

Schlussbericht

Zuwendungsempfänger: Hochschule Osnabrück, Fakultät Agrarwissenschaften und Landschaftsarchitektur, Fachgebiet Obstbau	Förderkennzeichen: REDU-NAQU
Vorhabensbezeichnung: Reduzierung von Nahrungsmittel- und Qualitätsverlusten bei Apfel (<i>Malus x domestica</i>) durch optimierte Lagerungsverfahren (DCA-CF-Lagerung)	
Laufzeit des Vorhabens: 15.01.2019 bis 31.12.2022	

I. Kurze Darstellung zu

1. Aufgabenstellung

Das Hauptziel des Projektes war es, das relativ neue Dynamic Controlled Atmosphere (DCA) Lagerverfahren zu optimieren. Die DCA-Lagerung führt im Vergleich zur herkömmlichen Controlled Atmosphere (CA)/ Ultra Low Oxygen (ULO) Lagerung zu einer deutlichen Verbesserung der Qualitätserhaltung der Früchte und zu erheblich geringeren Nahrungsmittelverlusten. Des Weiteren stellt sie eine wichtige Alternative zur 1-Methyl-Cyclo-Propen (1-MCP) Nacherntebehandlung (bspw. für den ökologischen Obstbau) dar. Die Möglichkeiten der DCA-Lagerung können allerdings nur dann optimal genutzt werden, wenn die Ursachen für das unterschiedliche Verhalten von Äpfeln hinsichtlich der fruchteigenen Gärstoffbildung bei Sauerstoffgehalten unter 1 Vol.-% in der Lagerraumatmosphäre gefunden werden. Während z.B. ein Teil der Früchte bei 0,5 Vol.-% O₂ noch keine Gärung aufweist, bildet ein anderer Teil bereits erhebliche Gärstoffmengen oder befindet sich sogar schon im Gärungsprozess. Daher sind große Obstverluste während der DCA-Lagerung nicht auszuschließen. Sobald die Ursachen identifiziert sind, wird eine Empfehlung für eine optimierte DCA-Lagerung erarbeitet und an die obstbauliche Praxis weitergegeben.

2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Das Projekt wurde unter Federführung der Hochschule Osnabrück durch Prof. Dr. Dierend (Fachgebiet Obstbau) in Zusammenarbeit mit Prof. Dr. Rath (Labor für Biosystemtechnik) und der Obstbauversuchsanstalt Jork der Landwirtschaftskammer Niedersachsen (Dr. Köpcke; Abteilung Fruchtqualität und Lagerung) und dem Obstbauversuchsring des Alten Landes e.V. (OVR) durchgeführt. Der OVR ist der größte Obstbauberatungsring in Deutschland und der zweitgrößte in der EU. Er berät Obstbaubetriebe im gesamten norddeutschen Raum. Obstbauversuchsanstalt und Obstbauversuchsring befinden sich in Jork im Obstbauzentrum Jork. Beide Institutionen arbeiten für die Erarbeitung von Beratungsempfehlungen eng zusammen.

3. Planung und Ablauf des Vorhabens (AP = Arbeitspaket)

Die Einstellung des Projektmitarbeiters, die Beschaffung notwendiger Messgeräte und die Erstellung eines vorläufigen Versuchsplans (AP 1) wurde abgeschlossen. Die Erprobung der geplanten Versuchsdurchführung (AP 2) wurde erfolgreich durchgeführt. Die Methodik zur einzelfruchtspezifischen Chlorophyllfluoreszenz-Messung und die Ermittlung der kritischen Sauerstoffkonzentration (LOL = Lower Oxygen Limit) wurden erprobt. Die Ergebnisse und gewonnene Erfahrungen des AP 2 wurden genutzt, um die geplanten Untersuchungen durchzuführen. In AP 3 und AP 4 wurden acht Apfelsorten hinsichtlich verschiedener Fruchtparameter (Fruchtgröße, Deckfarbenausfärbung, Fruchtbehang, Erntetermin, Position der Frucht im Baum, Herkunft und Baumalter) untersucht, die als Ursache für das unterschiedliche Gärungsverhalten infrage kommen könnten. Die Untersuchungen erfolgten in AP 3 mit Früchten aus

der Kühlhauslagerung sowie in AP 4 mit Früchten, die zuvor in der ULO-Lagerung aufbewahrt wurden. Das Gärungsverhalten wurde durch die Identifizierung des LOL und durch die Analyse fruchteigener Gärstoffgehalte (Ethanol, Acetaldehyd, Ethylacetat) beschrieben. Aufgrund der Ergebnisse der AP 3 und AP 4 wurde der Versuchsplan für AP 5 und AP 6 angepasst. Der Fruchtparameter *Erntetermin (Reife)* rückte verstärkt in den Focus der Untersuchungen. Die Anzahl der Apfelsorten und Varianten wurde reduziert und gleichzeitig der Stichprobenumfang für jede Variante erhöht (AP 3 & AP 4, n = 16; AP 5 & AP 6, n = 96). Früchte der Sorten 'Elstar' und 'Braeburn' wurden zu drei verschiedenen Ernteterminen (unreif, pflückreif, genussreif) geerntet, um unterschiedliche Reifegrade zu realisieren. Zudem wurde die Variante *verspätete Einlagerung* untersucht. Die Früchte für dieser Variante entstammten der gleichen Fruchtsortierung wie die Kontrolle, jedoch wurde die Einlagerung in das Kühlhaus etwa 10 Tage verzögert, wodurch die Fruchtreife beschleunigt wurde. Die Untersuchungen erfolgten in AP 5 mit Früchten aus der Kühlhauslagerung und in AP 4 aus der ULO-Lagerung. Auf die Untersuchung der Variante *verspätete Einlagerung* mit Früchten aus der ULO-Lagerung wurde jedoch verzichtet. Die Ergebnisse des AP 4 zeigten, dass die Früchte der Variante *verspätete Einlagerung* nach mehrmonatiger ULO-Lagerung sehr instabil waren (hohe Ausfall an geeigneten Versuchsfrüchten). Gemäß dem Änderungsbescheid vom 09.06.2021 wurde das Projekt, um 12 Monate verlängert. Die Laufzeitverlängerung wurde genutzt, um die Versuchsarbeiten der AP 5 und 6 (Obstbaujahr 2020/21) in den AP 7 und 8 (Obstbaujahr 2021/22) zu wiederholen. Die Empfehlungen zur DCA-Lagerung für die Obstbaupraxis wurden in AP 9 fertiggestellt und werden in 2023 in der Fachzeitschrift *Erwerbs-Obstbau* und in der Obstbauzeitschrift *Mitteilungen des Obstbauversuchsringes des Alten Landes e.V.* veröffentlicht.

4. wissenschaftlichen und technischen Stand an den angeknüpft wurde, insbesondere

- **Angaben bekannter Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte, die für die Durchführung des Vorhabens benutzt wurden**

Die Kenntnis der kritischen Sauerstoffkonzentration bzw. der unteren Sauerstoffgrenze (Lower Oxygen Limit = LOL) ist für die DCA-Lagerung unerlässlich. In einigen Publikationen wird die kritische Sauerstoffkonzentration als Anaerobic Compensation Point (ACP) bezeichnet. Nach WRIGHT et al. (2015) und BOECKX (2018) sollte die kritische Sauerstoffkonzentration als LOL bezeichnet werden, wenn fluoreszenzbasierte Messungen für die Ermittlung verwendet wurden. Der LOL stellt den niedrigsten Sauerstoffgehalt dar, der von der Frucht toleriert wird, ohne Störungen zu entwickeln (Wright et al., 2012; 2015). Eine von mehreren Möglichkeiten, den LOL zu identifizieren, ist die Chlorophyllfluoreszenz (Prange et al., 2002; DeLong et al., 2004). Das Harvest-Watch™ (Satlantic Inc., Halifax, Nova Scotia, Kanada) war das erste Chlorophyllfluoreszenz-System, das in der Obstlagerung eingesetzt wurde (Prange et al., 2013). Für dieses Projekt wurde an Forschungsarbeiten angeknüpft, die folgend kurze beschreiben werden. Studien haben gezeigt, dass die minimale Fluoreszenz (Fo) ein sensitiver Parameter zum Nachweis von Stress in Pflanzen

ist (Harris und Heber, 1993; Prange et al., 2002; Wright et al., 2008). Sinkt der Sauerstoffgehalt unter den LOL, wechselt der Stoffwechsel der Pflanzenzellen von aerob auf Fermentation. Offenbar besteht ein Zusammenhang zwischen aerober Atmung (Mitochondrien), Fermentation (Cytosol) und der Fluoreszenzzunahme, die von den Chloroplasten und dem Photosystem (PS) II ausgeht (Gasser et al., 2008, 2010; Wright et al., 2011; 2012). Sauerstoffarmer Stress führt zur Akkumulation von Reduktionsmitteln, was zu einer Überreduktion des Plastochinon (PQ)-Pools und einem Anstieg von F_0 führt (Harris und Heber, 1993; Wright et al., 2010, 2012). Lagerbedingungen ohne sauerstoffarmen Stress zeigen eine relativ konstante F_0 -Basislinie. Wenn der Sauerstoffgehalt unter dem LOL liegt, steigt die F_0 basierend auf der biologischen Reaktion von gelagerten Früchten (Zanella et al., 2005; Gasser et al., 2008; Wright et al., 2011).

Uns sind keine Schutzrechte Dritter bekannt, die für die Projektdurchführung genutzt wurden.

- **Angaben der verwendeten Fachliteratur sowie der benutzten Informations- und Dokumentationsdienste**

Baker NR (2008) Chlorophyll Fluorescence – A probe of photosynthesis in vivo. *Annu. Rev. Plant Biol.* 59:89–113

Baker NR, Oxborough K, Lawson T, Morison JIL (2001) High resolution imaging of photosynthetic activities of tissues, cells and chloroplast in leaves. *J. Exp. Bot.* 52:615–621

Bessemans N, Verboven P, Verlinden BE, Nicolai BM (2016) A novel type of dynamic controlled atmosphere storage based on the respiratory quotient (RQ-DCA). *Postharvest Biol. Technol.* 115:91–102

Bjorkman O, Demmig, B (1987) Photon yield of O_2 evolution and chlorophyll fluorescence characteristics at 77 K among vascular plants of diverse origins. *Planta* 170:489–504

Boeckx J (2018) Regulation of the respiratory metabolism of apple during (dynamic) controlled atmosphere storage. Dissertation, Faculty of Bioscience Engineering, Leuven, Belgien

Bolhar-Nordenkamp HR, Long SP, Baker, NR, Oquist G, Schreiber U, Lechner EG (1989) Chlorophyll fluorescence as a probe of the photosynthetic competence of leaves in the field: A review of current instrumentation. *Funct. Ecol.* 3:497–514

Both V, Thewes FR, Brackmann A, Anese RO, Ferreira DF, Wagner R (2017) Effects of dynamic controlled atmosphere by respiratory quotient on some quality parameters and volatile profile of 'Royal Gala' apple after long-term storage. *Food Chem.* 215:483–492

Busatto N, Tadiello A, Trainotti, L, Costa F (2017) Climacteric ripening of apple fruit is regulated by transcriptional circuits stimulated by cross-talks between ethylene and auxin. *Plant Signal Behav.* 12(1):e1268312

DeLong JM, Prange RK, Leyte JC, Harrison PA (2004) A new technology that determines low-oxygen thresholds in controlled atmosphere stored apples. *Horttechnology* 14:262–266

DeLong JM, Prange RK, Harrison PA (2007) Chlorophyll Fluorescence-Based Low- O_2 CA storage

- of organic 'Cortland' and 'Delicious' apples. *Acta Hortic.* 737:31–37
- de Oliveira Anese R, Brackmann A, Thewes FR, Schultz EE, de Gasperin AR (2016) Mass loss by low relative humidity increases gas diffusion rates in apple flesh and allows the use of high CO₂ partial pressures during ultralow O₂ storage. *Sci. Hortic.* 198:414–423
- Gasser F, Eppler T, Naunheim W, Gabioud S, Höhn E (2008) Control of the Critical Oxygen Level during Dynamic CA storage of Apples by Monitoring Respiration as well as Chlorophyll Fluorescence. *Acta Hortic.* 796:69–76
- Gasser F, Eppler T, Naunheim W, Gabioud S, Bozzi Nising, A (2010) Dynamic CA Storage of Apples: Monitoring of the Critical Oxygen Concentration and Adjustment of Optimum Conditions during Oxygen Reduction. In X International Controlled and Modified Atmosphere Research Conference 876:39–46
- Gasser F, von Arx K (2015) Dynamic CA storage of organic apple cultivars. *Acta Hortic.* 1071:528–532
- Harris GC, Heber U (1993) Effects of anaerobiosis on chlorophyll fluorescence yield in spinach (*Spinacia oleracea*) leaf discs. *Plant Physiol.* 101:1169–1173
- Hennecke C, Köpcke D, Dierend W (2008) Dynamische Absenkung des Sauerstoffgehaltes bei der Lagerung von Äpfeln. *Erwerbs-Obstbau* 50:19–29.
- Kittermann D, McCormick R, Neuwald, DA (2015) Effect of high temperature and 1-MCP application or dynamic controlled atmosphere on energy savings during apple storage. *European Journal of Horticultural Science* 80:33–38.
- Köpcke D (2007) CA-Lagerung von 'Braeburn'. *Mitt. des Obstbauversuchsrings des Alten Landes* 62:368–371
- Köpcke D (2009) Einfluss der Sauerstoff -Konzentration im Lager auf den Schalenfleckenbefall bei 'Elstar'. *Mitt. des Obstbauversuchsrings des Alten Landes* 64:303–307.
- Köpcke D (2014) Neue Entwicklungen in der DCA-Lagerung. *Mitt. des Obstbauversuchsrings des Alten Landes* 69:156–160
- Köpcke D (2015) 1-Methylcyclopropene (1-MCP) and dynamic controlled atmosphere (DCA) applications under elevated storage temperatures: Effects on fruit quality of 'Elstar', 'Jonagold' and 'Gloster' apple (*Malus domestica* Borkh.). *Eur. J. Hortic. Sci.* 80:25–32
- Lichtenthaler HK, Langsdorf G, Buschmann C (2012) Multicolor fluorescence images and fluorescence ratio images of green apples at harvest and during storage. *Isr. J. Plant Sci.* 60:97–106
- Maxwell K, Johnson GN (2000) Chlorophyll fluorescence – a practical guide. *J. Exp. Bot.* 51:659–668.
- Murchie EH, Lawson T (2013) Chlorophyll fluorescence analysis: a guide to good practice and understanding some new applications. *J. Exp. Bot.* 64:3983–3998
- Prange RK, DeLong JM, Leyte JC, Harrison PA (2002) Oxygen concentration affects chlorophyll fluorescence in chlorophyll-containing fruit. *Postharvest Biol. Technol.* 24:201–205

- Prange RK, Wright AH, DeLong JM, Zanella A (2013) History, current situation and future prospects for dynamic controlled atmosphere (DCA) storage of fruits and vegetables, using chlorophyll fluorescence. 7th International Postharvest Symposium. Acta Hort. 1012:905–915
- Song J, Bangerth F (2003) Fatty acids as precursors for aroma volatile biosynthesis in pre-climacteric and climacteric apple fruit. Postharvest Biol. Technol. 30:113–121
- Song J, Deng W, Beaudry RM (1997) Changes in Chlorophyll Fluorescence of Apple Fruit during Maturation, Ripening, and Senescence. Hort. Sci. 32:891–896
- Thewes FR, Brackmann A, Both V, de Oliveira Anese R, Schultz EE, Ludwig V, Wendt LM, Berghetti MRP, Thewes FR (2020) Dynamic controlled atmosphere based on carbon dioxide production (DCA-CD): Lower oxygen limit establishment, metabolism and overall quality of apples after long-term storage. Postharvest Biol. Technol. 168, Art. 111285
- Wright AH, DeLong JM, Franklin JL, Lada RR, Prange RK (2008) A new minimum fluorescence parameter, as generated using pulse frequency modulation (PFM), compared with pulse amplitude modulation (PAM): F_a versus F_0 . Photosynth. Res. 97:205–214
- Wright AH, DeLong JM, Gunawardena AHLAN, Prange RK (2011) The interrelationship between the lower oxygen limit, chlorophyll fluorescence and the xanthophyll cycle in plants. Photosynth. Res. 107:223–235
- Wright AH, DeLong JM, Gunawardena AHLAN, Prange RK (2012) Dynamic controlled atmosphere (DCA): Does fluorescence reflect physiology in storage? Postharvest Biol. Technol. 64:19–30
- Wright AH, DeLong JM, Harrison PA, Gunawardena AHLAN, Prange RK (2010) The effect of temperature and other factors on chlorophyll a fluorescence and the lower oxygen limit in apples (*Malus domestica*). Postharvest Biol. Technol. 55:21–28
- Wright AH, DeLong JM, Prange RK (2015) The trend toward lower oxygen levels during apple (*Malus × domestica* Borkh) storage. J. Hortic. Sci. Biotechnol. 90:1–13
- Zanella A, Cazzanelli P, Rossi O (2005) Dynamic controlled atmosphere (DCA) storage by the means of chlorophyll fluorescence response for firmness retention in apple. International Society for Horticultural Science (Acta Hort.) 796:77–82
- Zanella A, Cazzanelli P, Rossi O (2008) Dynamic controlled atmosphere (DCA) storage by the means of chlorophyll fluorescence response for firmness retention in apple. Acta Hort. 796:77–82

5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Das Projekt wurde mit den unter Punkt I.3 genannten Stellen, die auch in der Vorhabensbeschreibung des Projektes genannt wurden, durchgeführt. Die Zusammenarbeit mit weiteren Stellen war nicht erforderlich.

II. Eingehende Darstellung

1. der Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele

Zielsetzung

In den letzten Jahren wurde an der Niederelbe beobachtet, dass einzelne Äpfel gleicher Sorte und Herkunft bei völlig identischen Lagerungsbedingungen ein unterschiedliches Gärverhalten zeigen können. Dies erschwert die Auswahl einer repräsentativen Fruchtprobe für die Fluoreszenzmessung. Vor diesem Hintergrund war das Ziel dieser Studie, die Ursachen für das unterschiedliche Gärungsverhalten zu finden. Sind diese Ursachen bekannt, sollte es möglich sein, eine repräsentative Stichprobe auszuwählen oder nur Früchte mit gleichem Gärverhalten zusammen zu lagern.

Material und Methoden - Pflanzenmaterial

Auf die Untersuchungen im Jahr 2019 wird nicht weiter eingegangen. Sie sind im ersten Zwischenbericht detailliert dargestellt und sind im Gesamtprojekt als Voruntersuchungen einzustufen.

Für die Untersuchungen wurden die Sorten 'Elstar, PCP' und 'Braeburn, Mariri Red' vom Versuchsbetrieb der Esteburg, Obstversuchszentrums Jork (53° 31' N, 9° 44' E) verwendet. Die Bäume wurden auf M9 Unterlagen veredelt und 2013 ('Elstar') und 2005 ('Braeburn') gepflanzt. Die Äpfel wurden an drei verschiedenen Ernteterminen geerntet (Tab. 1). Es wurde nur die erste Pflücke berücksichtigt. Der Erntetermin wurde anhand der Reifeparameter Festigkeit, Stärkeabbauwert und Zuckergehalt und der hauseigenen Reifeproggnose (Esteburg) bestimmt. Für die Versuche wurden nur Früchte mit einer bestimmten Fruchtgröße berücksichtigt. 'Elstar' hatte eine Fruchtgröße von 65 mm bis 75 mm (Erntetermin 1) bzw. 70 mm bis 80 mm (Erntetermin 2 und 3). Die Fruchtgröße von 'Braeburn' betrug 65 mm bis 75 mm (Erntetermin 1 bis 3). Der Deckfarbenanteil betrug zwischen 50 % und 75 %. Ein Teil der Äpfel wurde kurzzeitig im Kühlhaus (2 °C; ± 0,5 °C) gelagert, bis die Versuche starteten. Ein anderer Teil der Äpfel wurde unter ULO (1,2 Vol.-% O₂, < 0,1 Vol.-% CO₂, 2 °C ± 0,5 °C) gelagert.

Tab. 1: Übersicht der verschiedenen Erntetermine

Sorte	Erntetermine 2020		Erntetermine 2021	
'Elstar'	1	1. Sep.	1	6. Sep.
	2	16. Sep.	2	20. Sep.
	3	28. Sep.	3	4. Sep.
'Braeburn'	1	22. Sep.	1	27. Sep.
	2	5. Okt.	2	11. Okt.
	3	19. Okt.	3	25. Okt.

Versuchsdesign

Die Chlorophyllfluoreszenz-Messungen wurden unter Verwendung des Mini-Apple-PAM™-Systems (Walz, Effeltrich, Deutschland) durchgeführt. Mit jedem der Messgerät dieses Systems kann die Fluoreszenz von zwei Einzelfrüchte gemessen werden (Abb. 2). Das Mini-Apple-PAM™ System wurde in eine Edelstahlbox (140 cm x 60 cm x 50 cm) integriert, die als Messkammer diente. Die Messkammer wurde in einem Kühlraum (2,5 °C; ± 0,5 °C) aufgestellt. Der Versuchsaufbau ist in Abb. 3 schematisch dargestellt. Insgesamt standen 48 Messgeräte mit 96 Messstellen zur Verfügung. Diese wurden auf vier Ebenen verteilt und schubladenartig in die Messkammer geschoben. Die Messkammer wurde mit einem transparenten Acrylglasdeckel gasdicht verschlossen und mit einer schwarzen Folie abgedunkelt. Die Luftatmosphäre wurde durch die Zufuhr von Stickstoff (Reinheit 99,8 %) reduziert. Der Pull-down auf einen Sauerstoffgehalt von etwa 3 Vol.-% wurde innerhalb von 15 Minuten durchgeführt. Die weitere Sauerstoffabsenkung erfolgte über einen Zeitraum von vier bis sechs Tagen bis 0 Vol.-% O₂ erreicht wurde. Die Sauerstoffgehalt wurde in der Messkammer mit dem Sauerstoffmessgerät SCS 310 (Storage Control System, Paddock Wood, Vereinigtes Königreich) gemessen (± 0,02 Vol.-%). Die CO₂-Gehalt in der Messkammer wurde mit Kalkhydrat (Ca(OH)₂) auf Werte < 0,1 Vol.-% geregelt und mit dem CO₂-Messgerät ICA 320 (Storage Control System, Paddock Wood, Vereinigtes Königreich) überprüft (± 0,1 Vol.-%).

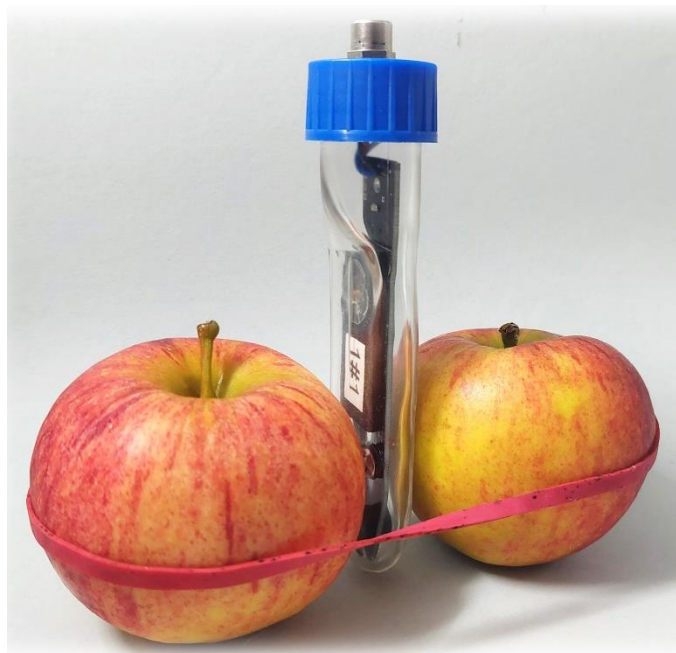


Abb. 2: Messgerät des Mini-Apple-PAM™ Systems mit zwei Messtellen für die
Einzelfruchtmessung

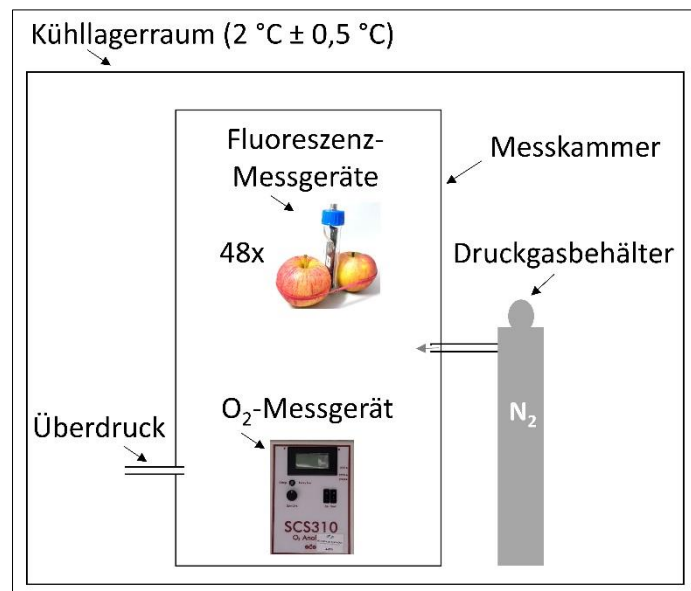


Abb. 3: Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus; Messkammer mit 48 Messgeräten (Mini-Apple-PAM™); Sauerstoffabsenkung durch die Zuführung von Stickstoff

Identifizierung des kritischen Sauerstoffwertes

Die Chlorophyllfluoreszenz (F_o) wurde stets am Äquator der Frucht gemessen, wo die grün-gelbe Grundfarbe dominierte, um ein stabiles Fluoreszenzsignal zu erreichen. Vor Beginn der Fluoreszenzmessungen wurden die Äpfel für 30 Minuten an die Dunkelheit gewöhnt, was die Messungen zuverlässiger macht (Murchie and Lawson, 2013). Die Fluoreszenzmessung erfolgte stets in einem Zeitintervall von 30 Minuten. Zur Anregung der Fluoreszenz wurde rotes Licht ($\lambda_{\max} = 625 \text{ nm}$; $0,1 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) verwendet. Für die Identifizierung des kritischen Sauerstoffwertes (LOL) musste zunächst eine Fluoreszenz-Basislinie etabliert werden (Abb. 4). Hierfür wurde die Fluoreszenz für mehr als 20 Stunden bei Sauerstoffwerten von $\geq 1,5 \text{ Vol.-%}$ gemessen. Sinkt der Sauerstoffgehalt im Lagerraum unter einen kritischen Wert, steigt die Fluoreszenz an. Die Fluoreszenz-Basislinie diente als Referenz, um den Zeitpunkt des Anstieges der Fluoreszenz zweifelsfrei identifizieren zu können. Der kritische Sauerstoffwert ist der niedrigste Sauerstoffwert der von der Apfelfrucht toleriert wird (Wright et al., 2008; 2011; 2012).

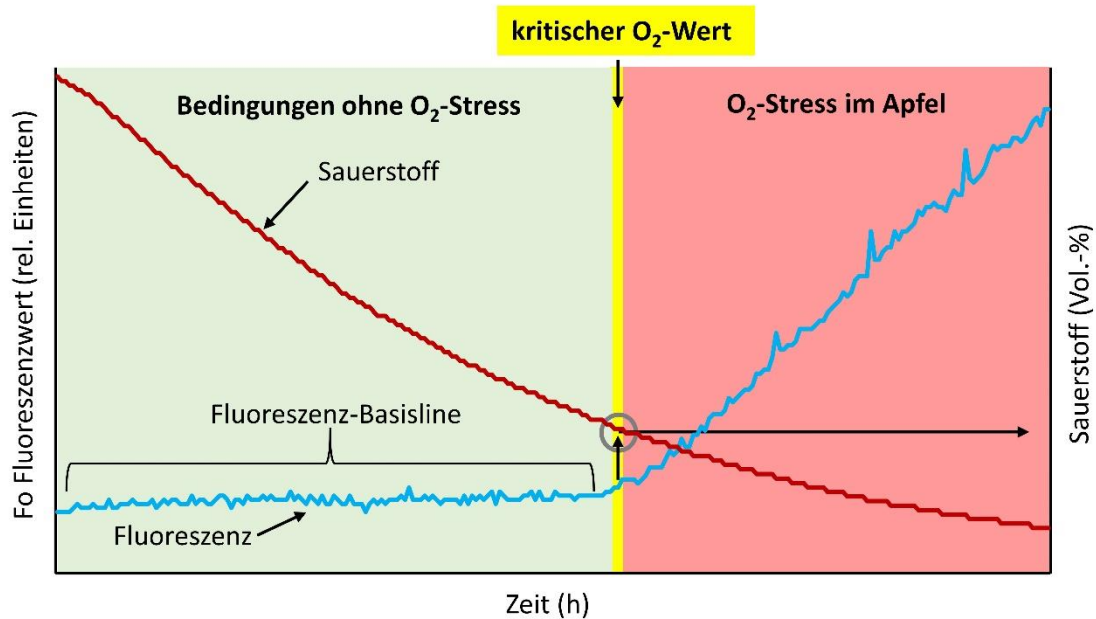


Abb. 4: Identifizierung des kritischen Sauerstoffwertes (Lower Oxygen Limit = LOL) mittels Messung der Fluoreszenz (Fo) (blaue Linie) am Apfel bei sinkendem O₂-Gehalt (rote Linie). Wenn der Sauerstoffgehalt allmählich gesenkt wird, bleibt Fo auf einem konstanten Niveau (grüner Bereich) bis der kritischer Sauerstoffwert erreicht wurde (gelber Bereich). Der nachhaltige Anstieg von Fo macht niedrigen O₂-Stress sichtbar (roter Bereich).

Versuchsdurchführung

Die Experimente wurden in zwei Bereiche aufgeteilt (Experiment A und B). Die Identifizierung des LOL wurde in mehreren Testläufen durchgeführt. Experiment A zielte darauf ab, einerseits den LOL nach der Ernte (kurzzeitige Kühllagerung; $2\text{ °C} \pm 0,5\text{ °C}$) und andererseits nach mehreren Monaten ULO-Lagerung zu identifizieren. Die Varianten sind in Tab. 2 dargestellt ($n = 96$). Die Testläufe wurden bei 'Elstar' eine Woche nach der Ernte und bei 'Braeburn' drei Wochen nach der Ernte durchgeführt. 'Braeburn' sollte laut Empfehlung zunächst drei Wochen im Kühlungsraum vorgelagert werden, bevor der Sauerstoffwert abgesenkt werden kann (Köpcke 2007). Des Weiteren wurden die Testläufe mit Äpfeln durchgeführt, die zuvor vier Monate im ULO-Lager lagerten ($1,2\text{ Vol.-% O}_2$, $< 0,1\text{ Vol.-% CO}_2$, $2\text{ °C} \pm 0,5\text{ °C}$).

Tab. 2: Die Varianten des Experimentes A und der Zeitpunkt der Testläufe für die Identifizierung des LOL

Sorte	Variante	Kühlagerung	ULO-Lagerung
		<i>kritischer O₂-Wert Testlauf nach der Ernte</i>	
'Elstar'	Erntetermin 1	1 Woche	4 Monate
	Erntetermin 2 (Kontrolle)	1 Woche	4 Monate
	Erntetermin 3	1 Woche	4 Monate
'Braeburn'	Erntetermin 1	3 Woche	4 Monate
	Erntetermin 2 (Kontrolle)	3 Woche	4 Monate
	Erntetermin 3	3 Woche	4 Monate

Tab. 3 zeigt die Versuchsvarianten von Experiment B. Hinsichtlich des Gärverhaltens und des LOL wurden zwei unterschiedliche Termine zum Beginn der Kühlagerung untersucht (n = 48). Für diese Untersuchung wurden nur Früchte des Erntetermin 2 berücksichtigt. Die Kontrolle wurde unmittelbar nach der Ernte unter Kühlhausbedingungen gelagert (2 °C; ± 0,5 °C). Die Variante *verzögerte Kühlagerung* wurde zwölf Tage lang Raumtemperatur (~ 20 °C) ausgesetzt, bevor sie wie die Kontrolle gelagert wurde. Beide Varianten wurden in einem Versuchsdurchgang untersucht. Damit waren die Früchte beider Varianten exakt den selben sauerstoffarmen Bedingungen ausgesetzt. Auf diese Weise waren das fruchteigene Gärungsverhalten besser vergleichbar.

Tab. 3: Die Varianten des Experimentes B und der Zeitpunkt der Testläufe für die Identifizierung des LOL

Sorte	Variante	Beginn der Kühlagerung nach der Ernte	kritischer O ₂ -Wert Testlauf nach der Ernte	
			(2020/21)	(2021/22)
'Elstar'	Kontrolle	sofort	5 Wochen	8 Wochen
	verzögerte Kühlagerung	12 Tage nach der Ernte	5 Wochen	8 Wochen
'Braeburn'	Kontrolle	sofort	8 Wochen	8 Wochen
	verzögerte Kühlagerung	12 Tage nach der Ernte	8 Wochen	8 Wochen

Fruchtuntersuchungen

Die Fruchtreife wurde unmittelbar nach der Ernte und nach jedem Testlauf zur Identifizierung des LOL (Experimente A und B) untersucht. Einige der Reifeparameter sind auch Qualitätsparameter, werden aber in dieser Studie allgemein als Reifeparameter bezeichnet. Die Festigkeit (kg cm^{-2}) wurde an jeder Frucht unter Verwendung des Fruit Texture Analyzer (Güss, Kapstadt, Südafrika) gemessen. Der Stärkeabbauwert (1 – 10) wurde anhand der CTIFL-Skala (CTIFL = Centre Technique Interprofessionnel des Fruits et Légumes; Frankreich) mit Jod-Kaliumjodid ermittelt (Vaysse, 2002). Der Zuckergehalt ($^{\circ}\text{Brix}$) wurde mit dem Refraktometer PCE-DRW 2 (PCE Instruments, Meschede, Deutschland) und der Säuregehalt (g L^{-1}) wurde mittels TitroLine alpha plus (Schott Instruments, Mainz, Deutschland) gemessen (Zugabe von 0,1 N NaOH bis zu einem Endpunkt von pH 8,1). Der Säuregehalt wurde als Mischprobe ($n = 4$) ausgewertet. Der Chlorophyllgehalt wurde an der Fluoreszenzmessstelle am Apfel mit einem Pigmentanalysator (Control in Applied Physiology, Falkensee, Deutschland) gemessen und als **Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)** angegeben (Wert von -1 bis $+1$). Die Gärstoffuntersuchungen wurde mit dem Gaschromatographen CLARUS 500 mit Headspace (Perkin-Elmer, Waltham, USA) durchzuführen. Der filtrierte Fruchtsaft (1 ml) wurde zur Messung der Gärungsprodukte (Acetaldehyd, Ethanol) verwendet. Die Aufbereitung der Proben für die Messung der Gärungsprodukte erfolgten blockweise als Mischprobe ($n = 4$).

Statistische Auswertung

Alle statistischen Analysen wurden mit SPSS 26 (Chicago, Illinois, USA) und Microsoft Excel 2016 (Redmond, Washington, USA) durchgeführt. Die intervallskalierten Daten wurden durch Varianzanalyse (ANOVA) und Bonferroni-Test ($p < 0,05$) berechnet. Der Levene-Test überprüfte die gleichen Varianzen. Wenn keine gleichen Varianzen vorhanden waren, wurde eine Welch-ANOVA durchgeführt, gefolgt von einem Games-Howell-Test. Die ordinalskalierten Daten wurden mit dem Kruskal-Wallis-Test berechnet ($p < 0,05$). Unterschiedliche Kleinbuchstaben weisen auf statistisch signifikante Unterschiede hin. Für die Darstellung von Zusammenhängen wurden Regressionsanalysen verwendet und die Spearman-Rho-Rangkorrelation berechnet.

Ergebnisse - Experiment A (Erntetermine)

Tab. 4 zeigt die Fruchtreife der Äpfel unmittelbar nach der Ernte in 2020 und 2021. Die drei Erntetermine unterschieden sich im Wesentlichen im Stärkeabbauwert und Säuregehalt.

Tab. 4: Fruchtreife zum Erntezeitpunkt von 'Elstar' und 'Braeburn' in den Jahren 2020 und 2021; Festigkeit, Stärkeindex, Zuckergehalt (n = 40) und Säuregehalt (n = 4)

Sorte	Jahr	Erntetermin	Festigkeit (kg cm ⁻²)	Stärkeabbauwert (1 – 10)	Zuckergehalt (°Brix)	Säuregehalt (g L ⁻¹)
'Elstar'	2020	1	7,6	1,2	13,7	10,1
		2	6,9	2,7	13,5	7,5
		3	6,4	4,5	13,9	6,6
	2021	1	6,9	1,1	11,3	10,3
		2	6,1	2,7	11,5	7,7
		3	5,7	4,3	12,6	7,4
'Braeburn'	2020	1	10,4	1,6	9,8	6,5
		2	10,1	3,3	10,6	6,2
		3	10,1	5,0	11,5	6,0
	2021	1	10,2	1,7	9,5	8,2
		2	10,6	3,9	10,5	7,4
		3	10,2	5,5	11,5	7,0

Abb. 5 zeigt die Fruchtreife der Sorten 'Elstar' und 'Braeburn', welche jeweils nach den Testläufen zur Identifizierung des LOL gemessen wurden. Die Festigkeit (Abb. 5; A) von 'Elstar' betrug zum Erntetermin 1 7,0 kg cm⁻² (2020) und 6,7 kg cm⁻² (2021). Die zwei Wochen später geernteten Früchte (Erntetermin 2) hatten eine Festigkeit von 6,2 kg cm⁻² (2020) und 5,9 kg cm⁻² (2021). Am Erntetermin 3 wurde eine Festigkeit von 5,0 kg cm⁻² (2020) und 5,6 kg cm⁻² (2021) gemessen. Die ULO 'Elstar' hatten zum Zeitpunkt der Testläufe Festigkeitswerte von 5,6 kg cm⁻² bis 4,0 kg cm⁻². Die Festigkeit von 'Braeburn' war vergleichsweise hoch, von 10,1 kg cm⁻² bis 9,6 kg cm⁻². Die 'Braeburn' aus dem ULO-Lager wiesen eine geringere Festigkeit auf, aber nicht weniger als 8,6 kg cm⁻². Die Äpfel aus dem ULO-Lager waren zum Zeitpunkt der Untersuchungen stärkefrei. Insgesamt wurden bei beiden Sorten in der Saison 2020/21 höhere Zuckergehalte gemessen als im zweiten Versuchsjahr. Die Mittelwerte sind der Abb. 5 (C) zu entnehmen. Der Säuregehalt (Abb. 5; D) war zum Erntetermin 1 am höchsten und nahm mit jedem folgenden Erntetermin ab. Der Säureabbau setzte sich während der ULO-Lagerung fort. Die Äpfel in der Saison 2021/22 zeigten tendenziell höhere Säuregehalte als im ersten Versuchsjahr.

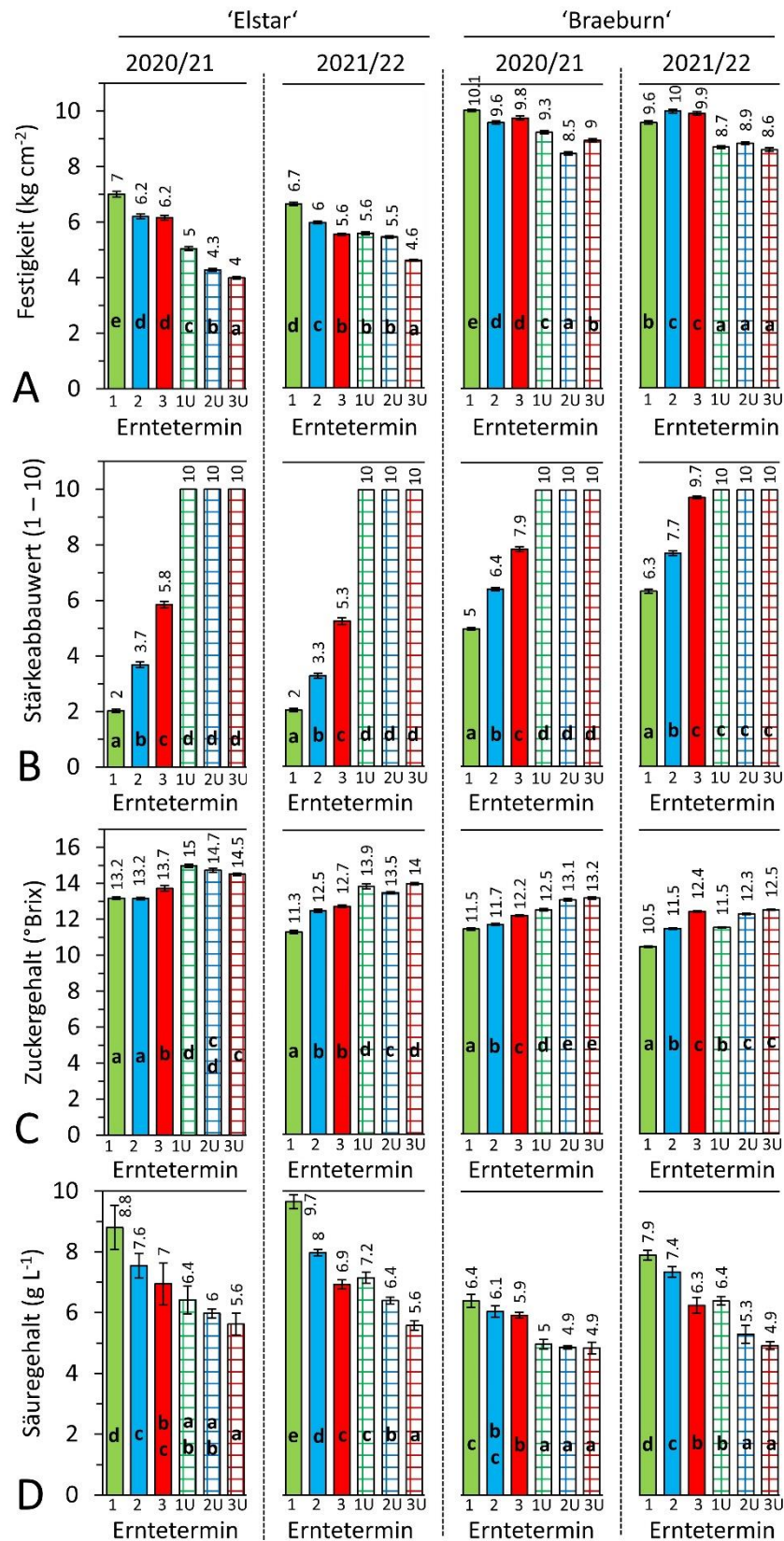


Abb. 5: Festigkeit (A), Stärkeabbauwert (B), Zuckergehalt (C) und Säuregehalt (D) von 'Elstar' und 'Braeburn' zum Zeitpunkt der Testläufe zur Identifizierung des LOL in den Lagersaison 2020/21 und 2021/22; Standardfehler, ($p < 0,05$); U = ULO

Abb. 6 (A) zeigt die Ergebnisse der Testläufe zur Identifizierung des LOL. Bei 'Elstar' (2020) stieg der LOL von 0,25 Vol.-% auf 0,60 Vol.-% innerhalb von zwei Wochen an. Bei Erntetermin 3 wurde ein LOL VON 0,9 Vol.-% ermittelt. Dieser allmähliche Anstieg wurde auch im Jahr 2021 festgestellt. Der LOL des Erntetermins 1 betrug 0,33 Vol.-% und stieg auf 0,42 Vol.-% (Erntetermin 2) und 0,57 Vol.-% (Erntetermin 3) an. Der Anstieg des LOL waren in beiden Jahren signifikant. Bei 'Braeburn' wurde der LOL erst nach drei Wochen Vorkühlung unter Normalatmosphäre identifiziert. Im Jahr 2020 wurden der LOL von 0,27 Vol.-% (Erntetermin 1), 0,33 Vol.-% (Erntetermin 2) und 0,46 Vol.-% (Erntetermin 3) identifiziert. Im Jahr 2021 unterschieden sich die Erntetermin 1 und 2 nicht signifikant (0,20 Vol.-% und 0,29 Vol.-%) voneinander. Ein signifikanter Anstieg wurde erst bei Erntetermin 3 (0,56 Vol.-%) festgestellt. Darüber hinaus wurden Testläufe mit Äpfeln durchgeführt, die zuvor vier Monate unter ULO-Bedingungen gelagert wurden. Bei den ULO Früchten lag der LOL zwischen 0,2 Vol.-% bis 0,3 Vol.-%. Allerdings ist zu beachten, dass insbesondere bei den ULO Früchten vermehrt Ausfälle auftraten (Abb. 6; B). Bei diesen sogenannten *Blindgängern* war eine Identifizierung des LOL nicht möglich. Die Hauptgründe dafür waren, dass kein Anstieg der Fluoreszenz gemessen wurde, jedoch Gärungsprozesse im Apfel nachgewiesen wurden. Des Weiteren verhinderten schwache oder schwankende Fluoreszenzsignale die Etablierung einer eindeutigen Fluoreszenz-Basislinie, die als Referenz erforderlich war. Der Anteil dieser *Blindgänger* betrug bei 'Elstar' zwischen 15,6 % und 39,6 % (2020/21) und 12,5 % bis 35,4 % (2021/22). Ein höheres Auftreten dieser *Blindgänger* zeigte sich bei 'Braeburn' erst im zweiten Studienjahr (21,9 % bis 41,7 %). Für die Messung der Chlorophyllfluoreszenz ist der Chlorophyllgehalt in der Fruchtschale bedeutend. Abb. 6 (C) zeigt den Chlorophyllgehalt der Fruchtschale. Während zum Erntetermin 1 (2020; 'Elstar') ein Chlorophyllgehalt (NDVI) von 0,63 gemessen wurde, sinkt der Chlorophyllgehalt innerhalb von nur zwei Wochen (Erntetermin 2) um die Hälfte auf 0,3. Im Jahr 2021 sank der Chlorophyllgehalt von 0,58 (Erntetermin 1) auf 0,35 (Erntetermin 2). Bei Äpfeln des Erntetermins 3 wurden der Chlorophyllgehalt von -0,17 (2020) und 0,01 (2021) gemessen. Dieser schnelle Chlorophyllabbau in der Fruchtschale konnte auch bei 'Braeburn' beobachtet werden. Im Jahr 2020 wurde ein Chlorophyllgehalt von 0,61 (Erntetermin 1), 0,34 (Erntetermin 2) und 0,17 (Erntetermin 3) gemessen. Im Jahr 2021 wurden ein Chlorophyllgehalt von 0,56 (Erntetermin 1), 0,26 (Erntetermin 2) und 0,12 (Erntetermin 3) gemessen. Die Abnahme des Chlorophyllgehalts war signifikant. Die Chlorophyllgehalte nahmen während der ULO-Lagerung weiter ab. Die Äpfel aus der ULO-Lagerung wiesen einen deutlich geringeren Chlorophyllgehalt auf als Äpfel nach der Ernte. Lediglich der Erntetermin 3 ('Elstar', 2020) zeigte nach der Ernte einen Wert von -0,17 und unterschied sich nicht signifikant von ULO-Äpfeln (-0,18).

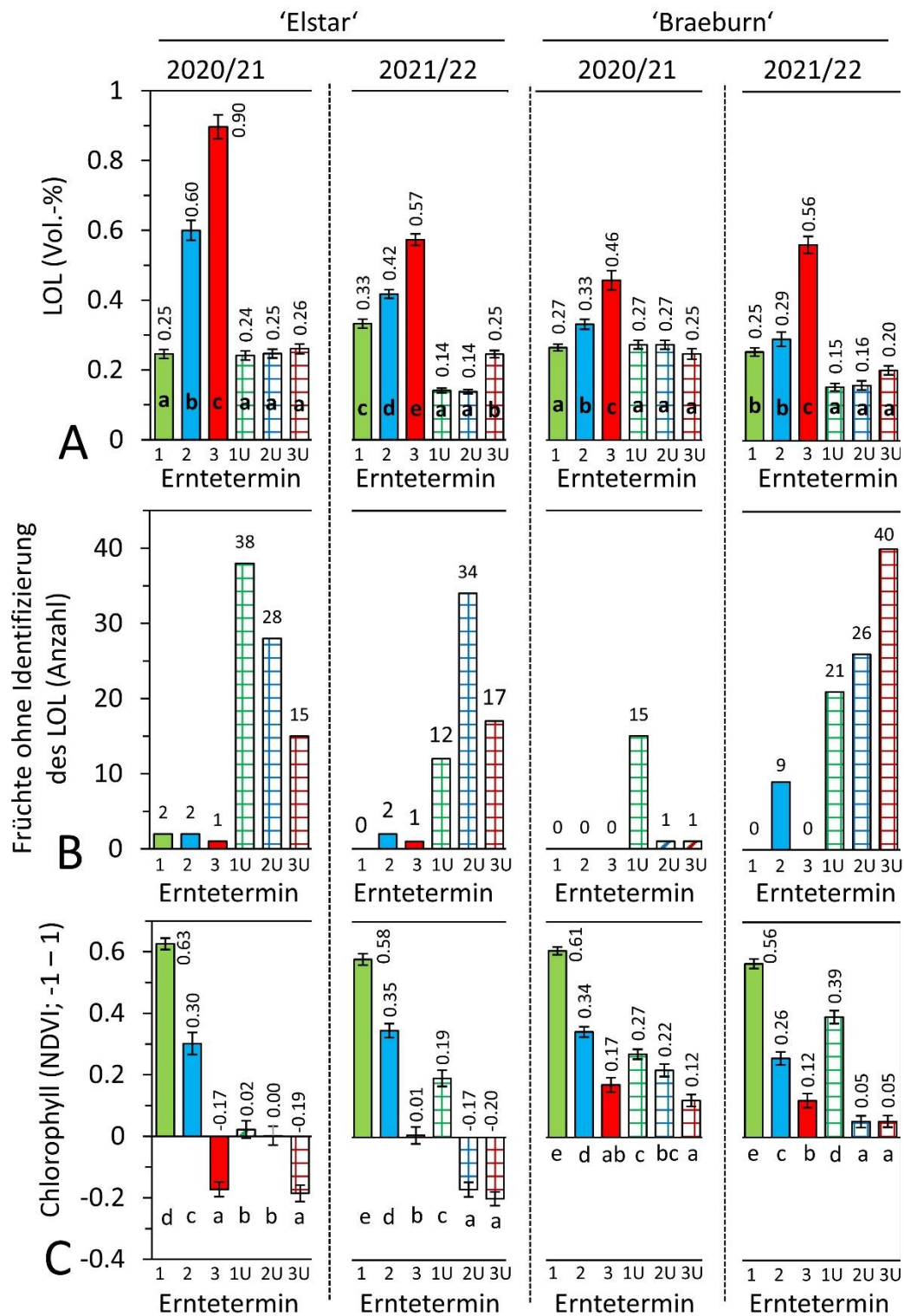


Abb. 6: Der LOL (A), Anzahl von Früchten ohne Identifizierung des LOL (B) und Chlorophyllgehalt (C) von 'Elstar' und 'Braeburn' von drei Ernteterminen nach Kühlhauslagerung und nach vier Monaten ULO-Lagerung in den Lagersaison 2020/21 und 2021/22; Standardfehler, ($p < 0,05$); U = ULO

Ergebnisse - Experiment B (verzögerte Kühllagerung)

Für diese Untersuchung wurden nur Früchte des Erntetermins 2 berücksichtigt. Mit der Variante der verzögerten Kühllagerung (12 Tage bei ~20 °C) konnte eine fortgeschrittene Fruchtreife bei Früchten desselben Erntetermins provoziert werden. Tab. 5 zeigt die Ergebnisse des Experimentes B. Durch die verzögerte Kühllagerung kam es zu Reife- und Qualitätsunterschieden. Insbesondere wurden die Unterschiede in Bezug auf Festigkeit und Säuregehalt erreicht. Der LOL der Variante der verzögerten Kühllagerung unterschied sich signifikant von der Kontrolle. Da die Früchte beider Varianten exakt den gleichen sauerstoffarmen Bedingungen ausgesetzt waren, ist das Gärungsverhalten vergleichbar. Interessanterweise zeigte die Früchte der verzögerten Kühllagerung immer deutlich höhere Werte für Ethanol. In 2021 ('Elstar') war der Ethanolgehalt sogar 5,5-mal höher als in der Kontrolle. Beim 'Braeburn' waren die Werte 1,5- und 2-mal höher als bei der Kontrolle. Im Gegensatz dazu gab es keine signifikanten Unterschiede im Acetaldehyd.

Tab. 5: Fruchtreife, kritischer Sauerstoffwert und Gärungsprodukte der Apfelfrüchte von Experiment B ('Elstar' und 'Braeburn') in den Jahren 2020 und 2021; Unterschiedliche Kleinbuchstaben zeigen signifikante Unterschiede in der Spalte für jede Sorte separat an ($p < 0,05$)

Sorte	Jahr	Variante	Festigkeit (kg cm ⁻²)	Stärke- abbauwert (1 – 10)	Zucker- gehalt (°Brix)	Säure- gehalt (g L ⁻¹)	kritischer O ₂ -Wert (Vol.-%)	Acetaldehyd (mg L ⁻¹)	Ethanol (mg L ⁻¹)
'Elstar'	2020	Kontrolle	5.4 _a	8.0 _a	14.3 _a	6.9 _b	0.39 _b	4.4 _a	207.5 _a
		verzögerte Kühllagerung	4.5 _b	9.7 _b	14.6 _a	6.2 _a	0.28 _a	6.9 _a	416.4 _b
	2021	Kontrolle	5.6 _a	6.2 _a	13.5 _a	8.0 _b	0.24 _a	0.5 _a	13.0 _a
		verzögerte Kühllagerung	5.6 _a	8.4 _b	14.1 _b	6.7 _a	0.30 _b	0.9 _a	72.0 _b
'Braeburn'	2020	Kontrolle	9.3 _b	9.5 _a	12.2 _a	5.7 _b	0.51 _a	1.0 _a	34.2 _a
		verzögerte Kühllagerung	8.0 _a	9.9 _a	12.6 _a	5.3 _a	0.77 _b	1.1 _a	53.9 _b
	2021	Kontrolle	9.7 _b	9.5 _a	12.3 _a	6.1 _b	0.41 _a	0.3 _a	40.6 _a
		verzögerte Kühllagerung	7.4 _a	9.9 _a	12.9 _a	5.5 _a	0.51 _b	0.5 _a	84.9 _b

Fazit

In der vorliegenden Studie wurde das Gärungsverhalten von Äpfeln durch Messung des LOL und der fruchteigenen Gärungsprodukte beschrieben. Unsere Ergebnisse unterstützen die Hypothese, dass Äpfel gleicher Sorte und Herkunft bei gleicher Sauerstoffkonzentration ein unterschiedliches Gärungsverhalten zeigen können. Anhand der Einzelfruchtmessungen zeigte sich, dass der kritische Sauerstoffwert von der Fruchtreife beeinflusst wurde. Um die DCA-Lagerung zu optimieren, sollten nur einheitliche Früchte mit gleichem Reifegrad zusammen in einem Lagerraum gelagert werden. Dazu gehört auch eine zügige Ernte und sofortige Kühllagerung der Äpfel. Für die Umsetzung in Großlagern bedeutet dies eine intensivere Abstimmung zwischen Obstbauern und Lagerbeauftragten. Die Hauptbeschränkung der Fluoreszenztechnik in der DCA-Lagerung besteht darin, dass die Fluoreszenz nur an einer kleinen Anzahl repräsentativer Früchte gemessen wird. Jedoch unterstützen unsere Ergebnisse die Definition dessen, was eine repräsentative Stichprobe sein kann. Um das Optimum der DCA-Lagerung erreichen zu können, ist die Lagerung einheitliche Fruchtpartien erforderlich.

2. der wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Im Projekt REDU-NAQU sind die Personalkosten als wichtigste Kostenstelle zu benennen. Der eingestellte wissenschaftliche Mitarbeiter der Hochschule Osnabrück übernahm die Versuchsplanung und -durchführung sowie die notwendige Laborarbeit. Es entstanden zudem Kosten für die Anschaffung der Chlorophyllfluoreszenz-Messgeräte (Mini-Apple-PAM™ System, Walz, Effeltrich, Germany), Verbrauchsartikel über die Laborarbeiten und Kosten für technisch reiner Stickstoff inklusive Miete und transport für die Druckgasbehältern.

3. der Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Aufgrund der vielen Vorteile der DCA-Lagerung gegenüber der herkömmlichen CA/ULO-Lagerung, wie beispielsweise die bessere Erhaltung der Fruchtqualität, Alternative zur 1-MCP-Anwendung, deutliche Verringerung der Nahrungsmittelverluste, Senkung des Energieverbrauchs, besteht in der Praxis (Obstbaubetriebe, Erzeugergenossenschaften sowie Obsthändler) ein großes Interesse an diesem Lagerverfahren. Bedingt durch die unterschiedliche Reaktion der Früchte auf niedrige Sauerstoffgehalte in der Lagerraumatmosphäre bei der DCA-Lagerung kann das Optimum dieses Lagerverfahrens bislang noch nicht genutzt werden bzw. ist das Risiko von Lagerungsverlusten groß. Das Forschungsprojekt sollte die Ursachen dieser unterschiedlichen Reaktion der Früchte finden und aus den Ergebnissen eine Empfehlung für die DCA-Lagerung ableiten. Dadurch wird die DCA-Lagerung spürbar optimiert und das Lagerungsrisiko deutlich minimiert. In diesem Forschungsprojekt wurde das Gärverhalten von Äpfeln durch Messung des LOL und der fruchteigenen Gärprodukte beschrieben. Die Messung des LOL wurde einzelfruchtweise durchgeführt. Hierdurch konnte Unterschiede und Streuung innerhalb einer Apfelsorte gut herausgearbeitet werden. Unsere Ergebnisse unterstützen die Hypothese, dass Äpfel gleicher Sorte

und Herkunft bei gleicher Sauerstoffkonzentration ein unterschiedliches Gärverhalten zeigen können. Anhand von Einzelfruchtmessungen konnten wir zeigen, dass der LOL von der Fruchtreife beeinflusst wurde. Aus den Ergebnissen wurden Empfehlungen für die Praxis erarbeitet, die über den OVR direkt an die Obstbaubetriebe kommuniziert wurden. Die optimierte DCA-Lagerung von Äpfeln beugt Nahrungsmittelverluste vor und stärkt den Standort im Obstbaugbiet Norddeutschland.

4. des voraussichtlichen Nutzens, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans

Die Zusammenarbeit zwischen der Hochschule Osnabrück, der Obstversuchsanstalt Jork und des Obstbauversuchsrings des Alten Landes (OVR) hat sich als äußerst zielführend herausgestellt. Der angestrebte Fortbestand der bestehenden Arbeitsgruppe wird durch eine intensivere Zusammenarbeit mit der Lagerungsberatung des OVR bereits seit Oktober 2021 umgesetzt. Des Weiteren wird an der Erstellung eines Antrags für ein Folgeprojekt gearbeitet (Zeithorizont 2023 bis mind. 2026). Die Ergebnisse des Projektes und die hieraus abgeleiteten Empfehlungen zur DCA-Lagerung werden in den Fachzeitschriften *Erwerbs-Obstbau* und in der Obstbauzeitschrift *Mitteilungen des Obstbauversuchsrings des Alten Landes e. V.* veröffentlicht. Diese Medien stehen allen obstbaulichen Institutionen in Deutschland zur Verfügung.

5. des während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordenen Fortschritts auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Thewes et al. (2020) stellten ein Verfahren vor für die Ermittlung des LOL mit dem Respiratory Quotient (RQ) basierend nur auf der CO₂-Produktion der Früchte während der DCA-Lagerung. Die Ergebnisse lieferten anaerobe Stoffwechselverbindungen in Mengen unterhalb der in der Literatur angegebenen Geruchsschwelle und ohne Schädigung der Zellmembranen (Sorten: 'Gala' und 'Golden Delicious').

Rees et al. (2021) veröffentlichten einen Beitrag zur Ermittlung des LOL mit dem respiratorischen Verfahren SafePod in der DCA-Lagerung. Das Ziele dieser Studie war es, die Bewertung von Protokollen zur Überwachung der Reaktion auf niedrigen Sauerstoffgehalt unter Verwendung des SafePod und der Vergleich der RQ-Reaktion auf Änderungen der Chlorophyllfluoreszenz (HarvestWatch™) zu untersuchen. Die RQ-Antwort unter Verwendung des SafePod stimmte mit der Erhöhung der Chlorophyllfluoreszenz überein. Die Fruchtatmungsraten ändern sich während der Lagersaison, einschließlich einer erheblichen Abnahme in den ersten zwei Monaten nach der Ernte.

Rees D, Bishop D, Schaefer J, Colgan R, Thurston K, Fisher R, Duff A (2021) SafePod: A respiration chamber to characterise apple fruit response to storage atmospheres. *Postharvest Biol. Technol.* 181, Art. 111674

Thewes FR, Brackmann A, Both V, de Oliveira Anese R, Schultz EE, Ludwig V, Wendt LM, Berghetti MRP, Thewes FR (2020) Dynamic controlled atmosphere based on carbon dioxide production (DCA-CD): Lower oxygen limit establishment, metabolism and overall quality of apples after long-term storage. *Postharvest Biol. Technol.* 168, Art. 111285

6. der erfolgten oder geplanten Veröffentlichung des Ergebnisses

(Wenn zur Wahrung berechtigter Interessen des ZE oder Dritter oder aus anderen sachlichen Gesichtspunkten bestimmte Einzelheiten aus dem Bericht vertraulich zu behandeln sind (z.B. zur Wahrung der Priorität bei Schutzrechtsanmeldungen), so hat der ZE den ZG ausdrücklich darauf hinzuweisen.)

Die Ergebnisse des Projektes werden in der Fachzeitschriften *Erwerbs-Obstbau* veröffentlicht. Des Weiteren erfolgte eine weitere Veröffentlichung in Zusammenhang mit der angestrebten Promotion.

Bereits veröffentlichte Artikel:

Schlie TP., Dierend W., Köpcke D., Rath T. (2022) Detecting low-oxygen stress of stored apples using chlorophyll fluorescence imaging and histogram division. *Postharvest Biol. Technol.* 189, Art. 111901.

<https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2022.111901>

Schlie, TP., Rath, T., Köpcke, D., Dierend, W. (2023) The Impact of Fruit Ripeness on the Lower Oxygen Limit, Chlorophyll Fluorescence and Fermentation Behavior in Apples. *Erwerbs-Obstbau*.

<https://doi.org/10.1007/s10341-023-00873-0>

Des Weiteren wird derzeit an zwei weiteren Manuskripten gearbeitet, u.a. für die Obstbauzeitschrift *Mitteilungen des Obstbauversuchsringes des Alten Landes e. V.*

III. Erfolgskontrollbericht

1. den Beitrag des Ergebnisses zu den förderpolitischen Zielen, z.B. des Förderprogramms (ggf. unter Angabe des Schwerpunktes) – soweit dies möglich ist –

Das Hauptziel des Projektes war es, das relativ neue DCA-Lagerverfahren zu optimieren. Dieses Lagerverfahren stößt in der Praxis auf großes Interesse, da es durch sehr niedrige Sauerstoffgehalte eine deutliche Verringerung der Fruchtatmung und –reife erreicht und somit zu einer Verbesserung der Haltbarkeit, der Qualitätserhaltung und zu geringen Nahrungsmittelverlusten führt. Für die Optimierung müssen die Ursachen für das unterschiedliche Verhalten von Äpfeln hinsichtlich der fruchteigenen Gärstoffbildung bei Sauerstoffgehalten unter 1 Vol.-% in der Lagerraumatmosphäre geklärt werden. Mit den Untersuchungen des Forschungsprojektes konnten die Ursachen identifiziert werden und Empfehlungen für das innovative Lagerverfahren DCA-CF wurde für die Lagerungspraxis (Erzeugergenossenschaften, Obstbaubetriebe, Obsthandel) erarbeitet. In Zusammenarbeit mit der Hochschule Osnabrück, der Obstbauversuchsanstalt Jork der Landwirtschaftskammer Niedersachsen und dem Obstbauversuchsring des Alten Landes e.V. wurden die Empfehlungen der Beratung und den Praxisbetrieben zugänglich gemacht. Damit wird die Wettbewerbsfähigkeit der beteiligten Betriebe erheblich verbessert. Die Reduzierung von Nahrungsmittelverlusten und die Möglichkeit der Energieeinsparung können als umwelt-, ressourcenschonend und nachhaltig bezeichnet werden. Das Forschungsprojekt mit dem Ziel der Optimierung von Lagerverfahren für die Obstart Apfel fällt in die Kategorie Agrarwirtschaft (Gartenbau) und die in den Richtlinien über die Verwendung des Zweckvermögens des Bundes bei der Landwirtschaftlichen Rentenbank (LR) genannten Bewertungskriterien (Nr. 1 und 2 bzw. 2.1).

2. das wissenschaftlich-technische Ergebnis des Vorhabens, die erreichten Nebenergebnisse und die gesammelten wesentlichen Erfahrungen

Als Fazit lässt sich festhalten, dass das Forschungsprojekt die Ursachen für das unterschiedliche Verhalten von Äpfeln hinsichtlich der fruchteigenen Gärstoffbildung bei Sauerstoffgehalten unter 1 Vol.-% in der Lagerraumatmosphäre klären konnte. Damit konnte das Ziel dieser Studie, die Ursachen für das unterschiedliche Gärungsverhalten zu finden, erreicht werden. Unsere Ergebnisse zeigen, dass die Fruchtreife das Lower Oxygen Limit (LOL) beeinflussen kann. Vor allem unmittelbar nach der Ernte, wenn der Stärkeabbau in der Frucht noch nicht abgeschlossen ist. Bei 'Elstar' wurde ein deutlicher Anstieg des LOL gemessen (2020: 0,25 Vol.-%, 0,60 Vol.-%, 0,90 Vol.-%; 2021: 0,33 Vol.-%, 0,43 Vol.-%, 0,57 Vol.-%). 'Braeburn' zeigte ein ähnliches Verhalten. Der LOL konnte für einige der Früchte (variierend von 12,5 bis 41,7), die zuvor vier Monate lang im ULO-Lager gelagert wurden, nicht identifiziert werden.

Mit der Variante der verzögerten Kühlagerung (12 Tage bei ~20 °C) konnte eine fortgeschrittene Fruchtreife bei Früchten desselben Erntetermins provoziert werden. Insbesondere wurden die Unterschiede in Bezug auf Festigkeit und Säuregehalt erreicht. Der LOL der Variante der

verzögerten Kühlungslagerung unterschied sich signifikant von der Kontrolle. Da die Früchte beider Varianten exakt den gleichen sauerstoffarmen Bedingungen ausgesetzt waren, ist das Gärungsverhalten vergleichbar. Interessanterweise zeigte die Früchte der verzögerten Kühlungslagerung immer deutlich höhere Werte für Ethanol. In 2021 ('Elstar') war der Ethanolgehalt sogar 5,5-mal höher als in der Kontrolle. Beim 'Braeburn' waren die Werte 1,5- und 2-mal höher als bei der Kontrolle. Im Gegensatz dazu gab es keine signifikanten Unterschiede im Acetaldehyd.

Der Chlorophyllgehalt in der Apfelschale ist bedeutend für die Fluoreszenzmessverfahren. Innerhalb von zwei Wochen wurde der Chlorophyllgehalt in der Apfelschale halbiert. Sinkt der Chlorophyllgehalt, sinkt auch die Zuverlässigkeit der Fluoreszenzmessung. Des Weiteren konnte gezeigt werden, dass Äpfel bei denen der Fluoreszenzparameter Fv/Fm von $< 0,7$ gemessen wurde, für eine Identifizierung des LOL ungeeignet waren.

3. die Fortschreibung des Verwertungsplans. Diese soll, soweit im Einzelfall zutreffend, Angaben zu folgenden Punkten enthalten (Geschäftsgeheimnisse des Zuwendungsempfängers brauchen nicht offenbart zu werden):

Erfindungen/Schutzrechtsanmeldungen und erteilte Schutzrechte, die vom Zuwendungsempfänger oder von am Vorhaben Beteiligten gemacht oder in Anspruch genommen wurden, sowie deren standortbezogene Verwertung (Lizenzen u.a.) und erkennbare weitere Verwendungsmöglichkeiten

Es wurden im Zuge des Projekts keine Erfindungen, Schutzrechtsanmeldungen o.ä. gemacht.

Wirtschaftliche Erfolgsaussichten nach Projektende (mit Zeithorizont) – z.B. auch funktionale/wirtschaftliche Vorteile gegenüber Konkurrenzlösungen, Nutzen für verschiedene Anwendergruppen/-Industrien am Standort Deutschland, Umsetzungs- und Transferstrategien (Angaben, soweit die Art des Vorhabens dies zulässt)

Das DCA-Lagerverfahren stößt in der Praxis weiterhin auf großes Interesse. Das Forschungsprojekt konnte die Ursachen für das unterschiedliche Verhalten von Äpfeln hinsichtlich der fruchteigenen Gärstoffbildung bei Sauerstoffgehalten unter 1 Vol.-% in der Lagerraumatmosphäre klären. Bedingt durch das Wissen, warum es unterschiedliche Reaktion der Früchte auf niedrige Sauerstoffgehalte gibt, kann das Optimum des DCA-Lagerverfahrens genutzt werden. Aus den Ergebnissen des Projektes werden Empfehlungen für die obstbauliche Praxis abgeleitet. Darüber hinaus zeigten Untersuchungen im Rahmen der angestrebten Promotion, dass die Methode der Fluoreszenzmessung an Apfelfrüchten auch mit einem bildgebenden Fluoreszenzverfahren (Kamera) umgesetzt werden konnte. Hierbei konnten wertvolle Erkenntnisse über die Heterogenität der Fluoreszenz bei Äpfeln gewonnen werden. Die Grundlagen für die Entwicklung eines bildenden Fluoreszenzmessverfahren speziell für die Apfellaagerung wurden somit vorbereitet

werden. Durch die Zusammenarbeit der Hochschule Osnabrück, der Obstbauversuchsanstalt Jork und des Obstbauversuchsrings des Alten Landes ist sichergestellt, dass die Ergebnisse des Forschungsprojekts ohne Zeitverzug Eingang in die Praxis finden. Die Wettbewerbsfähigkeit der Obstbaubetriebe im norddeutschen Raum wird somit vor allem gegenüber der Marktkonkurrenz aus Italien, Frankreich, Niederlande und Belgien gestärkt (Zeithorizont 2023 bis mind. 2031).

Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten nach Projektende (mit Zeithorizont) – u.a. wie die geplanten Ergebnisse in anderer Weise (z.B. für öffentliche Aufgaben, Datenbanken, Netzwerke, Transferstellen, etc.) genutzt werden können. Dabei ist auch eine etwaige Zusammenarbeit mit anderen Einrichtungen, Firmen, Netzwerken, Forschungsstellen u.a. einzubeziehen

Die Zusammenarbeit zwischen der Hochschule Osnabrück, der Obstversuchsanstalt Jork und des Obstbauversuchsrings des Alten Landes (OVR) hat sich als äußerst zielführend herausgestellt. Der angestrebte Fortbestand der bestehenden Arbeitsgruppe wird durch eine intensivere Zusammenarbeit mit der Lagerungsberatung des OVR bereits seit Oktober 2021 umgesetzt (Zeithorizont 2023 bis 2027). Die erarbeiteten Empfehlungen für das innovative Lagerverfahren DCA-CF haben bereits ohne Zeitverzug Eingang in die Lagerungspraxis (Erzeugergenossenschaften, Obstbaubetriebe, Obsthandel) gefunden.

Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit für eine mögliche notwendige nächste Phase bzw. die nächsten innovativen Schritte zur erfolgreichen Umsetzung der Ergebnisse

Die konkrete wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit ist gegeben, da die Ursachen für das unterschiedliche Verhalten von Apfelfrüchten bei der DCA-Lagerung identifiziert werden konnten. Untersuchungen zur Fruchtphysiologie und Lagerung können in Rahmen von Bachelor- und Masterarbeiten durchgeführt werden (Zeithorizont 2023 bis 2027). Aktuell wird die Durchführbarkeit eines Folgeprojekts geprüft, das auf die Chlorophyllfluoreszenz-Messung einer größeren Apfelmenge (Stichprobe) abzielt.

4. Arbeiten, die zu keiner Lösung geführt haben

Es gab keine Untersuchungen die ergebnislos blieben. Ergebnisse, die nicht direkt in die Publikationen (vgl. II.6) eingegangen sind, waren jedoch methodisch wertvoll und haben zum Erreichen der Zielsetzung beigetragen.

5. Präsentationsmöglichkeiten für mögliche Nutzer; z.B. Anwenderkonferenzen (Angaben, soweit die Art des Vorhabens dies zulässt)

Wie bereits im Schlussbericht unter Punkt II. 6 dargestellt ist, wurden die Ergebnisse des Projektes veröffentlicht. Des Weiteren wurden die Methodik und Ergebnisse im Rahmen von verschiedenen Veranstaltungen vorgestellt:

- 48. Kontaktstudententage der Hochschule Osnabrück im November 2019 (Poster)
- 50. Kontaktstudententage der Hochschule Osnabrück im November 2021 (Vortrag)
- Vortrag im Seminar zur Apfellagerung an der Obstbauversuchsanstalt Jork (August 2022)
- Vortrag anlässlich der KTBL-Beratertagung (Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft) (September 2022)
- Vorträge im Mastermodul *Forschungskolloquium* des Studienganges Angewandte Nutztier- und Pflanzenwissenschaften der Hochschule Osnabrück (2019; 2020; 2021; 2022)
- Online-Video-Exkursion für Studierende der Fakultät Agrarwissenschaften und Landschaftsarchitektur mit ca. 220 Teilnehmer (Oktober 2020)
- Exkursion für Studierende der Fakultät Agrarwissenschaften und Landschaftsarchitektur (Oktober 2021 und Oktober 2022)

6. die Einhaltung der Ausgaben- und Zeitplanung

Während des Projekts traten keine unerwarteten Komplikationen bei der Versuchsplanung und Versuchsdurchführung auf, sodass die geplanten Untersuchungen fristgerecht erledigt werden konnten. Es gab keine Abweichungen hinsichtlich der geplant Ausgaben.

IV. Kurzfassung

In der Lagerung unter dynamischen kontrollierte Atmosphäre (DCA) können Chlorophyllfluoreszenz-Sensoren eingesetzt werden, um den untersten kritischen Sauerstoffwert (LOL = Lower Oxygen Limit), der von Äpfeln (*Malus x domestica* BORKH.) toleriert wird, zu identifizieren. Damit kann die Chlorophyllfluoreszenz (Fluoreszenzparameter F_o) als sensorischer Parameter verwendet werden, um Stresssignale der Frucht sichtbar zu machen, um so fruchteigene Gärung im Apfel frühzeitig erkennen zu können. In den letzten Jahren wurde beobachtet, dass einzelne Äpfel gleicher Sorte und Herkunft bei völlig identischen Lagerbedingungen ein unterschiedliches Gärverhalten zeigen können. Das Ziel dieser Studie war es, die Ursachen für das unterschiedliche Gärungsverhalten zu finden. Unsere Ergebnisse zeigen, dass die Fruchtreife den LOL beeinflussen kann und zwar vor allem unmittelbar nach der Ernte, wenn der Stärkeabbau in der Frucht noch nicht abgeschlossen ist. Bei 'Elstar' wurde ein deutlicher Anstieg des LOL gemessen (2020: 0,25 Vol.-%, 0,60 Vol.-%, 0,90 Vol.-%; 2021: 0,33 Vol.-%, 0,43 Vol.-%, 0,57 Vol.-%). 'Braeburn' zeigte ein ähnliches Verhalten. Der LOL konnte für einige der Früchte (variierend von 12,5 bis 41,7), die zuvor vier Monate lang im ULO-Lager gelagert wurden, nicht identifiziert werden. Der Chlorophyllgehalt in der Apfelschale ist bedeutend für die Fluoreszenzmessverfahren. Innerhalb von zwei Wochen wurde der Chlorophyllgehalt in der Apfelschale halbiert. Sinkt der Chlorophyllgehalt, sinkt auch die Zuverlässigkeit der Fluoreszenzmessung. Um die DCA-Lagerung optimal einsetzen zu können, sollten nur einheitliche Früchte mit gleichem Reifegrad in einem Lagerraum gelagert werden. Dazu gehört auch eine zügige Ernte und sofortige Kühllagerung der Äpfel. Für die Umsetzung in Großlagern bedeutet dies eine intensivere Abstimmung zwischen Obstbauern und Lagerbeauftragten. Die Hauptbeschränkung der Fluoreszenztechnik in der DCA-Lagerung besteht darin, dass die Fluoreszenz nur an einer kleinen Anzahl repräsentativer Früchte gemessen wird. Jedoch unterstützen unsere Ergebnisse die Definition dessen, was eine repräsentative Stichprobe sein kann.

Osnabrück. 26. Mai 2023

(Prof. Dr. W. Dierend)