung mit verschiedenen Varianten der Aufschluß- und Fermentationsparameter im Betrieb der DAA in Ahausen-Eversen wurde an dem nachstehenden Arbeitsschema festgehalten. Es wurde dabei festgestellt, dass die Ausbildung eines „Maischehutes“ auf dem 100 m³-Fermenteransatz zwar durch Umpumpen der Maische von unten über die Absonderung der Schalen- und Faserteile während der Gärung wieder zum Verschwinden gebracht werden kann. Das bedeutet aber für einen kontinuierlichen Betrieb eine zusätzliche Arbeitsleistung: Verlegen Rohrleitungen bzw. Schläuchen, Pumpen sowie Beaufsichtigen. Dabei kann auch CO₂ austreten, sodass für die Arbeiter Schutzmaßnahmen zu treffen sind. Die vermutete Minderausbeute an Ethanol durch den „Maischehut“ wurde in Kauf genommen. Es stellte sich jedoch heraus, dass in der Schlempe praktisch kein aufschließbarer Extrakt nachzuweisen war. Demnach ist in dieser schlecht benetzbaren Phase aus den Topinamburknollen kein Inulin mehr enthalten. Diese eher fest-flüssige Phase wurde von uns aus den Fermentern isoliert und im Labor weiter fermentiert. Es lagen soviele aktive Hefezellen vor, dass die Alkoholbildung bis zur Endvergärung sich fortsetzen liess.

Zur Destillation ist lediglich anzumerken, dass manchmal die Maischekolonie wegen größerer Schaumbildung, evtl. aus dem „Maischehut“ stammend, zurückgefahren werden mußte. Sonst war es leider angebracht, die Kolonie stillzulegen und zu reinigen. Auf den Fluß der kontinuierlichen Destillation und Rektifikation wirkte sich das sehr negativ aus, weil die Anlage wieder angefahren werden mußte.

Schematische Darstellung der kontinuierlichen Ethanolgewinnung in Ahausen-Eversen**Fließschema**



Weiterverarbeitung der Schlempe und Rückschlüsse auf die Alkoholausbeute

Die kontinuierlich anfallende Schlempe wurde unter Wärmerückgewinnung auf 30°C gekühlt. Der Futterwert der Topinamburschlempe entspricht demjenigen von Kartoffelschlempe, wie frühere vergleichende Untersuchungen zeigten (*E. Janssen, G. Werner, G. Bärwald und H. Olbrich, Zur Charakterisierung der Topinamburschlempe. Branntweinwirtschaft 124(1984) S. 402-404*). Insbesondere die Aminosäuren tragen zur hohen Eiweißverwertung bei. Seinerzeit wurden aber die Polyphenole noch nicht quantitativ untersucht. Aus heutiger Sicht tragen sie erheblich zur Gesunderhaltung der Tiere bei, zumal sie im reduzierten Zustand vorliegen. Die alkoholische Gärung ist ein reduktiver Vorgang. Bis einschließlich Maischekolonne steht die Gärlösung unter CO₂-Schutz.

Da kaum ein Landwirt bereit war die im kontinuierlichen Betrieb anfallenden Schlempe-mengen direkt zu verfüttern, wurde sie in Dick- und Dünnschlempe mittels Dekanters zerlegt. Die Dickschlempe wurde an Futtermittelwerke weiter gegeben und bei Nichtbedarf wieder auf die Felder ausgebracht. Hier fehlte es in der Versuchsanlage an Koordinierung und Einrichten eines funktionierenden Kreislaufs. Die Dünnschlempe gelangte direkt in die Biogas-Anlage. Diese sollte in einem weiteren Verbund zur Energie-Bedarfsdeckung in der Dampferzeugung für die WT der Kaskadenmaischanlage sowie der Destillationsstation beitragen. Es war deshalb notwendig, den pH-Wert für die weitere mikrobiologische Zerlegung der Dünnschlempe-Inhaltsstoffe für die Biogas-Anlage einzustellen und stabil zu halten. Eine Dünnschlempe-Rückführung in den Brennereiprozess war nicht geplant.

Verarbeitung der Dünnschlempe:

- a) Aerob über mehrstufige Belüftungsbecken, Vorfluter bis zum gereinigten Abwasser bei Rückführung von abgesetzten Schlamm
- b) Anaerob in Reaktoren (Schlammbett-; Upflow-Fließbett- sowie Mehrkammer-Plug-Flow-Reaktor).

Eine Ausnutzung des anfallenden Biogases aus der Verarbeitung von Topinambur und diejenige der Verbrennungswärme für die Dampferzeugung in der Brennerei habe ich nicht gesehen.

Die mikrobiologische Stufenkontrolle des Maisch- und Gärprozesses zeigte Schwachstellen durch bakterielle Kontamination. Geprüft wurde deshalb auf Milchsäurebildner. Nachgewiesen wurden kontaminierte Maischen mit bis zu 13 g Milchsäure / l. Entsprechend erniedrigt sich der pH-Wert und die Biogaserzeugung wird deutlich gehemmt bis zum Erliegen der Fermentation. Substrate für die Milchsäuregärung sind nicht nur die vergärbaren Kohlenhydrate sondern auch Aminosäuren, andere Ballaststoffe sowie die Vitamine. Da die Verdopplungsrate der Milchsäurebildner nur 20 Minuten beträgt, diejenige der optimalen von Hefe bei ausreichender Belüftung aber 60 Minuten, zehrt die bakterielle Kontamination mit Laktobazillen den Vitamin B-Gehalt in der Topinamburmaische und die Gärgeschwindigkeit nimmt ab. So kann es vorkommen, dass die Maische in der beschriebenen Anlage bis zu 96 Stunden Standzeiten hatte, wobei die Endvergärung anhand der Kontrolle auf aufschließbaren Extrakt in der Schlempe noch aufschließ- sowie vergärbare Kohlenhydrate anzeigte.

Anschrift des Referenten:

Univ.-Prof. a. D. Dr.-Ing. Günter Bärwald
Technische Universität Berlin
www.baerwald-prof.de
privat:
Karmeliterweg 73/75
D-13465 Berlin

6 Berechnungswürdigkeit von Topinambur zur Biogaserzeugung

Dr. Sandra Kruse, LTZ Augustenberg

6.1 Einleitung

Vor dem Hintergrund knapper fossiler Ressourcen und dem gleichzeitig steigenden Bedarf an Energie, stellt sich die Frage ob diesem Bedarf durch alternative Energieträger entsprochen werden kann.

Die Nutzung von Biomasse zur Stromerzeugung über die Vergärung in Biogasanlagen kann anteilig den Energiebedarf dezentral decken. Gleichzeitig wird die Möglichkeit eröffnet, die Einkommenssituation der Landwirte und somit des ländlichen Raumes neben der Nahrungsmittelproduktion durch Energieproduktion zu stärken.

Bedingt durch das hohe Leistungspotenzial, der hohen Energiedichte und den bekannten Anbauverfahren stellt Mais heute die am weit verbreitetste Kulturart zur Biomasseerzeugung dar. Schon werden Befürchtungen hinsichtlich sich anbahnender Maiswüsten und den damit verbundenen ökologischen Risiken wie Bodenerosion, beschränkte Flora und Fauna etc. formuliert.

Alternative Kulturarten besitzen gegebenenfalls das Potenzial, eine vergleichbare Biomasseproduktion wie Mais zu realisieren und könnten somit die befürchteten Silomais-Monokulturen auflockern. Als Alternative, bzw. als Ergänzung zu Mais wird dabei auch Topinambur gesehen und Erwartungen hinsichtlich hoher Biomasse-Erträge in Kombination mit positiven ökologischen Aspekten einer mehrjährigen Kultur werden formuliert (FNR, 2009).

Hohe Erträge können jedoch nur erzielt werden, wenn Kulturarten ihr Leistungspotenzial voll ausnutzen und dieses ist nur unter optimalen Anbaubedingungen der Fall. Neben der optimalen Nährstoffversorgung stellt die Wasserverfügbarkeit oftmals den begrenzenden Faktor dar. Vor dem Hintergrund des prognostizierten Klimawandels kommt dem Faktor Wasser außerdem eine immer größer werdende Bedeutung zu. Um weiterhin Ertragssicherheit garantieren zu können, wird eine Beregnung bzw. Bewässerung auch beim Anbau von Kulturen zum Zwecke der Energieproduktion weiter an Bedeutung gewinnen.

6.2 Verbundprojekt EVA

Vor diesem Hintergrund werden im Folgenden Ergebnisse vorgestellt die im Rahmen eines von der Fachagentur nachwachsende Rohstoffe (FNR) geförderten Projektes erzielt wurden. Den Kern des deutschlandweiten Verbundprojektes EVA („Entwicklung und Vergleich von optimierten Anbausystemen für die landwirtschaftliche Produktion von Energiepflanzen unter den verschiedenen Standortbedingungen Deutschlands“) bildet ein Fruchtfolgeversuch zum Ziel der Herausarbeitung von Fruchtfolgen die unter Berücksichtigung pflanzenbaulicher, ökologischer und ökonomischer Aspekte an entsprechenden Standorten zu empfehlen sind. Daran angeknüpelt werden u.a. weitere pflanzenbauliche Fragestellungen untersucht.

Das Landwirtschaftliche Technologiezentrum Augustenberg (LTZ) ist an dem EVA-Teilprojekt zur „Bewässerungswürdigkeit von Energiepflanzen“ mit zwei Feldversuchen unter Koordination des JKI (Julius-Kühn-Institut; Dr. Schittenhelm) und in Kooperation mit dem ZALF (Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung, J. Hufnagel) beteiligt.

6.3 Ermittlung der Bewässerungswürdigkeit von für die energetische Nutzung in Betracht kommenden konventionellen und seltenen Arten (kurz: Artenvergleich)

In der ersten Projektphase (2005-2007) wurde Topinambur (Rote Zonenkugel) neben Mais, Sonnenblumen, Sorghum-Arten und Futterrüben unter verschiedenen Beregnungs- und Düngungsintensitäten in Forchheim getestet. Der Standort Forchheim befindet sich in einer der wärmsten Regionen Deutschlands. Die anlehmnigen Sandböden besitzen eine niedrige Wasserhaltefähigkeit, die langjährigen Niederschlagssummen betragen 770 mm und die Durchschnittstemperatur entspricht 10,6 °C. Die Bewässerung wurde mit Agrowetter vom Deutschen Wetterdienst gesteuert (Basis: Körnermais) und richtete sich nach der nutzbaren Feldkapazität, die in der optimalen Variante über 50% liegen sollte. Die minimale Bewässerungsstufe sollte ausschließlich die Kultursicherung zum Ziel haben. Die Düngung variierte zwischen bedarfsgerechter Düngung und erhöhte Düngung mit Biogasgülle.

Für die Berechnung des Energieertrages sind die Gehalte an Rohnährstoffen, also Rohprotein, Rohfett, Rohfaser, N-freie Extraktstoffe und Rohasche besonders von Bedeutung. Die gemessenen Gehalte dienen als Berechnungsgrundlage für die theoretischen Biogas- bzw. Methan-Ausbeuten, die wiederum multipliziert mit dem Trockensubstanz (TS)- Gehalt den Energieertrag ergeben. In Anlehnung an Schattauer und Weiland wurde für die verdauliche Fraktion von Eiweiß Fett und Kohlenhydraten ein Biogasertrag von 650, 1125 bzw. 750 und ein Methan-Gehalt von 72,5, 70,5 und 52,5 % angenommen. Die Verdaulichkeitskoeffizienten für die Rohnährstoffe des entsprechenden Probenmaterials wurden der DLG-Futterwerttabelle für Wiederkäuer entnommen. Nach der Ernte (Sept.-Okt. bzw. Dez.-Feb.) von Kraut und Knollen wurde das Erntematerial aller untersuchten Varianten der Weender Analyse zugeführt.

Tab. 6-1: Trockenmasse-Ertrag, Trockensubstanz-Gehalt und Rohnährstoffgehalte von Topinambur-Knollen und -Kraut verschiedener Beregnungsintensitäten in den Versuchsjahren 2005-2007 im Mittel der Düngungsvarianten.

Optimal beregnet	TM-Ertrag [dt TM/ha]		TS-Gehalt [%]		Rohasche [%]		Rohfett [%]		Rohprotein [%]		Rohfaser [%]		NfE [%]	
	Kraut	Knolle	Kraut	Knolle	Kraut	Knolle	Kraut	Knolle	Kraut	Knolle	Kraut	Knolle	Kraut	Knolle
2005	163,27	43,31	29,71	18,44	7,23	7,60	0,81	0,20	8,56	11,30	25,93	9,93	57,47	71,73
2006	133,40	16,34	26,00	17,63	9,33	8,13	1,18	0,40	9,30	12,00	27,74	3,54	52,45	75,93
2007	136,54	57,39	32,42	19,18	8,28	7,36	1,18	0,83	6,04	7,43	29,90	2,57	54,96	81,80
2005-2007	144,40	39,01	29,38	18,42	8,28	7,70	1,06	0,47	7,97	10,25	27,86	5,35	54,96	76,49
Minimal beregnet	TM-Ertrag [dt TM/ha]		TS-Gehalt [%]		Rohasche [%]		Rohfett [%]		Rohprotein [%]		Rohfaser [%]		NfE [%]	
	Kraut	Knolle	Kraut	Knolle	Kraut	Knolle	Kraut	Knolle	Kraut	Knolle	Kraut	Knolle	Kraut	Knolle
2005	93,01	40,85	26,42	17,99	9,08	7,67	1,15	0,18	11,89	13,37	23,15	3,39	54,73	75,38
2006	101,28	16,77	25,61	17,97	10,84	8,25	1,58	0,54	12,37	13,34	24,45	3,65	50,77	74,22
2007	91,46	54,07	30,42	19,73	7,13	7,13	1,05	0,95	7,33	7,06	25,63	2,58	56,76	82,27
2005-2007	95,25	37,23	27,49	18,56	9,02	7,68	1,26	0,56	10,53	11,26	24,41	3,21	54,09	77,29

In Tab. 6-1 sind die Gehalte an Rohnährstoffen und TS-Gehalten bzw. TM-Erträgen von Topinambur-Kraut und -Knollen in der optimal bzw. minimal berechneten Variante aufgetragen. Mit optimaler Wasserversorgung konnten im Mittel der Versuchsjahre ca. 50 dt/ha TM (Kraut) mehr erzielt werden als mit minimaler Berechnung, wobei wesentliche jahresbedingte Effekte zu berücksichtigen sind. Die Knollen-Erträge variieren dagegen zwischen den Berechnungsintensitäten kaum (+2 dt/ha TM). Größere Unterschiede zwischen den Berechnungsvarianten sind im Jahresmittel außerdem beim TS-Gehalt (optimal berechnet Kraut: +2 %), beim Rohproteingehalt (optimal berechnet Kraut: -2,5 %) und beim Rohfasergehalt (optimal berechnet Kraut: + 3,5 %, Knolle: +2 %) zu beobachten. Alle weiteren betrachteten Qualitätsparameter variieren nicht in dem beschriebenen Maße.

Tab. 6-2: Biogas- bzw. Methan-Ausbeuten und -Erträge von Topinambur-Knollen und -Kraut verschiedener Berechnungsintensitäten in den Versuchsjahren 2005-2007 im Mittel der Düngungsvarianten.

Optimal bere- net	FM-Ertrag [dt FM/ha]		TM-Ertrag [dt TM/ha]		TS-Gehalt [%]		Biogas- Ausbeute [nl/kg oTM]		Methan- Aus- beute [nl/kg oTM]		Biogas- Ertrag [m3/ha]		Methan- Ertrag [m3/ha]	
	Kraut	Knolle	Kraut	Knolle	Kraut	Knolle	Kraut	Knolle	Kraut	Knolle	Kraut	Knolle	Kraut	Knolle
2005	479,14	234,58	163,27	43,31	29,71	18,44	473,17	649,95	257,37	350,93	7167,50	2602,31	3898,93	1404,74
2006	512,67	93,00	133,40	16,34	26,00	17,63	472,31	645,32	258,33	349,16	5717,72	970,56	3125,53	524,78
2007	420,61	299,44	136,54	57,39	32,42	19,18	473,02	660,03	255,07	352,88	5923,10	3508,41	3193,92	1875,71
2005- 2007	470,81	209,01	144,40	39,01	29,38	18,42	472,83	651,77	256,92	350,99	6269,44	2360,42	3406,13	1268,41
Mini- mal bere- net	FM-Ertrag [dt FM/ha]		TM-Ertrag [dt TM/ha]		TS-Gehalt [%]		Biogas- Ausbeute [nl/kg oTM]		Methan- Aus- beute [nl/kg oTM]		Biogas- Ertrag [m3/ha]		Methan- Ertrag [m3/ha]	
	Kraut	Knolle	Kraut	Knolle	Kraut	Knolle	Kraut	Knolle	Kraut	Knolle	Kraut	Knolle	Kraut	Knolle
2005	352,33	226,50	93,01	40,85	26,42	17,99	472,17	643,14	260,92	349,13	3984,22	2426,01	2201,71	1316,97
2006	395,33	93,83	101,28	16,77	25,61	17,97	472,92	639,45	262,26	347,24	4287,00	984,45	2375,98	534,45
2007	300,00	274,17	91,46	54,07	30,42	19,73	473,94	660,32	256,21	352,72	3944,89	3316,18	2132,59	1771,33
2005- 2007	349,22	198,17	95,25	37,23	27,49	18,56	473,01	647,64	259,79	349,70	4072,03	2242,22	2236,76	1207,58

Die geringen Unterschiede in den Qualitätsparametern spiegeln sich auch wider bei Betrachtung der Biogas- bzw. Methan-Ausbeuten (Tab. 6-2). Beim Topinambur-Kraut werden durchschnittlich 470 nl Biogas je kg organischer Trockenmasse gebildet (aus den analysierten Rohnährstoffen errechneter Wert). Sowohl zwischen den Jahren als auch zwischen den Berechnungsvarianten gibt es dabei keine Unterschiede (+/- 1 nl). Die Knollen erreichen Biogas-Ausbeuten (errechnet) von durchschnittlich 650 nl/kg oTM, wobei jahresbedingte Unterschiede v.a. in der minimal mit Wasser versorgten Variante vorzufinden sind (+/- 20 nl/kg oTM). Ähnliche Abstufungen lassen sich bei den Methan-Ausbeuten feststellen. Durch Fermentation von Topinambur-Kraut bzw. -Knollen werden durchschnittlich 260 bzw. 350 nl Methan/kg oTM gebildet (errechnet).

Die geringen Unterschiede in den Ausbeuten zwischen den Jahren und den Berechnungsintensitäten lassen erkennen, dass der errechnete Energie-Ertrag (m³ Biogas bzw. Methan je ha) in enger Korrelation zu dem Biomasse-Ertrag steht. Ein Umstand, der bereits in vielen Untersuchungen belegt wurde (u.a. C. Böhmel, 2007 K. Stolzenburg, 2008). So erzielt in dieser Untersu-

chung Topinambur-Kraut bis zu 3900 m³/ha Methan (errechnet), Knollen erzielen in Abhängigkeit des TM-Ertrages bis zu 1900 m³/ha (errechnet).

Es bleibt also festzuhalten, dass im Mittel der Versuchsjahre eine Zusatzbewässerung von Topinambur in diesem Versuch zu einer Steigerung des errechneten Methan-Ertrages von ca. 50 % (Kraut) bzw. ca. 30 % (Gesamtpflanze) führte.

Tab. 6-3: Relativerträge aller untersuchten Kulturen im Vergleich zu Mais im Mittel der Versuchsjahre.

beregnet	Mais	Mais/SoBl	SoBl	Sudangras	Futterhirse	Topinambur	Futterrübe
	rel. TM-Ertrag [%]						
	100	66	49	77	82	77	106
	rel. Methan-Ertrag [%]						
unberegnet	Mais	Mais/SoBl	SoBl	Sudangras	Futterhirse	Topinambur	Futterrübe
	rel. TM-Ertrag [%]						
	100	63	45	96	80	84	108
	rel. Methan-Ertrag [%]						
	100	60	41	80	73	72	119

(100% unberegnet/beregnet = 185/235 dt/ha TM bzw. 5270/6710 m³/ha Methan)

Um zu belegen welches Leistungspotenzial Topinambur im Vergleich zu Mais aufweist, sind in Tab. 6-3 die Relativerträge aller hier untersuchten Kulturen im Mittel der Versuchsjahre dargestellt. Im Vergleich zu den drei untersuchten Maissorten (eine frühe Silomais-, zwei späte Energiemaissorten) kann Topinambur (Ganzpflanze) in den optimal bzw. minimal mit Wasser versorgten Varianten einen Relativertrag von 77 bzw. 84 % Biomasse- und 65 bzw. 72 % Methan (errechnet) realisieren.

Topinambur kann somit durchaus als Ergänzung zu Mais angesehen werden, wobei jedoch Einschränkungen hinsichtlich der Eignung von Topinambur zur Verwendung in Biogasanlagen gemacht werden müssen. So sprechen z. B. die hohen Rohaschegehalte für schlechte Fermentationsseigenschaften, die im Verbundprojekt durch Ergebnisse von batch-Versuchen bestätigt wurden. Trotz steigender Biomasse-Erträge sprechen außerdem ökonomische Aspekte gegen eine Zusatzbewässerung von Topinambur. So zeigen erste Ergebnisse negative Gewinnbeiträge selbst beim unbewässerten Anbau von Topinambur.

Inwieweit sich also der Anbau Topinambur zur ausschließlichen Biomasseproduktion durchsetzen wird bleibt abzuwarten. Eine Kopplung unterschiedlicher Verwendungszwecke ist dagegen denkbar und könnte zur Risikostreuung beitragen.

Literatur

Böhmel, C., 2007: Comparative performance of annual and perennial energy cropping systems under different management regimes. Dissertation Universität Hohenheim.

FNR, 2009: <http://www.energiepflanzen.info/cms35/Topinambur.1602.0.html>, Abrufdatum 13.02.2009.

Schattauer, A. und P. Weiland, 2004: Grundlagen der anaeroben Fermentation in: Handreichung Biogasgewinnung und -nutzung. Hrsg. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e V., Gülzow.

Stolzenburg K., 2008: Ergebnisse der Arten- und Sortenversuche in Baden-Württemberg - Gasausbeuten, Biomasse- und Energieerträge. Tagungsband 3. Workshop Pflanzliche Rohstoffe zur Biogasgewinnung. Hrsg: Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg, Karlsruhe.

7 Polyphenole in Topinambur - wertvoll für die menschliche Ernährung

Prof. Dr. Günter Bärwald, Technische Universität Berlin

Dr. Michel Tchoné, Technische Universität Berlin

Technische Universität Berlin



Fakultät III -
Prozesswissenschaften

1 Relevante Inhaltsstoffe von Topinamburknollen

1.1 Inulin und seine physiologische Bedeutung

Anstelle von Stärke, das ist polymer gebundene Glukose, die den glykämischen Index **GI** beeinflusst, enthält die Topinambur das Reservekohlenhydrat **Inulin**, das ist polymer gebundene Fruktose mit nur einer Glukose am Anfang des großen Moleküls. Bei Verzehr von Inulin erhöht sich der GI-Wert nicht. Über die Bedeutung des GI in der Ernährungstherapie bei Diabetes mellitus Typ 2 wird aktuell berichtet (L. Hofmann, Ernährung im Focus **9**(2009) Heft 1 S. 36-38; G. Bärwald, „Gesund abnehmen mit Topinambur“- TRIAS Verlag im MVS-Medizinverlage, Stuttgart **2008**). - Lebensmittel, die beispielsweise Topinambur in Pulverform enthalten, reduzieren je nach dessen Anteil den Gesamt-GI. Weiterhin besitzt Inulin die Eigenschaft nach dem Verzehr praktisch kein Insulin abzurufen. Inulin ist Insulin unabhängig. Inulin ist im menschlichen Dünndarm unverdaulich und wird wie Ballaststoffe nicht in kalorische Berechnungen einbezogen (Souci, Fachmann, Kraut: „Die Zusammensetzung der Lebensmittel“ – 7. Auflage, Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH, Stuttgart **2008** mit Verlag Taylor & Francis MedPharm Scientific Publ.). Der Anteil an Inulin in der frischen Topinamburknolle liegt in den weiten Grenzen von 8 bis 20%. Erst im Dickdarm können Mikroorganismen, wie Laktobazillen und Bifidobakterien, das Inulin durch spezielle Enzyme in kleinere Oligofruktosen und organische Säuren zerlegen. Dabei benutzen diese Bakterien-spezialisten das Inulin als Nährstoff für ihre eigene Vermehrung. Dieser Vorgang im Dickdarm wird Prebiotik genannt und über die Laktanz klinisch getestet (G. Bärwald: 3. Fachtag für Topinambur, Landesanstalt für Pflanzenbau Forchheim Heft 1/**2005** S. 23-27).

1.2 Weitere primäre Inhaltsstoffe der Topinambur

In der Tabelle 1 sind die Bereiche der primären Inhaltsstoffe aus unseren Analysen und die neuesten Angaben des Standardwerks von **Souci, Fachmann, Kraut (2008)** angegeben. In der Tabelle 2 werden diese bis auf die Verbindungen der Polyphenole weiter aufgeschlüsselt. Hier ist der Übergang zu den sekundären Inhaltsstoffen zu sehen.

Tabelle 1: Bereiche der Inhaltsstoffe von frischen Topinamburknollen.

	a) eigene Ergebnisse		b) Souci, Fachmann, Kraut (2008)	
	Bereich	σ	Bereich	σ
Trockenmasse TM, %	19 – 28	21	18,7 – 33	21,1
Kohlenhydrate, %	8 – 22	15,8		
davon verdaulich, %	1 – 4	3,3		4,0
Protein, %	1,8 – 3,2	2,4	1,85 – 3,17	2,44
Fett, %	0,1 – 0,7	0,4	0,1 - 0,72	0,41
Ballaststoffe (Rohfaser), %	1,25 – 2,5	1,3	berechnet:	12,1
verdauliche organische Säuren („Fruchtsäuren“), %				0,44
Mineralstoffe, %	1 – 2	1,7	1,1 – 2,84	1,74

Zu den drei Gruppen: Auf Fett, verdauliche organische Säuren = „Fruchtsäuren“ und Rohfaser soll hier eingegangen werden. Die einzelnen, bis jetzt bestimmten Verbindungen sind, bezogen auf ihre geringe Konzentration, eher den sekundären Inhaltsstoffen zuzuordnen. Da einige Vitamine an antioxidativen Schutzmaßnahmen der Knollen beteiligt sind, werden sie unter diesem Gesichtspunkt noch einmal dargestellt. Die Aufschlüsselung der Mineralstoffe und ihre physiologische Bedeutung wurde bereits behandelt (Bärwald, 2005).

1.3 Sekundäre Inhaltsstoffe der Topinamburknolle

Zu den sekundären Inhaltsstoffen gehören selbstverständlich die Vitamine und weitere Phytochemicals. Die Tabelle 2 zeigt die aktuellen Angaben von Souci, Fachmann, Kraut bezüglich der „Fruchtsäuren“ und der Fettsäuren FS. Hierzu liegen keine eigenen Untersuchungen vor. Im Handbuch „Die Zusammensetzung der Lebensmittel“ von 2008 werden phenolische Säuren der Gruppe der Fruchtsäuren zugeordnet. Allerdings haben die Autoren des Souci, Fachmann, Kraut bezüglich dieser Verbindungen noch keinen Eintrag getätigt. Zu den sekundären Inhaltsstoffen gehören aber auch nach diesen Autoren spezielle bioaktive Verbindungen, wie Antioxidantien, Flavonoide und Flavonole. Für letztere wird bei einigen Obst- und Gemüsesorten wenigstens die Gesamtmenge als Quercetin-Äquivalent angeführt. Topinambur ist bei der Aufzählung von speziellen bioaktiven Verbindungen nicht berücksichtigt worden.

Eine wichtige Funktion für die Stabilität der Knollen und ihres Aufbaus bilden die unter dem Sammelbegriff „Rohfaser“ bzw. heute bevorzugt: „Ballaststoffe“ zusammengefassten Strukturen. Gerade für die weitere Verarbeitung der Knollen in der Brennerei sowie zu zusammengesetzten Lebensmitteln sind die einzelnen Verbindungen bei dem Zellaufschluss zu berücksichtigen. Dieser kann thermisch, mechanisch und/oder enzymatisch erfolgen. Hier soll die Grobzusammensetzung in Tabelle 3 angegeben werden. Gerade wegen den sehr unterschiedlichen chemischen Strukturen ist die Bestimmung der einzelnen Komponenten sehr aufwändig. Zum Teil wird deshalb auf eine separate Analyse verzichtet und nach der Differenzmethode verfahren: 100 – (Wasser + Protein + Fett + verdauliche Kohlenhydrate + verdauliche organische Säuren), so auch im Souci, Fachmann, Kraut 2008.

Tabelle 2: „Fruchtsäuren“ und Fettsäuren FS in der Topinamburknolle (nach Souci, Fachmann, Kraut 2008 - Seite 798 – Wurzel- und Knollengemüse)

Fruchtsäuren, mg/100 g:	Bereich	ø
Äpfelsäure	180 - 220	200
Zitronensäure	225 - 250	235
Bernsteinsäure		7,0
Fumarsäure		12
Fettsäuren FS, mg/ 100 g		
Palmitinsäure (16:0)		90
Stearinsäure (18:0)		5,1
Ölsäure (18:1)		7,7
Linolsäure (18:2)		166
Linolensäure (18:3)		43

Zu den Fruchtsäuren ist anzumerken, dass sich hier die Obst- und Gemüseanalytik wiederfindet. In der weitergehenden technologischen Verarbeitung der Knollen ist jedoch das Spektrum der organischen Säuren nicht vollständig wiedergegeben. In der Hauptsache wird Milchsäure, je nach Bakterienkontamination in D- und L-Form, gebildet. Das Entstehen von Glukonsäure ist gleichfalls nicht auszuschliessen. Hinzu kommt in der Prävention noch die schweflige Säure, um sowohl enzymatische Vorgänge, Zufärbungen als auch mikrobielle Kontaminationen einzuschränken, jedenfalls bei der konventionellen Verarbeitung von Knollen. Es fehlen hier die phenolischen Säuren in der Zusammenstellung.

Hinsichtlich der Fettsäuren ist der Anteil der ungesättigten FS beachtlich. Immerhin sind rund 70% ungesättigt. Davon ist die FS 18:2 – Linolsäure – mit 53% dominant. Die FS 18:3 hat immerhin noch einen Anteil von etwa 14% der gesamten FS.

Tabelle 3: Ballaststoffe (Rohfaser) der Topinamburknolle (Durchschnittswerte)

Gesamtballaststoffe, %	1,3
Cellulose, %	0,60
Pektin, %	0,46
Hemicellulose, %	0,22
Lignin, %	0,02

**Tabelle 4: Durchschnittsgehalte an Vitaminen in der Topinamburknolle
a) eigene Ergebnisse b) nach Souci, Fachmann, Kraut (2008)**

Vitamin A, mg / 100 g	0,01	als Retinoläquivalent, µg / 100 g	2,0
		Gesamtcarotinoide, µg / 100 g	12
		β-Caroten, µg / 100 g	12
Vitamin B ₁ , mg / 100 g	1,0		0,20
Vitamin B ₂ , mg / 100 g	0,3		0,06
Vitamin B ₆ , mg / 100 g	0,1	nicht bestimmt	
Nicotinamid, mg / 100 g	6,5		1,3
Pantothensäure, mg / 100 g	1,0	nicht bestimmt	
Biotin, µg / 100 g	39	nicht bestimmt	
Vitamin C, mg / 100 g	7,0		4,0

Allgemein gilt, dass in wäßrigen Medien sich aufgrund von reduzierenden Substanzen der zerkleinerten Frucht eine meßbare antioxidative Kapazität TAC aufbaut. Reduzierende Substanzen sind in der Lage freie Radikale abzufangen. Bei Topinambur sind es von den Vitaminen die Formen des Vit. A sowie diejenige der Ascorbinsäure. Das Antioxidans Vitamin E (Tocopherole) ist in den Knollen nicht nachgewiesen. Die Vitamine A + C bilden Schutzmechanismen gegen die Oxidation z. B. der Polyphenole aus. Der Erhalt dieser Schutzwirkung ist sowohl bei der analytischen Bestimmung der Polyphenole als auch bei der Verarbeitung der Knollen in der Lebensmittelindustrie äußerst wichtig. Es werden nicht allein diese Vitamine als Antioxidantien angesehen, sondern auch die Peptide und Proteine, die anstelle von Schwefel das Selen enthalten. Das Selenocystein spielt in diesem Red-Ox-System eine wichtige Rolle (D. Besse, F. Siedler, T. Diercks, H. Kessler und L. Moroder, *Angew. Chem.* **119**(1997) S. 915-917). Dem Selengehalt in Topinambur sollte deshalb als bioaktives Element Aufmerksamkeit geschenkt werden (G. Bickers und G. Bärwald, *Industrielle Obst- u. Gemüseverwertung* **79**(1994) S. 151-155).

2 Polyphenole PP in Topinambur

2.1 Summarische Erfassung der Polyphenole

Zunächst wurde von M. Tchoné in seiner Dissertation (2003; D 83 der Technischen Universität Berlin, Fakultät III – Prozesswissenschaften), deren Ergebnisse hier dargestellt werden, eine auf der Basis des Vorkommens von Polyphenolen in Topinambur festgelegte summarische Bestimmungsmethode entwickelt. Es zeigte sich, dass die Methode von Folin-Ciocalteu für Säfte und Weine modifiziert werden mußte, und zwar für den Meßbereich des Farbkomplexes – anstelle von $\lambda^{1\text{cm}} = 720 \text{ nm}$ jetzt $\lambda^{1\text{cm}} = 760 \text{ nm}$ und für die Referenzsubstanz Gallussäure schließlich Salicylsäure – weil diese unter den Polyphenolen in der Topinamburknolle dominant ist. Ganz wichtig, wie bereits erwähnt, sind die Zerkleinerung der Knollen und die anschließende Extraktion der PP unter strikt anaeroben Bedingungen mit dem Lösemittelgemisch Ethylacetat:Methanol = 1:1. Bei der Extraktion werden möglicherweise andere, die Farbreaktion störende Substanzen aus dem Pflanzenmaterial mit erfaßt. Als Störpotentiale wurden angesehen: Ascorbinsäure, aromatische Aminosäuren, Eisen(II)-Vorkommen und SO₂. Letzteres besitzt einen meßbaren Einfluß, denn z. B. bei 190 mg/l freiem SO₂ in wäßriger Lösung, wie Topinambursaft oder –maische, würde der analytisch bestimmte scheinbare Gesamt-PP-Gehalt um 14% höher liegen als der tatsächliche.

Für die Ascorbinsäure zeigt sich ein gänzlich anderes Bild. Da nur 4 bis 7 mg/ 100 g Ascorbinsäure in den Knollen nachgewiesen wurden, ist der Einfluß auf die summarische PP-Bestimmung marginal. Allerdings ist bei der Verarbeitung der Knollen manchmal der Zusatz von Ascorbinsäure angebracht. Wenn beispielsweise 0,1% Ascorbinsäure der flüssigen Phase (Saft) zugesetzt werden, zeigte die Analyse einen um 57% erhöhten scheinbaren PP-Gehalt an. Die Ascorbinsäure reduziert hier oxidierte Polyphenole und verfälscht den Analysenwert. Diese Störreaktionen sind durch freigesetzte aromatische Aminosäuren und Eisen(II)-Verbindungen zwar vorhanden, spielen jedoch bei der Untersuchung der Knollen nur eine marginale Rolle.

Die Polyphenoloxidase PPO muss für die Bestimmung der PP bei Zerkleinerung der Knollen sowie Schalengewinnung zur Extraktion inaktiv sein. Deshalb wurde der Knollenbrei mit HCl angesäuert und auf 80°C erhitzt. Reaktiver Sauerstoff wurde durch Entgasen in sämtlichen Verfahrensschritten mittels Ultraschalls entfernt.

Tabelle 5: Gesamtpolyphenolgehalte in Knollen und deren Schalen in % TM; Vergleich der Methoden: HPLC, Folin-Ciocalteu modifiziert (SAE) und original (GAE)

Sorte	Ganzknolle			Schale		
	HPLC	SAE	GAE	HPLC	SAE	GAE
Waldspindel	2,56	5,1	3,0	10,04	17,2	12,0
Stamm	0,97	0,7	3,8	7,52	1,9	6,0
Gigant	0,85	0,6	3,0	4,00	1,0	7,8
Medius	0,84	0,9	3,3	5,31	2,4	8,0
Petit Blanc	0,79	0,4	4,5	1,97	1,8	14,4
Large White	0,71	0,5	4,6	4,32	1,0	8,8
Gute Gelbe	0,63	0,6	5,0	2,98	1,8	14,5
RoZo	0,39	0,6	6,0	6,46	2,4	11,0

Maßgeblich sind die summarischen Ergebnisse aus der HPLC-Trennung. Diese stehen im Vergleich zur von uns entwickelten Modifikation der Folin-Ciocalteu – Analyse mit Salizylsäure SAE als Referenzsubstanz. Daneben steht die klassische Bestimmung mit Gallussäure als Referenzsubstanz. Die Gallussäureäquivalente GAE lassen eine Tendenz erkennen, mehr nicht. Sie wurden zunächst ausgewählt, weil Paupardin und Gautheret die einzigen Forscher waren, welche Phenolsäuren in Topinambur mittels Papierchromatographie getrennt und den scheinbaren Gesamtgehalt an PP mit Gallussäure als Bezugssubstanz quantifiziert hatten (C. Paupardin et R. Gautheret, *Compt. Rend. Sceances Acad. Sciences* **261**(1965) S. 4206-4208). Das Referenzverfahren dieser Autoren wurde nachgearbeitet. Demnach beträgt das GAE im Fruchtfleisch der hier untersuchten Sorten 0,9 bis 4% und in der Schale 6 bis 14,5%. Höchste Anteile hat die Sorte RoZo mit 6% in der TM, sie liegt im Vergleich zur Rotweibeere mit 6,3% in der TM und zur Schwarzwurzel mit 1,9% (V. Böhm, K. Schlesier und R. Bitsch, *Z. Lebensmittel* **3**(2000) S. 280-282; K.-H. Wagner, C. Haberzettl und I. Elmadfa, *Ernährung/Nutrition* **24**(2000) S. 251-256) mit der GAE sehr günstig. Weil aber die Gallussäure in der Topinambur nur ca. ein Zehntel der Salicylsäure und das mit ziemlichen Konzentrationsschwankungen beträgt, sind die Werte nicht vergleichbar, wie aus der Tabelle 5 deutlich wird. Um die PP-Verbindungen summarisch zu erfassen, bedarf es deshalb bei Topinambur der Ausrichtung auf andere Leitsubstanzen. Salicylsäure als SAE allein reicht auch nicht aus, genauer wäre es die zweite Leitsubstanz Chlorogensäure mit einzubeziehen. Die Referenz-GAE-Werte bei Früchten und Gemüse sind also nicht mit Topinambur vergleichbar. Nur die Auftrennung der PP und ihre quantitative Zusammensetzung schafft Aufklärung über die phenolischen Inhaltsstoffe und damit besonders über ihre physiologische Bedeutung.

2.2 PP-Einzelkomponenten in Topinambur

In Tabelle 6 ist der Vorkommensbereich der phenolischen Substanzen in Topinambur – ganze Knolle und Schale – nach der chemischen Struktur erfaßt. Es wurden ausschließlich frisch geerntete Knollen untersucht. Der Grund hierfür liegt in ihrer geringen Lagerfähigkeit. Wenn es zum Auskeimen kommt, verändert sich das Spektrum der einzelnen phenolischen Verbindungen erheblich. Zumeist nimmt die Substanzmenge zu, d. h., die Pflanze bildet einen Schutz vor Schädlingen aus. Das ist u. a. ein Grund für die teilweise sehr unterschiedlichen PP-Gehalte einer Sorte.

Tabelle 6: Vorkommensbereich phenolischer Substanzen in frisch geernteter Topinambur. PP in % TM.

<u>C₆C₁-Grundkörper (Phenolsäuren)</u>	<u>Ganzknolle</u>	<u>Schalen</u>
Salizylsäure (2-Hydroxybenzoesäure)	0,17 – 0,95	1,26 – 6,50
Gentisinsäure (2,5-Dihydroxybenzoesäure)	0,03 - 3,00	0,12 – 3,00
Protocatechusäure (3,4-Dihydroxybenzoesäure)	0,01 – 0,20	0,02 – 0,20
Gallussäure (3,4,5-Trihydroxybenzoesäure)	0,01 – 0,06	0,01 – 0,15
2-Hydroxy-3,5-Dinitrobenzoesäure	Spur – 0,04	Spur – 0,20
Syringasäure (3,5-Dimethoxy-4-Hydroxybs.)	Spur – 0,01	Spur – 0,04
4-Hydroxybenzoesäure	Spur – 0,01	0,01 – 0,09
Vanillinsäure (3-Methoxy-4-Hydroxybs.)	Spur – 0,01	Spur – 0,50
Ellagsäure	Spur – 0,01	Spur – 0,04
<u>C₆C₃-Grundkörper</u>		
Chlorogensäure (Kaffeoyl-Chinasäure)	0,06 – 0,94	0,41 – 4,52
Kaffeesäure (3,4-Dihydroxyzimtsäure)	Spur – 0,05	Spur – 0,05
4-Hydroxycumarin	0,01 – 0,05	0,04 – 0,30
p-Cumarsäure (Hydroxyzimtsäure)	Spur – 0,04	0,01 – 0,04
Umbelliferon	0,01 – 0,02	0,02 – 0,10
Scopoletin	Spur – 0,02	Spur – 0,08
Sinapinsäure (3,5-Dimethoxy-4-Hydroxyzimts.)	Spur	Spur – 0,06
Ferulasäure (3-Methoxy-4-Hydroxyzimts.)	Spur – 0,01	Spur – 0,04
3-Hydroxyzimtsäure	Spur	Spur
Cumarin-3-Carbonsäure	Spur	Spur – 0,03
<u>C₆C₃C₆-Grundkörper</u>		
Epicatechin	Spur – 0,09	0,03 – 0,80
Aesculin	Spur – 0,25	0,03 – 0,25
Catechin	0,01 – 0,30	0,02 – 0,30

Bei den Hydroxybenzoesäure-Verbindungen wurden von uns erstmals in Topinambur identifiziert und quantifiziert: Salizylsäure, Gallussäure, Protocatechusäure, 2-Hydroxy-3,5-Dinitrobenzoesäure, Syringasäure und Ellagsäure; bei den Hydroxyzimtsäure-Verbindungen 4-Hydroxycumarin, Scopoletin, Sinapinsäure, Umbelliferon, 3-Hydroxyzimtsäure und Cumarin-3-Carbonsäure sowie aus der Gruppe der Flavonoide: Epicatechin, Aesculin und Catechin. Als Methoden wurden angewandt: Elektrospray-Ionisation, Elektronenstoß-Ionisierung und chemische Ionisierung. Die einzelnen Komponenten wurden nach der chromatographischen Trennung massenspektrometrisch erfaßt. Die Anteile an nicht identifizierbaren PP-Verbindungen in den Chromatogrammen lagen zwischen 1 und 3,5% der Gesamtgehalte.

Von erheblicher Bedeutung für die Gesundheit sind diejenigen PP-Verbindungen, die quantitativ eine Rolle – zumindest in den Schalen – spielen: Salizylsäure als „pflanzliches Aspirin“ sowie Chlorogensäure zusammen mit den Catechinen mit prophylaktisch antikanzinogenem Wirkspektrum (Bärwald, 2005). Die vergleichenden Untersuchungen des Schweizer Forschungsinstituts für biologischen Landbau ergaben, wie jetzt in der Presse berichtet wurde, bis zu 50% höhere Werte an PP und Saponinen in Bio-Gemüse gegenüber dem konventionellen Anbau. Sie erklären das damit, dass die Pflanze gerade diese PP und Saponine dringend braucht und deshalb auch vermehrt produziert, um sich vor Schädlingen zu schützen. Im konventionellen Anbau sind es ja die Pestizide, welche von außen den Schutz bieten.

3 Verarbeitung von Topinambur unter Berücksichtigung der Polyphenoloxidase PPO

3.1 Die Rolle der Polyphenoloxidase PPO

Die Rolle der Oxidasen bei der Verarbeitung von Früchten und Gemüse ist unter dem Begriff der enzymatischen Bräunung bekannt. Diese dunkle Verfärbung z. B. von Schnittoberflächen verleiht den Produkten ein unansehnliches Äußeres; der Verbraucher assoziiert sie mit „alt“ und „überlagert“. Die technische Verarbeitung von Gemüse und Obst berücksichtigt diesen Vorgang durch z. B. Oxidationsschutz, Vermeiden von Lichteinwirkungen und Blanchieren.

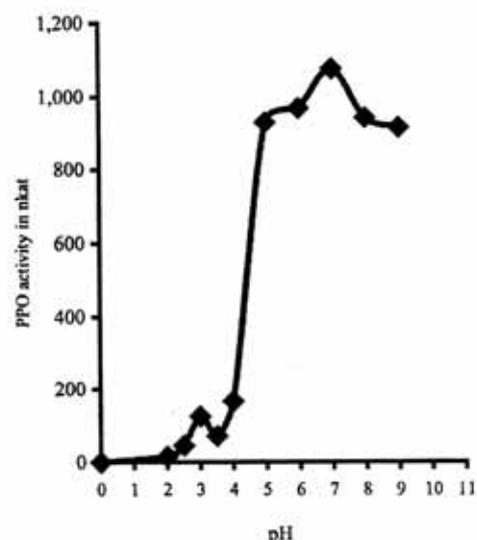
Da Topinamburknollen besonders in der Schale relativ viele PP enthalten, war zu prüfen, wann die Polyphenoloxidase aktiv ist und wie sie gehemmt werden kann (M. Tchomé, G. Bärwald und C. Meier, *British Food J.*, **107**(2005)No. 9, S. 693-701). Die PPO ist kein einheitliches Enzym. Vielmehr handelt es sich um bifunktionale Kupferproteine, je nach Vorkommen in der Natur, die einerseits mittels molekularem Sauerstoff zwei Monophenole zu einem o-Diphenol verknüpfen und andererseits die o-Diphenole zu o-Chinone kondensieren. Diese Chinone bilden spontan Polymere, die rot, braun oder schwarz gefärbt sind. Man nennt sie Pigmente oder Melanin. Um diesen „oxidativen Verderb“ bei der konventionellen Verarbeitung von Topinambur zu verringern, wird schweflige Säure in Form von SO₂ bei der Zerkleinerung / Schälen zugesetzt (J. Sawistowski, G. Blank und E.D. Murray, *Canadian Inst. Food Technol. J.* **20**(1987)No. 3, S. 162-167). Das Verfahren ist aber schon früher bei Topinamburmaischnen angewandt worden. Der zusätzliche Effekt ist dann das Eindämmen von bakteriellen Kontaminationen, welches auch zu besseren Alkoholausbeuten führt. Für die Bioproduktion von Topinamburprodukten ist der Zusatz von SO₂ problematisch und sollte möglichst vermieden werden. Zulässig ist er nur bei der Stabilisierung von Wein.

3.2 Die Wirkbereiche der Topinambur-PPO

In der Abbildung 1 wird die Aktivitätskurve von Topinambur-PPO gezeigt.

Abbildung 1:
pH-Optimum der Topinambur-PPO bei der Temperatur 60°C im Brei von Schalen bzw. ganzen Knollen

Es ist deutlich zu erkennen, dass die Hauptaktivität im neutralen Bereich bei pH 7 liegt, aber daneben eine weitere Aktivität im sauren Bereich bei pH 3 existiert, evtl. als Isoenzym. Das pH der Topinamburknollen im frisch gepressten Saft liegt mit 5,9 bis 6,4 nahezu im PPO-Optimum.



Es zeigt sich, dass das Ansäuern mit Zitronen- bzw. Ascorbinsäure auf einen pH-Wert von mindestens 4,5 die PPO-Aktivität erheblich einschränkt (Abbildung 2). Für Bioprodukte hat sich frisch gepresster Zitronensaft bewährt. Beispielsweise beträgt die Restaktivität der PPO mit Zitronensaft bei pH 4,5 noch 3% und ist bei pH 4,0 nicht mehr nachweisbar. Diese Hemmversuche wurden bei 60°C ausgeführt, dem Temperaturoptimum der Topinambur-PPO (Abbildung 3).

Abbildung 2:
Einfluss von antioxidativ wirkenden Säuren auf die PPO bei 60°C

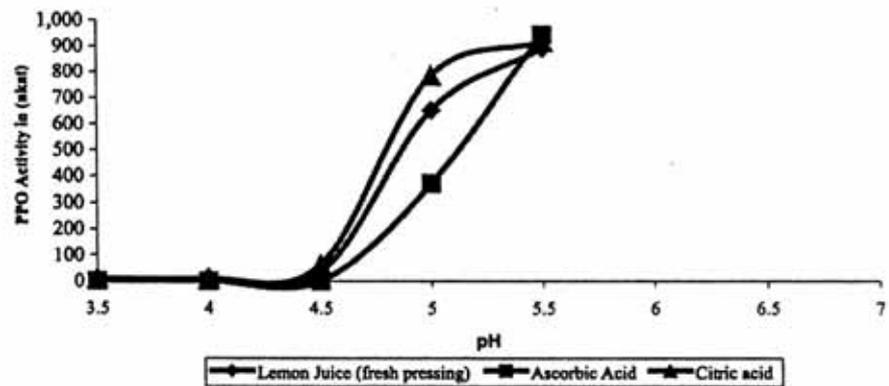
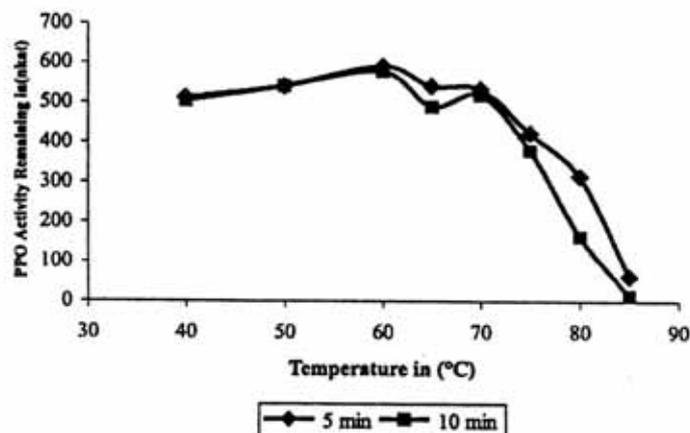


Abbildung 3:
Bestimmung des Temperatur-Optimums der PPO; die Messungen erfolgten jeweils nach 5 und 10 Minuten Haltezeit der Maischen

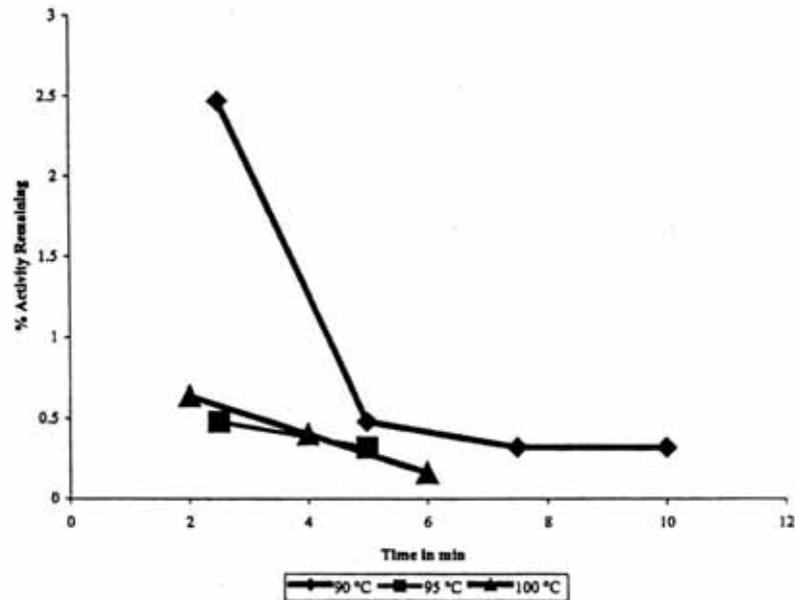


Die pflanzeigenen Inulinasen zeigen ein vergleichbares Wirkspektrum wie die PPO bezüglich des optimalen pH-Bereichs und der Temperatur. Für die Brenner ist dies auch interessant, weil sie bei dem Reibselverfahren an extern zuzufügenden Inulinaseenzymen sparen, wenn entsprechende Haltezeiten bei der Maischeverzuckerung, z. B. bei Temperaturen $\leq 60^\circ\text{C}$, berücksichtigt werden. Auch bei Kühlung der Maische auf Anstelltemperatur mit Hefe – wir bevorzugten 29°C – verzuckert die Maische weiter. Der Oxidationsschutz für die PP stellt sich dann bei der Gärung ein, wenn das entstehende CO_2 den Restsauerstoff aus der Luft vertreibt. Werden zusätzlich die Gärtanks mit CO_2 vorgespannt, so fehlt der PPO der Reaktionspartner Sauerstoff und die antioxidative Kapazität der Maische bleibt erhalten. Damit bleiben auch die PP-Verbindungen im reduzierten Zustand, praktisch von der Maische bis zur Schlempe. Dies ist bedeutend für die Verfütterung, weil die positive physiologische Wirkung der PP den Tieren genau so zugute kommt wie dem Menschen. Wir konnten beobachten, dass Hühner gierig Topinamburschlempe aufpickten wie die Schweine und Rinder diese ebenfalls als Futter bevorzugten.

Der Sauerstoffeintrag bei dem Aufschluß der Topinamburknollen steht dem Reduktionsvermögen der PP entgegen. Das gilt sowohl für die Analyse als auch in der Verfahrenstechnik. Bei der Analysenvorbereitung haben sich Vakuumentgasung wie auch Schutzgasgemische aus CO_2 und N_2 bewährt. Die PPO kann dadurch praktisch ausgeschaltet werden. In der Technik hilft das Blanchieren.

Abbildung 4:
Blanchiereffekt: PPO-Aktivitätsverluste in Abhängigkeit von der Haltezeit und der Temperatur (pH 7,0)

Je nach der in der oberen Schicht der Topinamburknollen erzeugten Blanchiertemperatur verliert sich die PPO-Aktivität. Allein durch Blanchieren ist sie nicht restlos zu beseitigen, wie die Abbildung 4 zeigt. Die im Inneren des Fruchtfleisches noch vorhandene geringe PPO-Aktivität wird durch das Blanchieren nicht gänzlich erfasst.



Abschliessend sei angemerkt, dass es keine lineare Korrelation zwischen den in den acht untersuchten Sorten quantifizierten PP-Komponenten und der jeweiligen PPO-Aktivität gab.

Zusammenfassung

Die im Standardwerk Souci, Fachmann, Kraut: „Die Zusammensetzung der Lebensmittel“, 7. Auflage 2008, neu gestaltete Zusammenstellung der Inhaltsstoffe von Topinambur werden kritisch betrachtet. Obwohl Phenolsäuren im allgemeinen dort erfasst wurden, fehlen sie hier für Topinambur. Die Polyphenole PP werden anhand der Sorten: Waldspindel, Stamm, Gigant, Medius, Petit Blanc, Large White, Gute Gelbe und Rozo, summarisch quantitativ nach verschiedenen Analysemethoden und nach ihrer HPLC-Trennung als Einzelkomponenten mengenmäßig für die ganze Knolle angegeben. Die Strukturaufklärung erfolgte durch Elektrospray-Ionisation, Elektronenstoß-Ionisierung sowie chemische Ionisierung und, nach chromatographischer Trennung, mittels gekoppelter Massenspektroskopie. Die Polyphenole sind weit überwiegend in den Schalen lokalisiert. Bei der Verarbeitung der Knollen sind die originären PP-Substanzen vor Oxidation zu Kondensaten und zu gefärbten Pigmenten durch mögliche enzymatische Bräunung zu schützen. Die Polyphenoloxidase PPO in Topinambur zeigt bei 60°C und pH 7 Optima. Um ihren schädlichen Einfluss bei der Verarbeitung im Lebensmittelbereich: Safterstellung, Schälen und als Konservenware einzugrenzen, empfiehlt sich das Ansäuern unter pH 4,5 sowie längeres Blanchieren.

Adresse:

Univ.-Prof. a. D. Dr.-Ing. Günter Bärwald
Technische Universität Berlin
www.baerwald-prof.de
Privat:
Karmeliterweg 73/75

13465 Berlin

Ausblick:

Die Polyphenole entstehen in den Blättern und werden über die Gefäßbündel der Stängel in den Wurzelstock und in die Knollen geleitet. Daher ist der PP-Gehalt der Blätter und Stängel mit in die Betrachtungen einzubeziehen. Aus Forschungen an Stängeln von *Helianthus annuus*, der Sonnenblume, wurde 2005 festgestellt (Dissertation C. Cerboncini, Universität Bonn), dass die Weißfäule an Stängeln, verursacht durch *Sclerotinia sclerotiorum*, unterbleibt, wenn die PP-Verbindung DicaFFEoyl-Chinasäure (DCQA) als Schutzstoff gebildet wird. Für die Therapie bei HIV ist das wichtig, denn DCQA hemmt das Enzym Integrase des AIDS-Virus. Es kann sich dadurch nicht ausbreiten, weil der Einbau der Viruserbmasse in das menschliche Genom unterbleibt. Wird DCQA als Medikament zugeführt, gelingt es, die Viruslast im Körper zu senken. – Auf die Grünmasse bei Topinambur, *Helianthus tuberosus*, bezogen, findet man besonders im ökologischen Anbau keinen *Sclerotinia*-Befall der Stängel. Die Bausteine von DCQA sind als Chlorogensäure + Kaffeesäure in Blatt, Stängel und Knolle von uns quantitativ nachgewiesen worden. Da noch unidentifizierte PP-Verbindungen in unseren Untersuchungen vorlagen, lohnt es sich, hier auf DCQA zu prüfen.

8 Einsatzmöglichkeiten von Topinambur bei Pferden und Hunden

Dr. Ingrid Vervuert, Universität Leipzig

Topinambur (*Helianthus tuberosus*) enthält als Kohlenhydrat Inulin, welches aus diätetischer Sicht von besonderem Interesse ist. Inulin besteht aus linear aneinander verknüpften Fructoseeinheiten mit je einer Glucoseeinheit (94% des Inulins mit einer Kettenlänge < 40 Einheiten), wobei die Bindung der Fructoseeinheiten in der sog. β -glycosidischen Form vorliegt. Diese Bindung ist insofern von Interesse, da für den Abbau der Fructoseeinheiten Bakterien z.B. aus dem Magen-Darmtrakt notwendig sind. Damit bietet Topinambur bzw. das in Topinambur enthaltene Inulin ein schnell fermentierbares Nährsubstrat für die Mikroflora im Magen-Darmtrakt von Hunden und Pferden. Aus diätetischer Sicht ist zum einen die Förderung sog. erwünschter Bakterien wie z.B. Bifidobakterien und die Abnahme weniger erwünschter Bakterien wie z.B. Clostridien oder Salmonellen unter der Zulage von Inulin von Interesse. Des Weiteren scheint aber auch die erhöhte Bildung von flüchtigen Fettsäuren wie z.B. Butyrat positiv für die Darmfunktion zu sein. Butyrat stellt beispielsweise ein wichtiges Nährsubstrat für die Darmzelle da, des Weiteren scheinen die flüchtigen Fettsäuren eine Signalfunktion zu besitzen. Darüber hinaus werden u. a. nachteilige Substanzen wie z.B. Ammoniak bei der Verfütterung von Inulin besser gebunden und mit dem Kot ausgeschieden, welches eine Entlastung für Leber und Niere bedeutet, andere nachteilige Substanzen wie z.B. Phenole werden durch die Gabe von Inulin weniger stark gebildet. Bei Hunden können diese Effekte für die Inulinzulage (0,3 bis 3% Inulin in der Gesamtration) betätigt werden (z.B. Probst et al. 2003, Zentek et al. 2003), allerdings wurde in den genannten Studien in der Regel isoliertes Inulin (Ursprung Chicorée) verfüttert. Bei Menschen und Ratten werden darüber hinaus Effekte durch die Zulage von Inulin auf den Fettstoffwechsel und auf eine verbesserte Mineralstoffaufnahme beschrieben, dies konnte beim Hund jedoch nicht bestätigt werden (z.B. Diez et al. 1998) und beim Pferd fehlen gänzlich Untersuchungen zu diesem Sachverhalt.

Aus den genannten Effekten lassen sich aus diätetischer Sicht Einsatzmöglichkeiten bei Darmstörungen (Förderung einer erwünschten Darmflora) und bei Lebererkrankungen (Bindung von Ammoniak und Ausscheidung über den Kot) beim Hund ableiten, beim Pferd fehlen bislang gesicherte Anhaltspunkte.

Für das Pferd ist anzumerken, dass die Verfütterung von schnell fermentierbaren Kohlenhydraten durchaus kritisch sein kann, so kann z.B. durch die Gabe von Fructooligosacchariden (Fructoseeinheiten bis zu einer Kettenlänge von 10 Fructoseeinheiten, Dosierung 7,5 g / kg Körpermasse) eine Hufrehe ausgelöst werden (van Eps & Pollitt 2006). In einer eigenen Untersuchung konnte darüber hinaus bestätigt werden, dass die Verfütterung von Topinambur (Inulin 1 /kg Körpermasse) im Vergleich z.B. zu Rübenschnitzeln (Pektine) oder zu Grünmehl (Cellulose / Hemicellulose) zu einem überproportional schnellen bakteriellen Abbau führt, welches ein Risiko für Magen-Darmstörungen beim Pferd sein kann (Coenen et al. 2006). Es bleibt weiteren Studien vorbehalten, die Grenze zwischen sinnvollen Einsatz und Risiko für die Verfütterung von Inulin (z.B. über Topinambur) beim Pferd zu eruieren.

Literatur

Coenen et al. (2006): Fermentative gases in breath indicate that inulin and starch start to be degraded by microbial fermentation in the stomach and small intestine of the horse in contrast to pectin and cellulose. *J. Nutr. Suppl.* 136: 2108S-2110S

Diez et al. (1998): The influence of sugar-beet fibre, guar gum and inulin on nutrient digestibility, water consumption and plasma metabolites in healthy Beagle dogs. *Res. Vet. Sci.* 64: 91-96

Propst et al. (2003): A dose-response experiment evaluating the effects of oligofructose and inulin on nutrient digestibility, stool quality, and fecal protein catabolites in healthy adult dogs. *J. Anim. Sci.*, 81:3057-3066

Van Eps & Pollitt (2006): Equine laminitis induced with oligofructose. *Equine Vet. J.* 38: 203-208

Zentek et al. (2003): Dietary effects of bifidobacteria and *Clostridium perfringens* in the canine intestinal tract. *J. Anim. a. Anim. Nutr.* 87: 397-407

9 Einfluss der Sorte und des Erntezeitpunktes von Topinamburkraut auf ernährungsrelevante Aspekte in der Schweinefütterung

Dr. Laura Kocsis, Universität für Bodenkultur Wien

P. Liebhard, C. Zeithofer und W. Wetscherek

9.1 Einleitung

Durch das relativ schnelle Krautwachstum wird der oberirdische Aufwuchs von Topinambur vielfach verwendet. Bedeutend sind derzeit neben anderem der Einsatz als frisches Viehfutter, Silagenbereitung, für extensive oder intensive Wildäcker, Schweineweide, als Sicht- und Windschutzpflanze und als Substrat für die Biogasproduktion.

Für eine überwiegende Krautnutzung bei Topinambur sind bereits nach PÄTZOLD (1957) im Vergleich zu einer Knollennutzung andere Produktionskriterien erforderlich. Die Qualität für eine Grünfütterung wird überwiegend durch das Blatt- Stängel-Verhältnis vorgegeben. Der Gehalt an wertgebenden Inhaltsstoffen ist daher im hohen Ausmaß vom Erntetermin abhängig.

Vielfach wird in der älteren Literatur belegt, dass bei Topinambur der Krautertrag im Vergleich zum Knollenertrag mindestens gleich oder 1,5-mal höher als der Knollenertrag ist (ANGELI et al. 2000). Der Gesamtpflanzenenertrag von Topinambur (Knollen und Kraut) ist sortenspezifisch unterschiedlich hoch und erreicht zwischen Mitte September und Mitte November das Maximum (LIEBHARD 1991, STOLZENBURG 2006).

9.1.1 Problemstellung und Zielsetzung

Die Veränderung des Kohlenhydratmusters während der Hauptvegetationszeit und bis zur Ernte beeinflusst im hohen Ausmaß die Verwertungsmöglichkeiten der Knollen. Ein ähnliches Verhalten weist auch das Kraut auf und daher wird auch bei einer Krautnutzung durch die unterschiedliche Reifezeit der Sorten ein langer Erntezeitraum erwartet. Ergebnisse in der Literatur weisen aber darauf hin, dass es bei späteren Krauternteterminen zu einer starken Verminderung des Mineralstoffgehaltes kommt (HAAS 1982).

Bei einer späten Krauternte vermindert sich der Knollenertrag nur geringfügig, daher soll das Krautertragspotential unterschiedlicher Sorten zu verschiedenen Ernteterminen sowie der Krautfutterwert bei einer späten Ernte im pannonischen Klimaraum beurteilt werden.

9.2 Material und Methode

Die mehrjährigen Feldversuche wurden an der Außenstelle der Universität für Bodenkultur Wien, an der Versuchswirtschaft der Universität für Bodenkultur Wien, in Groß Enzersdorf, am östlichen Stadtrand von Wien, in den Jahren 2000/2001, 2001/2002, 2002/2003 und 2007 durchgeführt.

Der Versuch wurde als zweifaktorielle Blockanlage mit sieben Sorten und neun Ernteterminen in zweifacher Wiederholung angelegt. Die Zeitstufenernten von 3. August bis 20. März waren Grundlage für die umfassenden Laboranalysen. In der vorliegenden Arbeit werden die Ergebnisse von nur sechs Ernteterminen aus den Vegetationsjahren 2000, 2001 und 2002 (**Fehler! Verweisquelle**

konnte nicht gefunden werden.) sowie ein Erntetermin für ergänzende Analysen (Mitte Oktober 2007) angeführt.

Tab. 9-1: Kräutererntetermine, in den Vegetationsjahren 2000, 2001 und 2002/2003

Erntetermin	Termin	ca. Vegetationszeit in Wochen ab Feldauf- gang
03. bis 08. August	Termin 1	17
05. bis 10. September	Termin 2	21
14. bis 20. Oktober	Termin 3	26
08. bis 13. Dezember	Termin 4	34
01. bis 05. März	Termin 5	47
17. bis 25. März	Termin 6	49 (50)

Krautrockensubstanzbestimmung:

Die vorgetrockneten Proben (60 °C) wurden bei 110 °C im Trockenschrank bis zur Gewichtskonstanz getrocknet. Der Trockensubstanzgehalt wurde durch Differenzwägung ermittelt.

Enzymatische Zuckerbestimmung:

200 mg gefriergetrocknete Probe wurden mit UHQ Wasser bei 80 °C 2 Stunden extrahiert, danach wurden die Proben zentrifugiert und je nach Bedarf verdünnt. Aus dieser Lösung wurden die Glukose, die Fruktose und die Saccharose enzymatisch mittels der Glukose/Fruktose/Saccharose – UV- Testkombination von Boehringer –Mannheim (Nr.716 260) bestimmt.

Enzymatische Inulinbestimmung:

Glukose und Fruktose wurden nach Säurehydrolyse der Fruktane mit der Glukose/Fruktose UV – Testkombination von Boehringer –Mannheim (Nr.716 269) nach Abzug der freien Glukose, Fruktose und Saccharose als Inulin berechnet.

WEENDER Analyse:

Standardmethode VDLUFA (NAUMANN und BASSLER 1997)

9.3 Ergebnisse und Diskussion der Ergebnisse

Vor der maschinellen Knollenernte muss bei Topinambur eine Zerkleinerung oder eine Ernte des Krautes erfolgen. Je nach Sorte und Erntezeitpunkt ist der Trockensubstanzgehalt des Krautes unterschiedlich hoch und die Verholzung des Stängels verschieden weit fortgeschritten. Das Kraut nimmt bei der Herbsternernte einen Anteil von 25 bis 56% an der Gesamtbiomasse ein und erreicht je nach Sorte und Standort zwischen 5 000 (in semiariden Produktionsgebieten) und 12 000 kg TM ha⁻¹ auf semihumiden Standorten (LIEBHARD 1991). Aufgrund des unterschiedlichen Witterungsverlaufes in den Jahren 2000, 2001 und 2002 kam es zu unterschiedlichen Wachstumsverläufen, die sich auch im Knollenertrag zeigten. Im Jugendstadium, bereits ab ca. 20 Tagen nach Feldaufgang, erfolgte bei den späten Sorten Fuseau 60 und Waldspindel ein deutlich stärkeres Krautwachstum

im Vergleich zu den frühen Sorten Bianka und Topstar (Wuchshöhenunterschied bis zu 15 cm, der sich bis Vegetationsende bis zu 1,0 m erhöhte).

Trotz der höheren mittleren Stängelzahl je Pflanze der frühen Sorten Bianka und Topstar (4 bis 8) gegenüber den mittelspäten und späten Sorten (mittlere Stängelzahl/Pflanze 2 bis 3) unterscheiden sich die Krauterträge nicht deutlich (Abb. 9-2).

Die Ursache für das stärkere späte Krautwachstum der späten Sorten ist durch den späteren Zeitpunkt des Knollenansatzes und die dadurch vorgegebene spätere Knollenbildung bedingt. Die Photosyntheseprodukte werden daher in das Krautwachstum, d.h. in die Stängelmassebildung verlagert (höhere Stängellängen).

Ein wesentlich beeinflussender Parameter für den Krautertrag ist die **Wuchshöhe**. Sie wurde durch die Sorte, den unterschiedlichen Temperaturverlauf und vor allem durch verschieden hohes Wasserangebot signifikant beeinflusst. Die mittelspäten und späten Sorten erreichten erwartungsgemäß im Vergleich zu den frühen Sorten eine im Trend höhere Wuchshöhe (Abb. 9-1).

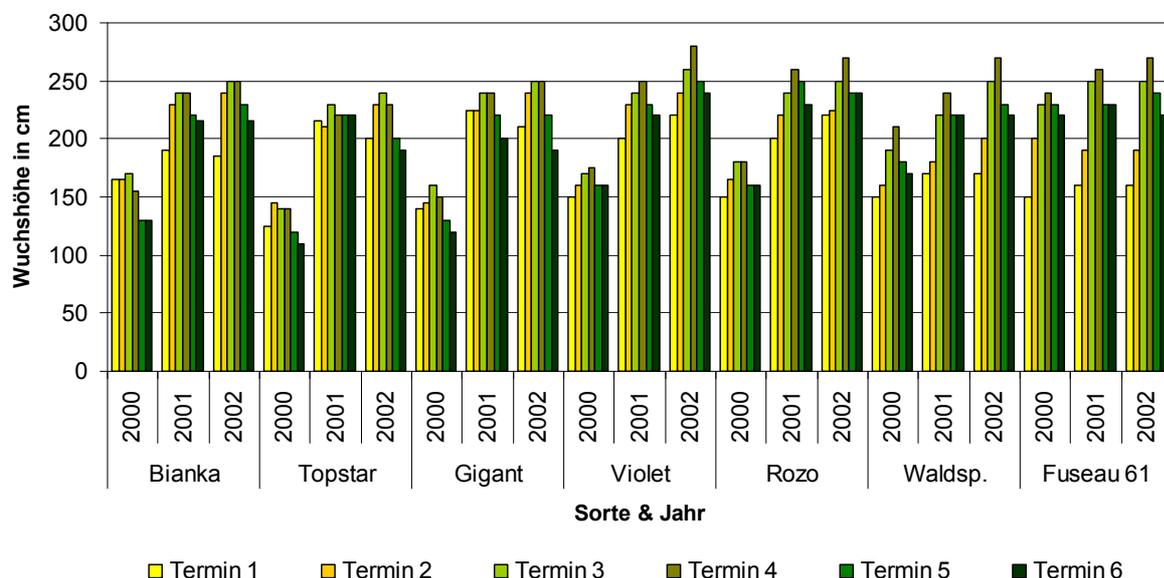


Abb. 9-1: Einfluss der Sorte und des Erntetermins auf die Wuchshöhe in cm, im Hinblick auf die unterschiedlichen Witterungsbedingungen in den Vegetationsjahren 2000, 2001 und 2002

Die sehr geringeren Niederschlagsmengen im Mai, Juni und Juli im Jahr 2000 (im Vergleich zu den Jahren 2001 und 2002 sowie zum langjährigen Mittel) wirkten sich extrem stark auf die Wuchshöhe aus. Bei den frühen Sorten Bianka und Topstar kam es zu einer Reduktion von bis zu 100 cm und bei den späten Sorten Rote Zonenkugel und Fuseau 60 bis zu 80 cm gegenüber anderen Jahren (Abb. 9-1). Ein Temperaturverlauf mit hoher Monatsmitteltemperatur während der Hauptvegetationszeit zeigt jedoch im Vergleich zum Niederschlagsverlauf einen geringeren Einfluss auf die Wuchshöhe.

Eine Doppelnutzung von Kraut und Knollen wird zunehmend bedeutender. Bei entsprechender Sortenwahl und gelenkter Bestandsführung sowie gezielt gesetzten Ernteterminen ist eine effiziente Verwertung von Topinamburkraut möglich.

Beinahe parallel zu den Wuchshöhen verläuft der **Krautertrag**. Bei den Frühsorten Bianka und Topstar wurden die höchsten Krauterträge bereits Anfang bis Ende August erreicht. Auch die Spätsorten Fuseau 60 und Waldspindel erreichten noch Ende Oktober bis Mitte November die höchsten Krauterträge (Abb. 9-2). Der Krautertrag wird sortenspezifisch von der Witterung beeinflusst. Sowohl 2000 und 2001 als auch im Jahr 2002 gab es eine positive signifikante Korrelation zwischen Wuchshöhe und Krautertrag.

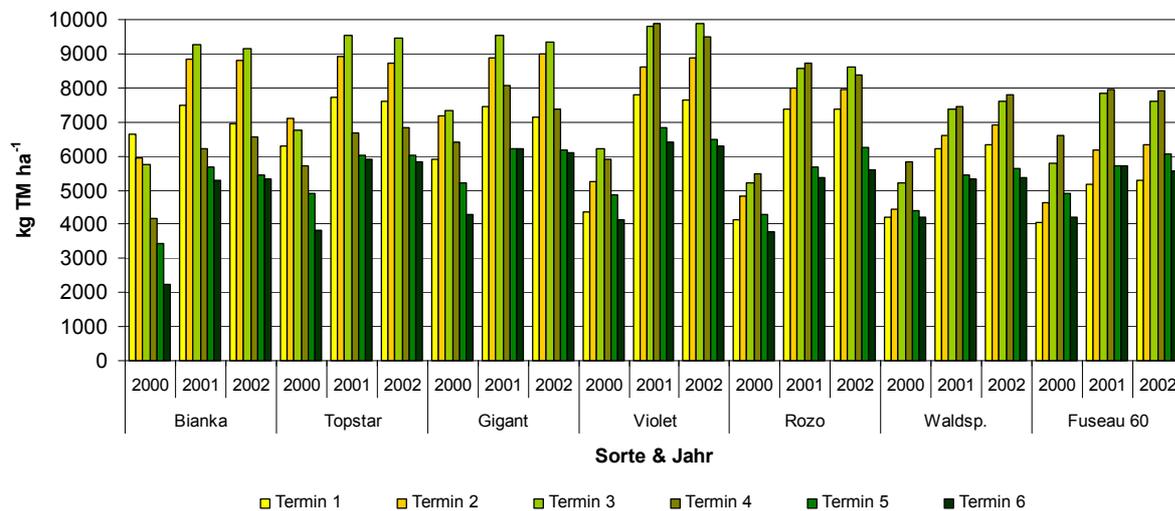


Abb. 9-2: Einfluss der Sorte, der Jahreswitterung und des Erntetermins auf den Krautertrag (Stängel und Blätter) in kg TM/ha, Ergebnisse aus den Vegetationsjahren 2000, 2001 und 2002

Die unterschiedliche Wärmesumme während der gesamtöglichen Vegetationszeit in den drei Untersuchungsjahren wirkte sich auf den Krautertrag aus. Mit zunehmender späterer Reifezeit der Sorten steigt der Wärmesummeneinfluss auf den Krautertrag (Wärmesumme nicht angeführt). Bei den mittelspäten und späten Sorten ergab eine höhere Wärmesumme einen höheren Krautertrag, wobei die Unterschiede in der Wuchshöhe zum Teil ausgeglichen wurden (Abb. 9-1). Bereits bei der Blattfläche traten deutliche Unterschiede zwischen den Sorten auf. Den höchsten Blattanteil und auch die größte Blattfläche bildeten die Sorten Fuseau 60 und Violet de Rennes, den geringsten wiesen die Frühsorten Bianka und Topstar auf (Werte nicht angeführt).

Der **Trockensubstanzgehalt** im Kraut steigt von ca. 10 % bei Vegetationsbeginn auf ca. 90% bei Vegetationsende an (PEJIN et al. 1993, ZUBR and PEDERSEN 1993, KOCSISOVA 1999, KOCSIS et. al. 2007, STOLZENBURG 2002, 2006; LIEBBHARD et al. 2007).

In den nachfolgenden Ergebnissen werden Analysenwerte von einer mittelspäten Krauternte (11.10. 2007) angeführt.

In den angeführten Ergebnissen (Tab. 9-1 liegt der Trockensubstanzgehalt des Krauterntegutes bei den späten Sorten bei ca. 60% (bei der Herbst- bzw. Spätherbsternte) und ist im Vergleich zu den frühen Sorten, die ca. 70% TS aufweisen, wesentlich niedriger.

Tab. 9-2: Krauttrockensubstanzgehalte unterschiedlicher Sorten, Ernte 11.10. 2007

Sorte	TS in g/100 g
Gigant	73,9
Topianka	65,6
Violet de Rennes	65,0
Violet de Rennes ohne Vortrocknung	68,8
Rozo	67,1
Waldspindel	69,4
Fuseau 60	59,6

Aus den angeführten Werten ist eine deutliche Abnahme des Trockensubstanz-gehaltes von den Spät- zu den Frühsorten ersichtlich.

Tab. 9-3: Ergebnisse der WEENDER Analyse von Kraut unterschiedlicher Sorten, Ernte 11.10.2007

	Rohprotein	Rohfett	Rohfaser	Rohasche	ADF	NDF
Fuseau	6,2	3,1	15,1	8,6	20,8	28,7
Gigant	9,0	3,0	13,2	9,6	20,7	29,2
Rote Zonenkugel	8,6	3,0	12,5	10,5	21,3	29,1
Topianka	5,7	2,5	23,4	8,7	31,0	43,1
Violet de Rennes	8,0	2,7	11,2	8,2	16,4	24,0
Waldspindel	6,0	2,8	20,5	9,3	28,6	38,3

Bei Topinambur ist während der Hauptwachstumsphase (aufgrund der Trocken-substanzverteilung in Kraut und Knolle) zu erkennen, dass neben den Knollen auch die Stängel einen bedeutenden „Sink“ für Assimilate darstellen (LIEBHARD 1991, MEIJER et al. 1993, SOMDA et al. 1999). Für die **Kohlenhydratspeicherung** in den Knollen ist dies von Bedeutung, da es zwischen Stängel und Knollen zu einer Konkurrenz um Assimilate kommt (BALDINI et al. 2004). Liegt in den Knollen eine geringe Sinkaktivität vor, bietet überwiegend der Stängel eine hohe Speichermöglichkeit für Assimilate.

Die Ergebnisse zeigen, dass es je nach Reifegruppe zu einer unterschiedlich langen Ein- und Zwischenlagerung der Assimilate, im Besonderen von Mono- und Disacchariden sowie von Inulin in den Blättern und Stängeln bzw. bis zur Umlagerung in die Knollen kommt.

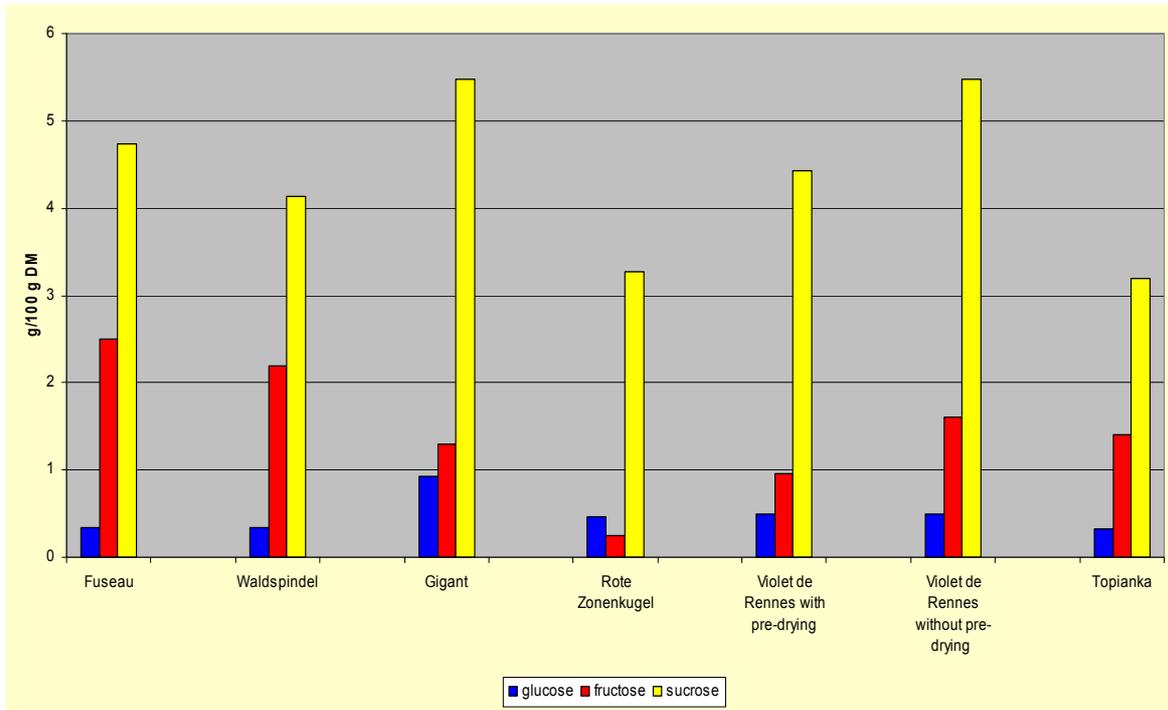


Abb. 9-3: Einfluss der Sorte auf den Glukose-, Fruktose- und Saccharosegehalt in g/100 g TM im Kraut, Ernte 11.10. 2007

Den höchsten Mono- und Disaccharidgehalt enthalten die Sorten Gigant und Violet de Rennes (ohne Vortrocknung). Den höchsten Inulingehalt weist die Sorte Violet de Rennes – auch bei Vortrocknung - auf. Weiters zeigen die Ergebnisse, dass die Enzyme bei einer Temperatur von 60 °C (Trocknung) noch aktiv sind. Es kommt zu einer Abnahme von höhermolekularen Kohlenhydraten, von DP ca. 20 und zur Erhöhung der niedermolekularen Form (DP ca. 15).

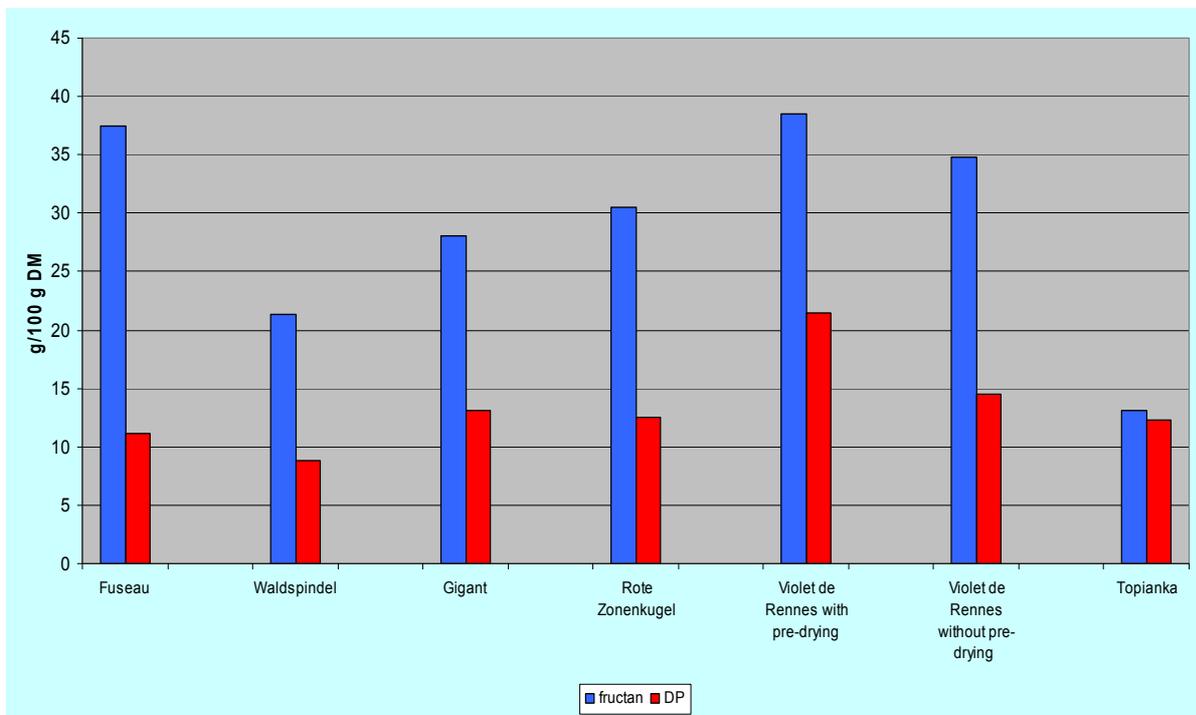


Abb. 9-4: Einfluss der Sorte auf den Inulingehalt und Polymerisationsgrad in g/100 g TM im Kraut, Ernte 11.10. 2007

9.4 Zusammenfassung

Das Krautwachstum wurde sowohl von der Sorte als auch von der Jahreswitterung beeinflusst. Die mittelspäten und späten Sorten erreichten generell eine höhere Wuchshöhe. Trotz geringerer Triebzahl gab es bei den mittelspäten und späten Sorten etwa gleiche Krauterträge wie bei den frühen Sorten. Bei den frühen Sorten wurden die höchsten Krauterträge zu Blühbeginn erzielt, die mittelspäten und späten Sorten wiesen die höchsten Krauterträge bei Erreichen der maximalen Wuchshöhe auf.

Der Trockensubstanzgehalt wird sowohl im Kraut als auch in den Knollen von der Witterung beeinflusst. Für die Intensität des Krautwachstums waren vor allem bei den späten Sorten das jeweilige Wasserangebot, die Niederschlagsmenge und die Verteilung der Niederschläge entscheidend.

Frühe Sorten bilden im Vergleich zu späten Sorten mehr Triebe. Jede Sorte erzielt bei Erreichen der sortenspezifischen Wärmesumme die höchsten Krauterträge.

Wie die angeführten Ergebnisse zeigen, erfordert die Nutzung des Krautes mit einem hohen Futterwert, mit optimalem Gehalt an Rohprotein, Rohfett, Rohfaser, Glukose, Fruktose, Saccharose sowie des Inulingehaltes einen sortenspezifischen unterschiedlichen Erntetermin.

9.5 Literaturverzeichnis

ANGELI, I., J. BARTA & L. MOLNÁR, 2000: A gyógyító csicsóka, Mezőgazda Kiadó., Budapest.

BALDINI, M., F. DANUSO, M. TURI and P. VANOZZI, 2004: Evaluation of new clones of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) for inulin and sugar yield from stalks and tubers. *Industrial Crops and Products* **19**, 25 – 40.

HAAS, H. (1982): Ertrag und Futterwert von Topinamburkraut in Abhängigkeit vom Schnittzeitpunkt. . Diplomarbeit, Universität für Bodenkultur Wien.

KOCSISOVA, L., 1999: Ertragspotential und Kohlenhydratmuster von ausgewählten Topinambursorten (*Helianthus tuberosus* L.) im Verlauf einer Vegetationsperiode. Diplomarbeit, Universität für Bodenkultur Wien.

KOCSIS, L., H. –P. KAUL, W. PRAZNIK und P. LIEBHARD, 2007a: Einfluss des Erntetermins auf den Kraut- und Knollenertrag unterschiedlicher Sorten von Topinambur (*Helianthus tuberosus* L.) im semiariden Produktionsgebiet Österreichs. *Pflanzenbauwissenschaften*, **11** (2),67-76.

LIEBHARD, P., 1991: Kulturartenvergleich von Nutzpflanzen als Rohstoffe für die industrielle Verarbeitung und zur Alternativen Energieversorgung. Forschungsbericht. Im Auftrag der Arbeitsgemeinschaft „Erneuerbare Energien“. Universität für Bodenkultur Wien.

LIEBHARD, P., W. PRAZNIK und H.–P. KAUL, 2007: Einfluss von Sorte und Erntetermin auf ausgewählte auf den Kraut- und Knollenertrag sowie ausgewählte Inhaltsstoffe bei Topinambur im semiariden Produktionsgebiet Österreichs. Tagungsunterlage zum 3. Fachtag für Topinambur an der Landesanstalt für Pflanzenbau Forchheim: Rohstoffqualität und Verwertungsmöglichkeiten für

Topinambur. P. Schweiger und K. Stolzenburg. Landesanstalt für Pflanzenbau Forchheim, D-76287 Rheinstetten, 52-57.

MEIJER, W.J.M., E.W.J.M. MATHIJSSSEN and G.E.L. BORM, 1993: Crop characteristics and inulin production of Jerusalem artichoke and cichory. In: A. FUCHS, S.SCHITTENHELM and L.FRESE (Eds.): Proceedings of the sixth seminar on Inulin and Inulin containing Crops, Studies in Plant science, **3**. Elsevier, 29-38.

NAUMANN,C, und BASSLER,R., 1997 : Die chemische Untersuchung von Futtermitteln. In: Methodenbuch, Band III. 3. Ausgabe, 4. Ergänzungslieferung, VDLUFA – Verlag Darmstadt.

PÄTZOLD, Chr. (1957): Die Topinambur als landwirtschaftliche Kulturpflanze. BM. Für Landwirtschaft und Forsten in Zusammenarbeit mit dem land- und hauswirtschaftlichen Auswertungs- und Informationsdienst. E. V. (AID) hekt..

Somda Z.C., W. J. Mc Laurin and S.J. Kays, 1999: Jerusalem Artichoke Growth, Development and Field Storage. II. Carbon and Nutrient Element Allocation and Redistribution. Journal of Plant Nutrition **22**, 1315-1334.

Stolzenburg, K, 2006: Topinambur (*Helianthus tuberosus* L.) als energieliefernde Pflanze im Bereich Biogas und Bioethanol: Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 18. Verlag Schmidt & Klanig., Kiel, 126-127.

Zubr, J. and H. S. Pedersen, 1993: Characteristics of growth and development of different Jerusalem Artichoke Cultivars: In A. Fuchs (Eds.): Inulin and Inulin Containing Crops, Studies Plant Science, **3**. Elsevier, Amsterdam, 11-18.

10 Aktuelles zum Anbau von Topinambur

Johann Brunner, Vorsitzender des Vereins Europäische Gesellschaft zur Förderung der Topinambur e.V.

10.1 Vergleich verschiedener Häufelgeräte

In mehrjährigen Beständen ist es ab dem zweiten Jahr oft schwierig, einen gleichmäßigen Bestand mit optimaler Pflanzenverteilung und guter Beerntbarkeit zu etablieren. Im Jahr 2007 wurde in einem Exaktversuch der Einsatz eines herkömmlichen Häufelgerätes mit dem FB-Dammkulturgerät verglichen. Beim Einsatz des herkömmlichen Häufelgerätes war vorher eine krumentiefe Lockerung mit einem Grubber und ein Arbeitsgang mit der Kreiselegge zur Saatbettbereitung notwendig; mit dem FB-Dammkulturgerät wurde nur ein Arbeitsgang zur Formung der Dämme durchgeführt.



Abb. 10-1: FB-Dammkulturgerät im Einsatz

Beobachtungen:

- Feldaufgang bei FB-Dammkultur 3-4 Tage früher und gleichmäßiger
- Keine stauende Nässe in den Furchen
- Besserer Sitz der Knollen in den Dämmen



Abb. 10-2: Bestand nach FB-Dammkultur

Tab. 10-1: Versuchsergebnisse von 3 Standorten mit je 2 Wiederholungen

Dammkultur gegenüber herkömmlichem Verfahren		
	Mittelwert	Schwankungsbereich
Pflanzenzahl	-22%	von -14% bis -26%
Knollenertrag	+18%	von +11% bis +23%

10.2 Pilzkrankheiten im Jahr 2008

Im süddeutschen Raum war das Topinamburanbaujahr 2008 gekennzeichnet von einem sehr nassen Frühjahr gefolgt von einem sehr trockenen Sommer. Neben Sklerotinia konnten vereinzelt auch noch folgende Symptome beobachtet werden:



Abb. 10-3: Blattläsionen verursacht durch „Sonnenbrand“, besiedelt mit Sporen von Ramularia und Sonnenblumenrost



Abb. 10-4: Infektionen von Wurzel und Stängelgrund, besiedelt mit Sporen von Fusariumarten und Pilzgeflecht von Rhizoctonia

10.3 Nährstoffprobleme

Im Mai 2008 wurden an verschiedenen Standorten in ganz Deutschland bei den Sorten „Gute Gelbe“ und „Rozo“ Blattanomalien beobachtet:



Abb. 10-5: Blattanomalien

Zumindest im badischen Raum waren diese Symptome noch bis in den Juli hinein festzustellen. Nachdem Krankheiten ausgeschlossen werden konnten, erfolgten Pflanzenanalysen, um die Ursache evtl. bei fehlenden Nährstoffen zu suchen. Das Ergebnis zeigte einen eklatanten Mangel bei den Nährstoffen

N, S, Mg

und einen leichten Mangel bei den Nährstoffen

Cu, Mn und B

Weitere Beobachtungen bzw. Untersuchungen sind notwendig!

10.4 Untersuchung des Brennwertes von trockenem Topinamburkraut

Bei der Fa. Jumbo Group in Buttenwiesen wurde trockenes Topinamburkraut pelletiert und einem Versuch auf den Brennwert getestet.

Tab. 10-2: Ergebnisse des Brennversuches von trockenem Topinamburkraut im Vergleich zu Normen bei Holzpellets bzw. Heizöl

	Topinamburkrautpellets	Holzpellets	Heizöl	Evtl. Grenzwerte
Brennwert MJ/kg	13,7	17,5-18,5	42,8	
Ascheschmelzpunkt	wie Holz			
Aschegehalt	< 1	0,5 – 1,5		
CO mg bei 13 % O ₂	371			3200
NOx bei 13 % O ₂	328			evtl. 500
CO ₂ %	8			

Daraus ergibt sich ein Heizöläquivalent von 3,1 kg Topinamburkrautpellets für 1 kg Heizöl!

Beispiele:

15 t/ha Topinamburkraut → ca. 4800 l Heizöl

20 t/ha Topinamburkraut → ca. 6400 l Heizöl

Die Ergebnisse zeigen, dass es durchaus interessant sein kann das Topinamburkraut vor der Knollennutzung in Hackschnitzel- oder Pelletsheizungen zu verwerten ohne Umbaumaßnahmen an den Heizungen vornehmen zu müssen!

LANDSORTE ROT	LANDSORTE WEISS	GUTE GELBE	FUSEAU 60
Kein Sortenschutz	Kein Sortenschutz	Kein Sortenschutz	Kein Sortenschutz
Reifegruppe spät	Reifegruppe spät	Reifegruppe mittelspät	Reifegruppe mittelspät
Wuchshöhe mittel	Wuchshöhe mittel	Wuchshöhe hoch	Wuchshöhe hoch
Krautertrag hoch	Krautertrag hoch	Krautertrag hoch	Krautertrag hoch
Knollenertrag mittel	Knollenertrag hoch	Knollenertrag sehr hoch	Knollenertrag hoch
Knollenform rund (mit Hals) bis birnenförmig	Knollenform rund (mit Hals) bis birnenförmig	Knollenform rund-oval, glatt	Knollenform rund bis birnenförmig Tochterknollenbildung
			

HENRIETTE		GIGANT		TOPSTAR		BIANKA	
Sortenschutz (EU)		Sortenschutz (D)		Sortenschutz (D)		Kein Sortenschutz	
Reifegruppe	früh	Reifegruppe	früh	Reifegruppe	sehr früh	Reifegruppe	früh
Wuchshöhe	niedrig	Wuchshöhe	niedrig	Wuchshöhe	sehr niedrig	Wuchshöhe	niedrig
Krautertrag	niedrig	Krautertrag	niedrig	Krautertrag	sehr niedrig	Krautertrag	mittel
Knollenertrag	sehr niedrig	Knollenertrag	mittel	Knollenertrag	mittel	Knollenertrag	mittel
Knollenform	walzenförmig bis birnenförmig	Knollenform	walzenförmig bis birnenförmig	Knollenform	länglich-oval	Knollenform	walzenförmig bis birnenförmig
							

WALDSPINDEL	ROTE ZONENKUGEL	MEDIUS	VIOLET DE RENNES
Kein Sortenschutz	Kein Sortenschutz	Kein Sortenschutz	Kein Sortenschutz
Reifegruppe mittelspät	Reifegruppe spät	Reifegruppe mittelspät	Reifegruppe mittelspät
Wuchshöhe sehr hoch	Wuchshöhe hoch	Wuchshöhe hoch	Wuchshöhe hoch
Krautertrag sehr hoch	Krautertrag hoch	Krautertrag hoch	Krautertrag sehr hoch
Knollenertrag hoch	Knollenertrag hoch	Knollenertrag sehr hoch	Knollenertrag hoch
Knollenform spindelförmig	Knollenform rund (mit Hals) bis birnenförmig	Knollenform rund (mit Hals) bis birnenförmig	Knollenform rund (mit Hals) bis birnenförmig
			

DORNBURGER	TOPIANKA	LOLA	VÖLKENRODER SPINDEL
Kein Sortenschutz	Kein Sortenschutz	Sortenschutz (D)	Sortenschutz (D)
Reifegruppe spät	Reifegruppe mittel-spät	Reifegruppe mittel-spät	Reifegruppe mittel-spät
Wuchshöhe hoch	Wuchshöhe mittel	Wuchshöhe hoch	Wuchshöhe hoch
Krautertrag sehr hoch	Krautertrag sehr hoch	Krautertrag hoch	Krautertrag hoch
Knollenertrag mittel	Knollenertrag hoch	Knollenertrag mittel	Knollenertrag niedrig
Knollenform rund (mit Hals) bis birnenförmig	Knollenform birnenförmig (mit Hals)	Knollenform rund (mit Hals) bis birnenförmig	Knollenform spindelförmig bis spitz-oval
			