Schlussbericht

zu IGF-Vorhaben Nr. 19836 BG

Thema

Parameter zur Erfassung der Festigkeit des Rübenkörpers von Zuckerrüben zur Verbesserung der Effizienz bei Lagerung und Verarbeitung

Berichtszeitraum

01.01.2018-30.06.2021

Forschungsvereinigung

Forschungskreis der Ernährungsindustrie e.V. (FEI), Bonn

Forschungseinrichtungen

1: Institut für Zuckerrübenforschung (IfZ) Holtenser Landstr. 77 37079 Göttingen

2: Institut für Bioprozess- und Analysenmesstechnik e.V. (iba) Rosenhof 38308 Heilbad Heiligenstadt

Eine Publikation dieses Berichts oder der hierin aufgeführten Daten ist ohne Zustimmung der Projektleitung nicht gestattet.

Gefördert durch:





Inhalt

1	Zusa	ammenfassung	1
2	Verv	wendung der Zuwendung und wirtschaftliche Relevanz der erzielten Ergebnisse sowie dere	n
Tr	ansferk	konzept	
	2.1	Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse im Berichtszeitraum	3
	2.2	Verwendung der Zuwendung	5
	2.3	Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit	6
	•	Darstellung des wissenschaftlich-technischen und wirtschaftlichen Nutzens der erzielten nisse insbesondere für KMU sowie ihres innovativen Beitrags und ihrer industriellen ndungsmöglichkeiten	6
	2.5 wurde	Zusammenstellung aller Arbeiten, die im Zusammenhang mit dem Vorhaben veröffentlich n oder in Kürze veröffentlicht werden sollen	
	2.6	Einschätzung zur Realisierbarkeit des vorgeschlagenen und aktualisierten Transferkonzep 7	ts
	2.7	Plan zum Ergebnistransfer in die Wirtschaft	7
3	Wis	senschaftlicher Abschlussbericht	12
	3.1	Zusammenfassung	12
	3.2	Einleitung und Fragestellung	13
	3.3	Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse im Berichtszeitraum	14
	3.3. ² Inha	AP1: Schaffung von Rübenmaterial mit einer großen Variation an definierten altsstoffzusammensetzungen (IfZ)	14
	3.3.2 Pen	AP4: Quantifizierung der mechanischen Eigenschaften/Festigkeit des Rübenkörpers: etrationswiderstand, Gewebefestigkeit und Druckfestigkeit (IfZ)	
	3.3.3 Subs	AP2: Quantifizierung von Inhaltsstoffen: Trockensubstanzgehalt, alkohol-unlösliche stanz (AIR), Mark, Pektin, Lignin, Zucker, Invertzucker (IfZ)	20
	3.3.4	AP3: Quantifizierung der Anzahl und Abstand der Kambiumringe (IfZ)	23
	3.3.5 Beso	5 AP5: Quantifizierung der technologischen Eigenschaften/Funktionalität: chädigungsempfindlichkeit, Pathogenbefall, Lagerungsverluste (IfZ)	23
	3.3.6 mitt	6 AP6: Entwicklung der Messmethodik zur Erfassung der Festigkeit des Rübenkörpers els Impedanzspektroskopie (iba)	26
	3.3.	7 AP7: Quantitativ-statistische Modelle (IfZ)	39
	3.4	Diskussion	41
	3.4.	1 Einfluss von Umwelt und Sorte auf die Festigkeit (IfZ)	41
	3.4.2 der	2 Ursachen für unterschiedliche Festigkeiten von Zuckerrüben, Veränderungen währer Lagerung und Auswirkungen auf die Lagerfähigkeit (IfZ)	
	3.4.	3 Erfassung von Unterschieden mit impedanzspektroskopischen Messungen (iba)	47
	3.4.	4 Multivariate Auswertung (IfZ)	48
	3.5	Ausblick	

	Literaturverzeichnis	50
	Abbildungsverzeichnis	54
	Tabellenverzeichnis	
4	Förderhinweis	58

1 Zusammenfassung

Eine geringe Festigkeit von Zuckerrüben erhöht die Verluste bei der Ernte und der Lagerung für die Anbauer. Ferner ist die Effizienz von Prozessen bei der Verarbeitung von der Festigkeit beeinflusst. Ziel des Forschungsvorhabens war anhand eines breiten Spektrums an Zusammensetzungen die Beziehung zwischen Inhaltsstoffen und der Festigkeit der Rübe zu analysieren, die Bedeutung einzelner Einflussfaktoren auf die Festigkeit zu quantifizieren sowie eine Messmethodik für die Erfassung der Festigkeit mittels einer breitbandigen Impedanzspektroskopie zu entwickeln. Dafür wurden 2018-2020 Feldversuche mit 6 unterschiedlichen Zuckerrübensorten in 7 Umwelten (Standort, Jahr, Trockenheit) und in 4 Umwelten mit unterschiedlicher N- Düngung durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen, dass Zuckerrübensorten sich signifikant in ihrer Festigkeit unterscheiden. Dies kann mit einer Penetrations- und Kompressionsmessung einfach nachgewiesen werden. Bei Sorten mit geringerer Festigkeit kommt es tendenziell zu höherem Wurzelbruch, stärkerem Pathogenbefall während der Lagerung und höheren Lagerungsverlusten. Ursache für eine geringere Festigkeit von Sorten ist ein verminderter Zellwandgehalt (AIR, Mark), nicht jedoch eine veränderte Zusammensetzung der Zellwand (Pektin, Hemicellulose, Cellulose, Lignin). Da es keine relevante Sorte x Umwelt Interaktion gibt (Sortenranking ist stabil), kann die Festigkeit schon anhand weniger Versuche erfasst werden. Somit ist es relativ einfach, mit Hilfe des Parameters Penetrationswiderstand in der Züchtung auf verbesserte Sorten mit höherer Festigkeit zu selektieren, um Verluste bei Ernte und Lagerung zu vermindern und der Tendenz zu Sorten mit geringer Festigkeit entgegenzuwirken. Dies wird zurzeit in den offiziellen Sortenversuchen geprüft/umgesetzt. Für die Verarbeitung wird noch untersucht, wie sich Unterschiede in der Festigkeit bei der Extraktion und der Abpressung der Rübenschnitzel auswirken. Es muss dann diskutiert werden, wo das Optimum für die Festigkeit der Rübe liegt und ob es sich von den Anforderungen für den Anbau (Ernte, Lagerung) unterscheidet.

Unterschiede zwischen Sorten in der Festigkeit der Rübe lassen sich mit der Elektrischen Impedanzspektroskopie (EIS) im Frequenzbereich von einigen Hertz bis 10 Megahertz erfassen, dabei korrelierte der intrazelluläre Widerstand mit der Penetrationsmessung. Allerdings muss die Methode noch bis zu Anwendung in der Praxis weiterentwickelt werden.

Das Forschungsziel wurde in den überwiegenden Punkten erreicht.

Summary

Low sugar beet tissue strength increases harvesting and storage losses for growers. Furthermore, the efficiency of processes during processing is influenced by strength. The aim of the research project was to analyse the relationship between compounds and sugar beet root strength using a broad spectrum of compositions, to quantify the significance of individual factors influencing tissue strength and to develop a measurement methodology for recording tissue strength using broadband impedance spectroscopy. For this purpose, field trials were carried out in 2018-2020 with 6 different sugar beet varieties in 7 environments (location, year, drought) and in 4 environments with different N fertilisation. The results show that sugar beet varieties differ significantly in their tissue strength. This can be easily demonstrated with a penetration and compression measurement. Varieties with lower tissue strength tend to have higher root breakage, more pathogen infestation during storage and higher storage losses. The reason for a lower strength of varieties is a reduced cell wall content (AIR, marc), but not a changed composition of the cell wall (pectin, hemicellulose, cellulose, lignin). Since there is no relevant variety x environment interaction (variety ranking is stable), the strength can already be determined on the basis of a few trials. Thus, it is relatively easy to use the parameter puncture resistance in breeding to select for improved varieties with higher strength in order to reduce losses during harvest and storage and to counteract the tendency towards varieties with low strength. This is currently being tested/implemented in the official variety trials. For processing, it is still being investigated how differences in strength affect the extraction and pressing of the beet pulp. It must then be discussed where the optimum for root tissue strength is and whether it differs from the requirements for cultivation (harvesting, storage).

Differences between varieties in the strength of the beet can be detected with an electrical impedance spectroscopic method (EIS) in frequency range from some hertz to 10 Megahertz. The intracellular resistance correlated with the penetration measurement. However, the method has to be further developed to the point of application in practice.

The research objective was achieved in most respects.

- Verwendung der Zuwendung und wirtschaftliche Relevanz der erzielten Ergebnisse sowie deren Transferkonzept
- **2.1** Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse im Berichtszeitraum

Darstellung der durchgeführten Arbeiten und Ergebnisse im Berichtszeitraum 01.01.2018 bis 30.06.2021

Arbeitspaket	Durchführung/ Umfang	Ergebnisse
AP1: Schaffung von Rüben- material mit einer großen Va- riation an definierten Inhalts- stoffzusammen-setzungen (IfZ)	7 Standorte mit 6 bzw. 7 Sorten in 6 Feldwiederho- lungen (276 Parzellen) 1 Standort mit 12 Sorten und 6 Feldwiederholungen (72 Parzellen)	Die Versuche wurden erfolgreich angelegt, beerntet und beprobt.
AP2: Quantifizierung von Inhaltsstoffen: TS, alkohol-unlösliche Substanz (AIR), Mark, Pektin, Lignin, Zucker, Invertzucker (IfZ)	Faseranalyse (AIR, Pektin, Hemicellulose, Cellulose, Lignin) TS, Qualitätsparameter (Zucker, Invertzucker) 2018+2019: 276 Faseranalyseproben 552 Qualitätsproben (Referenz und Lagerungsproben) 2020: 72 Faseranalyseproben 144 Qualitätsproben (2020)	Es hat sich eine breite Variation an Qualitäten gezeigt. Zwischen den Sorten und Standorten konnten signifikante Unterschiede in der Zellwandmenge (AIR) festgestellt werden, in der Zusammensetzung der Zellwand scheinen sich die einzelnen Sorten nicht deutlich zu unterscheiden. Die Ergebnisse aus 2018 + 2019 wurden 2020 bestätigt: Sorten und Standorte unterscheiden sich in der absoluten Zellwandmenge, jedoch kaum in der Zusammensetzung der Zellwand.
AP3: Quantifizierung der Anzahl und Abstand der Kambiumringe (IfZ)	2018+2019: 828 Rü- benscans zur Analyse	Die Ergebnisse aus den Jahren 2018 und 2019 zeigten, dass sich nur eine Sorte von den anderen Sorten in der Anzahl an Kambiumringen unterschied. Somit konnten hier keine Verbindungen zu den Unterschieden in den restlichen Untersu- chungsparametern festgestellt werden.

1010	I	I 5
AP4: Quantifizierung der mechanischen Eigenschaften/Festigkeit des Rübenkörpers: Eindringwiderstand (Penetration), Druckfestigkeit (Kompression), Bruchfestigkeit, (IfZ)	Penetration und Kompressionsmessungen an 3270 einzelnen Zuckerrüben: 5 Rüben pro Parzelle (348 Parzellen Referenz + 306 Lagerungsparzellen) (Gesamt: 3200 Messungen)	Deutliche Unterschiede zwischen den marktverfügbaren Sorten. Veränderte Sortenrangfolge durch die unterschiedlichen Messmethoden erneut bei Sorte 2 festgestellt: feste Schale (Penetrationstest), aber weiches inneres Gewebe (Kompressionstest). Unterschiede zwischen den marktverfügbaren Sorten 2020 in der Größenordnung der extremen Sorten aus den Jahren 2018 und 2019.
AP5: Quantifizierung der technologischen Eigenschaften/Funktionalität: Beschädigungsempfindlichkeit, Pathogenbefall, Lagerungsverluste (IfZ)	Bonitur von 10 Rüben pro Parzelle auf Beschädigung (vor der Lagerung: 3480 Bonituren) und Schimmel (nach der Lagerung: 3480 Bonituren). Berechnung des Zuckerver- lustes anhand des Ge- wichtsverlustes während der Lagerung und dem ver- änderten Zuckergehalt.	Die Auswertung der Versuche 2018 und 2019 ergab, dass sich die Sorten in der Oberflächenbeschädigung signifikant voneinander unterscheiden, obwohl die Beschädigung im Jahr 2019 an allen Standorten deutlich geringer war. Dem entsprechend war auch die Bonitur des Schimmelbefalls 2019 geringer, trotzdem konnte über beide Jahre signifikante Sortenunterschiede festgestellt werden. Die Lagerungsverluste zeigten eine ähnliche Sortenrangfolge wie die Beschädigungsund Schimmelbonitur. Lagerungsverluste waren abhängig vom Standort. Sortenunterschiede traten insbesondere bei höheren Lagerungsverlusten auf, wobei festere Sorten tendenziell geringere Lagerungsverluste zeigten.
AP6: Entwicklung der Messmethodik zur Erfassung der Festigkeit des Rübenkörpers mittels Impedanzspektroskopie (iba)	Impedanzspektroskopie- messungen an definierten Messkörpern (Zylinder) und der gesamten Rübe (1962 Zuckerrüben) durch das IfZ	Mit der Impedanzspektroskopie war es möglich. Unterschiede zwischen frischen und gelagerten Rüben festzustellen. Dazu eignete sich insbesondere der extrazelluläre Widerstand (R1). Unterschiede zwischen Sorten waren insbesondere im intrazellulären Widerstand R2 zu finden. Die alte Sorte unterschied sich in den gemessenen Parametern am deutlichsten von den anderen Sorten.
AP7: Quantitativ-statistische Modelle (IfZ)	Varianzanalyse, Korrelationsanalyse, Hauptkomponentenana- lyse	Die vorliegenden Daten wurden varianzanalytisch verrechnet. Korrelationsanalysen zeigten, dass die Festigkeitsparameter in den Jahren 2018 und 2019 sowie 2020 positiv mit der Zellwandmenge korrelierten, während für die Lagerungsverluste eine negative Tendenz zu erkennen war. Der intrazelluläre Widerstand R2 korrelierte mit den Festigkeitsparametern. Dieser konnte jedoch in der Hauptkomponen-

tenanalyse keine weiteren Zusammen-
hänge erklären als die Festigkeitspara-
meter

2.2 Verwendung der Zuwendung

Forschungseinrichtung 1

wissenschaftlich-technisches Personal (Einzelansatz A.1 des Finanzierungsplans)

Personenmonate (PM)

A.1	Gem. Einzelfinan-zie- rungsplan	bisher abgerechnet	2020	kumuliert
- HPA A	23,4	21,45	3,9	25,35
- HPA B				

- § Die bewilligten Personenmonate sind um 1,95 Monate überschritten worden, da sich die Datenzusammenstellung, -auswertung sowie die sich daraus ergebenden Transfermaßnahmen (Publikationen, Vorträge) Corona-bedingt verzögert haben. Somit war eine kostenneutrale Verlängerung der Beschäftigungszeit von Herrn Kleuker auf insgesamt 39 Monate mit einem Beschäftigungsumfang von 65 % (= 25,35 Personenmonate) zur Durchführung der Tätigkeiten notwendig.
- § Geräte (Einzelansatz B des Finanzierungsplans) Es wurden keine Geräte beantragt.
- § Leistungen Dritter (Einzelansatz C des Finanzierungsplans) Es wurden keine Geräte beantragt.

Forschungseinrichtung 2

wissenschaftlich-technisches Personal (Einzelansatz A.1 des Finanzierungsplans)

Personenmonate (PM)

A.1	Gem. Einzelfinanzie- rungsplan	bisher abgerechnet	2020	kumuliert
- HPA A	8	6	2	8
- HPA B				

- § Geräte (Einzelansatz B des Finanzierungsplans) Es wurden keine Geräte beantragt.
- § Leistungen Dritter (Einzelansatz C des Finanzierungsplans) Es wurden keine Geräte beantragt.

2.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die geleistete Arbeit entspricht in vollem Umfang dem begutachteten und bewilligten Antrag und war daher für die Durchführung des Vorhabens notwendig und angemessen.

Wie im Antrag für das dritte Versuchsjahr geplant, wurde der Versuch mit marktverfügbaren Sorten wiederholt. Diese Anpassung wurde mit dem Ziel durchgeführt, die Ergebnisse der vorherigen beiden Versuchsjahre mit extremen Sorten an den aktuellen marktverfügbaren Sorten zu überprüfen. Der Umfang wurde dabei so gewählt, dass möglichst viele Genpools (Züchterfirmen) und Ertragstypen abgedeckt wurden.

2.4 Darstellung des wissenschaftlich-technischen und wirtschaftlichen Nutzens der erzielten Ergebnisse insbesondere für KMU sowie ihres innovativen Beitrags und ihrer industriellen Anwendungsmöglichkeiten

Für die Züchtung verbesserter Sorten hilft die Kenntnis über die grundlegenden Zusammenhänge zwischen Inhaltsstoffzusammensetzung, Textureigenschaften und Lagerungsverlusten, diese Merkmale in der Selektion zu berücksichtigen. Mit dem Penetrationswiderstand kann über einen einfachen Parameter verfolgt werden, dass sich die Zusammensetzung der Zuckerrüben nicht absichtlich weiter in eine Richtung verändert, die sich mit geringeren Markgehalten und geringer Festigkeit für die gesamte Wertschöpfungskette negativ auswirkt. Aufgrund unserer Ergebnisse wird zurzeit die Penetrationsmessung im offiziellen Sortenprüfsystem des Bundessortenamtes integriert. Für Züchtungsunternehmen wird durch die Züchtung verbesserter Sorten die Wettbewerbsfähigkeit auch im internationalen Rahmen verbessert. Für die Anbauer kann die Information über die Festigkeit bei der Sortenwahl Berücksichtigung finden, um so Ernte- und Lagerungsverluste deutlich zu verringern. Wenn Zuckerrüben aufgrund der höheren Festigkeit eine geringere Beschädigungsempfindlichkeit aufweisen, können die Ernteverluste (Massenverluste, können bis zu 10% betragen) sowie die Lagerungsverluste (Zuckerverluste, bis zu 20%) für die landwirtschaftlichen Anbaubetriebe deutlich verringert werden. Die Auswirkungen unterschiedlicher Festigkeit der Rüben in den verarbeitenden Betrieben wird derzeit in einem weiterführenden europaweiten Projekt untersucht (ESST Beet Texture), ein weiteres Projekt ist bei der FEI beantragt. Für Geräteherstellern eröffnet sich die Möglichkeit, ihre Messtechnik weiterzuentwickeln und neue Applikationsfelder für impedanzspektroskopische Messsysteme zu erschließen.

2.5 Zusammenstellung aller Arbeiten, die im Zusammenhang mit dem Vorhaben veröffentlicht wurden oder in Kürze veröffentlicht werden sollen

Publikationen:

- FEI Schlussbericht 2021
- Kleuker, G., Hoffmann, C.M., 2019. Method development for the determination of textural properties of sugar beet roots. Sugar Ind. 144, 392–400. https://doi.org/10.36961/si23306.
- Kleuker, G., Hoffmann, C.M., 2020. Influence of tissue strength on root damage and storage losses of sugar beet. Sugar Ind. 145, 435–443. https://doi.org/10.36961/si24556.
- Kleuker, G., Hoffmann, C.M., 2021. Tissue strength of sugar beet root genotypic variation and environmental impact. Crop Sci. 61, 2478–2488. https://doi.org/10.1002/csc2.20523.
- Kleuker, G., Hoffmann, C:M., accepted. Causes of different tissue strength, changes during storage and effect on the storability of sugar beet genotypes. Postharvest Biology and Technology.
- Hoffmann, C.M., Kleuker, G., Wauters, A., English, W., Leijdekkers, M., submitted. Root tissue strength and storage losses of sugar beet varieties as affected by N application and irrigation. Sugar Industry.

 Kleuker, G.. Festigkeit von Zuckerrüben – Ursachen für Unterschiede und die Auswirkungen auf Beschädigung und Lagerungsverluste. Dissertation, in Vorbereitung (Einreichung Dez. 2021)

Vorträge und Poster:

- · Tagung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften 61. GPW Tagung, Kiel
- · 14. Göttinger Zuckerrübentagung, Göttingen
- ESST Congress (European Society of Sugar Technologists)
- · Tagung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften 62. GPW Tagung, Berlin
- · 77th IIRB Congress (International Institute of Sugar Beet Research), Brüssel
- · Nordic sugar
- Südzucker ZAFES
- · ESST Scientific Committee
- · IIRB Storage Group meeting
- · 15. Göttinger Zuckerrübentagung, Göttingen
- 7th ESST-VDZ-Conference
- 78th IIRB Congress (International Institute of Sugar Beet Research)

2.6 Einschätzung zur Realisierbarkeit des vorgeschlagenen und aktualisierten Transferkonzepts

Basierend auf den Erkenntnissen aus diesem Projekt wird derzeit die Penetrationsmessung in das offizielle Sortenprüfsystem zusammen mit dem Bundessortenamte integriert, um einen Parameter für die Festigkeit von Zuckerrüben zu haben und diesen in die Bewertung bei der Zulassung neuer Sorten einfließen zu lassen. Das bedeutet, dass hier die Ergebnisse aus dem Projekt schon umgesetzt werden. Dies ermöglicht den Anbauern, in Zukunft die Festigkeit als Sortenmerkmal bei der Sortenwahl zu berücksichtigen, um so Verluste bei Ernte und Lagerung zu vermindern. In mehreren Züchterhäusern wird die Penetrationsmessung aufgrund unserer Ergebnisse inzwischen in der Routine durchgeführt, um Genotypen im Hinblick auf ihre Festigkeit bewerten und verbessern zu können.

Ausgehend von diesem Projekt wird in einem weiterführenden Projekt des ESST (European Society for Sugar Technology) zusammen mit dem IfZ die Auswirkung unterschiedlicher Festigkeit auf Prozesse in der Verarbeitung (Extraktion, Abpressung) geprüft. Dies verdeutlicht die hohe Relevanz der Festigkeit, die aus Sicht aller Zuckerunternehmen für die Effizienz der Verarbeitung von Zuckerrüben gesehen wird. Diese Versuche werden zudem dazu beitragen, einen Wert für die optimale Festigkeit für Anbau und Verarbeitung von Zuckerrüben abzuschätzen.

2.7 Plan zum Ergebnistransfer in die Wirtschaft

Informationen zu den Inhalten und Ergebnissen des Projektes werden seitens des FEI und seitens der Forschungseinrichtung bereits während der Vorhabenlaufzeit sowie nach Vorhabenabschluss über folgende Maßnahmen und Wege transferiert, um eine breitenwirksame Nutzung der Ergebnisse in der Wirtschaft sicherzustellen*):

Transfermaßnahmen des FEI	geplant	durchgeführt
 Einstellung von Projektinformationen auf der FEI-Website* und in die öffentlich zugängliche FEI-Internet-Projektdatenbank* 	ab Start*	

 Jährliche Veröffentlichung (jeweils im 1. Quartal) von Projektinformationen im FEI-Forschungsreport* und im FEI-Jahresbericht* 	ab Start*		
 Jährliche Veröffentlichung (jeweils im 1. Quartal) von FEI-Pro- jektkurzberichten* und FEI-Projektdokumentationen* 	ab Start*		
 Vorstellung der Ergebnisse im Rahmen der FEI-Jahrestagungen* 	ab Start*		
 Einbeziehung bzw. Beteiligung folgenden Branchenfachverbands bzw. FEI-Mitgliedsverbands als Informationsmultiplikator gegenüber der potenziellen Nutzergruppe (u.a. mit Projektberichterstattung in Gremien- und Arbeitskreissitzungen des Verbands): Verein der Zuckerindustrie 	ab Start		
 Erstellung ausführlicher (kalenderjährlicher) Projekt(zwi- 	ab Start**	2018	_
schen)berichte und jährliche Weitergabe dieser Berichte* (je-		2019	
weils im 1. Quartal) über den <u>o.g.</u> Branchenfachverband an alle interessierten Unternehmen*		2020	
		2021	
Dauerhafte Bereitstellung aller relevanten Projektinformatio-	ab Start*	2018	
nen, Berichte und Sitzungsprotokolle für den beteiligten Bran- chenverband sowie die Unternehmen des Projektbegleitenden		2019	
Ausschusses über den "FEI-Service" (FEI-Extranet)*		2020	
		2021	
Regelmäßige (mind. 1x jährliche) Sitzungen des Projektbeglei- Regelmäßige (mind. 1x jährliche	zu Pro-	17.05.2018	
tenden Ausschusses (PA) des FEI und kontinuierliche Bericht- erstattung gegenüber den hierin vertretenen Unternehmen	jektbe-	16.05.2019	
und Verbänden*	ginn,	14.05.2020	
	dann 1x	28.04.2021	
	jährlich		
2. Transfermaßnahmen der Forschungsstelle(n)			
 Publikation der Ergebnisse in folgenden wissenschaftlichen Fachzeitschriften bzw. Branchenzeitschriften während der Laufzeit sowie spätestens innerhalb von 6 Monaten nach Vorhabenabschluss: 			

- Sugar Industry**	ab 2019**	- Sugar Industry 144 (7), 392-400; - Sonderheft 14. Göt- tinger Zuckerrübenta- gung, Sugar Industry (2019) 144, 89-97; Sugar Industry 145 (7), 435-443
Crop ScienceCSA News		https://doi.org/10.10 02/csc2.20523 Promotion Artikel
 Postharvest Biology and Technology Sugar Industry 		akzeptiert eingereicht
- Dissertation G. Kleuker		wird eingereicht ca. Dez. 2021
 Vorstellung der Ergebnisse (durch Vorträge/Posterpräsentationen) voraussichtlich auf folgenden Veranstaltungen: 		
 Tagung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften Posterpräsentation: 61. GPW Tagung, Kiel 		2527.09.2018
 14. Göttinger Zuckerrübentagung 		05.09.2019
 ESST Congress (European Society of Sugar Technologists) 		2729.05.2019

Coordination Beet Research International (COBRI)		09.05.2019
 Tagung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften 		
Posterpräsentation: 62. GPW Tagung, Berlin		1012.09.2019
 Coordination Beet Research International (COBRI) 		06.05.2020
– 77 th IIRB Congress (International Institute of Sugar Beet Re-		1112.02.2020
search)		
Nordic sugar		15.03.2021
– Südzucker ZAFES		26.04.2021
 ESST Scientific Committee 		10.05.2021
 IIRB Storage Group meeting 		20.05.2021
– 15. Göttinger Zuckerrübentagung, Göttingen		0203.09.2021
		02. 00.07.202.
- 7 th ESST-VDZ-Conference		22-25-05.2022
– 78 th IIRB Congress (International Institute of Sugar Beet Re-		
search)		21-23-06.2022
 PhD Colloquium Plants and Soils in Agriculture (Georg- 		27.11.2019
August-Universität, Göttingen)		15.02.2020
 Beratung interessierter Unternehmen (außerhalb des PA) 	nach Vor-	
durch die Forschungsstelle	habens-	
	ende	
 Übernahme der Ergebnisse in die akademische Lehre bzw. berufliche Aus- und Weiterbildung, u.a. im Rahmen folgen- der Veranstaltungen: 		
- Modul "Agribusiness Sugar Beet" an der Georg-August Univer- sität Göttingen, **	ab 2018	SoSe 2019
- Modul Qualitätsbildung pflanzlicher Produkte an der Georg-	ab 2018	WS 2018/19
August Universität Göttingen		WS 2019/20
		WS 2020/21
 Weiterbildung für Ingenieure der Zuckerindustrie an der TU Berlin * 	ab 2018	17.02.2020
Weiterbildung für Zuckertechniker an der TU Berlin	ab 2018	
 Beratertagung des Rheinischen Rübenbauerverbands Vortrag 		29.01.2020
 Seminare der studentischen Masterausbildung zur bio-phy- sikalischen Eigenschaften von Pflanzen im iba 	ab 2018	

3. Transfermaßnahmen der Forschungsstelle(n): weiterführend	e Projekte
 ESST (European Society for Sugar Technology): Sugar Beet Texture 	2019 - 2022
 FEI 1 43 / xx, Prof. Flöter, TU Berlin: Identifikation von Maßnahmen zur Robustheit und Effizienz industrieller Extraktionsprozesse in der Verarbeitung zukünftig klimabedingt stark veränderlicher biotischer Rohstoffe am Beispiel Zuckerrübe 	

^{*} Vom FEI veranlasste Maßnahmen, **Von Forschungseinrichtung(en) auszufüllen bzw. zu veranlassen sowie während des Vorhabens jährlich zu aktualisieren

3 Wissenschaftlicher Abschlussbericht

3.1 Zusammenfassung

Eine geringe Festigkeit von Zuckerrüben erhöht die Verluste bei der Ernte und der Lagerung für die Anbauer. Ferner ist die Effizienz von Prozessen bei der Verarbeitung von der Festigkeit beeinflusst. Ziel des Forschungsvorhabens war anhand eines breiten Spektrums an Zusammensetzungen die Beziehung zwischen Inhaltsstoffen und der Festigkeit der Rübe zu analysieren, die Bedeutung einzelner Einflussfaktoren auf die Festigkeit zu quantifizieren sowie eine Messmethodik für die Erfassung der Festigkeit mittels einer breitbandigen Impedanzspektroskopie zu entwickeln. Dafür wurden 2018-2020 Feldversuche mit 6 unterschiedlichen Zuckerrübensorten in 7 Umwelten (Standort, Jahr, Trockenheit) und in 4 Umwelten mit unterschiedlicher N- Düngung durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen, dass Zuckerrübensorten sich signifikant in ihrer Festigkeit unterscheiden. Dies kann mit einer Penetrations- und Kompressionsmessung einfach nachgewiesen werden. Bei Sorten mit geringerer Festigkeit kommt es tendenziell zu höherem Wurzelbruch, stärkerem Pathogenbefall während der Lagerung und höheren Lagerungsverlusten. Ursache für eine geringere Festigkeit von Sorten ist ein verminderter Zellwandgehalt (AIR, Mark), nicht jedoch eine veränderte Zusammen-setzung der Zellwand (Pektin, Hemicellulose, Cellulose, Lignin). Da es keine relevante Sorte x Um-welt Interaktion gibt (Sortenranking ist stabil), kann die Festigkeit schon anhand weniger Versuche erfasst werden. Somit ist es relativ einfach, mit Hilfe des Parameters Penetrationswiderstand in der Züchtung auf verbesserte Sorten mit höherer Festigkeit zu selektieren, um Verluste bei Ernte und Lagerung zu vermindern und der Tendenz zu Sorten mit geringer Festigkeit entgegenzuwirken. Dies wird zurzeit in den offiziellen Sortenversuchen geprüft/umgesetzt. Für die Verarbeitung wird noch untersucht, wie sich Unterschiede in der Festigkeit bei der Extraktion und der Abpressung der Rübenschnitzel auswirken. Es muss dann diskutiert werden, wo das Optimum für die Festigkeit der Rübe liegt und ob es sich von den Anforderungen für den Anbau (Ernte, Lagerung) unterscheidet.

Unterschiede zwischen Sorten in der Festigkeit der Rübe lassen sich mit der Elektrischen Impedanzspektroskopie (EIS) im Frequenzbereich von einigen Hertz bis 10 Megahertz erfassen, dabei korrelierte der intrazelluläre Widerstand mit der Penetrationsmessung. Allerdings muss die Methode noch bis zu Anwendung in der Praxis weiterentwickelt werden.

3.2 Einleitung und Fragestellung

In letzter Zeit häufen sich Beobachtungen, dass Zuckerrüben bei mechanischer Belastung wie Ernte (Roden) und Verladen/Abladen zerspringen. Dieser Bruch resultiert in Masseverlusten, zudem führen die Verletzungen auch bei der Lagerung zu einem verstärkten Befall mit Pathogenen und dadurch höheren Zuckerverlusten (Schnepel und Hoffmann 2014; Hoffmann und Schnepel 2016) AiF 18041 N). Dies sind wesentliche Verluste für den Anbauer. Ferner wird die Verarbeitungsqualität durch die Akkumulation von Invertzucker bei der Lagerung deutlich vermindert (Kenter und Hoffmann 2009; Schnepel und Hoffmann 2016, 2014). In einigen Zuckerfabriken sind zudem in den letzten Jahren bei der Extraktion und Abpressung der Rübenschnitzel massive Probleme wegen der veränderten mechanischen Eigenschaften der Rüben aufgetreten (Jensen, pers. Mitteilung; Frenzel, pers. Mitteilung).

Diese Beobachtungen deuten darauf hin, dass sich die mechanischen Eigenschaften, insbesondere die Festigkeit des Rübenkörpers (Bruchfestigkeit, Druckfestigkeit), geändert haben, verbunden mit gravierenden Auswirkungen auf Verluste bei Ernte und Lagerung bzw. den Aufwand bei der Verarbeitung. Es ist anzunehmen, dass die Festigkeit der Rübe mit der Zusammensetzung der Inhaltsstoffe zusammenhängt, insbesondere den Zellwandbestandteilen. Dies wird unterstützt durch Ergebnisse, die zeigen, dass sich der Markgehalt (unlösliche Zellwandbestandteile) der Zuckerrüben durch Züchtung unbeabsichtigt im Laufe der letzten Jahre verringert hat (Loel et al. 2014).

Die Festigkeit des Rübenkörpers wirkt sich demnach erheblich auf die Effizienz in der gesamten Wertschöpfungskette aus. Die konventionelle Texturanalyse auf Penetrationswiderstand, Gewebefestigkeit und Druckfestigkeit ist sehr zeitaufwendig im Hinblick auf Probenvorbereitung und Messung. Daher wäre es hilfreich, eine einfach zu handhabende, innovative Messmethode zu etablieren, mit der die elektrisch messbaren bio-physikalischen Eigenschaften von Zuckerrüben zuverlässig erfasst werden können. Breitbandige impedanzspektroskopische Messungen ermöglichen die bio-physikalische Erfassung der zellulären Eigenschaften und des Wasseranteils von Pflanzen. Es ist somit notwendig, die Beziehung zwischen der Festigkeit, den elektrisch messbaren, frequenzabhängigen bio-physikalischen Eigenschaften und Inhaltsstoffen bei Zuckerrüben zu analysieren, um einen einfachen Parameter zu ermitteln, mit dem die Züchtungsziele angepasst werden können.

Ziele des Projektes sind

- Anhand eines breiten Spektrums an Zusammensetzungen die Beziehung zwischen Inhaltsstoffen (insbesondere Zellwandbestandteile) und der Festigkeit des Rübenkörpers zu analysieren
- Die Beziehung zwischen der Anzahl Kambiumringe (Anatomie) und der Festigkeit des Rübenkörpers zu analysieren
- Die Bedeutung einzelner Einflussfaktoren (Sorte, Standort, Jahr, Trockenheit, N-Düngung) auf die Festigkeit des Rübenkörpers zu quantifizieren
- Die Bedeutung der Festigkeit des Rübenkörpers für Beschädigungsempfindlichkeit, Pathogenbefall und Lagerung aufzuzeigen
- Eine Messmethodik für die Erfassung der Festigkeit auf Basis passiv-elektrischer Eigenschaften mittels breitbandiger Impedanzspektroskopie zu entwickeln
- Anhand von quantitativ-statistischen Modellen über Korrelationen, Hauptkomponentenanalysen und Clusteranalysen einen Parameter zu identifizieren, mit dem die Festigkeit des Rübenkörpers abgeschätzt werden kann

3.3 Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse im Berichtszeitraum

3.3.1 AP1: Schaffung von Rübenmaterial mit einer großen Variation an definierten Inhaltsstoffzusammensetzungen (IfZ)

In den Jahren 2018 und 2019 wurden durch das Institut für Zuckerrübenforschung im April 7 Feldversuche in Deutschland und weitere Versuche bei COBRI-Partnern (Coordination Beet Research International) angelegt und koordiniert. Die Versuchsstandorte verteilten sich auf Zuckerrübenanbaugebiete in Deutschland, Belgien (IRBAB), und Niederlande (IRS). In Deutschland wurden mit Hilfe der Projektpartner Nordzucker und Südzucker in jedem Jahr drei Versuche an unterschiedlichen Standorten durchgeführt. Die Standorte unterschieden sich insbesondere in der Bodenart und der zu erwartenden Niederschlagsmenge (Trockenstress-Standort mit sandigem Boden: Nordzucker: Gifhorn, Löss-Standort mit ausreichend Niederschlag (>600 mm): IfZ Göttingen, Löss-Standort mit <600 mm Niederschlag: Südzucker: Schweinfurt) und damit in den Wachstumsbedingungen (Tab. 1).

Jahr	Um- welt	Bo- den- art	Aus- saat	Ernte	Nieder- schlag Apr-Okt.	Bewässe- rung	Rübener- trag	Zucker- gehalt	Zuck- er- ertrag	Temp- summe Lagerung
					m	m	t/ha	% Pol.	t/ha	°Cd
2018	IfZ18	Lehm	19/04	15/10	245	-	75.7	20.7	15.6	662
2018	NZ18	Lehm- iger Sand	07/04	05/10	243	90	50.3	16.7	8.4	662
2018	SZ18	Lehm	07/04	04/10	276	-	74.5	20.6	15.3	471
2019	IfZ19	Lehm	08/04	14/10	334	-	103.4	19.1	19.7	628
2019	NZ19	Lehm- iger Sand	08/04	01/10	284	-	18.0	16.2	2.9	675
2019	NB19	Lehm- iger Sand	08/04	01/10	284	120	57.6	18.5b	10.6	675
2019	SZ19	Lehm	28/03	01/10	293	-	91.2	18.4	16.8	675
2020	IfZ20	Lehm	16/04	12/10	329	-	100.9	18.7	18.8	728

Tab. 1: Standorteigenschaften der Versuche im Jahr 2018, 2019 und 2020 in Deutschland.

An den deutschen Versuchsstandorten wurden 7 Sorten (2018: 6 Sorten) in 6 Feldwiederholungen angebaut (Anzahl Parzellen: 168 (2018: 108 Parzellen). Die Sorten wurden dabei nach ihrem Zuckergehalt (3 Sorten) und der im Projekt AiF 18041 N festgestellten Unterschiede in der Beschädigungsempfindlichkeit (2 Sorten) ausgewählt. Zusätzlich wurde noch eine alte Sorte mit einer Markteinführung vor dem Jahr 2000 angebaut. Das Sortenspektrum aus dem Jahr 2018 wurde in 2019 um eine Sorte erweitert. Als Anpassung an das extrem trockene Jahr 2018 wurde am Standort NZ der Versuch sowohl beregnet als auch unberegnet angelegt.

Die Versuche an den Standorten in Belgien und Niederlanden wurden in beiden Jahren (2018, 2019) gleich durchgeführt mit drei Sorten und drei N-Düngungsstufen (keine, optimal, optimal + 80 kg N/ha; 6 Feldwiederholungen) (Anzahl Parzellen: 108). Somit wurden insgesamt im Jahr 2018 162 Versuchsparzellen, im 2019 insgesamt 222 Versuchsparzellen angelegt.

Jede Standort x Behandlung x Jahr Kombination wird als eine Umwelt betrachtet. Somit ergeben sich für die in Deutschland angelegten Versuche 7 Umwelten für 2018 und 2019, eine Umwelt für 2020.

Im Jahr 2020 wurden am IfZ in Göttingen 12 Sorten in 6 Feldwiederholungen angebaut (Anzahl Parzellen: 72). Die 12 Sorten setzten sich aus den drei ersten Sorten der vorherigen Versuchsjahre als

Kontrolle und neun aktuellen marktverfügbaren Sorten zusammen. Die neun marktverfügbaren Sorten unterschieden sich in ihrer Ertragsbildung und im Genpool (unterschiedliche Züchterhäuser). Somit sollten diese Sorten die am Markt verfügbare Variabilität des Sortenspektrums abdecken.



Abb. 1: Ernte am Versuchsstandort IfZ (links), Aufteilen der Rüben einer Parzelle in Referenz und Lagerungsprobe (Mitte) und Lagerung in Klimacontainern (rechts).

Von Anfang Oktober bis Ende November wurden die Zuckerrüben geerntet und zum IfZ transportiert (Abb. Abb. 1 /Tab. 1). Dort wurden die Rüben jeder Parzelle in jeweils eine Referenz und eine Lagerungsprobe aufgeteilt. Die Referenzproben wurden auf Beschädigungen bonitiert (AP5) und es wurden Messungen der mechanischen Eigenschaften und Impedanz durchgeführt (AP4, AP6). Rübenbreiproben für AP2 und Querschnitte für AP 3 wurden abgenommen. Die Lagerungsproben wurden in Klimacontainern bei 8,5 °C bis Mitte Januar eingelagert und danach ausgelagert.

3.3.2 AP4: Quantifizierung der mechanischen Eigenschaften/Festigkeit des Rübenkörpers: Penetrationswiderstand, Gewebefestigkeit und Druckfestigkeit (IfZ)

Die mechanischen Eigenschaften des Rübenkörpers wurden mit Hilfe eines Texturanalysers TA.XTplus100 (Stable Micro Systems, Godalming, UK) bestimmt. Penetrations- und Kompressionstests wurden an fünf Rüben pro Parzelle durchgeführt. Die Methoden sind bei Kleuker und Hoffmann (2019) anhand von Vorversuchen detailliert beschrieben. Die Messungen wurden an frisch geernteten Rüben durchgeführt. Nach der Lagerung wurden die Messungen für die Rüben der drei Standorte aus Deutschland (IfZ, NZ, SZ) wiederholt. Dies soll Auskunft über mögliche Auswirkungen der Lagerung auf die Festigkeit des Rübenkörpers geben.

Penetration

Die Penetrationsmessung wurde dreimal an jeder Rübe wiederholt. Dabei wurde mit einem 2 mm Stempel an der breitesten Stelle der Rübe an verschiedenen Stellen die max. Penetrationskraft (Penetrationswiderstand) sowie die mittlere Kraft zur Durchdringung des darunter liegenden Gewebes (Gewebefestigkeit) erfasst. Ziel der Penetrationsmessung war es, die Festigkeit des Periderms (der Schale der Rübe) und des darunterliegenden Gewebes zu bestimmen.

Kompression

Für die Kompressionsmessung wurden pro Rübe zwei definierte Probenzylinder mit 18 mm Durchmesser aus dem Querschnitt der Rübe gestochen und die Kraft erfasst, bei der der Zylinder bricht (Druckfestigkeit) (Abb. 2).

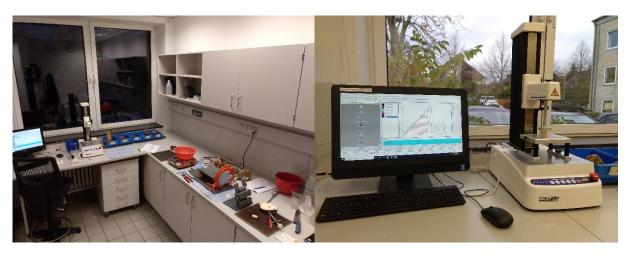


Abb. 2: Blick in das Texturlabor (links); Kompressionsmessung im Detail (rechts).

Der Vergleich der Messmethoden zeigt, dass es mit einem r^2 von 0,83 eine sehr enge Beziehung zwischen der Gewebefestigkeit und dem Eindringwiderstand gibt, während die Beziehung zwischen Druckfestigkeit und Penetrationswiderstand etwas weniger eng ist (r^2 =0,56) (Abb. 3).

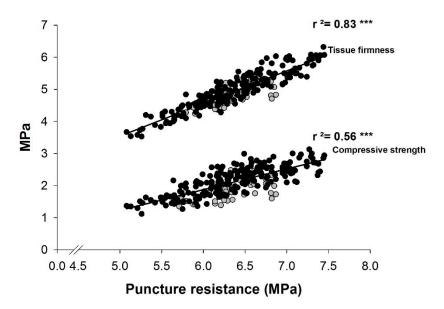


Abb. 3: Gewebefestigkeit (Tissue firmness) und Druckfestigkeit (Compressive strength) von Zuckerrüben im Verhältnis zum Penetrationswiderstand (puncture resistance); 6 Sorten aus 3 Umwelten 2018 und 6 Sorten aus 4 Umwelten 2019.

Mit Hilfe des Penetrations- und Kompressionstest können Unterschiede in der mechanischen Festigkeit zwischen den untersuchten Sorten beschrieben werden (Abb. 4). Es zeigte sich, dass die Sorten sich signifikant in ihrem Penetrationswiderstand und auch in der Druckfestigkeit unterschieden. Dabei fiel Sorte 2 auf. Diese Sorte hatte im Verhältnis zu ihrem Penetrationswiderstand eine deutlich geringere Druckfestigkeit. Somit scheint diese Sorte, im Gegensatz zu den anderen Sorten, eine feste Schale, jedoch ein weiches inneres Gewebe zu haben. Bei den anderen Sorten hingegen gab es eine enge Korrelation zwischen der Penetrationswiderstand und der Druckfestigkeit.

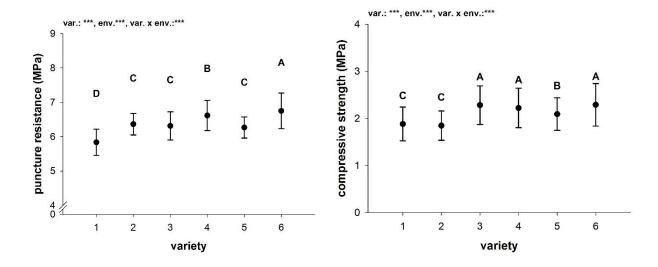
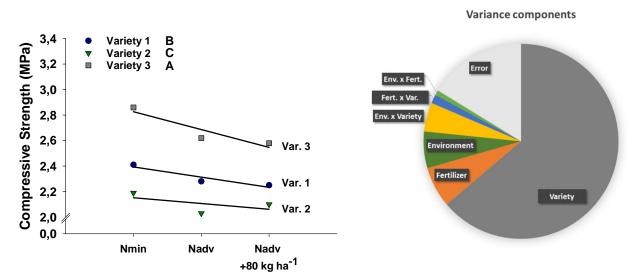


Abb. 4: Penetrationswiderstand in der Rübe von 6 Zuckerrübensorten (Mittel von 7 Umwelten 2018 und 2019) [30 Rüben je Sorte und Standort; Tukey-Test α =0,05].

Die Varianzkomponentenanalyse der N-Versuche in vier Umwelten 2018 und 2019 zeigt, dass der Einfluss der N-Düngung auf die Druckfestigkeit wesentlich geringer war als der Einfluss der Sorte (Abb. 5, Abb. 6). Auch in diesen Umwelten zeigte sich, dass die Sorte 2 in der Druckfestigkeit weicher war als die anderen Sorten. Die Sortenrangfolge in den internationalen Versuchen ähnelte in allen Texturparametern den deutschen Standorten.



Compressive Strength (MPa) mean of N fertilizer Abb. 5: Druckfestigkeit von 3 Zuckerrübensorten in Abhängigkeit von 3 N-Düngestufen; [Mittel aus 4 Umwelten: IRS, IRBAB 2018, 2019].

Abb. 6: Varianzkomponentenanalyse der Düngeversuche, 3 Sorten, 3 N-Düngestufen; [Mittel aus 4 Umwelten: IRS, IRBAB 2018, 2019].

Am Standort NZ mit Trockenstress konnte man im Jahr 2019 den Effekt der Beregnung und die damit besseren Wachstumsbedingungen auf die Penetrationsfestigkeit gut erkennen (Abb. 7). Diese war in trockengestressten Zuckerrüben deutlich geringer als bei Beregnung und ausreichender Wasserversorgung. Der Effekt von Trockenstress war bei allen Sorten in ähnlichem Ausmaß zu finden.

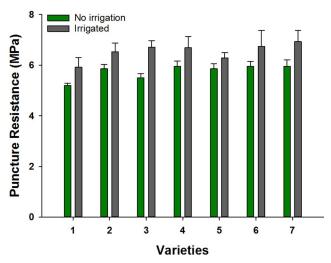


Abb. 7: Penetrationswiderstand von 7 Zuckerrübensorten am Standort NZ 2019; beregnet und unberegnet [30 Rüben je Sorte und Behandlung].

Durch die Wiederholung der Versuche 2018 und 2019 wurde bestätigt, dass die Gewebefestigkeit von Zuckerrüben maßgeblich von der Sorte und der Umwelt bestimmt wird, und dass die Interaktion dieser beiden Faktoren sehr gering ist (Abb. 8). Das lässt die Schlussfolgerung zu, dass die Gewebefestigkeit von Sorten schon anhand weniger Standorte erfasst werden kann.

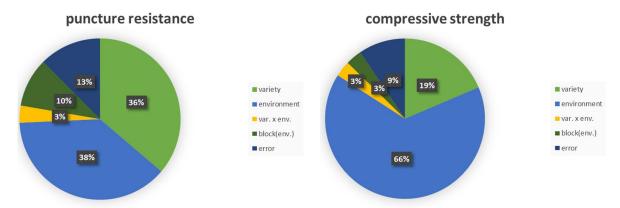


Abb. 8: Verteilung der Varianzkomponenten für die Penetrationsfestigkeit (links) und Druckfestigkeit der Rübe (rechts) (6 Zuckerrübensorten, 7 Umwelten 2018 und 2019).

Der Penetrationswiderstand und die Druckfestigkeit zeigten in Abhängigkeit von der Umwelt deutlich unterschiedliche Reaktionen auf die Lagerung (Abb. 9). In allen Umwelten aus dem Jahr 2018 stieg die Festigkeit während der Lagerung an, dahingegen veränderte sie sich in NB19 und SZ19 kaum. Die Gewebefestigkeit zeigte ein gegenläufiges Verhalten. Im Jahr 2018 sank die Gewebefestigkeit während der Lagerung. Zwischen den Sorten konnte kein Unterschied in der Reaktion der Festigkeitsparameter auf die Lagerung festgestellt werden. Das lässt darauf schließen, dass sich schon an frisch geernteten Rüben die Unterschiede in der Festigkeit nach der Lagerung abschätzen lassen.

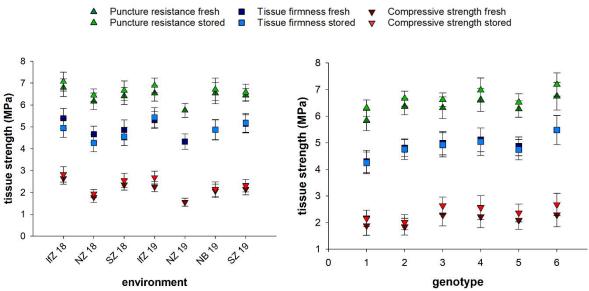


Abb. 9: Penetrationswiderstand, Gewebefestigkeit und Druckfestigkeit von Zuckerrüben vor und nach der Lagerung in Klimacontainer; links: Umwelten als Mittel von 6 Sorten; Rechts: Sorten als Mittel von 7 Umwelten 2018 und19; n=6.

Um einen ersten Überblick über die Unterschiede in der Festigkeit der Rübe zwischen den aktuellen Sorten zu bekommen, wurden marktverfügbare Sorten im Jahr 2020 am Standort IfZ angebaut (Abb. 10). Die marktverfügbaren Sorten unterschieden sich signifikant in allen drei Parametern der Gewebefestigkeit. Dabei fiel auf, dass die zuckerbetonten Ertragstypen (Z), mit einer Ausnahme (Sorte 2) eine höhere Festigkeit aufwiesen als die ertragsbetonten (N). Obwohl die Sorten für die Versuche 2018 und 2019 schon als Extreme im Hinblick auf ihre Festigkeit ausgesucht waren, waren die Unterschiede zwischen den marktverfügbaren Sorten sogar noch größer.

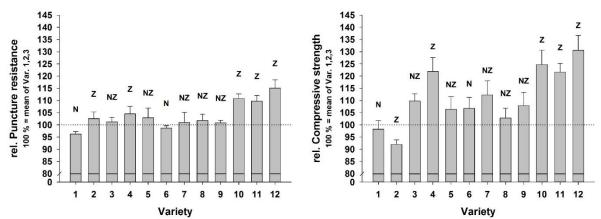


Abb. 10: Relativer Penetrationswiderstand (links) und Druckfestigkeit (rechts) der Rübe von 12 Zuckerrübensorten im Verhältnis zur Festigkeit der Vergleichssorten 1, 2, und 3. (Standort IfZ, 2020). Buchstaben geben den Ertragstyp der Sorten an (N=Ertragsbetonter Typ, Z= Zuckergehaltsbetonter Typ, NZ=Normal bis zuckerbetonter Typ).

3.3.3 AP2: Quantifizierung von Inhaltsstoffen: Trockensubstanzgehalt, alkohol-unlösliche Substanz (AIR), Mark, Pektin, Lignin, Zucker, Invertzucker (IfZ)

Aus den Referenz- und den Lagerungsproben aus AP1 wurde Rübenbrei für die Analysen abgenommen und eingefroren. Der Trockensubstanzgehalt der Referenz- und Lagerungsproben wurde bestimmt und die Qualitätsparameter (Zucker, Kalium, Natrium, Amino-N, Glucose) der Referenzprobe analysiert. Der Markgehalt beschreibt die wasserunlösliche Substanz der Rübe und ist in der Zuckerindustrie ein wichtiger Parameter (van der Poel et al. 1998). Die Fraktionierung der Zellwandbestandteile erfolgte nach der Einteilung von Soest et al. (1979) und wurde nach den Methoden VDLUFA (2012) 6.5.1-6.5.3 mit einem Gerhardt Fibre Bag System durchgeführt.

Es gab erhebliche Unterschiede im Trockensubstanz- und Zuckergehalt zwischen den Umwelten und den Sorten (Abb. 11). Während sich Trockensubstanz- und Zuckergehalt bei den Sorten durch Lagerung in die gleiche Richtung veränderten, war bei den Umwelten nicht immer eine konsistente Änderung durch Lagerung festzustellen. Der Mark- und AIR-Gehalt, die beide die Menge an Zellwandbestandteilen darstellen und sich gleichgerichtet veränderten, waren höher in Umwelten und für Sorten mit einem höheren Trockensubstanzgehalt.

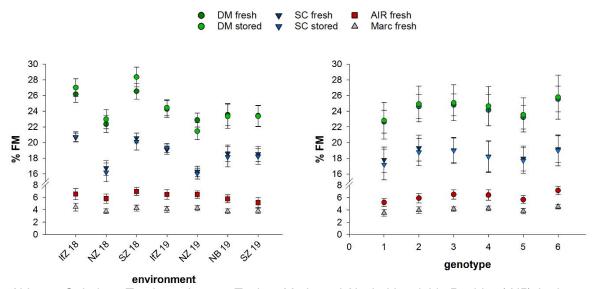


Abb. 11: Gehalt an Trockensubstanz, Zucker, Mark, und Alcohol Insoluble Residue (AIR) in der Rübe in unterschiedlichen Umwelten (Mittel aus 6 Zuckerrübensorten) und bei unterschiedlichen Zuckerrübensorten (Mittel aus 7 Umwelten 2018 und 2019). Tukey-Test α=0,05.

Die umfangreiche Faseranalyse zeigt, dass der Alcohol Insoluble Residue (AIR) der Rübe von der Sorte abhängig war (Abb. 12 links). Trotz der extremen Witterung im Jahr 2018 war der Unterschied zwischen den Sorten größer als der zwischen den Standorten (Daten nicht gezeigt). Zudem zeigte sich, dass die alte Sorte (Sorte 6) einen signifikant höheren AIR-Gehalt aufwies. Unterschiede in der Zusammensetzung des AIR waren hingegen gering (Abb. 12 rechts). Pektin war mit etwa 60% die Hauptkomponente des AIR, gefolgt von Hemicellulose. Der Anteil an Lignin lag bei allen Sorten bei etwa 6%. Lignin kann daher nicht relevant für Unterschiede in der Festigkeit der Rüben sein.

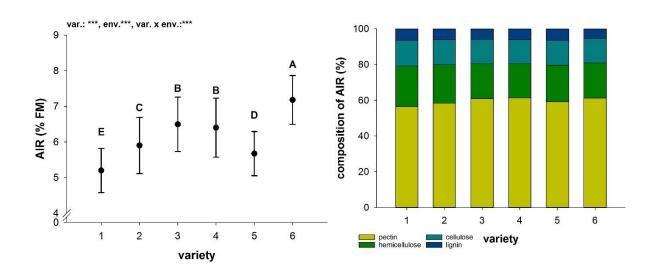


Abb. 12: Gehalt an Alcohol Insoluble Residue (AIR) in der Rübe von 6 Zuckerrübensorten; (links). Zusammensetzung des AIR in die einzelnen Fraktionen Pektin, Hemicellulose, Cellulose und Lignin (rechts), Mittel aus 7 Umwelten 2018 und 2019; Tukey-Test α=0,05.

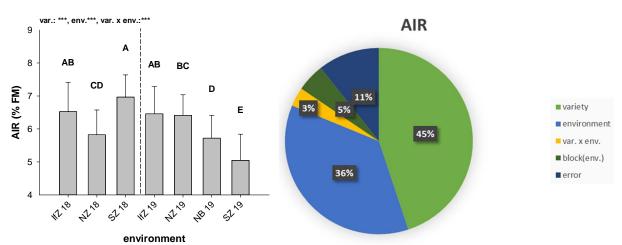


Abb. 13: Gehalt an Alcohol Insoluble Residue (AIR) in der Frischmasse der Rübe in 7 Umwelten 2018 und 2019 (Mittelwert aus 6 Zuckerrübensorten); Tukey-Test α=0,05 (links). Verteilung der Varianzkomponenten der AIR (rechts) (6 Sorten, 7 Umwelten).

Der Gehalt an AIR in der Rübe unterschied sich zwischen Standorten deutlich (Abb. 13). Die Varianz-komponenten zeigen jedoch, dass die Sorte einen ebenso großen Anteil hat. In den Ergebnissen aus dem Jahr 2018 zeigte sich bereits, dass die Interaktion zwischen den Sorten und der Umwelt gering ist. Dies bestätigte sich auch im zweiten Jahr 2019. Auch die Zusammensetzung der AIR war in allen Umwelten und für alle Sorten sehr ähnlich. Somit scheint der AIR Gesamtgehalt eine höhere Bedeutung für die Festigkeit der Rübe zu haben als die Zusammensetzung.

Auch im Jahr 2020 konnten nur relative geringe Unterschiede in der Zusammensetzung des AIR für die 12 Sorten festgestellt werden (Abb. 14). Der Ligninanteil war in diesem Versuch etwas höher als in den Jahren zuvor. Jedoch waren auch hier Unterschiede zwischen den Sorten hauptsächlich im Pektin- und Hemicellulosegehalt zu finden.

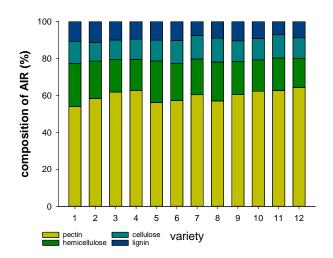


Abb. 14: Zusammensetzung des AIR in Zuckerrüben in die einzelnen Fraktionen Pektin, Hemicellulose, Cellulose und Lignin, 12 Sorten, Standort IfZ, 2020.

Eine erhöhte N-Düngung führte zu einem geringeren Trockensubstanzgehalt, während sich der Gehalt an Mark und alkoholunlöslicher Substanz (AIR) nur sehr geringfügig verringerte (Tab. 2). Die Zusammensetzung der Zellwandbestandteile Pektin, Hemicellulose, Cellulose und Lignin bezogen auf AIR war nicht konsistent beeinflusst durch das N-Angebot.

Tab. 2: Einfluss der N-Düngung auf die Zusammensetzung von Zuckerrüben; Mittelwert aus 3 Sorten in 4 Umwelten (IRBAB und IRS 2018 und 2019)

N-Dün- gung	TS	Mark	AIR*	Pektin	Hemicel- lulose	Cellulose	Lignin
		- (% FM)			(%	% AIR)	
keine	23,9	3,9	5,8	58,8	21,4	12,3	7,5
optimal	23,7	3,8	5,8	58,4	21,8	12,9	6,6
opt + 80 kg N/ha	23,5	3,8	5,6	59,8	21,1	12,4	7,8

^{*}AIR= alcohol insoluble residues

3.3.4 AP3: Quantifizierung der Anzahl und Abstand der Kambiumringe (IfZ)

Zur Quantifizierung der Kambiumringe wurde von drei Rüben pro Parzelle an den Standorte IfZ, NZ, NB und SZ jeweils eine etwa 1 cm dicke Scheibe aus der breitesten Stelle der Rübe geschnitten und eingescannt (Abb. 5) (756 Scans). Die Scans wurden mit Hilfe von Kappa Image Base ausgewertet. Dabei werden der Durchmesser der Rübe, die Anzahl der Kambiumringe, die Schichtdicke der Kambiumringe und der Abstand zwischen den Kambiumringen bestimmt.

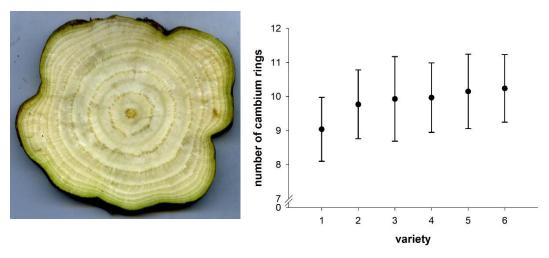


Abb. 15: Rübenquerschnitt zur Bestimmung der Kambiumringe (links). Anzahl der Kambiumringe in der Rübe von 6 Zuckerrübensorten in 7 Umwelten, 2018+2019 (rechts) [18 Rübenquerschnitte je Sorte und Umwelt;].

In den Jahren 2018+19 ergaben sich zwischen Umwelten Unterschiede (Abb. 15). Jedoch unterschied sich nur eine Sorte (Sorte 1) signifikant von den übrigen Sorten. Diese Unterschiede wurden anhand der Ergebnisse aus dem Jahr 2019 bestätigt.

Die Anzahl an Kambiumringen kann somit nicht als Erklärung für Unterschiede in der Festigkeit der Rübe dienen.

3.3.5 AP5: Quantifizierung der technologischen Eigenschaften/Funktionalität: Beschädigungsempfindlichkeit, Pathogenbefall, Lagerungsverluste (IfZ)

Die Rüben aus jeder Parzelle wurden in Referenz und Lagerungsprobe unterteilt. Dabei wurden 10 Rüben der Referenzparzellen auf äußere Beschädigungen durch Erntemaßnahmen bonitiert. Es wurden der Köpfschnitt (cm), Spitzenbruch (cm) sowie die allgemeine Beschädigung bestimmt. Die Bonitur der allgemeinen Beschädigung des Rübenkörpers wurde mit Hilfe einer Skala von 0-3 durchgeführt, dabei steht 0 für keine Beschädigung und 3 für deutliche Beschädigung (Abb. 16).

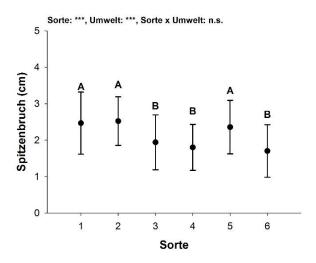


Abb. 16: Wurzelspitzenbruch von Rüben vor der Lagerung, 6 Sorten (Mittel von 7 Umwelten 2018 und 2019) [60 Rüben je Sorte und Umwelt; Tukey-Test α=0,05].

Der Wurzelspitzenbruch zeigte ein ähnliches Bild für den Einfluss der Sorte (Abb. 16). Es wird deutlich, dass die Sorten eine unterschiedlich starke Beschädigungsempfindlichkeit aufwiesen. Das Ausmaß des Wurzelspitzenbruchs war an den Standorten unterschiedlich stark, zurückzuführen auch auf unterschiedliche Erntebedingungen und Erntetechnik, es trat jedoch keine Interaktion zwischen Sorte und Standort auf. Auch für die Oberflächenbeschädigung zeigten sich signifikante Sortenunterschiede (Abb. 17 links). Sorten mit geringem Wurzelspitzenbruch wiesen auch geringere Beschädigungen auf als Sorten mit starkem Wurzelbruch.

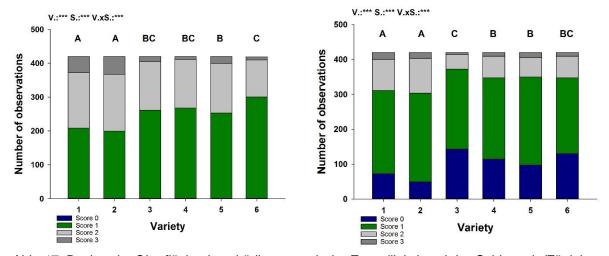


Abb. 17: Bonitur der Oberflächenbeschädigung nach der Ernte (links) und des Schimmel-/Fäulebefalls nach der Lagerung (rechts) von 6 Zuckerrübensorten; Summe über 7 Umwelten in 2018 und 2019 [60 Rüben je Sorte und Umwelt (0= keine Beschädigung/Befall, 1= leichter Beschädigung/Befall, 2= mittlerer Beschädigung/Befall, 3= deutlicher Beschädigung/Befall)].

Nach der Lagerung wurden 10 Rüben pro Parzelle auf Befall durch Schimmel und Fäule bonitiert (Abb. 17 rechts). Der Standort hatte den stärksten Einfluss auf den Schimmelbefall und die Lagerungsverluste. Jedoch zeigte sich in beiden Jahren 2018 und 2019, dass die Sorten sich in den Lagerungsverlusten ebenfalls signifikant unterschieden. Somit scheint es, als ob der Standort das absolute

Niveau der Lagerungsverluste bestimmt, die Sorten jedoch das Niveau innerhalb des Standortes bestimmen. Es traten signifikante Unterschiede zwischen den Sorten auf. Die Sorten mit einem niedrigeren Zuckerverlust hatten zugleich einen geringeren Wurzelspitzenbruch () und eine höhere Druckfestigkeit (Abb. 4).

Die Bonitur der Oberflächenbeschädigung als Summe über beide Jahre zeigt, dass sich die Sorten signifikant in der Beschädigung unterschieden (Abb. 17). Der Spitzenbruch verhielt sich ähnlich wie die Oberflächenbeschädigung. Auch nach der Lagerung wurden signifikante Unterschiede zwischen den Sorten hinsichtlich des Schimmelbefalls gefunden (Abb. 17). Es lässt sich erkennen, dass die Sorten mit einer geringen Beschädigung nach der Ernte ebenfalls einen geringen Schimmelbefall nach der Lagerung aufwiesen.

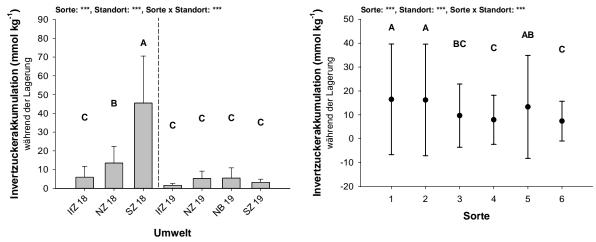


Abb. 18: Invertzuckerakkumulation während der Lagerung der Rüben im Klimacontainer, in 7 Umwelten (links; Mittel von 6 Zuckerrübensorten) und von 6 Zuckerrübensorten (rechts; Mittel von 7 Umwelten); Tukey-Test α=0,05.

Invertzucker bildet sich während der Lagerung, da Saccharose zur Energiegewinnung durch Enzyme der Rübe und durch Mikroorganismen zersetzt wird. Somit hängt die Akkumulation von Invertzucker während der Lagerung mit den Zuckerverlusten während der Lagerung zusammen (Schnepel und Hoffmann 2016).

Die Ergebnisse aus dem Jahr 2019 zeigen, dass die Lagerungsverluste in diesem Versuchsjahr, trotz ähnlicher Lagerungsdauer, deutlich geringer waren als im Jahr 2018 (Abb. 18). Da Sortenunterschiede erst bei deutlichen Lagerungsverlusten auftreten, war in diesem Jahr kein signifikanter Unterschied zwischen den Sorten zu erkennen. Die Invertzuckerakkumulation als Mittel über beide Jahre zeigt jedoch, dass die Sorten 3, 4 und 6 geringe Lagerungsverluste aufwiesen als die Sorten 1, 2 und 5. Diese Sorten waren auch durch eine stärkere Beschädigung im Vergleich zu den anderen Sorten charakterisiert.

3.3.6 AP6: Entwicklung der Messmethodik zur Erfassung der Festigkeit des Rübenkörpers mittels Impedanzspektroskopie (iba)

Schwerpunkt der Arbeiten des iba im Verbundprojekt war die Bearbeitung des Arbeitspaketes 6: "Entwicklung der Messmethodik zur Erfassung der Festigkeit des Rübenkörpers mittels Impedanzspektroskopie". Hierzu erfolgte der Aufbau eines einfach zu handhabenden und bedienbaren Messsystems, welches dem IFZ für die Durchführung der Versuchsreihen zur Verfügung gestellt wurde.

Unter elektrischer Impedanzspektroskopie (EIS) werden Methoden zur Erfassung der dielektrischen Eigenschaften (frequenzabhängige Permittivität) von Materialien in einem weiten Frequenzbereich zusammengefasst. Der Frequenzbereich lässt sich in Radiofrequenzen (RF) von kHz bis ca. 330 MHz und Mikrowellen (MW) von ca. 300 MHz bis 300 GHz unterteilen. Die EIS basiert auf der Grundlage, dass biologisches Gewebe aus unterschiedlichen Gewebearten und Zellstrukturen besteht. Im elektrischen Wechselfeld hat der inhomogene Aufbau des Gewebes Einfluss auf die messbaren frequenzabhängigen Messgrößen, wie komplexe Impedanz, Phasenwinkel und die berechenbaren Parameter Widerstand und Kapazität (Schwan 1957, Kupfer 2005, Nacke et al. 2011). So können Gewebeveränderungen auf zellulärer Ebene detektiert werden. Im Vergleich zu anderen Messmethoden hat die EIS den Vorteil, dass es sich hierbei um eine minimal-invasive, kostengünstige und leicht handhabbare Messmethode handelt. Die EIS findet derzeit in unterschiedlichen technischen Bereichen Anwendung und wird auch zunehmend in der Medizintechnik und Biotechnologie angewendet (Kupfer 2005, Martinsen & Grimnes 2014).

Durch die impedanzspektroskopischen Messungen soll festgestellt werden, ob sich folgende Einflüsse (Standort, Messzeitpunkt, Rübensorte, Messposition) in den Impedanzspektren und den daraus berechneten Modellparametern wiederfinden lassen.

Der Ablauf der Arbeiten zur impedanzspektroskopischen Charakterisierung von Zuckerrüben erfolgte entsprechend des Flussdiagramms (Abb. 19).

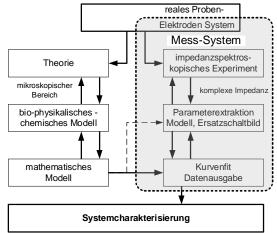


Abb. 19: Flussdiagramm einer Impedanzmessung; der grau hinterlegte Bereich entspricht den Hardund Softwareanforderungen an das Messsystem

3.3.6.1 Impedanzspektroskopische Messkette

Das Messsystem bestand im Wesentlichen aus einem im iba entwickelten Impedanzanalysator, einem Front-End, einem steckbaren 4-Elektrodensystem und einer Bediensoftware. Kernstück des Messaufbaus war ein USB Oszilloskope (Typ Handyscope HS 5 der Firma TiePie) mit einem internen freiprogrammierbaren Generator.

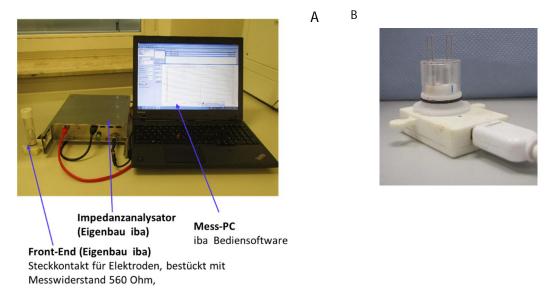


Abb. 20: Impedanzmessplatz (A) und 4-Elektrodenmesskopf (B)

Dieses Modul wurde im iba mit C++ so programmiert, dass es als Impedanzanalysator von einigen Hz bis 10 MHz in Verbindung mit einem aktiven Front-End (Eigenbau des iba) zur hochohmigen Messung der frequenzabhängen Strom- und Spannungswerte direkt am Messobjekt angewendet werden kann. Die Messungen an Probenstücken und ganzen Rüben erfolgte mit einem 4-Elektrodensystem. Das Elektrodensystem bestand aus Edelstahl-Nadelelektroden, welche wiederverwendet werden konnten und sich gut in die Probestücke schieben ließen. Das Elektrodensystem basierte auf impedanzspektroskopischen Messzellen und Elektrodenhalterungen der Firma SY-LAB Geräte GmbH, wie diese z.B. im BacTrac 4300 (mikrobiologischer Impedanzanalysator für Sterilitätstests und Keimzahlbestimmungen bei einer Festfrequenz von ca. 5 kHz) verwendet werden. Die Messzellen sind preiswerte Ein-Wegprodukte mit identischen Eigenschaften. Durch das Abtrennen des Bechers vom Elektrodenkopf entsteht ein Elektrodensystem als Einstichapplikator (Abb. 20).

Die iba-eigene anwenderorientiert Bediensoftware (IMPDAC)wurde leicht angepasst, so dass nach kurzer Einweisung das Personal des IfZ selbständig die Versuche durchführen konnte.

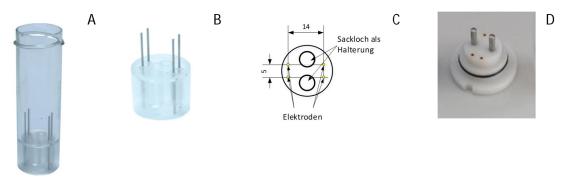


Abb. 21: Nutzung der SY-LAB Messzellen zur Konfigurierung des 4-Elektrodensystems als Einstichapplikator, A: original 4- Elektroden Messzelle, B: Messkopf nach Abtrennung des Bechers, C: Bemaßung des Messkopfes, D: Steckkontakt zur Aufnahme des modifizierten Messkopfes

3.3.6.2 Probenvorbereitung und Messablauf

Die zelluläre und molekulare biochemische Zusammensetzung des Rübenkörpers ist sehr heterogen und hängt vom sekundären Dickenwachstum ab. Damit hat der spezifische Aufbau des Rübenkörpers direkten Einfluss auf die Impedanzspektren in Abhängigkeit von der Platzierung der Elektroden und deren geometrischen Abmessungen. Daher wurden zunächst impedanzspektroskopische Untersuchungen an Probestücken in der Zone mit dem größten Rübendurchmesser durchgeführt. Es wurden 3 Positionen zur Extraktion von Probestücken gewählt (Abb. 22). Um den Messablauf zu vereinfachen, wurden in der Messkampagne 2020 die Elektroden an der Stelle mit dem größten Umfang von außen in den Rübenkörper gesteckt (Abb. 22Tab. 3).

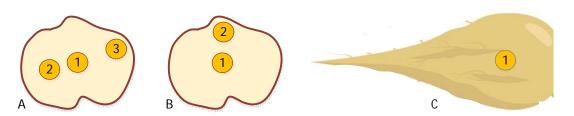


Abb. 22: Beprobung des Rübenkörpers, A und B: Extraktion von Probenstücken, C. Beprobung des gesamten Rübenkörpers durch Einstechen von Elektroden

Tab. 3: Übersicht zu den extrahierten Probenstücken und Messpunkten während der Projektbearbeitung

Messperiode	Beprobung,		
	Messposition		
2018	Α		
2019	B und C		
2020	B und C		

Aus jeder Rübe wurde aus dem Mittelstück eine 20 mm dicke Scheibe geschnitten, um daraus mit Hilfe eines Korkbohrers 3 Zylinderstücke mit einem Durchmesser 20 mm zu stanzen (Abb. 23). Diese wurden auf die Elektroden platziert (Abb. 24).









Abb. 23: Vermessung des Rübenkörpers und Extraktion von Probestücken

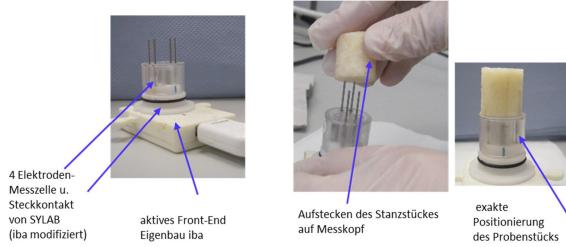


Abb. 24: Bestückung der Elektroden mit Probenstücken (Höhe 20 mm, Durchmesser 20 mm)



Abb. 25: Messung am ausgestanzten Rübenzylindern



Abb. 26: Messung einer ganzen Rübe mit äußerer Positionierung der Elektroden

Die Sorten ließen sich im kapazitiven Frequenzspektrum unterscheiden (Abb. 27). Die Berechnung basiert auf einer einfachen parallelen Ersatzschaltung, bestehend aus einem Widerstand und einem Kondensator.

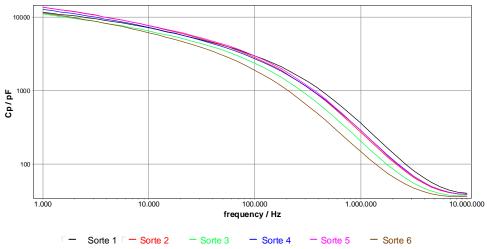


Abb. 27: Kapazitiven Frequenzgänge (1 kHz bis 10 MHz) verschiedener Zuckerrübensorten, 2018

3.3.6.3 Modellentwicklung, Datenfit und Generation von Ersatzschaltungen

Um die Eigenschaften der Impedanzspektren vergleichen zu können, sind die Daten an ein Modell zu fitten und die Fit-Ergebnisse (extrahierte Modellparameter) zu vergleichen. Einfache Modelle haben den Vorteil, weniger Parameter zu haben, welche im Allgemeinen auch stabilere Werte liefern. Komplexe Modelle mit vielen Parameter fitten zwar besser, aber die Fit-Ergebnisse sind oft instabil und daher schlecht auszuwerten. Es gilt demzufolge ein möglichst einfaches, aber immer noch geeignetes Modell zum Fitten auszuwählen (Abb. 28).

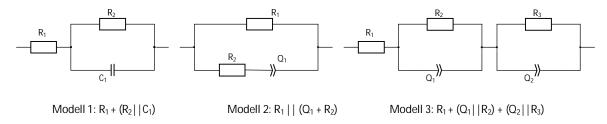


Abb. 28: Ersatzschaltbilder für den Modellfit

Tab. 4 fasst die in der Abb. 28 aufgelisteten Bauelement der elektrochemischen Ersatzschaltungen mit Erläuterung der biophysikalischen Eigenschaften zur Charakterisierung von Zellen und Geweben zusammen.

1 ab. 4:	' Symbole der	elektrochemischen	Ersatzschal	tungen mit i	Beschreibung
----------	---------------	-------------------	--------------------	--------------	--------------

Sym-	biophysikalische Eigen-	Beschreibung
bol	schaft	
Z	Komplexe Impedanz	Komplexer Wechselstromwiderstand
R ₁	extrazellulärer Wider-	entspricht dem elektrolytischen Widerstand zwischen den Zel-
	stand	len
R ₂	intrazellulärer Wider-	entspricht dem elektrolytischen Widerstand in den Zellen
	stand	
R ₃	intrazellulärer Wider-	entspricht dem elektrolytischen Widerstand von weiteren in
	stand	den Zellen enthaltenen Kompartimenten, welche mit einer
		Membran umhüllt sind

C ₁	Kapazität der Zellmemb- ran	extrazelluläre Widerstände und intrazelluläre Widerstände werden durch die hochohmige Zellmembran getrennt, im elektrischen Wechselfeld polarisieren freie Ladungsträger die Zellmembran, dadurch zeigen die Zellmembranen Kondensatoreffekte, die gemessene Kapazität entspricht der Volumenfraktion, welche von einer intakten Zellmembran umschlossen ist, korreliert mit der Lebend-Biomasse bzw. mit der Anzahl von Zellen pro ml			
Q ₁ , Q ₂		Da in realen Systemen die Kapazität C nicht als idealer Kondensator vorliegt, wurde ein sogenanntes konstantes Phasenelement (engl. constant phase element CPE) eingeführt. Wenn der Parameter A1 (a1) 1 entspricht, so liegt eine ideale Kapazität vor. Durch die Anpassungsparameter (Q und A) lassen sich gemessenen Werte besser an berechnete Kurven anpassen. Q ₂ beschreibt weitere kapazitive Elemente innerhalb einer Zelle			
CPE	Constant Phase Element	Verteilung von Kapazitäten im Gewebe, hervorgerufen durch unterschiedliche Zellgrößen und internen Zellbestandteilen, Pa- rameter Q und A bzw. a			
a ₁ , A ₁ a ₂ , A ₂		Verteilung der Zeitkonstanten des CPE-(verursacht durch inhomogene Zellgrößen Q_1 und kapazitiven Komponenten innerhalb der Zelle – Q_2) Verteilung der Zeitkonstanten zu den Größen Q_1 und Q_2			
f	Frequenz	Schwingungen je Sekunde des angelegten elektrischen Anregungssignals			
р	mathematische Konstante				
j	Imaginärteil einer komplexen Zahl				

Tab. 5: Formeln zur Berechnung der Ersatzschaltungen

Model	Formel
1	$Z(f) = \frac{R_1 (1 + j2\pi f C_1 R_2)}{1 + j2\pi f C_1 (R_1 R_2)}$
2	$Z(f) = \frac{R_1 \left(R_2 + \frac{1}{Q_1 (j 2 \pi f)^{\alpha_1}} \right)}{R_1 + R_2 + \frac{1}{Q_1 (j 2 \pi f)^{\alpha_1}}}$
3	$Z(f) = R_1 + \frac{R_2}{R_2 Q_1 (j 2 \pi f)^{\alpha_1} + 1} + \frac{R_3}{R_3 Q_2 (j 2 \pi f)^{\alpha_2} + 1}$
Konstantes Phasenelement (CPE)	$Z(f) = \frac{1}{Q_1 (j 2 \pi f)^{\alpha_1}}$

Das Modell 1 [R_1 // (R_2 + C_1] stellt mit drei Parametern ein sehr vereinfachtes Modell dar, welches sich auf die Untersuchungen von Zuckerrüben nur unzureichend anwenden lässt (Abb. 29).

Das Modell 3 [R_1+Q_1 // R_2) + Q_2 // R_3)] enthält sieben Parameter und fittet sehr gut (Abb. 30). Die hohe Anzahl an Parametern führt bei Zuckerrüben mit verschiedenen Sorten und Umwelten jedoch zu starken Schwankungen, wodurch die Ergebnisse nur schwer interpretierbar sind.

Das Modell 2 [R_1 // (Q_1+R_2)] stellt einen guten Kompromiss aus Fit-Genauigkeit und Komplexität dar. Außerdem lassen sich die Parameter in Verbindung mit der Geometrie des 4-Elektrodensystems gut Eigenschaften der Zuckerrübe zuordnen. Dieses Modell wird für weitere Untersuchungen verwendet. (Abb. 31)

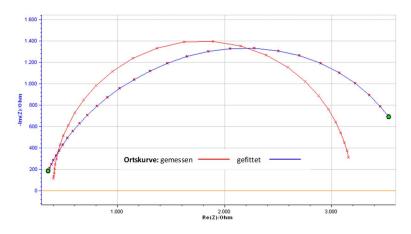


Abb. 29: Ortskurven Modell 1, Fit mit, R₁//(R₂+C₁), Zuckerrübe: Ernte 2018, Standort IFZ, Sorte 6

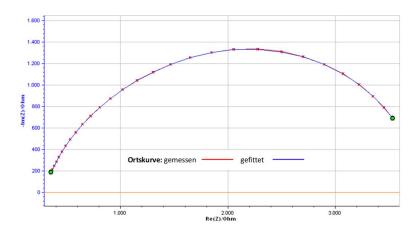


Abb. 30: Ortskurven Modell 3, Fit mit $R_1+Q_1/\!/R_2+Q_2/\!/R_3$, Zuckerrübe: Ernte 2018, Standort IFZ, Sorte 6

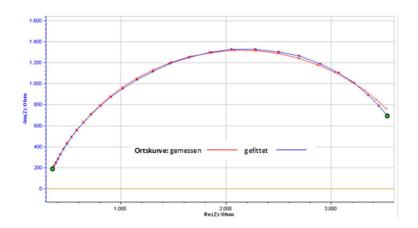


Abb. 31: Ortskurven Modell 2, Fit mit $R_1//(Q_1+R_2)$ Modell, Zuckerrübe: Ernte 2018, Standort IFZ, Sorte 6

3.3.6.4 Messperiode 2018

Die nachfolgenden Abbildungen (Abb. 32 und Abb. 33) zeigen die berechneten Parameter der Ersatzschaltung $Z = R_1 // R_2 + Q_1$ in Abhängigkeit von der Messposition für 2018.

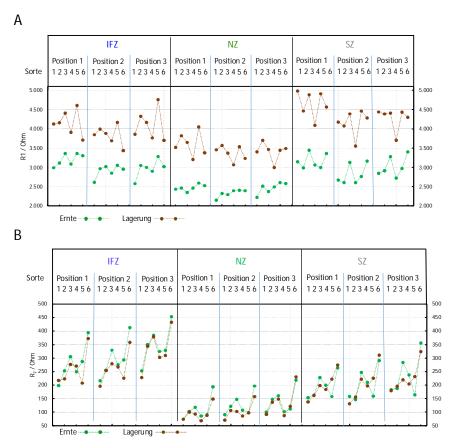


Abb. 32: Messperiode 2018: Extrazellulärer Widerstand R1 und intrazellulärer Widerstand R₂ von Zuckerrüben vor und nach der Lagerung, 6 Sorten in 3 Umwelten, 3 Probestücke; jeweils 6 Feldwiederholungen

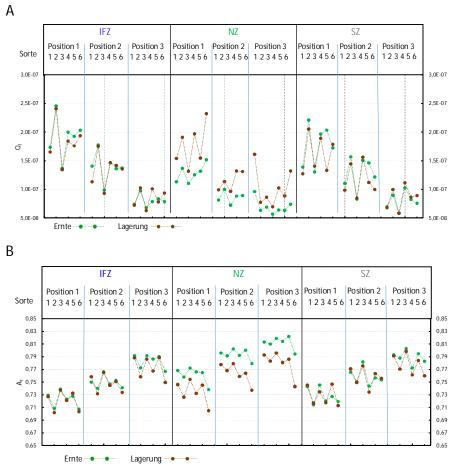


Abb. 33: Messperiode 2018: Parameter des konstanten Phasenelementes (Q₁ u. A₁) von Zuckerrüben vor und nach der Lagerung, 6 Sorten in 3 Umwelten, 3 Probestücke jeweils 6 Feldwiederholungen

Die Modellparameter der Ersatzschaltung (R_1 , R_2 , Q1 und A_1) hängen sowohl von der Sorte als auch von der Umwelt ab. Ein Einfluss der Lagerung ist deutlich zu erkennen. Dies ist auf extrazelluläre Wasserverluste zurückzuführen, welcher zu einem Anstieg des Modellparameters R_1 führt. Auch die Parameter Q_1 und Q_2 und des konstanten Phasenelementes variieren mit den Sorten und den Umwelten. Das konstante Phasenelement kennzeichnet die an der Zellmembran durch Polarisation freier Ladungsträger hervorgerufenen kapazitiven Effekte und korreliert mit der Volumenfraktion intakter Zellen. Sortenabhängige Muster sind zu erkennen. Die Lagerbedingungen hatten nur einen geringen Einfluss auf den intrazellulären Widerstand Q_2 und auf die CPE-Parameter (Q_1 , Q_2) (Abb. 33).

Zur Unterscheidung der Sorten schien der intrazelluläre Widerstand R₂ am besten geeignet.

3.3.6.5 Messperiode 2019

Zur Überprüfung der Ergebnisse wurde in der Messperiode 2019 die gleichen 6 Sorten in 3 Umwelten untersucht. Um den Aufwand bei der Beprobung zu minimieren, wurden in der Messperiode 2019 aus jeder Rübe nur zwei Probestücke extrahiert (Abb. 22). Zusätzlich wurden zur zukünftigen Verringerung des Aufwandes auch ganze Rüben untersucht (Abb. 23).

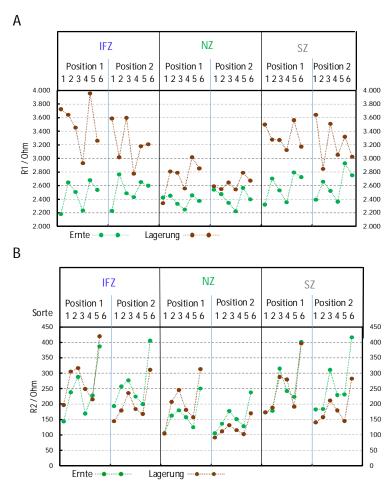
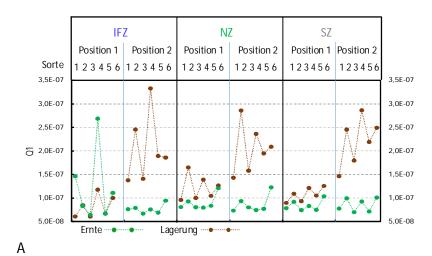


Abb. 34: Messperiode 2019: Extrazellulärer Widerstand R1 und intrazellulär Widerstand R_2 von Zuckerrüben vor und nach der Lagerung, 6 Sorten in 3 Umwelten, 2 Probestücke jeweils 6 Feldwiederholungen



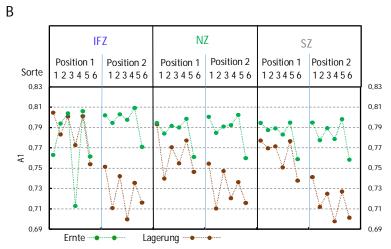


Abb. 35: Messperiode 2019: Parameter des konstanten Phasenelementes (Q1 u. A1) von Zuckerrüben vor und nach der Lagerung, 6 Sorten in 3 Umwelten, 2 Probestücke jeweils 6 Feldwiederholungen

Für die einzelnen Parzellen zeigte R₂ gemessen in der gesamten Rübe eine gute Korrelation zu den gemittelten Werten aus den beiden Zylindern mit einem r² von 0,56 (Abb. 36). Wenn der Vergleich über den Mittelwert der Sorten gemacht wird, erhöht sich das r² auf 0,96. Das zeigt, dass eine Messung an der ganzen Rübe sehr gute Werte für die Impedanzmessung liefert. Es ist somit nicht notwendig, aufwendig die Probestücke aus der Rübe zu stanzen.

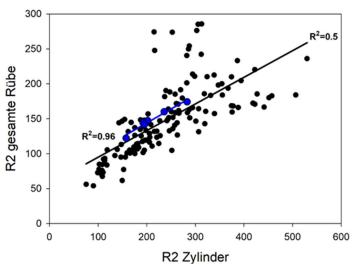


Abb. 36: Regression zwischen R₂ gemittelt über inneren und äußeren Zylinder und R₂ gemessen an der ganzen Rübe. Schwarze Punkte und schwarze Regressionsgerade über alle Parzellenwerte: 6 Sorten in 4 Umwelten 2018 und 2019 mit jeweils 6 Feldwiederholungen. Blaue Punkte und Regressionsgerade gemittelt über die Sorte.

Die Ergebnisse des Jahres 2019 bestätigen, dass sich Sortenunterschiede am differenziertesten in R₂ widerspiegeln. Daher ist für die Messperiode im Folgenden nur die Messungen von R₂ dargestellt.

3.3.6.6 Messperiode 2020

Ziel der impedanzspektroskopischen Untersuchungen war unter anderem die weitere Minimierung des Aufwandes für die Beprobung. Darum wurden wie in der Messperiode 2019 neben 2 Probestücken

je Rübe zusätzlich ganze Rüben mit dem gleichen Messkopf impedanzspektroskopisch untersucht. Zunächst wurde die ganze Rübe untersucht und danach die 2 Probestücke extrahiert. Die Messergebnisse von R_2 zu den 12 Sorten für die 3 Messpositionen sind in den nachfolgenden Abbildungen dargestellt (Abb. 37).

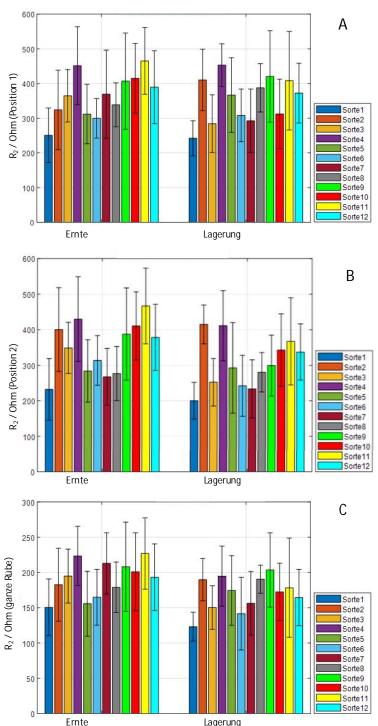


Abb. 37: Messperiode 2020: Intrazellulärer Widerstand R₂ in Zuckerrüben vor und nach der Lagerung, 12 Sorten, 1 Umwelt 2020, 2 Probestücke (A und B) und Untersuchungen an ganzen Rübenkörpern (C) jeweils 6 Feldwiederholungen

Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Die Impedanzspektroskopie ist eine gute Möglichkeit, um mit relativ geringem Aufwand die Alterung von Rüben durch die Lagerung zu bestimmen. Hierzu eignet sich besonders die Bestimmung des extrazellulären Widerstandes (R₁) in den Außenbereichen des Rübenkörpers. Durch Austrocknung des Gewebes kommt es zu einem Anstieg des Widerstandes (Elektrolytverlust).

Weiterhin konnten mit den elektrischen Parametern der Ersatzschaltung auch für jeden Standort / Umwelt die Sorte unterschieden werden.

Voraussetzung für eine sinnvolle Auswertung ist jedoch ein gutes Verständnis der biophysikalischen dielektrischen Eigenschaften der Rübenkörper und eine gründliche Planung der Messanordnung.

Wünschenswert wären weiter Untersuchungen mit miniaturisierten Elektroden in Verbindung mit mikroskopischen Darstellungen an verschiedenen Positionen des Rübenkörpers und besonders an den Kambiumringen.

Die Methode würde sich mit dünnen Nadelelektroden auch gut zur Bestimmung des Wachstumsverlaufs während der Vegetationsperiode und des Verlaufs von Infektionen an Rüben im Gewächshaus eignen.

3.3.7 AP7: Quantitativ-statistische Modelle (IfZ)

3.3.7.1 Korrelation einzelner Parameter

Zunächst wurde ermittelt, wie eng die einzelnen gemessenen Parameter über die 6 Sorten in 7 Umwelten in den Versuchsjahren 2018 und 2019 untereinander korreliert waren (Tab. 6). Es zeigte sich, dass es eine sehr enge Korrelation zwischen Trockensubstanz-, Mark- und AIR-Gehalt gab, und dass diese Parameter sehr eng positiv mit dem Penetrationswiderstand, Gewebefestigkeit und auch Druckfestigkeit korreliert waren. Die Invertzuckerakkumulation als Maß für die Lagerfähigkeit war negativ mit den Texturparametern korreliert. Der intrazelluläre Widerstand korreliert ebenfalls eng positiv mit dem Trockensubstanzgehalt (TS), den Zellwandparametern (Mark und AIR) und der Gewebefestigkeit.

Tab. 6: Korrelation zwischen einzelnen Parametern in Zuckerrüben; 6 Sorten in 2018, 6 Sorten in 2019, insgesamt 7 Umwelten 2018 und 2019.

	R2	Penetrations	Gewebe	Druckfest	TS	ZG	Invertzuckerakkumulation	Mark	AIR
R2	1.00								
Penetrationswiderstand	0.75	1.00							
Gewebefestigkeit	0.87	0.96	1.00						
Druckfestigkeit	0.70	0.67	0.80	1.00					
TS	0.90	0.82	0.84	0.57	1.00				
ZG	0.74	0.56	0.56	0.22	0.91	1.00			
Invertzuckerakkumulation	-0.70	-0.80	-0.87	-0.96	-0.64	-0.27	1.00		
Mark	0.87	0.95	0.97	0.79	0.91	0.65	-0.88	1.00	
AIR	0.92	0.90	0.95	0.82	0.92	0.67	-0.88	0.99	1.00

Die Korrelationsmatrix (Tab. 7) über 12 Sorten für das Jahr 2020 zeigten für die Texturparameter: Penetrationswiderstand, Gewebefestigkeit und Druckfestigkeit dieselben Zusammenhänge wie in den Versuchsjahren davor. Die negative Korrelation zur Invertzuckerakkumulation war deutlich geringer, da in diesem Versuchsjahr die Lagerungsverluste gering waren und somit kaum Sortenunterschiede auftraten. Auch der intrazelluläre Widerstand R₂ zeigte für die 12 Sorten ähnliche Zusammenhänge wie für die 6 Sorten aus in 7 Umwelten 2018 und 2019.

Tab. 7: Korrelation zwischen einzelnen Parametern in Zuckerrüben; 12 Sorten in einer Umwelt im Jahr 2020.

	R2	Penetrations	Gewebe	Druckfest	TS	ZG	Invertzuckerakkumulation	Mark	AIR
R2	1.00								
Penetrationswiderstand	0.66	1.00							
Gewebefestigkeit	0.76	0.91	1.00						
Druckfestigkeit	0.71	0.82	0.84	1.00					
TS	0.73	0.80	0.90	0.69	1.00				
ZG	0.66	0.83	0.82	0.59	0.96	1.00			
Invertzuckerakkumulation	-0.25	-0.26	-0.37	-0.21	-0.44	-0.35	1.00		
Mark	0.71	0.81	0.96	0.76	0.92	0.81	-0.52	1.00	
AIR	0.72	0.82	0.94	0.82	0.96	0.87	-0.46	0.96	1.00

3.3.7.2 Hauptkomponentenanalyse zur Erfassung von Mustern

Um latente Variablen zu ermitteln und Zusammenhänge innerhalb der Daten von 2018 und 2019 aufzudecken, wurde eine Hauptkomponentenanalyse (Principal Component Analysis; PCA) durchgeführt. Abgesehen von den Daten zur Zellwandzusammensetzung wurden die Texturparameter vor der Lagerung, der Zuckergehalt und die Trockenmasse vor der Lagerung sowie der Wurzelspitzenbruch und

die Invertzuckerakkumulation während der Lagerung sowie die Impedanzdaten (R1, R2) zur Berechnung der PCA verwendet, um dann Sorten und Umwelten charakterisieren zu können. Die Daten zur Zellwandzusammensetzung wurden dann jedoch wieder ausgeschlossen, da die Unterschiede zwischen den Sorten nur gering waren. Die ersten 3 bzw. 2 PCs wurden aufgrund des Scree-Tests (Cattell, 1966) beibehalten und der orthogonalen Rotation (Varimax) unterzogen. Zur Visualisierung der Zusammenhänge sind die Faktorladungen als bivariates Diagramm aufgetragen, wobei der Mittelpunkt der Gesamtmittelwert der Daten 0 ist, da die Daten auf den Mittelwert normiert wurden. Die Korrelation ist durch den Winkel zum Zentrum gegeben (Abb. 38)

Bei Einbeziehung aller gemessener Parameter erklärt PC1 45.2% der aufgetretenen Varianz, PC3 15.5% (Abb. 38). Dass die Berücksichtigung der Impedanzdaten nicht wesentlich zur Erklärung der Varianz beigetragen hat, ist daran erkennbar, dass die erklärte Varianz bei Ausschließen der Impedanzparameter wesentlich größer wird (Abb. 39).

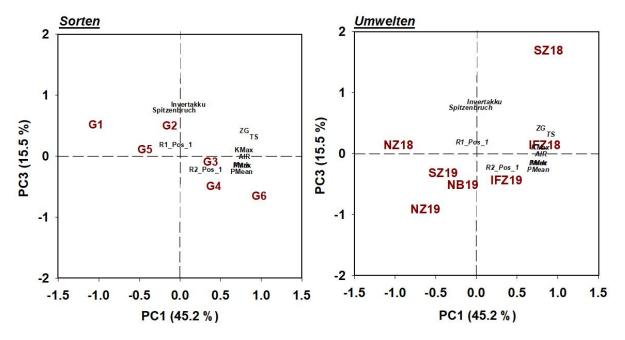


Abb. 38: Principal component analysis mit der Gewebefestigkeit, Trockenmassezusammensetzung, Lagerungsverlusten und Impedanzwerten (R2) für 6 Sorten G1-G6 (links) und für 7 Umwelten in Deutschland (2018+2019) (rechts), bivariate Darstellungen der 2 Faktoren.

Somit bringen die Impedanzparameter mehr Varianz in den Datensatz, als sie erklären. PC1, der dann 53% der Varianzanteile erklärt, ist dabei geprägt von der Festigkeit (Pmax, Pmean), dem Trockenmasse-, Zucker – und Zellwandgehalt (DM, SC, AIR, Mark), die miteinander eng korreliert sind (Abb. 39). PC2 mit 15,5% Varianzanteil ist charakterisiert durch Wurzelspitzenbruch (root tip) und die Invertzuckerakkumulation während der Lagerung (Invert_accu), die auch miteinander korreliert sind.

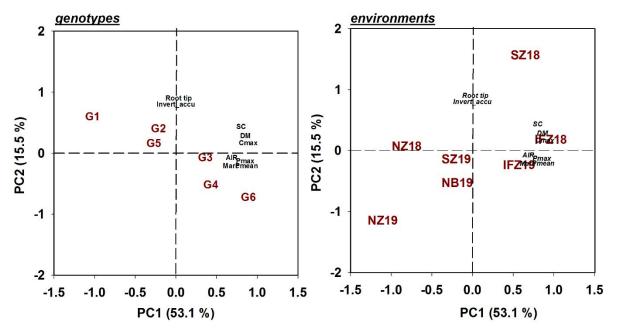


Abb. 39: Principal component analysis mit der Gewebefestigkeit, Trockenmassezusammensetzung und Lagerungsverlusten für 6 Sorten G1-G6 (links) und für 7 Umwelten in Deutschland (2018+2019) (rechts), bivariate Darstellungen der 2 Faktoren.

Für die Sorten zeigt sich in der PCA ein klares Muster dahingehend, dass Sorten mit einem höheren Zellwandgehalt auch eine höhere Gewebefestigkeit haben (Abb. 39 links). Diese wiederum ist negativ mit der Beschädigungsempfindlichkeit und den Lagerungsverlusten verbunden. Dies bestätigt die schon vorher gemachten Erklärungsansätze. Für die Umwelten war dagegen kein Muster erkennbar (Abb. 39 rechts). Sowohl in Umwelten mit Rüben geringer Festigkeit als auch mit Rüben hoher Festigkeit traten hohe Lagerungsverluste auf. Daher scheint für die Charakterisierung der Umwelten in Bezug auf die Lagerfähigkeit die Festigkeit der Rübe keine Aussage zuzulassen. Es ist weiterhin nicht klar, wodurch und wann Rüben von bestimmten Standorten (Umwelten) eine geringere Lagerfähigkeit aufweisen. Erkennbar war, dass Rüben von Standorten mit vorherigem Krankheitsbefall höhere Verluste aufwiesen (SZ18).

3.4 Diskussion

3.4.1 Einfluss von Umwelt und Sorte auf die Festigkeit (IfZ)

Während in der amtlichen Sortenprüfung eine Bewertung von Ertrag und Qualität der Zuckerrüben erfolgt, wird ein Parameter zur Festigkeit des Rübengewebes bisher nicht berücksichtigt. Die Festigkeit des Gewebes von frisch geernteten Rüben könnte jedoch als einfacher Indikator für die Beschädigungsempfindlichkeit und die Lagerfähigkeit von Zuckerrüben an Bedeutung gewinnen (Nause et al. 2020; Kleuker und Hoffmann 2020). Daher wird in dieser Studie neben der Analyse des Einflusses von Sorte und Umwelt auch eine erste Einschätzung der Bandbreite der Rübenfestigkeit in verschiedenen Umwelten in Deutschland vorgestellt.

3.4.1.1 Texturanalyse

Obwohl die Messung der Festigkeit mit einem Texturanalysator eine Standardmethode für Früchte und Lebensmittel ist (Abbott, 1999, 2004), ist sie für Zuckerrüben relativ neu. Daher gibt es keine Informationen über mögliche Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Messmethoden/Messpositionen und Umgebungen. Kleuker und Hoffmann (2019), (2021) und Nause et al. (2020) beschrieben eine enge Korrelation zwischen Penetrationswiderstand und Gewebefestigkeit bei Zuckerrüben und

schlugen vor, die Messungen auf einen Parameter zu reduzieren. Der Penetrationswiderstand wurde als der aussagekräftigste Parameter angesehen, da er das Durchstoßen des Periderms beschreibt, das während der Lagerung einen Zugang für Krankheitserreger bietet. In dem aktuellen Projekt wurde die enge Korrelation zwischen dem Penetrationswiderstand und der Gewebefestigkeit in einem breiten Spektrum von Umwelten bestätigt. Da beide im selben Durchgang gemessen werden und lediglich die Festigkeit der äußeren Rübe in verschiedenen Tiefen beschreiben, war eine enge Korrelation zu erwarten. Dies unterstreicht, dass es möglich ist, die Messungen ohne Informationsverlust nur auf den Penetrationswiderstand zu reduzieren.

Die Druckfestigkeit war nicht so eng mit dem Penetrationswiderstand verbunden. Kleuker und Hoffmann (2020) diskutierten mögliche Gründe für die Unterschiede zwischen Penetration- und Kompressionsmessungen, wie z. B. die Richtung der Messung und die Fläche des untersuchten Zellkomplexes. Die schlechtere Korrelation zwischen Penetration und Kompressionsmessung lag aber auch an dem abweichenden Verhalten von Sorte 2 bei der Druckfestigkeit. Diese zeichnete sich durch ein hartes Periderm, aber eine schwache Druckfestigkeit aus. Diese Tendenz wurde beim Vergleich von 12 Sorten bestätigt. Der Unterschied zwischen diesen Messungen legt nahe, beide Parameter zu bestimmen, um eine umfassendere Beschreibung der Gewebefestigkeit der gesamten Rübe zu erhalten.

Kleuker und Hoffmann 2021 zeigten eine Abnahme der Druckfestigkeit von der Außenseite zur Mitte der Zuckerrübenwurzel, die Ergebnisse von Kleuker und Hoffmann (2019) sowie Senge und Hajinezhad (2009) bestätigten dies. Interessanterweise war der Rückgang vom äußeren zum inneren Gewebe bei den verschiedenen Sorten ähnlich. Ein möglicher Grund dafür könnte die charakteristische Struktur der Zuckerrübenwurzel sein, die durch mehrere Kambiumringe mit Xylem und Phloem definiert ist (Artschwager, 1926). Während des Wachstums vergrößert sich insbesondere der Abstand zwischen den inneren Ringen und damit der Anteil des Parenchymgewebes im Vergleich zu den äußeren Teilen der Rübe mit einem höheren Anteil an Gefäßgewebe, was zu einer geringeren Druckfestigkeit führt. Die Druckfestigkeit muss also beim Vergleich von Sorten immer an der gleichen Stelle gemessen werden, aber es ist nicht notwendig, sowohl an der inneren als auch an der äußeren Stelle zu messen.

Es scheint, dass Unterschiede in der Druckfestigkeit zwischen den Messpositionen nur während des ungestörten Wachstums der Speicherwurzel entstehen. Die Notwendigkeit, beide Positionen zu messen, hängt also von der Zielsetzung ab. Wenn Sorten unterschieden werden sollen, reicht es aus, sich auf eine Position zu konzentrieren. Sollen jedoch Wurzeln aus unterschiedlichen Umgebungen genauer untersucht werden, scheint die Messung beider Positionen zusätzliche Informationen zu liefern.

3.4.1.2 Versuchsreihen unter verschiedenen Bedingungen

Die Festigkeit von Zuckerrübenwurzeln wurde in mehreren Umwelten untersucht, die sich deutlich in den Wachstumsbedingungen unterscheiden, was sich in den Unterschieden im Rübenertrag und im Zuckergehalt zeigt. Bei Zuckerrüben führt mäßiger Trockenstress zu einem Anstieg des Zuckergehalts aufgrund des Wasserverlusts (Bloch, Hoffmann, & Märländer, 2006) wie an den Standorten IfZ18 und SZ18. Schwerer Trockenstress reduziert jedoch die Zuckerakkumulation und damit den Zuckergehalt aufgrund einer Störung des Stoffwechsels (Hoffmann, 2010); wie in den Umgebungen NZ18 und NZ19 mit geringem Rübenertrag und niedrigem Zuckergehalt festgestellt wurde. Offensichtlich nahm auch die Gewebefestigkeit unter schwerem Trockenstress ab.

Der Hauptgrund für einen geringen Rübenertrag unter starkem Trockenstress ist eine Verringerung der Zellexpansion, wie Hoffmann (2010) für Zuckerrüben in einem Vergleich von trockenheitsgestressten und gut gewässerten Rüben bestätigte. Trockenheit wirkte sich auch auf das Verhältnis von Rübenertrag und Gewebefestigkeit aus: In den Extremumwelten NZ 18 und 19 war ein niedriger

Durchschnittsertrag mit einer geringen Gewebefestigkeit verbunden, während in den anderen Umgebungen mit weitgehend normalen Wachstumsbedingungen die Gewebefestigkeit nicht so deutlich mit dem Rübenertrag zusammenhing. Im Gegensatz dazu war der Effekt bei der Sorte umgekehrt: Mit steigendem Rübenertrag nahm die Gewebefestigkeit tendenziell ab. Daher scheint der Rübenertrag nicht der entscheidende Parameter für die Gewebefestigkeit zu sein.

Andererseits deutet der enge Zusammenhang zwischen Zuckergehalt und Gewebefestigkeit auf eine kausale Beziehung sowohl für Sorten als auch für die Umwelt hin. Dies könnte mit den Ergebnissen von Milford (1973) erklärt werden, der feststellte, dass sich Sorten, die sich in der Ertragsbildung unterscheiden, in der Zellgröße unterscheiden. Nach seiner Erklärung haben Sorten mit höherem Zuckergehalt kleinere Zellen, was zu einem höheren Verhältnis von Zellwand zu Zellvolumen führt. Diese Annahme wurde von Hoffmann, Kenter und Bloch (2005) und Hoffmann et al. (2018b) bestätigt, die einen hohen Markgehalt (wasserunlösliche Zellwandverbindungen) bei Sorten mit hohem Zuckergehalt feststellten. Darüber hinaus unterstreichen die Ergebnisse des kommerziellen Sortenversuchs die Hypothese, dass die Sorten des Typs Z (10, 11 und 12) eine höhere Gewebefestigkeit aufweisen. Für Kartoffeln und Karotten berichteten Hudson (1975), Konstankiewicz und Zdunek (2001) sowie Zdunek und Umeda (2005) ebenfalls, dass eine größere Kraft erforderlich war, um Sorten mit kleineren Zellen zu zerquetschen.

Unsere umfassende Studie liefert eine Schätzung des Penetrationswiderstands, der Gewebefestigkeit und der Druckfestigkeit von Zuckerrüben in sehr unterschiedlichen Umwelten. Die Daten können als Maßstab für die Gewebefestigkeit von Zuckerrübenwurzeln in künftigen Versuchen dienen.

3.4.1.3 Sorte und Umwelteinfluss

Die Sorteneffekte auf die Texturparameter, insbesondere auf den Penetrationswiderstand und die Gewebefestigkeit, waren mit 36 und 43 % außerordentlich hoch (Kleuker und Hoffmann 2021). Der Anteil der Umwelt war im Vergleich zu den Ertragsparametern gering. Dies steht im Einklang mit Hoffmann et al. (2009), die einen ähnlichen Umwelteffekt auf den Ertrag und die Qualität von Zuckerrüben von mehr als 80 % berichteten. Der größte Sorteneffekt, den sie bei den elf untersuchten Parametern fanden, war 8,5 % für Betain. Daher sind die Texturparameter die Merkmale mit dem höchsten Sorteneffekt und damit der höchsten Heritabilität, die bisher für Zuckerrüben ermittelt wurden.

Die Haupterklärung für den hohen Sorteneffekt bei Zuckerrüben ist vermutlich, dass die Bildung der Rübenstruktur durch die Kambiumringe während der frühen Entwicklung stattfindet (Artschwager, 1926; Milford, 1973). Außerdem verbleiben Zuckerrüben bis zur Ernte im vegetativen Wachstumsstadium. Die Wurzelstruktur wird also sehr früh gebildet und ist daher eher durch die Sorte als durch Umweltveränderungen während der Vegetationsperiode bestimmt.

Nach Kang (1997) ist die Interaktion zwischen Sorte und Umwelt tendenziell größer, wenn Sorte und Umwelt stark variieren. Doch trotz der beträchtlichen Unterschiede zwischen den Umwelten und der Wahl verschiedener Sorten in der vorliegenden Studie war die Sorte-Umwelt-Interaktion für die Gewebefestigkeit der Zuckerrüben gering. Aufgrund dieses geringen Sorte-Umwelt-Interaktion in Kombination mit dem starken Sorteneffekt scheint sogar ein einziger Versuchsstandort ausreichend zu sein, um einen ersten Eindruck von der Gewebefestigkeit kommerzieller Zuckerrübensorten zu erhalten.

3.4.1.4 Festigkeit der kommerziellen Sorten

Die Texturanalyse der Marktsorten im Vergleich zu den Standardsorten 1, 2 und 3 der vorangegangenen Versuchsserie gibt einen ersten Einblick in die Bandbreite der Gewebefestigkeit. Die sortenspezifische Bandbreite nahm vom Penetrationswiderstand über die Gewebefestigkeit bis zur Druckfestigkeit, also von außen nach innen, zu. Überraschenderweise unterschieden sich die handelsüblichen

Sorten deutlich in ihrer Festigkeit und deckten einen ähnlichen Bereich ab wie die Sorten der ersten Versuchsserie, die speziell im Hinblick auf Unterschiede ausgewählt wurden. Obwohl die Festigkeit bisher in der Züchtung und Zulassung nicht berücksichtigt wurde, deutet dies auf ein großes Potenzial für die Selektion hin.

Die erheblichen Unterschiede zwischen den handelsüblichen Sorten lassen vermuten, dass sich die Festigkeit auf die Zuckerrübenernte und die nachfolgenden Verarbeitungsschritte in der Zuckerfabrik auswirken wird. Um die Festigkeit durch Züchtung zu verändern, müssen in zukünftigen Studien die Auswirkungen und die Bestimmungsgrößen von Unterschieden in der Festigkeit von Zuckerrüben untersucht werden. Dann muss der Zielwert der Festigkeit definiert werden, der aber möglicherweise für den Anbau und die Verarbeitung von Zuckerrüben unterschiedlich sein kann.

3.4.2 Ursachen für unterschiedliche Festigkeiten von Zuckerrüben, Veränderungen während der Lagerung und Auswirkungen auf die Lagerfähigkeit (IfZ)

3.4.2.1 Einfluss der Lagerung auf die Festigkeit von Zuckerrüben

Umweltbedingte und sortenspezifische Unterschiede in der Festigkeit von Zuckerrüben wurden von Kleuker und Hoffmann (2021) für frisch geerntete Rüben beschrieben. Da ein hoher Anteil der Zuckerrüben erst nach einer gewissen Lagerzeit in Feldmieten verarbeitet wird, wurde auch der Einfluss der Lagerung auf die Festigkeit analysiert. Außerdem wurden die Ursachen für Unterschiede in der Festigkeit untersucht. Veränderungen der Festigkeit, die die Beschädigungsempfindlichkeit von Zuckerrüben nach der Lagerung erhöhen, könnten zu zusätzlichen Verlusten während des Transports, in der Zuckerfabrik und zu Problemen aufgrund von Zuckerauswaschungen beim Waschen führen (Vukov, 1977). Dennoch liegen nur wenige Informationen über die Festigkeit von Zuckerrüben und ihre Veränderung während der Lagerung vor. Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass die Lagerung einen signifikanten Einfluss auf die Festigkeit von Zuckerrüben hat. Der Anstieg des Penetrationswiderstands und der Druckfestigkeit stand im Einklang mit den Ergebnissen von Nedomová et al. (2017). Allerdings war der von Nedomová et al. (2017) festgestellte Anstieg der Brüchigkeit viel stärker als in dieser Studie. Dies könnte auf unterschiedliche Versuchsbedingungen zurückzuführen sein, oder auf einen stärkeren Lagerungseffekt.

Geringfügige Veränderungen der Festigkeit während der Lagerung waren mit einem geringen Anstieg des Trockenmassegehalts (Wasserverlust) verbunden (Kleuker und Hoffmann 2021). Offensichtlich nahm die Elastizität der Peridermis (bestimmt als Abstand bis zum Peridermisriss) zu, wenn der Trockensubstanzgehalt während der Lagerung anstieg, und dies war abhängig von der Umwelt. Ist der Weg bis zum Reißen größer, wird das darunter liegende Gewebe stärker komprimiert, bevor die Sonde die Peridermis durchdringt. Infolgedessen kann die Festigkeit des darunter liegenden Gewebes (Gewebefestigkeit) geringer sein. Bereits Vukov (1977) berichtete, dass bei Zuckerrüben die Gewebeelastizität mit dem Wasserverlust während der Lagerung zusammenhängt. Hatfield und Knee (1988) kamen bei Äpfeln zu dem Schluss, dass der Wasserverlust zur Aufrechterhaltung des Zellzusammenhalts führt und dass der Eindringwiderstand wahrscheinlich von der Zellkompressibilität und dem Zellzusammenhalt beeinflusst wird. Abbott (2004) fasste die Ergebnisse von Lin und Pitt (1986) dahingehend zusammen, dass der Turgordruck die Zellwand vorspannt und die Zellen mit hohem Turgor daher spröder sind und früher auseinanderbrechen. Die Auswirkung des Turgors ist jedoch nur dann von Bedeutung, wenn der Mechanismus auf einem Reißen der individuellen Zellen und nicht auf einer Ablösung zwischen einzelnen Zellen beruht (Harker und Hallett, 1992). Da der Turgor das Zerbrechen von Zuckerrüben zu beeinflussen scheint, deuten die Ergebnisse in diesem Versuch darauf hin, dass da ein Reißen von einzelnen Zellen zugrunde liegt. In weiteren Studien könnte es von Vorteil sein, die Bruchstellen unter dem Mikroskop zu untersuchen.

Für viele Früchte werden sortenspezifische Veränderungen der Festigkeit während der Lagerung berichtet (Ahmadi-Afzadi et al., 2013). In dieser Studie konnte jedoch gezeigt werden, dass die untersuchten Zuckerrübensorten in gleicher Weise auf eine verlängerte Lagerung reagierten. Sorten mit einer überdurchschnittlichen Festigkeit bei der Ernte hatten auch eine überdurchschnittliche Festigkeit nach der Lagerung. Dieses Ergebnis ist wichtig, da es den Schluss zulässt, dass die sortenspezifische Festigkeit vor der Lagerung die Festigkeit nach der Lagerung bestimmt. Abschätzungen des sortenspezifischen Einflusses auf die Beschädigungsempfindlichkeit und das Verhalten bei der Verarbeitung sind daher an frischen Rüben möglich. Dass die Zuckerrübensorten nicht unterschiedlich auf die Lagerung reagierten, könnte daran liegen, dass es bei Zuckerrüben keine Reifezeit mit größeren Veränderungen in der Zellwandzusammensetzung gibt (Hoffmann et al., 2021). Daher kann die Festigkeit in frischen Rüben ebenso wie die anderen Qualitätsparameter in der Sortenprüfung bestimmt werden.

3.4.2.2 Festigkeit und Zellwand

Ursachen für die Festigkeit der Rübe können in der Struktur der Speicherwurzel begründet sein. Der anatomische Aufbau von Zuckerrüben wurde bereits von Artschwager (1926) beschrieben. Trotz großer Fortschritte in der Züchtung haben sich diese Struktur und die Anzahl der Kambiumringe im Laufe der Jahre nicht wesentlich verändert (Loel et al., 2014). In unseren Untersuchungen wurde allerdings kein Unterschied zwischen den Sorten in der Anzahl an Kambiumringen gefunden, so dass diese nicht die Ursache für die Variabilität in der Festigkeit sein können.

Dennoch wurden Unterschiede in der Zellgröße als Grund für die Zuckerakkumulation und die Ertragsentwicklung zwischen verschiedenen Zuckerrübensorten von Milford (1973) und Wyse (1979) diskutiert. Sie kamen zu dem Schluss, dass kleinere Zellen ein größeres Verhältnis zwischen Zellwand und Zellvolumen aufweisen. Rüben mit kleinen Zellen haben einen geringeren Abstand zwischen den Kambiumringen und können daher mehr Zucker speichern. Loel et al. (2014) stellten jedoch fest, dass die Beziehung zwischen dem Zellwandgehalt und der Zuckerkonzentration nur für Sorten mit einem ähnlichen Registrierungsjahr gültig ist. Durch Züchtung hat sich die Trockenmasseverteilung der Zuckerrübensorten in den letzten Jahrzehnten in Richtung eines höheren Zuckergehalts bei gleichzeitig geringerem Zellwandgehalt (Markgehalt) verändert.

Unterschiede zwischen den Sorten im Zellwandgehalt (AIR, Mark) weisen auf die sortenspezifische Festigkeit hin. Die alte Sorte 6 wies im Vergleich zu den neueren Sorten einen signifikant höheren Zellwandgehalt auf, aber anders als von Loel et al. (2014) berichtet, war auch der Trockensubstanzgehalt der alten Sorte höher. Diese sortenspezifischen Unterschiede im Zellwandgehalt spiegelten sich in der Festigkeit wider. Kleuker und Hoffmann (2021) beschrieben einen Zusammenhang zwischen Zuckergehalt / Ertragstyp und Festigkeit. Dies konnte bestätigt werden, da der sortenspezifische Zuckergehalt mit dem Zellwandgehalt zusammenhing, was durch die PCA bestätigt wurde. Auch Nause et al. (2020) fanden einen Zusammenhang zwischen Zellwandgehalt und Festigkeit und stellten darüber hinaus bei der mikroskopischen Analyse Unterschiede in der Zellgröße von Zucker- und Futterrüben fest. Der Zusammenhang zwischen Zellgröße und Festigkeit ist jedoch bisher nicht bekannt. Daher sind weitere Studien über Zuckerrübensorten mit unterschiedlichen Zellgrößen und deren Festigkeit erforderlich.

Obwohl sich der Zellwandgehalt der Sorten deutlich unterschied, gab es kaum Unterschiede in der Zellwandzusammensetzung, insbesondere im Vergleich zu den Unterschieden in der Festigkeit. Geringfügige Unterschiede in der Zellwandzusammensetzung, mit einer Tendenz zu einem höheren Pektingehalt bei festeren Sorten wurden auch von Nause et al. (2020) berichtet. Pektin findet sich hauptsächlich in der Mittellamelle zwischen den Zellen. Marry et al. (2006) stellten fest, dass Pektinpolysaccharide der Hauptregulator für die Adhäsion im Zuckerrübengewebe sind, wobei sowohl Calcium-

als auch estervernetzte Pektine für die Zelladhäsion erforderlich sind. Eine genauere Untersuchung der Zellwandzusammensetzung und der Vernetzungen bei verschiedenen Beta-Arten ergab jedoch auch keine Unterschiede in Bezug auf die Festigkeit (Schäfer et al., 2020).

Für die Umwelt spiegelte der mittlere Zellwandgehalt der Zuckerrüben nicht die mittlere Umweltfestigkeit der Rübe wider. Dies könnte darauf zurückzuführen sein, dass sich vor allem Zuckerrüben aus Umwelten mit extremem Trockenstress in der Festigkeit von solchen unterschieden, die keinen Trockenstress erlebt hatten. Hoffmann et al. (2005) stellten fest, dass starker Trockenstress den Markgehalt von Zuckerrüben stark erhöht. Demnach nahm der Zellwandgehalt in den Umgebungen NZ18 und NZ19 nicht so stark ab wie der Zuckergehalt. Ein niedriger Trockensubstanzgehalt kann also ein Hinweis auf eine geringe Festigkeit sein, während ein hoher Trockensubstanzgehalt nicht unbedingt auf eine höhere Festigkeit hinweist.

3.4.2.3 Festigkeit des Gewebes und Lagerfähigkeit

Ein hoher Befall mit Pathogenen ist der Hauptgrund für Zuckerverluste und Invertzuckeranreicherung während der Lagerung (Bugbee und Cole, 1976; Schnepel und Hoffmann, 2016; van Swaaij und Huijbregts, 2010). Sortenspezifische Unterschiede im Lagerverlust scheinen also auf Unterschiede im Pathogenbefall zurückzuführen zu sein (Nause et al., 2020). Diese Unterschiede im Pathogenbefall wurden bereits mit Unterschieden in der Beschädigungsempfindlichkeit in Verbindung gebracht (Hoffmann und Schnepel, 2016). Stärkeres Gewebe scheint also Verletzungen und damit Eintrittspforten für Krankheitserreger zu reduzieren und darüber hinaus die Ausbreitung von Krankheitserregern im Gewebe zu verzögern. Die Verletzungen treten hauptsächlich während der Ernte auf, und das Ausmaß unterscheidet sich stark zwischen den Umwelten und damit den Erntebedingungen. Insbesondere der Bruch von Wurzelspitzen ist stark von der Einstellung der Erntemaschine abhängig (Hoffmann et al., 2018a; Hoffmann, 2018), so dass Umwelten mit unterschiedlichen Einstellungen der Erntemaschine den Bruch von Wurzelspitzen stärker beeinflussen könnten als die Festigkeit der Rübe. Darüber hinaus sind Rüben aus Umwelten mit Trockenheit (NZ19) kleiner und somit ist auch der Bruch der Wurzelspitze in der Regel kleiner.

Sortenspezifische Unterschiede in der Beschädigungsempfindlichkeit wurden in vielen Studien festgestellt (Hoffmann und Schnepel, 2016; van Swaaij et al., 2003). In unserer Studie war die Druckfestigkeit in allen Umwelten eng negativ mit dem Wurzelbruch korreliert, der Penetrationswiderstand in den meisten Umwelten. Die Festigkeit scheint also einen direkten Einfluss auf den Wurzelspitzenbruch und auch andere Arten der Beschädigung zu haben. Da der sortenspezifische Zellwandgehalt die sortenspezifischen Unterschiede in der Festigkeit verursacht, bestätigt dies gleichzeitig die negative Korrelation zwischen Wurzelspitzenbruch und dem sortenspezifische Markgehalt, wie sie von Schnepel und Hoffmann (2016) und Hoffmann et al. (2018b) gefunden wurde.

Der von Campbell und Klotz (2007) und Schnepel und Hoffmann (2016) berichtete starke Einfluss der Umwelt auf den Lagerverlust wurde auch in dieser Studie festgestellt. Der Temperaturbereich von 7 bis 9 °C sollte die Lagerungsbedingungen in Feldmieten reproduzieren und war für alle Rüben aus den verschiedenen Umwelten ähnlich, mit Ausnahme von SZ18, die eine kürzere Lagerungsdauer hatten. Große Unterschiede in der Lagerfähigkeit zwischen den Sorten wurden jedoch vor allem in Umgebungen mit höheren Zuckerverlusten festgestellt, wie bereits von Kenter und Hoffmann (2009) festgestellt. Folglich können sortenspezifische Unterschiede nur in extremen Umgebungen mit hohen Lagerungsverlusten gefunden werden.

3.4.3 Erfassung von Unterschieden mit impedanzspektroskopischen Messungen (iba) In diesem Projekt wurde erstmalig eine impedanzspektroskopische Messmethode zur Bestimmung der Festigkeit des Rübenkörpers von Zuckerrüben an einer großen Probenzahl mit mehreren Sorten und Umwelten in 3 Jahren vor und nach der Lagerung zur Anwendung gebracht. Bei dem verwendeten Messsystem handelte es sich um ein im iba entwickeltes Funktionsmuster für den Frequenzbereich von 1 kHz bis 10 MHz.

Die Impedanzspektroskopie ist eine gute Möglichkeit, um mit relativ geringem Aufwand die Alterung von Rüben durch die Lagerung zu bestimmen. Hierzu eignet sich besonders die Bestimmung des extrazellulären Widerstandes (R1) in den Außenbereichen des Rübenkörpers. Durch Austrocknung des Gewebes kommt es zu einem Anstieg des Widerstandes (Elektrolytverlust).

Weiterhin konnten mit den elektrischen Parametern der Ersatzschaltung auch für jeden Standort / Umwelt die Sorte unterschieden werden. Durch Korrelationsuntersuchungen konnte gezeigt werden, dass der intrazelluläre Widerstand R2 eine gute Übereinstimmung mit weiteren Parametern wie Penetrationswiderstand, Gewebefestigkeit, Druckfestigkeit, Trockensubstanz, Zuckergehalt, Invertzuckerakkumulation, Mark und AIR aufweist (siehe Kapitel Qualitative und statistische Modelle).

Trotz der großen Elektrodenabstände des Messkopfes konnte gezeigt werden, dass diese Messtechnik entsprechend den Probepunkten die bekannten unterschiedlichen Zellstrukturen innerhalb des Rübenkörpers erfassen kann. Ein großer Einfluss auf die Messergebnisse bestand bei den extrahierten Probekörpern darin, wenn sich innerhalb der Elektroden ein oder zwei Kambiumringe befanden. Mit kleineren Elektrodenabständen oder mit einer isolierten und segmentierten Ringelektrode in Form eines Nadelapplikators könnte dieser Einfluss minimiert werden.

Bei den Messungen an ganzen Rüben, bei denen die Elektroden durch die äußere Haut gesteckt wurde, hat die jeweilige benetzte Elektrodenfläche ebenfalls Einfluss auf das Messergebnis. Wenn die Elektroden ab der Halterung mit einer mm langen Isolierung versehen werden, minimiert sich dieser Einfluss deutlich.

Zur besseren Interpretation der berechneten Parameter sind allerdings Referenzuntersuchungen auf zellulärer Ebene mit mikroskopischen und molekularen Analysemethoden notwendig. Damit würden auch die Parameter der Ersatzschaltung weiter an Bedeutung gewinnen. Mit kleineren Elektroden oder Elektrodenarrays könnten auch komplexere Ersatzschaltbilder zur exakteren Beschreibung der biophysikalischen Eigenschaften des Rübenkörpers oder einzelner Regionen erstellt werden.

Die Elektrodengeometrien lassen sich leicht in verschiedenen Maßstäben anpassen. Somit könnte den Züchtern mit dieser Messtechnik ein Werkzeug zum minimal-invasiven Online-Monitoring von Wachstumsvorgängen in unterschiedlichen Umwelten und von Befall mit Pathogenen zur Verfügung gestellt werden.

Die elektrische Impedanzspektroskopie ist somit eine sehr empfindliche, effektive und schnelle Messmethode zur nicht-invasiven oder minimal-invasiven Charakterisierung von Rübenkörpern.

Zur Überführung dieser Messtechnik für den Feldeinsatz an Zuckerüben oder ähnlichen Früchten sind allerdings weiter Forschungs- und Entwicklungsarbeiten notwendig. Es gibt es immer noch einen Mangel an feldtauglichen impedanzspektroskopischen Prozessmesssystemen bzw. es müssen vorhandene Messsystem an das Untersuchungsobjekt weiter angepasst werden. Dazu gehören auch die Erstellung notwendiger Kalibrationsroutinen und eine nutzerfreundliche Menüführung.

Auch böte sich die Gelegenheit zur Entwicklung eines kombinierten Messsystems, bestehend aus mechanischen und impedanzspektroskopischen Komponenten. Die Penetrometerspitze würde gleichzeitig mit Elektroden versehen wird, so das mit einem Einstichvorgang sowohl mechanische als auch dielektrische Textureigenschaften des Untersuchungsobjektes bestimmt werden könnten.

Zur Realisierung der oben genannten messtechnischen Entwicklungen zu einem marktfähigen Produkt bedarf es einer eingehenden Marktrecherche.

3.4.4 Multivariate Auswertung (IfZ)

Die PCA ist eine Methode zur Ableitung allgemeiner Effekte aus einer Vielzahl verschiedener Parameter. Sie bestätigte, dass Sorten mit einem höheren Zellwandgehalt und damit einer höheren Gewebefestigkeit einen geringeren Wurzelspitzenbruch und eine geringere Anreicherung von Invertzucker nach der Lagerung aufwiesen. Dieses Muster war für die Umwelten nicht offensichtlich, da Rüben aus der Umwelt SZ18 zwar eine hohe Gewebefestigkeit, aber dennoch hohe Lagerungsverluste aufgrund von Sekundärinfektionen aufwiesen. Unterschiede im Pathogenbefall stehen allerdings nicht im Zusammenhang mit dem Pathogenpotenzial. Liebe und Varrelmann (2016) zeigten, dass ein ausreichendes Erregerpotenzial in allen Umwelten vorhanden ist, aber nicht unbedingt in allen Umwelten mit einer starken Erregerbesiedlung während der Lagerung einhergeht.

Da es nach wie vor nicht möglich ist, die Höhe der Lagerungsverluste von Rüben, die unter bestimmten Umweltbedingungen angebaut werden, mit irgendeinem bei der Ernte bestimmten Parameter vorherzusagen, gewinnt die Wahl einer Sorte mit guter Lagerfähigkeit an Bedeutung. Hoffmann (2018) kam bei der Auswertung von 92 kommerziellen Mieten zu dem Ergebnis, dass ungünstige Bedingungen und zusätzlich eine anfällige Sorte die Lagerverluste überproportional erhöhen. Dies unterstreicht die Notwendigkeit, auf eine gute Lagerfähigkeit zu züchten. Ähnlich wie der von Schnepel und Hoffmann (2016) vorgeschlagene Markgehalt kann die sortenspezifische Festigkeit ein weiteres indirektes Kriterium für die Lagerfähigkeit von Zuckerrübensorten sein

3.5 Ausblick (IfZ)

Überraschenderweise wurde die Festigkeit der Rübe viel stärker von der Sorte beeinflusst als von der Umwelt, worunter auch das Wasserangebot sowie die N-Versorgung zählt, die normalerweise die Zusammensetzung der Rübe beeinflussen. Es kann daher davon ausgegangen werden, dass auch andere agronomische Behandlungen die Rübenfestigkeit höchstwahrscheinlich nicht verändern. Eine Ausnahme könnten Krankheiten sein, insbesondere Wurzelfäule wie Rhizoctonia, aber wahrscheinlich auch Infektion mit Virus Yellow (Hossain et al. 2020) und SBR [Syndrome basse richess; (Pfitzer et al. 2020)], die vermutlich zu einer Verringerung der Festigkeit aufgrund von verfaultem Gewebe und einer allgemeinen Störung des Stoffwechsels führen werden.

Die Festigkeit der Sorten erwies sich als ein wesentlicher Einflussfaktor für den Bruch der Wurzelspitzen, den Invertzuckergehalt nach der Lagerung und die Zuckerverluste. Kleuker und Hoffmann (2021) zeigten auch bei kommerziellen Zuckerrübensorten eine überraschend hohe Variation in den Eigenschaften der Rübenfestigkeit, was auf einen potentiell großen Einfluss auf die Funktionalität der Rübe hinweist. Aufgrund der engen Korrelation kann die Festigkeit als indirektes Selektionskriterium für eine reduzierte Beschädigungsempfindlichkeit und damit verbesserter Lagerfähigkeit von Zuckerrübensorten dienen.

Es ist jedoch noch nicht klar, inwieweit diese Unterschiede in der Festigkeit die Verarbeitung der Rüben beeinflussen können. Für die Verarbeitung von Zuckerrüben in der Fabrik gibt es keine aktuellen Informationen darüber, ob Sorten mit schwächerem oder stärkerem Gewebe beim Schneiden und Pressen der Schnitzel von Vorteil sind. Vukov (1977) stellte fest, dass beide Extreme zu Problemen

bei der Verarbeitung führen, ohne jedoch Daten von verschiedenen Sorten zu liefern. Die Festigkeit der Rübe verschiedener Sorten veränderte sich während der Lagerung ähnlich. Daher kann die Auswirkung auf die Prozesse nach der Lagerung mit einer Analyse frischer Rüben im Voraus abgeschätzt werden. Weitergehende Untersuchungen zur Auswirkung unterschiedlicher Rübenfestigkeit auf die Schneidarbeit, die Extraktion und die Abpressung bei der Verarbeitung laufen derzeit in einem Projekt der ESST (European Society for Sugar Technology) im Pilotmaßstab am IfZ.

Eine Einführung der Festigkeit als Sortenmerkmal in der Züchtung und in der amtlichen Sortenprüfung kann somit dazu beitragen, die Verluste bei der Ernte und in der Verarbeitung in Zukunft zu reduzieren. Derzeit wird die Penetrationsmessung im offiziellen Sortenprüfsystem für Zuckerrüben zusammen mit dem Bundessortenamtes geprüft/umgesetzt. Es ist allerdings dann auch zu prüfen, in welchem Zusammenhang eine hohe Festigkeit mit anderen Zuchtzielen, insbesondere mit der Sortenleistung, steht. Kleuker und Hoffmann (2021) fanden bei Sorten eine negative Korrelation zwischen Rübenertrag und Festigkeit, so dass es zu Zielkonflikten kommen kann. Weiterhin muss auch ein Zielwert bezüglich der Festigkeit der Rübe für das Verarbeitungsverfahren diskutiert werden, da dieser zusätzlich von den Anforderungen für den Rübenanbau und die Lagerung abweichen könnte. Auf jeden Fall kann die Entwicklung in der Züchtung hin zu einem geringeren Zellwandgehalt und einer geringeren Festigkeit verfolgt, ggf. sogar dieser Entwicklung entgegengewirkt werden. In einem weiterführenden internationalen Projekt wird zudem derzeit die Auswirkung unterschiedlicher Festigkeit von Zuckerrüben auf verschiedene Prozessschritte (Extraktion, Abpressung der Rübenschnitzel) in der Verarbeitung geprüft (ESST-Projekt: European Society for Sugar Technology).

Literaturverzeichnis

- Abbott, Judith A. (1999): Quality measurement of fruits and vegetables. In: Postharvest Biol. Technol. 15 (3), S. 207–225. DOI: 10.1016/S0925-5214(98)00086-6.
- Abbott, Judith A. (2004): Textural quality assessment for fresh fruits and vegetables. In: Advances in experimental medicine and biology 542, S. 265–279. DOI: 10.1007/978-1-4419-9090-7_19.
- Ahmadi-Afzadi, Masoud; Tahir, Ibrahim; Nybom, Hilde (2013): Impact of harvesting time and fruit firmness on the tolerance to fungal storage diseases in an apple germplasm collection. In: Postharvest Biol. Technol. 82, S. 51–58. DOI: 10.1016/j.postharvbio.2013.03.001.
- Artschwager, Ernst (1926): Anatomy of the vegetative organs of the sugar beet: US Government Printing Office.
- Bloch, D.; Hoffmann, C. M.; Märländer, B. (2006): Solute Accumulation as a Cause for Quality Losses in Sugar Beet Submitted to Continuous and Temporary Drought Stress. In: J. Agron. Crop Sci. 192 (1), S. 17–24. DOI: 10.1111/j.1439-037X.2006.00185.x.
- Bugbee, W. M.; Cole, D. F. (1976): Sugarbeet storage rot in the Red River Valley, 1974-75. In: J. Am. Soc. Sugar Beet Technol. 19, S. 19–24. Online verfügbar unter https://agris.fao.org/agrissearch/search.do?recordid=us7720976.
- Campbell, L. G.; Klotz, K. L. (2007): Characterizing sugarbeet varieties for postharvest storage losses is complicated by environmental effects and genotype × environment interactions. In: Can. J. Plant Sci. 87 (1), S. 121–127. DOI: 10.4141/P06-085.
- Frenzel, S. (2021). Central Department Research, Development, Services (CRDS), SÜDZUCKER AG Mannheim, 20.01.2021. Personal communication.
- Harker, F. R.; Hallett, I. C. (1992): Physiological changes associated with development of mealiness of apple fruit during cool storage. In: HortScience 27 (12), S. 1291–1294. DOI: 10.21273/HORTSCI.27.12.1291.
- Hatfield, S. G. S.; Knee, M. (1988): Effects of water loss on apples in storage. In: International Journal of Food Science & Technology 23 (6), S. 575–583. DOI: 10.1111/j.1365-2621.1988.tb01043.x.
- Hoffmann, C. M. (2010): Sucrose Accumulation in Sugar Beet Under Drought Stress. In: Journal of Agronomy and Crop Science 196 (4), S. 243–252. DOI: 10.1111/j.1439-037X.2009.00415.x.
- Hoffmann, Christa M. (2018): Sugar beet from field clamps -harvest quality and storage loss. In: Sugar Ind. 143 (11), S. 639–647. DOI: 10.36961/si20092.
- Hoffmann, Christa M.; Engelhardt, Meik; Gallmeier, Michael; Gruber, Michael; Märländer, Bernward (2018a): Importance of harvesting system and variety for storage losses of sugar beet. In: Sugar Ind. 143 (8), S. 474–484. DOI: 10.36961/si19782.
- Hoffmann, Christa M.; Huijbregts, Toon; van Swaaij, Noud; Jansen, Rudolf (2009): Impact of different environments in Europe on yield and quality of sugar beet genotypes. In: Eur. J. Agron. 30 (1), S. 17–26. DOI: 10.1016/j.eja.2008.06.004.
- Hoffmann, Christa M.; Kenter, Christine; Bloch, Dorit (2005): Marc concentration of sugar beet (Beta vulgaris L) in relation to sucrose storage. In: J. Sci. Food Agric. 85 (3), S. 459–465. DOI: 10.1002/jsfa.2002.

- Hoffmann, Christa M.; Koch, Heinz-Josef; Märländer, Bernward (2021): Sugar beet. In: Victor Sadras und Daniel F. Calderini (Hg.): Crop physiology. Case histories for major crops. London, San Diego, Cambridge, MA, Kidlington: Academic Press, S. 635–672.
- Hoffmann, Christa M.; Leijdekkers, Martijn; Ekelöf, Joakim; Vancutsem, Françoise (2018b): Patterns for improved storability of sugar beet importance of marc content and damage susceptibility of varieties in different environments. In: Eur J Agron 101, S. 30–37. DOI: 10.1016/j.eja.2018.08.004.
- Hoffmann, Christa M.; Schnepel, Katharina (2016): Susceptibility to root tip breakage increases storage losses of sugar beet genotypes. In: Sugar Industry 141 (10), S. 625–632.
- Hossain, Roxana; Menzel, Wulf; Lachmann, Celin; Varrelmann, Mark (2020): New insights into virus yellows distribution in Europe and effects of beet yellows virus, beet mild yellowing virus, and beet chlorosis virus on sugar beet yield following field inoculation. In: Plant Pathol 9, S. 1–10. DOI: 10.1111/ppa.13306.
- Hudson, D. E. (1975): The relationship of cell size, intercellular space, and specific gravity to bruise depth in potatoes. In: American Potato Journal 52 (1), S. 9–14. DOI: 10.1007/BF02852100.
- Jensen, j. (2021). Quality, Innovation & Production Support, Nordic Sugar A/S Naksov, 20.01.2021. Personal communication
- Kang, Manjit S. (1997): Using Genotype-by-Environment Interaction for Crop Cultivar Development. In: Donald L. Sparks (Hg.): Advances in Agronomy, Bd. 62: Academic Press, S. 199–252. Online verfügbar unter http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0065211308605696.
- Kenter, Christine; Hoffmann, Christa M. (2009): Changes in the processing quality of sugar beet (Beta vulgaris L.) during long-term storage under controlled conditions. In: Int J Food Sci Techn 44 (5), S. 910–917. DOI: 10.1111/j.1365-2621.2007.01641.x.
- Kleuker, G.; Hoffmann, Christa M. (2019): Method development for the determination of textural properties of sugar beet roots. In: Sugar Industry 144 (7), S. 392–400.
- Kleuker, Gunnar; Hoffmann, Christa M. (2020): Influence of tissue strength on root damage and storage losses of sugar beet. In: Sugar Industry (145), S. 435–443. DOI: 10.36961/si24556.
- Kleuker, Gunnar; Hoffmann, Christa M. (2021): Tissue strength of sugar beet root genotypic variation and environmental impact. In: Crop Sci. 61 (4), S. 2478–2488. DOI: 10.1002/csc2.20523.
- Konstankiewicz, K.; Zdunek, A. (2001): Influence of turgor and cell size on the cracking of potato tissue. In: International Agrophysics 15 (1), S. 27–30.
- Kupfer, K. (2005): Electromagnetic Aquametry, Electromagnetic Wave Interaction with Water and Moist Substances, Ed. by Klaus Kupfer, Springer Berlin Heidelberg New York ISBN 3-540-2222-7.
- Liebe, Sebastian; Varrelmann, Mark (2016): Effect of environment and sugar beet genotype on root rot development and pathogen profile during storage. In: Phytopathology 106 (1), S. 65–75. DOI: 10.1094/PHYTO-07-15-0172-R.
- Lin, Ta-Te; Pitt, R. E. (1986): Rheology of apple and potato tissue as affected by cell turgor pressure. In: J Texture Studies 17 (3), S. 291–313. DOI: 10.1111/j.1745-4603.1986.tb00554.x.

- Loel, Jens; Kenter, Christine; Märländer, Bernward; Hoffmann, Christa M. (2014): Assessment of breeding progress in sugar beet by testing old and new varieties under greenhouse and field conditions. In: Eur. J. Agron. 52, S. 146–156. DOI: 10.1016/j.eja.2013.09.016.
- Marry, Mazz; Roberts, Keith; Jopson, S. Juliet; Huxham, I. Max; Jarvis, Michael C.; Corsar, Julia et al. (2006): Cell-cell adhesion in fresh sugar-beet root parenchyma requires both pectin esters and calcium cross-links. In: Physiol Plant 126 (2), S. 243–256. DOI: 10.1111/j.1399-3054.2006.00591.x.
- Martinsen, O. G., Grimnes, S. (2014): Bioimpedance and bioelectricity basics. Academic press. 3rd Edition, ISBN: 9780124114708.
- Milford, G. F. J. (1973): The growth and development of the storage root of sugar beet. In: Ann Applied Biology 75 (3), S. 427–438. DOI: 10.1111/j.1744-7348.1973.tb07991.x.
- Nacke, T., Barthel, A., Beckmann, D. Pliquett, U., Friedrich, J., Peyerl, P, Helbig, M., Sachs, J., (2011): Messsystem für die impedanzspektroskopische Breitband-Prozessmesstechnik. tm-Technisches Messen. 78, (1): 3-14.
- Nause, Nelia; Meier, Tobias; Hoffmann, Christa M. (2020): Tissue composition and arrangement in sugar beet genotypes of different tissue strength with regard to damage and pathogen infestation. In: Sugar Industry 145 (2), S. 114–123. DOI: 10.36961/si24063.
- Nedomová, Šárka; Kumbár, Vojtěch; Pytel, Roman; Buchar, Jaroslav (2017): Mechanical properties of sugar beet root during storage. In: International Agrophysics 31 (4), S. 507–513. DOI: 10.1515/intag-2016-0081.
- Pfitzer, René; Schrameyer, Klaus; Voegele, Ralf T.; Maier, Johann; Lang, Christian; Varrelmann, Mark (2020): Causes and effects of the occurrence of "Syndrome des basses richesses" in German sugar beet growing areas. In: Sugar Ind., S. 234–244. DOI: 10.36961/si24263.
- Schäfer, Judith; Hale, Julia; Hoffmann, Christa M.; Bunzel, Mirko (2020): Mechanical properties and compositional characteristics of beet (Beta vulgaris L.) varieties and their response to nitrogen application. In: Eur Food Res Technol. DOI: 10.1007/s00217-020-03562-4.
- Schnepel, Katharina; Hoffmann, Christa M. (2014): Genotypic variability in storage losses of sugar beet. In: Sugar Industry 139 (5), S. 302–310.
- Schnepel, Katharina; Hoffmann, Christa M. (2016): Genotypic differences in storage losses of sugar beet causes and indirect criteria for selection. In: Plant Breed 135 (1), S. 130–137. DOI: 10.1111/pbr.12338.
- Senge, B.; Hajinezhad, A. (2009): Physico-mechanical parameters of sugarbeets (In German, with English abstract). In: Sugar Ind. 134 (8), S. 529–539.
- van der Poel, P. W.; Schiweck, H.; Schwartz, T. (1998): Sugar technology. beet and cane sugar manufacture. Berlin, Germany: Verlag Dr. Albert Bartens.
- van Soest, P. J.; Robertson, J. B. (1979): Systems of analysis for evaluating fibrous feeds. In: Standardization of analytical methodology for feeds: proceedings: IDRC, Ottawa, ON, CA.
- van Swaaij, A. C. P. M.; van der Linden, J. P.; Vandergeten, J.-P. (2003): Effect of growth conditions and variety on damage susceptibility of sugarbeet. In: Zuckerind. 128 (12), S. 888–891.
- van Swaaij, N.; Huijbregts, T. (2010): Long-term storability of different sugarbeet genotypes Results of a joint IIRB study. In: Sugar Ind. (135), S. 661–667.

- VDLUFA (2012): Methode 6.5.1 Bestimmung der Neutral-Detergenzien-Faser nach Amylasebehandlung (aNDF) sowie nach Amylasebehandlung und Veraschung (aNDFom). Band III Die chemische Untersuchung von Futtermitteln. In: Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hg.): Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch). Bd. III Die Untersuchung von Futtermitteln, 8. Ergänzungslieferung. Darmstadt: VDLUFA-Verl. (VDLUFA-Schriftenreihe, 69).
- VDLUFA (2012): Methode 6.5.2 Bestimmung der Säure-Detergenzien-Faser (ADF) und der Säure-Detergenzien-Faser nach Veraschung (ADFom). Band III Die chemische Untersuchung von Futtermitteln. In: Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hg.): Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch). Bd. III Die Untersuchung von Futtermitteln, 8. Ergänzungslieferung. Darmstadt: VDLUFA-Verl. (VDLUFA-Schriftenreihe, 69).
- VDLUFA (2012): Methode 6.5.3 Bestimmung des Säure-Detergenzien-Lignins (ADL). Band III Die chemische Untersuchung von Futtermitteln. In: Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) (Hg.): Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch). Bd. III Die Untersuchung von Futtermitteln, 8. Ergänzungslieferung. Darmstadt: VDLUFA-Verl. (VDLUFA-Schriftenreihe, 69).
- Vukov, K. (1977): Physics and chemistry of sugar-beet in sugar manufacture. Budapest: Akadémiai Kiadó.
- Wyse, R. E. (1979): Parameters controlling sucrose content and yield of sugarbeet roots. In: J. Am. Soc. Sugar Beet Technol. 20 (44), S. 368–385.
- Zdunek, Artur; Umeda, Mikio (2005): Influence of cell size and cell wall volume fraction on failure properties of potato and carrot tissue. In: J Texture Studies 36 (1), S. 25–43. DOI: 10.1111/j.1745-4603.2005.00002.x.

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1	: Ernte am Versuchsstandort IfZ (links), Aufteilen der Ruben einer Parzelle in Referenz und
	Lagerungsprobe (Mitte) und Lagerung in Klimacontainern (rechts)15
Abb. 2	2: Blick in das Texturlabor (links); Kompressionsmessung im Detail (rechts)16
Abb. 3	3: Gewebefestigkeit (Tissue firmness) und Druckfestigkeit (Compressive strength) von
	Zuckerrüben im Verhältnis zum Penetrationswiderstand (puncture resistance); 6 Sorten aus
	3 Umwelten 2018 und 6 Sorten aus 4 Umwelten 201916
Abb. 4	E: Penetrationswiderstand in der Rübe von 6 Zuckerrübensorten (Mittel von 7 Umwelten 2018
	und 2019) [30 Rüben je Sorte und Standort; Tukey-Test α=0,05]17
Abb. 5	5: Druckfestigkeit von 3 Zuckerrübensorten in Abhängigkeit von 3 N-Düngestufen; [Mittel aus 4
	Umwelten: IRS, IRBAB 2018, 2019]17
Abb. 6	s: Varianzkomponentenanalyse der Düngeversuche, 3 Sorten, 3 N-Düngestufen; [Mittel aus 4
	Umwelten: IRS, IRBAB 2018, 2019]17
Abb. 7	7: Penetrationswiderstand von 7 Zuckerrübensorten am Standort NZ 2019; beregnet und
	unberegnet [30 Rüben je Sorte und Behandlung]18
Abb. 8	3: Verteilung der Varianzkomponenten für die Penetrationsfestigkeit (links) und Druckfestigkeit
	der Rübe (rechts) (6 Zuckerrübensorten, 7 Umwelten 2018 und 2019)18
Abb. 9	P: Penetrationswiderstand, Gewebefestigkeit und Druckfestigkeit von Zuckerrüben vor und
	nach der Lagerung in Klimacontainer; links: Umwelten als Mittel von 6 Sorten; Rechts:
	Sorten als Mittel von 7 Umwelten 2018 und 19; n=619
Abb. 1	0: Relativer Penetrationswiderstand (links) und Druckfestigkeit (rechts) der Rübe von 12
	Zuckerrübensorten im Verhältnis zur Festigkeit der Vergleichssorten 1, 2, und 3. (Standort
	IfZ, 2020). Buchstaben geben den Ertragstyp der Sorten an (N=Ertragsbetonter Typ, Z=
	Zuckergehaltsbetonter Typ, NZ=Normal bis zuckerbetonter Typ)19
Abb. 1	1: Gehalt an Trockensubstanz, Zucker, Mark, und Alcohol Insoluble Residue (AIR) in der Rübe in
	unterschiedlichen Umwelten (Mittel aus 6 Zuckerrübensorten) und bei unterschiedlichen
	Zuckerrübensorten (Mittel aus 7 Umwelten 2018 und 2019). Tukey-Test α=0,0520
Abb. 1	2: Gehalt an Alcohol Insoluble Residue (AIR) in der Rübe von 6 Zuckerrübensorten; (links).
	Zusammensetzung des AIR in die einzelnen Fraktionen Pektin, Hemicellulose, Cellulose und
	Lignin (rechts), Mittel aus 7 Umwelten 2018 und 2019; Tukey-Test α=0,0521
Abb. 1	3: Gehalt an Alcohol Insoluble Residue (AIR) in der Frischmasse der Rübe in 7 Umwelten 2018
	und 2019 (Mittelwert aus 6 Zuckerrübensorten); Tukey-Test α=0,05 (links). Verteilung der
	Varianzkomponenten der AIR (rechts) (6 Sorten, 7 Umwelten)
Abb. 1	4: Zusammensetzung des AIR in Zuckerrüben in die einzelnen Fraktionen Pektin,
	Hemicellulose, Cellulose und Lignin, 12 Sorten, Standort IfZ, 2020.
Abb. 1	5: Rübenquerschnitt zur Bestimmung der Kambiumringe (links). Anzahl der Kambiumringe in
	der Rübe von 6 Zuckerrübensorten in 7 Umwelten, 2018+2019 (rechts) [18
	Rübenquerschnitte je Sorte und Umwelt;]23
Abb. 1	6: Wurzelspitzenbruch von Rüben vor der Lagerung, 6 Sorten (Mittel von 7 Umwelten 2018
	und 2019) [60 Rüben je Sorte und Umwelt; Tukey-Test α =0,05]24
Abb. 1	17: Bonitur der Oberflächenbeschädigung nach der Ernte (links) und des Schimmel-
	/Fäulebefalls nach der Lagerung (rechts) von 6 Zuckerrübensorten; Summe über 7
	Umwelten in 2018 und 2019 [60 Rüben je Sorte und Umwelt (0= keine Beschädigung/Befall,

i = ieichter Beschädigung/Betail, Z= mittierer Beschädigung/Betail, 3= deutlicher
Beschädigung/Befall)]2
Abb. 18: Invertzuckerakkumulation während der Lagerung der Rüben im Klimacontainer, in 7
Umwelten (links; Mittel von 6 Zuckerrübensorten) und von 6 Zuckerrübensorten (rechts;
Mittel von 7 Umwelten); Tukey-Test α =0,052
Abb. 19: Flussdiagramm einer Impedanzmessung; der grau hinterlegte Bereich entspricht den Hard-
und Softwareanforderungen an das Messsystem2
Abb. 20: Impedanzmessplatz (A) und 4-Elektrodenmesskopf (B)
Abb. 21: Nutzung der SY-LAB Messzellen zur Konfigurierung des 4-Elektrodensystems als
Einstichapplikator, A: original 4- Elektroden Messzelle, B: Messkopf nach Abtrennung des
Bechers, C: Bemaßung des Messkopfes, D: Steckkontakt zur Aufnahme des modifizierten
Messkopfes2
Abb. 22: Beprobung des Rübenkörpers, A und B: Extraktion von Probenstücken, C. Beprobung des
gesamten Rübenkörpers durch Einstechen von Elektroden2
Abb. 23: Vermessung des Rübenkörpers und Extraktion von Probestücken2
Abb. 24: Bestückung der Elektroden mit Probenstücken (Höhe 20 mm, Durchmesser 20 mm)2
Abb. 25: Messung am ausgestanzten Rübenzylindern2
Abb. 26: Messung einer ganzen Rübe mit äußerer Positionierung der Elektroden2
Abb. 27: Kapazitiven Frequenzgänge (1 kHz bis 10 MHz) verschiedener Zuckerrübensorten, 2018 30
Abb. 28: Ersatzschaltbilder für den Modellfit3
Abb. 29: Ortskurven Modell 1, Fit mit, $R_1//(R_2+C_2)$, Zuckerrübe: Ernte 2018, Standort IFZ, Sorte 63:
$Abb.\ 30: Ortskurven\ Modell\ 3,\ Fit\ mit\ R_1+Q_2//R_2+Q_3//R_3,\ Zuckerr\ddot{u}be: Ernte\ 2018,\ Standort\ IFZ,\ Sorte$
6
Abb. 31: Ortskurven Modell 2, Fit mit $R_1//(Q_2+R_2)$ Modell, Zuckerrübe: Ernte 2018, Standort IFZ, Sorte and Standort IFZ,
6
Abb. 32: Messperiode 2018: Extrazellulärer Widerstand R1 und intrazellulärer Widerstand R2 von
Zuckerrüben vor und nach der Lagerung, 6 Sorten in 3 Umwelten, 3 Probestücke; jeweils 6
Feldwiederholungen3
Abb. 33: Messperiode 2018: Parameter des konstanten Phasenelementes (Q ₁ u. A ₁) von Zuckerrüben
vor und nach der Lagerung, 6 Sorten in 3 Umwelten, 3 Probestücke jeweils 6
Feldwiederholungen
Abb. 34: Messperiode 2019: Extrazellulärer Widerstand R1 und intrazellulär Widerstand R2 von
Zuckerrüben vor und nach der Lagerung, 6 Sorten in 3 Umwelten, 2 Probestücke jeweils 6
Feldwiederholungen3
Abb. 35: Messperiode 2019: Parameter des konstanten Phasenelementes (Q1 u. A1) von
Zuckerrüben vor und nach der Lagerung, 6 Sorten in 3 Umwelten, 2 Probestücke jeweils 6
Feldwiederholungen3
Abb. 36: Regression zwischen R ₂ gemittelt über inneren und äußeren Zylinder und R ₂ gemessen an
der ganzen Rübe. Schwarze Punkte und schwarze Regressionsgerade über alle
Parzellenwerte: 6 Sorten in 4 Umwelten 2018 und 2019 mit jeweils 6 Feldwiederholungen.
Blaue Punkte und Regressionsgerade gemittelt über die Sorte3
$Abb.\ 37: Messperiode\ 2020:\ Intrazellul\"{a}rer\ Widerstand\ R_2\ in\ Zuckerr\"{u}ben\ vor\ und\ nach\ der\ Lagerung$
12 Sorten, 1 Umwelt 2020, 2 Probestücke (A und B) und Untersuchungen an ganzen
Rübenkörpern (C) jeweils 6 Feldwiederholungen3

AiF Projekt 19836 BG - Schlussbericht

Abb. 38: Princ	sipal component analysis mit der Gewebefestigkeit, Trockenmassezusammensetzung,
Lage	erungsverlusten und Impedanzwerten (R2) für 6 Sorten G1-G6 (links) und für 7
Um	welten in Deutschland (2018+2019) (rechts), bivariate Darstellungen der 2 Faktoren4
Abb. 39: Princ	sipal component analysis mit der Gewebefestigkeit, Trockenmassezusammensetzung
und	Lagerungsverlusten für 6 Sorten G1-G6 (links) und für 7 Umwelten in Deutschland
(201	8+2019) (rechts), bivariate Darstellungen der 2 Faktoren4

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Standorteigenschaften der Versuche im Jahr 2018, 2019 und 2020 in Deutschland	.14
Tab. 2: Einfluss der N-Düngung auf die Zusammensetzung von Zuckerrüben; Mittelwert aus 3 Sorte	n
in 4 Umwelten (IRBAB und IRS 2018 und 2019)	.22
Tab. 3: Übersicht zu den extrahierten Probenstücken und Messpunkten während der	
Projektbearbeitung	.28
Tab. 4: Symbole der elektrochemischen Ersatzschaltungen mit Beschreibung	.30
Tab. 5: Formeln zur Berechnung der Ersatzschaltungen	.31
Tab. 6: Korrelation zwischen einzelnen Parametern in Zuckerrüben; 6 Sorten in 2018, 6 Sorten in	
2019, insgesamt 7 Umwelten 2018 und 2019	.39
Tab. 7: Korrelation zwischen einzelnen Parametern in Zuckerrüben; 12 Sorten in einer Umwelt im	
Jahr 2020.	.39

4 Förderhinweis

... ein Projekt der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF)

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie







Das o. g. IGF-Vorhaben der Forschungsvereinigung Forschungskreis der Ernährungsindustrie e. V. (FEI), Godesberger Allee 125, 53175 Bonn, wird/wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.