

Erhaltung der Fruchtqualität und Vermeidung von  
Lagerverlusten bei Äpfeln ohne chemischen  
Pflanzenschutz durch alternative Behandlungsmethoden

Projektkennung Az 31716-34

Abschlussbericht (Projektlaufzeit 01.07.2014 - 31.12.2017)

eingereicht Mitte 2018 von der

Obstbauversuchsanstalt Jork der Landwirtschaftskammer Niedersachsen

Projektbearbeitung

Hinrich H. F. Holthusen / Alina Appel  
Obstbauversuchsanstalt Jork  
Landwirtschaftskammer Niedersachsen  
Moorende 53  
21635 Jork  
E-Mail: [hinrich.holthusen@lwk-niedersachsen.de](mailto:hinrich.holthusen@lwk-niedersachsen.de)

Bewilligungsempfänger

Landwirtschaftskammer Niedersachsen  
Kammerdirektor Hans-Joachim Harms  
Mars-La-Tour-Straße 2  
26121 Oldenburg  
E-Mail: [hans-joachim.harms@lwk-niedersachsen.de](mailto:hans-joachim.harms@lwk-niedersachsen.de)

gefördert durch



Deutsche  
Bundesstiftung Umwelt

[www.dbu.de](http://www.dbu.de)

## **Inhalt**

Zusammenfassung.....	1
Einführung.....	2
Gegenstand und Zielsetzung des Projektes .....	4
Darstellung der Arbeitsschritte und angewandte Methoden.....	5
1.1.  Einrichtung und Modifikation des Heißwasserbehandlungsmoduls (HWR-Modul) .....	5
2.    Herkunft und Bereitstellung der Früchte.....	7
2.1.  Wirksamkeitsversuche Heißwassertauchen (HWD) gegenüber kurzzeitiger Heißwasserbehandlung (HWR) bei unterschiedlichen Vorbehandlungen im Feld.....	8
2.2.  Begleitende Versuche zur Hitzeempfindlichkeit der Früchte / Vergleich verschiedener Heißwasserbehandlungsanlagen.....	9
3.    Heißwasserbehandlungen .....	10
3.1.  Heißwasserbehandlung (HWT) der Früchte nach der Ernte .....	10
3.2.  Heißwasserbehandlung der Früchte nach der Auslagerung .....	11
3.3.  Behandlungsmatrix zur Ermittlung der Hitzeempfindlichkeit verschiedener Apfelsorten .....	12
3.4.  Vergleich unterschiedlicher kurzzeitiger Heißwasserbehandlungstechnologien .....	13
4.    Fruchtbonituren .....	15
4.1.  Fäulnisbefall und Bestimmung der Fäulniserreger.....	15
4.2.  Lagerschorfbefall.....	15
4.3.  Hitzeschäden an der Fruchtschale .....	15
4.4.  Stielverbräunungen und Pilzbefall der Stiele .....	15
4.5.  Statistische Verrechnung der Boniturdaten .....	16
5.    Energetische Untersuchungen der unterschiedlichen Heißwasserbehandlungsmethoden.....	16
5.1.  Vergleich des Energiebedarfs der kurzzeitige Heißwasserbehandlung (HWR) mit dem Heißwassertauchen (HWD).....	16
5.2.  Untersuchungen zum Energiebedarf des HWR-Geräts Typ Palm Systems .....	17

Ergebnisse der durchgeführten Untersuchungen.....	17
1. Versuche zur Wirksamkeit kurzzeitiger Heißwasserbehandlung (HWR) bei ‘Elstar‘ und ‘Ingrid Marie‘ .....	17
1.1. Reifeparameter .....	17
1.2. Hitzeschäden an der Fruchtschale .....	18
1.3. Hitzeschäden am Fruchstiel.....	19
1.4. Lagerschorf.....	20
1.5. Lagerfäulen.....	23
2. Einfluss einer Heißwasserbehandlung nach der Auslagerung auf die Entwicklung von Lagerfäulnis in der Nachlagerphase .....	27
3. Einfluss einer kurzzeitigen Heißwasserbehandlung auf Hitzeschäden an der Fruchtschale bei vier Apfelsorten.....	29
4. Energetischer Vergleich Heißwassertauchen mit kurzzeitiger Heißwasserbehandlung.....	30
4.1. Temperaturveränderung Wasser.....	30
4.2. Energieaufnahme der Äpfel in Tauchwanne .....	32
4.3. Energetische Untersuchung HWR-Gerät der Firma Palm Systems .....	32
5. Untersuchung zur Wirksamkeit des HWR-Geräts Palm Systems .....	33
Bewertung der Projektergebnisse .....	35
Ergebnisverbreitung .....	37
Fazit.....	38
Literatur.....	39

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1	Fäulnisverluste durch <i>Neofabraea perennans</i> nach der Auslagerung einer integriert produzierten Charge 'Elstar' aus dem ULO-Lager. ....	2
Abb. 2	Erstmaliger Aufbau HWR-Modul und Heizung. ....	5
Abb. 3	Überwachung der Behandlungstemperatur im Duschaum mit PT 100-Thermometer und zusätzlichen Digital-Thermometern. ....	6
Abb. 4	Zusätzliche Isolierung des HWR-Moduls (weiße und pinke Styroporplatten). ....	6
Abb. 5	Wärmeverluste des HWR-Moduls nach abgeschlossener Isolierung. ....	7
Abb. 6	Neuentwicklung HWR-Gerät der Firma Palm Systems, Hamburg. ....	14
Abb. 7	Konventionelles Heißwassertauchen (HWD) bei 50 °C für 180 Sekunden. ....	14
Abb. 8	Mittelstarker Schalenschaden durch Hitzeeinwirkung an einer 'Elstar'-Frucht. ....	16
Abb. 9	Starker Schalenschaden durch Hitzeeinwirkung an einer 'Elstar'-Frucht. ....	16
Abb. 10	Hitzeschäden an der Fruchtschale nach Heißwasserbehandlungen. ....	19
Abb. 11	Anteil Fruchtsiele mit Pilzbefall nach Heißwasserbehandlung. ....	20
Abb. 12	Anteil 'Elstar' mit Lagerschorfbefall nach Heißwasserbehandlung im Versuch 2014. ....	21
Abb. 13	Anteil 'Elstar' mit Lagerschorfbefall nach Heißwasserbehandlung im Versuch 2015.1. ....	22
Abb. 14	Anteil Äpfel mit Lagerschorfbefall nach Heißwasserbehandlung im Versuch 2015.2. ....	23
Abb. 15	Anteil ökologisch produzierter 'Ingrid Marie' mit Lagerfäulenbefall nach Heißwasserbehandlung in drei Jahren. ....	24
Abb. 16	Anteil ökologisch produzierter 'Ingrid Marie' mit Befall durch <i>Neofabraea alba</i> nach Heißwasserbehandlung in drei Jahren. ....	25
Abb. 17	Anteil 'Elstar' mit Lagerfäulenbefall nach Heißwasserbehandlung im Versuch 2015.2. ....	26
Abb. 18	Lagerfäulnisbefall (A) und Befall mit <i>Neofabraea perennans</i> (B) Heißwasserbehandlung im Versuch 2015.2. ....	27
Abb. 19	Lagerfäulnisbefall (A) und Befall durch <i>Neofabraea perennans</i> (B) in 'Elstar' im Versuch 2015.2 nach 6-wöchiger Nachlagerung im Kühllager nach der Auslagerung aus einer 5-monatigen Lagerung im Kühl- oder ULO-Lager. ....	28
Abb. 20	Lagerfäulnisbefall in 'Ingrid Marie' nach 6 bis 8-wöchiger Nachlagerung im Kühllager nach der Auslagerung aus einer 5-monatigen Lagerung im Kühl- oder ULO-Lager. Befall im Versuch 2015.2 (A) und im Versuch 2016 (B). ....	29

Abb. 21 Marktrelevante Hitzeschäden der Schale bei den Sorten ‘Delbarestivale‘ (A), ‘Elstar‘ (B), ‘Ingrid Marie‘(C) und ‘Pinova ‘Evelina‘ (D) in Abhängigkeit von Dauer und Temperatur der Behandlung zwischen 54 und 62 °C. ....	30
Abb. 22 Temperaturveränderung von 320 l Wasser im isolierten Tauchbecken im Zeitverlauf ohne zusätzliche Maßnahmen (Wanne), Tauchen einer Kunststoffkiste (WanneKiste) bzw. einer Kunststoffkiste gefüllt mit 15 kg ‘Red Jonaprince‘-Äpfeln (WanneKisteÄpfel). ....	31
Abb. 23 Gesamtlagerfäulnis (A), sowie Befall mit <i>Neofabraea alba</i> (B) und <i>Neofabraea perennans</i> (C) in ‘Pinova Evelina‘ nach 5-monatiger Kühlung. ....	34

## Tabellenverzeichnis

Tab. 1 Ernte- und Heißwasserbehandlungstermine für Äpfel die zwischen 2014 und 2016 im Projekt Verwendung fanden. ....	8
Tab. 2 Pflanzenschutzmaßnahmen im Rahmen dreier Feldbehandlungsvarianten in ‘Elstar‘ ab Juli bis zur Ernte am 02.10.2014.....	8
Tab. 3 Pflanzenschutzmaßnahmen im Rahmen dreier Feldbehandlungsvarianten in ‘Elstar‘ ab Juli bis zur Ernte am 23.09. bzw. 12.10.2015.....	9
Tab. 4 Pflanzenschutzmaßnahmen im Rahmen dreier Feldbehandlungsvarianten in ‘Elstar‘ ab Juli bis zur Ernte am 04.10.2016.....	9
Tab. 5 Temperatur- und Behandlungsdauerkombinationen in den Wirksamkeitsversuchen zum Vergleich von Heißwassertauchen (HWD) mit der kurzzeitigen Heißwasserbehandlung (HWR) in drei Versuchsjahren.....	11
Tab. 6 Versuchsaufbau für kurzzeitige Heißwasserbehandlungen (HWR) vor und nach der Lagerperiode...	12
Tab. 7 Behandlungsmatrix (Temperatur und Behandlungsdauer) für vier Apfelsorten in 2014 und 2015 für eine kurzzeitige Heißwasserbehandlung (HWR) nach der Ernte. ....	13
Tab. 8 Varianten zur Ermittlung der Temperaturveränderung von 320 l Wasser im isolierten Tauchbecken durch Zugabe von Kunststoffkisten und 15 kg Äpfeln der Sorte ‘Red Jonaprince‘ .....	17
Tab. 9 Fruchtfleischfestigkeit der Sorte ‘Elstar‘ (Mischprobe der Feldbehandlungsvarianten ‘ohne Fungizide‘, ‘Captan‘ und ‘Spritzzfolge‘) nach Heißwasserbehandlung und anschließender Kühl- bzw. ULO-Lagerung an drei aufeinander folgenden Auswertungsterminen. ....	18
Tab. 10 Fruchtfleischfestigkeit der Sorte ‘Ingrid Marie‘, Herkunft Aarslev, Dänemark nach Heißwasserbehandlung und anschließender Kühlung an drei aufeinander folgenden Auswertungsterminen. ....	18
Tab. 11 Veränderung der Wassertemperatur von 320 l Wasser bei drei Ausgangs-temperaturen (50, 56 und 58 °C) verursacht durch Tauchen von ‘Red Jonaprince‘-Äpfeln (15 kg) für drei Zeiträume (20, 30 und 180 Sekunden). ....	32

Tab. 12 Energieaufnahme von ‘Red Jonaprince‘-Äpfeln in Folge einer Heißwasserbehandlung und die zur Erzeugung notwendige Energiemenge bzw. Heizöl. .... 32

Tab. 13 Energiebedarf und Sortiermengen des HWR-Geräts Palm Systems ermittelt am 08.12.2016 auf dem Obsthof zum Felde. .... 33

### **Abkürzungsverzeichnis**

HWR = kurzzeitige Heißwasserbehandlung

HWT = Heißwasserbehandlung

HWD = Heißwassertauchen

ULO = Ultra Low Oxygen

## Zusammenfassung

Lagerfäulen und Lagerschorf sind wesentlich verantwortlich für Verluste geernteter Äpfel während der Lagerung, in der Vermarktungskette und letztlich beim Konsumenten. In Abhängigkeit von der Art der Produktion und Lagerungsmethode können hohe Verluste entstehen. Für die ökologische Produktion werden Verluste bis zu 90% beschrieben. In der obstbaulichen Praxis werden vorrangig Fungizide zur Verhinderung der Verluste eingesetzt. Insbesondere im ökologischen Anbau, aber auch in der Integrierten Produktion, ist entweder die Verfügbarkeit geeigneter Fungizide unzureichend oder wird der Einsatz aus anderen Gründen zunehmend kritisch gesehen (rechtliche Auflagen, Rückstände von Pflanzenschutzmitteln). Heißwasserbehandlungen (HWT) konnten in der Vergangenheit ihre Leistungsfähigkeit zur Vermeidung von Lagerfäulis und Lagerschorf unter Beweis stellen. Zur Anwendung kam dabei ein Verfahren, bei dem die Äpfel direkt nach der Ernte für etwa 3 Minuten in 50 °C warmem Wasser getaucht wurden. Trotz Wirkungsgraden bis zu 90% standen verschiedene Gründe (Kosten, Arbeitskräftebedarf, Energieverbrauch, CO<sub>2</sub>-Fußabdruck) einer Verbreitung der Technologie selbst im ökologischen Anbau im Wege.

Im vorliegenden Projekt wurde daher eine Weiterentwicklung, die kurzzeitige Heißwasserbehandlung (HWR), auf ihre Praxistauglichkeit hin untersucht. Bei diesem Verfahren werden die Früchte kurzzeitig ( $\leq 30$  Sekunden) mit höheren Temperaturen ( $\geq 54$  °C) behandelt. Für die Untersuchungen wurden in drei Versuchsjahren Äpfel aus der Integrierten Produktion sowie aus der ökologischen Produktion verwendet. Neben der Wirksamkeit der HWR zur Verhinderung von Lagerfäulen und Lagerschorf wurden auch mögliche negative Einflüsse einer Behandlung auf die Fruchtqualität (Hitzeschäden) untersucht. In der Summe der mehrjährigen Versuche waren HWR mit 58 °C für 20 Sekunden oder 56 °C für 30 Sekunden am besten geeignet Lagerfäulen und zum Teil auch Lagerschorf zu verhindern, bzw. stellten den besten Kompromiss zwischen Wirksamkeit und möglichen Hitzeschäden dar. Im Vergleich zum konventionellen Heißwassertauchen (HWD) war die Wirksamkeit aber nicht in allen Fällen gleichwertig. Eine Wirksamkeit der HWR war nicht nur bei ökologisch produzierten Früchten gegeben, sondern auch bei Früchten aus der Integrierten Produktion, unabhängig von der gewählten Pflanzenschutzintensität. Eine HWR nach mehrmonatiger Lagerung zur Verbesserung des „Shelf-lives“ war nur bei unter ULO-Bedingungen gelagerten Früchten wirksam. Ein Zusatznutzen einer zweimaligen HWR vor und nach der Lagerung war dagegen nicht nachweisbar. Das gewählte HWR-Verfahren durch duschen der Früchte mit dem HWR-Modul der Firma Shelah Systems war im Versuchsaufbau funktional, zeigte unter Praxisbedingungen aber deutliche Schwächen. Negativ fielen insbesondere die unzureichende Temperaturführung und die systembedingten großen Energieverluste auf. Im dritten Projektjahr konnte erstmalig ein neuentwickeltes HWR-Gerät der Firma Palm Systems getestet werden. Das Gerät unterschied sich insofern, als dass Früchte einzeln durch ein temperiertes Wasserbad geführt wurden. In einem Versuch zur Verhinderung von Lagerfäulen konnte das Gerät seine Überlegenheit demonstrieren, die Wirksamkeit reichte aber nicht an das konventionelle HWD heran. Hinsichtlich des Energieeinsatzes zeigte sich das Gerät aber deutlich überlegen und es konnten gut 50% des Primärenergieeinsatzes gegenüber dem HWD-Verfahren eingespart werden.

## Einführung

Lagerverluste sind eine Hauptbedrohung für die weltweite Nahrungsmittelversorgung. Tatsächlich gehen bis zu 42% allen Obst und Gemüses während der Lagerung weltweit verloren (Lipinski et al., 2013). Äpfel werden üblicherweise in Kühllagern (bis zu 4 Monaten) oder in ULO-Lagern mit extrem niedrigem Sauerstoffgehalt (bis zu 12 Monaten) gelagert, wobei die innere und äußere Qualität der Früchte weitestgehend erhalten werden kann. Für Deutschland kann von Lagerfäuleverlusten (**Abb. 1**) von durchschnittlich 8% der gelagerten Äpfel ausgegangen werden. Die Verluste in der ökologischen Produktion liegen mit bis zu 90% (Kühllager) bzw. 40% (ULO-Lager) deutlich darüber (Peter et al., 2013). In Norddeutschland können die Verluste bis zu 10% in der integrierten Obstproduktion (Palm & Kruse, 2005, 2012a) und bis zu 30% in der ökologischen Erzeugung betragen (Maxin & Klopp, 2004). Es ist naheliegend, dass durch die Vermeidung solcher Verluste erhebliche positive ökonomische Effekte auf Seiten der Anbauer erreicht werden können. Darüber hinaus treten weitere Verluste durch Lagerfäulen auch im Verkauf beim Einzelhandel sowie direkt beim Konsumenten auf. Die meisten Lagerfäulepilze infizieren vor der Ernte und existieren als latente Infektionen in der Fruchthaut, die dann während der Lagerung ausbrechen. Je nach Sorte (Tahir et al., 2015), Erntezeitpunkt (Børve et al., 2013) und Fruchtfleischfestigkeit (Ahmadi-Afzadi et al., 2013) können die Verluste durch Lagerfäule stark variieren. Braunfäule (*Monilinia fructigena*) entwickelt sich normalerweise während der frühen Lagerphase, während die Entwicklung der Bitterfäulefäulen (*Neofabraea* spp.) häufig erst mit mehrmonatiger Verzögerung auftritt, insbesondere bei ULO-Lagerung. In Nordeuropa sind *Neofabraea perennans*, *Neofabraea alba*, *Neonectria ditissima*, *Colletotrichum acutatum* und *Phacidiopycnis washingtonensis* die wichtigsten Pilze, die Lagerfäule verursachen (Børve et al., 2013; Maxin et al., 2014).



**Abb. 1** Fäulnisverluste durch *Neofabraea perennans* nach der Auslagerung einer integriert produzierten Charge 'Elstar' aus dem ULO-Lager. (Foto: Holthusen, 2010)



Aufgrund des feuchten Meerklimas sind Fruchtfäulen infolge von Pilzinfektionen eine der wichtigsten Bedrohungen in den nordeuropäischen Apfelanbaugebieten wie z.B. der Niederelbe aber auch Dänemark oder in den Niederlanden (Maxin et al., 2014). Da es aktuell keine praktikablen Alternativen gibt, sind Fungizidbehandlungen häufig die gängige Praxis. In Norddeutschland werden in der integrierten Obstproduktion trotz unzureichender Wirksamkeit (50-70%) die Vorernte-Fungizide Captan und die QoI-Verbindung Trifloxystrobin eingesetzt (Palm & Kruse, 2007, 2012b). Beide Wirkstoffe sind nach der Ernte in den Früchten nachweisbar (Holthusen, 2014). Auf den fachlich notwendigen Wirkstoffwechsel mit anderen Lagerfäulen-Fungiziden wird häufig verzichtet, da die Konsumenten Pflanzenschutzmittel-Rückstände, insbesondere die Anzahl unterschiedlicher Wirkstoffe, in den letzten Jahren in immer geringerem Maße tolerieren. Der Entwicklung von Fungizidresistenzen, z.B. bei *Neofabraea*-Arten gegen Benzimidazole (Weber & Palm, 2010) wird damit Vorschub geleistet. In der norddeutschen Bio-Obstproduktion werden Äpfel dagegen gänzlich unbehandelt gelassen oder Vorerntebehandlungen mit sauren Tonerden wie Myco-Sin durchgeführt, um Lagerfäule zu verhindern. Bedingt durch die mäßige Wirksamkeit der Maßnahmen in Verbindung mit der geringen gesellschaftlichen Akzeptanz für Pflanzenschutzmaßnahmen, insbesondere kurz vor der Ernte und damit der Genussfähigkeit der Früchte, scheint die Fortführung eines intensiven chemischen Pflanzenschutzes in der Vorernte nicht tragfähig.

Erste Berichte über die Heißwasserbehandlung (HWT) von Zitrusfrüchten stammen aus dem Jahr 1922 (Barrett & Fawcett, 1922). Trotz früher Berichte über die Wirksamkeit von HWT auch gegen Lagerfäulen an Äpfeln (Burchill, 1964), wurden Bemühungen, diese Technologie weiter zu entwickeln, erst in den letzten Jahren durchgeführt. Diese Verzögerung wurde auch durch die Einführung von Benzimidazol-Fungiziden (Blank & Reich, 1970) verursacht, die anfänglich sehr wirksam waren, in jüngerer Zeit aber von der Resistenzentwicklung betroffen waren (Weber & Palm, 2010). Der Mangel an wirksamen Fungiziden im wachsenden Ökoanbau von Äpfeln hat in den späten 1990er Jahren neues Interesse an alternativen Methoden wie HWT hervorgerufen. Seit 2004 hat sich HWT in der nordeuropäischen Bio-Apfelproduktion etabliert (Maxin & Klopp, 2004) und hohe Wirkungsgrade von 80-90% zur Verhinderung von Lagerfäule erzielt (Maxin et al., 2012a). Aufgrund zusätzlicher Arbeit während der Hauptarbeitszeit bei der Ernte und hoher Betriebskosten ist die Methode jedoch auch in der ökologischen Produktion noch von untergeordneter Bedeutung. Die Entdeckung der Hitzeschock-Antwort als Wirkmechanismus der HWT und ihre große Wirksamkeit gegen verschiedene Pilze (Maxin et al., 2014) sowie weitere Verbesserungen der Technologie (Maxin et al., 2012a) könnten der Methode zur allgemeinen Akzeptanz und Verbreitung in der Obstwirtschaft verhelfen. Zu Projektbeginn waren die Fortschritte bei der Einführung der neuen Methoden in die Obstbaupraxis noch gering. Während experimentelle Daten im Labormaßstab zur Verfügung standen, fehlt es noch an „Scale-ups“ sowie Informationen zur Prozessintegration und zum idealen Behandlungszeitpunkt.

Im Gegensatz zur Apfelproduktion hat die HWT bei tropischen und subtropischen Früchten wie Zitrus, Melone und Mango bereits an Bedeutung gewonnen. Neben der

Fäulnisbekämpfung kommt sie dabei insbesondere auch zur Bekämpfung von Quarantäneschädlingen zum Einsatz (Usall et al., 2016). Zur Beschreibung der unterschiedlichen Arten der Heißwasseranwendungen, die sich je nach Waren und Einsatzort unterscheiden, wurden unterschiedliche Begriffe festgelegt. Die Behandlung mit heißem Wasser (HWT) oder genauer gesagt das Heißwassertauchen (HWD) wird für Behandlungsdauern von mindestens 1 Minute und Temperaturen von im Allgemeinen unter 58 °C verwendet. Die Begriffe Heißwasserduschen und Bürsten (HWB oder HWRB) werden für Kurzzeitbehandlungen bis zu einer Minute und Temperaturen über 60 °C verwendet (Lurie & Pedreschi, 2014; Usall et al., 2016). Da für eine kurzzeitige Heißwasserbehandlung kein Bürsten erforderlich ist, wurde der allgemeinere Begriff kurzzeitige Heißwasserbehandlung (HWR) eingeführt (Maxin & Weber, 2011) und auch in diesem Bericht übernommen. Der Begriff Heißwasserbehandlung (HWT) wird als Sammelbegriff für jegliche Arten von Heißwasserbehandlungen verwendet.

### **Gegenstand und Zielsetzung des Projektes**

Das große Potential von Heißwasserbehandlungen zur Bekämpfung von Lagerfäulen ist seit langem bekannt (Burchill, 1964; Sharples, 1967), aber bis heute nicht in der obstbaulichen Praxis der Niederelbe-Region etabliert. Auf Grund der Verfügbarkeit hochwirksamer Lagerfäulen-Fungizide (Palm, 2010) war in der Vergangenheit eine Weiterentwicklung der Technologie ökonomisch nicht sinnvoll. Bedingt durch Resistenzentwicklungen (Weber & Palm, 2010), gesetzliche Auflagen sowie Vorgaben des Lebensmitteleinzelhandels besteht inzwischen die Notwendigkeit, die Technik für eine breite Anwendung in der obstbaulichen Praxis weiterzuentwickeln. Zielsetzung des Projektes ist daher die Entwicklung einer praxistauglichen und wirtschaftlichen Technologie zur Bekämpfung von Lagerfäulen mit Hilfe von Heißwasser. Exemplarisch soll die Tauglichkeit der Technik an Hand der beiden in Norddeutschland maßgeblichen Lagerfäule-Erreger beim Apfel (*Neofabraea perennans* und *Neofabraea alba*) gezeigt werden. Eine Übertragung der Ergebnisse auf weitere Erreger ist zu einem späteren Zeitpunkt denkbar. Aus vorhergehenden Untersuchungen (Maxin, 2012; Maxin et al., 2012b) ergeben sich innovative Ansätze einer kurzzeitigen Exposition der Früchte ( $\leq 30$  Sek. bei 55-60 °C) mit heißem Wasser (HWR), die den aktuell üblichen Tauchverfahren (HWD für 3 Min. bei 50-52 °C) sowohl in ökonomischer als auch ökologischer Hinsicht überlegen sein sollten. Das vorhandene Basiswissen soll dahingehend entwickelt werden, dass die für den Erwerbsobstbau relevanten Einsatzbedingungen und -zeitpunkte genau identifiziert werden. Parallel dazu wird eine technische Umsetzung erarbeitet, in der ein HWR-Modul in bestehende Prozesse der Aufbereitung integriert wird. Die Technologie soll sowohl in der ökologischen, als auch in der integrierten Apfelproduktion wirtschaftlich betrieben werden und einen maßgeblichen Baustein in der Vermeidungsstrategie von Fäulnisverlusten während und nach der Lagerung darstellen.

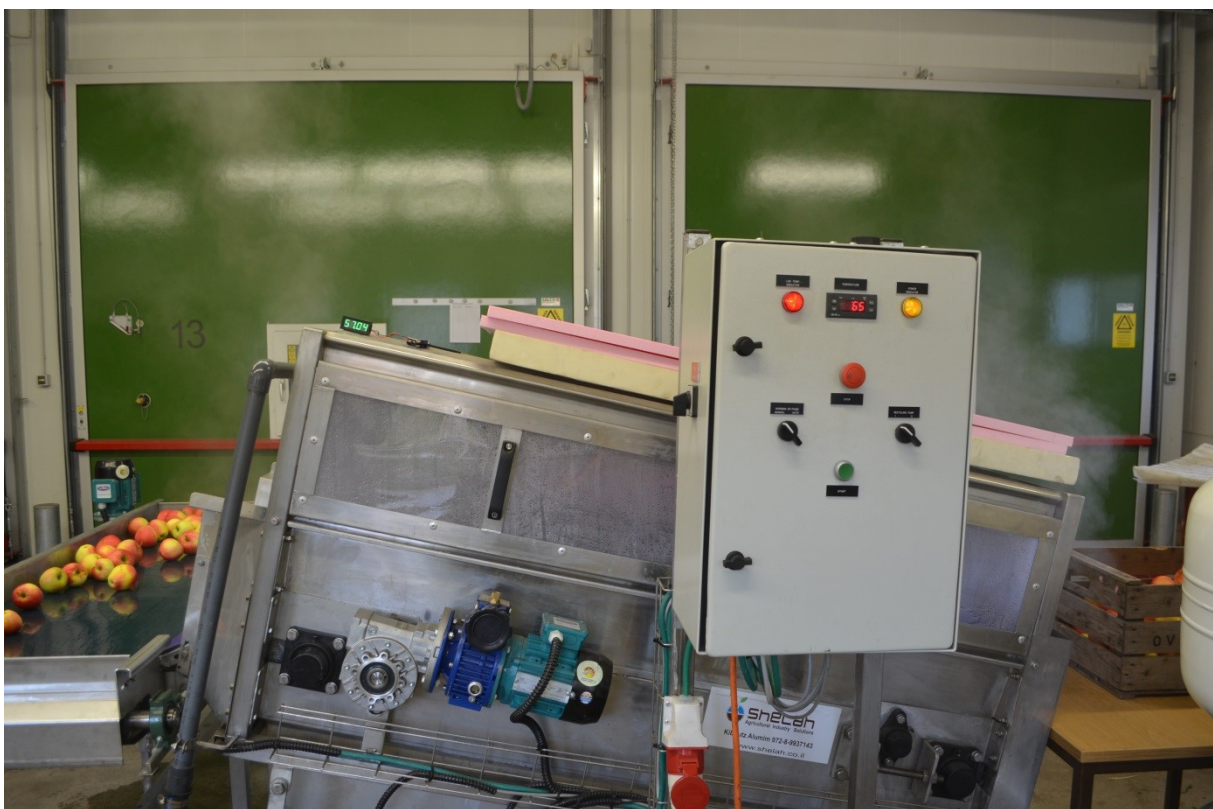
Die verstärkte Nutzung der Heißwassertechnologie wird den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln in Raumkulturen und somit negative Umwelteinflüsse im Vorerntezeitraum reduzieren. Dadurch kann eine Verringerung der Belastung der Früchte mit Pflanzenschutzmittelrückständen erreicht werden, womit Konsumentenansprüche hinsichtlich der Rückstandsbelastung von Äpfeln leichter erfüllbar werden. Die sichere Wirkung der

HWR erhöht die Produktionssicherheit und damit den wirtschaftlichen Erfolg der Betriebe bei gleichzeitig geringeren Behandlungskosten gegenüber früheren Heißwasserverfahren. Daneben ist der geringere Energiebedarf der HWR ökologisch und ökonomisch von Vorteil. Da es sich bei der Heißwasserbehandlung um ein qualitätserhaltendes Verfahren handelt, dient das Projekt insbesondere auch dazu, Verluste von Lebensmitteln in der Nachernte zu minimieren. Bei der Vermeidung von Fäulnisverlusten handelt es sich daher um aktiven Ressourcenschutz. Die von der Produktion bis zur Aufbereitung eingesetzten Ressourcen werden erhalten, wenn Äpfel nicht verderben und weggeworfen werden.

## Darstellung der Arbeitsschritte und angewandte Methoden

### 1.1. Einrichtung und Modifikation des Heißwasserbehandlungsmoduls (HWR-Modul)

Im ersten Projektjahr wurde ein Heißwasserbehandlungsmodul (HWR-Modul) der Firma Shelah Systems, Kibbutz Alumim, Israel sowie eine Heizungsanlage beschafft und an der ESTEBURG-Obstbauzentrum Jork installiert. Gegenüber den ursprünglichen Planungen verzögerte der verspätete Projektbeginn (Juli 2014) die termingerechte Einrichtung der Maschine zur Apfelernte 2014. Die Lieferung des HWR-Moduls aus Israel erfolgte Anfang Oktober (**Abb. 2**). Die Heiztechnik zur Warmwasserbereitung wurde Mitte Oktober in Betrieb genommen. Im Gegensatz zur Projektskizze konnten daher keine Behandlungen zum Erntetermin 2014 durchgeführt werden, dieses wurde erst Anfang November, gut einen Monat nach der Ernte möglich.



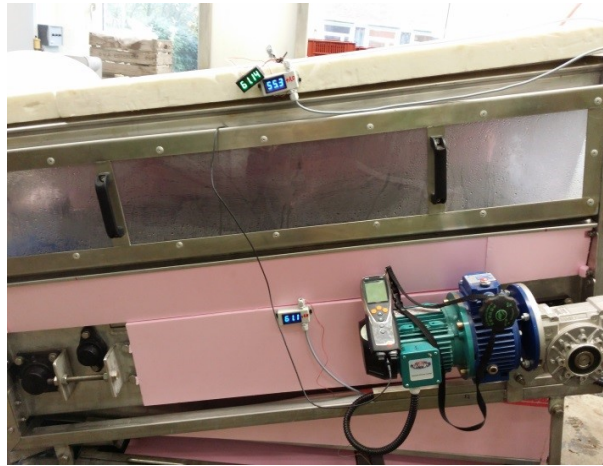
**Abb. 2** Erstmaliger Aufbau HWR-Modul und Heizung.

(Foto: Holthusen, 2014)

Noch im Testbetrieb wurden einige wesentliche technische Modifikationen vorgenommen, inkl. präziser Temperaturüberwachung des Behandlungsraums und Verbesserung der Außenisolierung (**Abb. 3** und **4**). Im Zuge der Vorbereitung wurde ein Düsenausstoß von 5,7 l Wasser/min ermittelt. Bei vier verbauten Düsen betrug der Gesamtausstoß damit 22,8 l Wasser/min. Für die mögliche Verweildauer der Früchte in der Maschine wurden mögliche Werte zwischen minimal 7,3 und maximal 38 Sekunden ermittelt. Unter Verwendung der Heizungsanlage konnte das HWR-Modul Ende Oktober erstmalig in Betrieb gesetzt werden. Messungen ergaben eine mögliche Temperaturführung des HWR-Moduls von  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  bei einer maximalen Arbeitstemperatur von  $64^{\circ}\text{C}$ . Weiterer Optimierungsbedarf wurde für den konstanten Dauerbetrieb bei voreingestellter Temperatur erkannt.



**Abb. 3** Überwachung der Behandlungstemperatur im Duschaum mit PT 100-Thermometer und zusätzlichen Digital-Thermometern. (Foto: Holthusen, 2014)



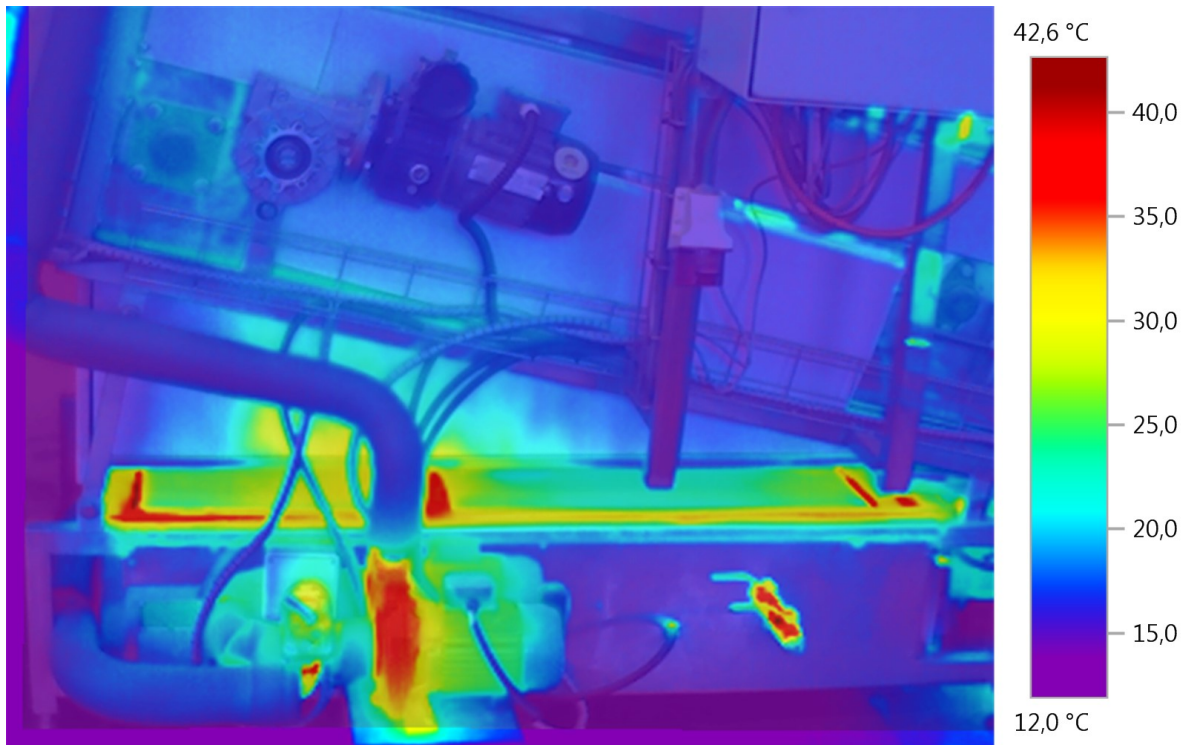
**Abb. 4** Zusätzliche Isolierung des HWR-Moduls (weiße und pinke Styroporplatten). (Foto: Holthusen, 2014)

Mit den Erfahrungen des ersten Projektjahres erfolgten vor den in 2015 anstehenden Behandlungen weitere Umbauten am bestehenden HWR-Modul. Durch eine Veränderung der Heißwasserführung in Verbindung mit einem automatischen Mischventil war es seit dem Umbau möglich, die Wassertemperatur exakt in Zehntelgradschritten zu steuern. Die Temperaturmessung erfolgt dabei direkt im Steigrohr kurz vor dem Düsenaustritt. Die Temperaturschwankungen gegenüber der vorherigen Spezifikation konnten dadurch weiter reduziert werden. Messungen der Wassertemperatur in Höhe des Düsenaustritts wie auch im Bereich des primären Fruchtkontakts ergaben eine notwendige Temperaturüberhöhung am Mischventil um mindestens  $+ 3\text{ K}$  zum Erreichen der gewünschten Behandlungstemperatur. Behandlungstemperaturen  $> 60^{\circ}\text{C}$  benötigten eine weitergehende Temperaturerhöhung am Mischventil. Der notwendige „Temperatur-Offset“ am Mischventil wurde fortan vor jeder Behandlung überprüft und jeweils den Bedingungen angepasst.

In einem weiteren Modifikationsschritt wurde das mitgelieferte Düsenrohr durch ein neu konstruiertes Modell ersetzt. Mit dem neuen Düsenrohr konnte die benötigte Wassermenge über 24 Flachstrahldüsen gleichmäßig auf die durchlaufenden Früchte aufgebracht werden. Jeweils zwei Düsen wurden parallel verbaut, wodurch der Abstand zwischen Früchten und



Düsen und damit auch die Energieverluste erheblich reduziert werden konnte. Zur Verhinderung von Verstopfungen der Flachstrahldüsen wurde ein Druckfilter in der Steigleitung kurz vorm Übergang zum Düsenrohr verbaut. Darüber hinaus wurde die Isolierung des HWR-Moduls komplettiert. Verbliebene Wärmeverlust konzentrierten sich danach vorrangig auf die Förderpumpe (unten im Bild) und die unvollständige Abdeckung des Recyclingtanks (unteres Bilddrittel) (**Abb. 5**). Während des Betriebs muss darüber hinaus von maßgeblichen Energieverlusten durch Dampfentwicklung ausgegangen werden.



**Abb. 5** Wärmeverluste des HWR-Moduls nach abgeschlossener Isolierung. Ermittelt mit Wärmebildkamera testo 822 und testo IRSoft Software 3.7 (Testo AG, Lenzkirch, Deutschland).

## 2. Herkunft und Bereitstellung der Früchte

Die im Projekt verwendeten Äpfel stammten vorrangig von der Niederelbe, teilweise aber auch aus Dänemark. Eine Übersicht über die verwendeten Sorten und Herkünfte in den drei Projektjahren findet sich in **Tab. 1**.

**Tab. 1** Ernte- und Heißwasserbehandlungstermine für Äpfel die zwischen 2014 und 2016 im Projekt Verwendung fanden.

Jahr	Sorte	Herkunft	Ernte	HWT
2014	Elstar <sup>1</sup>	Brüggemann, Hollern	02.10.	06.11.
2014	Ingrid Marie <sup>1</sup>	Universität Aarhus, Aarslev (DK)	25.10.	06.11.
2014	Golden Delicious <sup>2</sup>	Quast, Königreich	Okt.	24.11.
2015	Delbarestivale <sup>2</sup>	ESTEBURG-Obstbauzentrum Jork	Sept.	06.10.
2015	Elstar <sup>1</sup>	Köpcke, Mittelnkirchen	23.09.	19.10.
2015	Ingrid Marie <sup>1</sup>	Universität Aarhus, Aarslev (DK)	05.10.	23.10.
2015	Elstar <sup>1</sup>	Köpcke, Mittelnkirchen	12.10.	23.10.
2015	Ingrid Marie <sup>2</sup>	Universität Aarhus, Aarslev (DK)	05.10.	16.11..
2015	Elstar <sup>2</sup>	ESTEBURG-Obstbauzentrum Jork	24.09.	16.11.
2015	Pinova Evelina <sup>2</sup>	ESTEBURG-Obstbauzentrum Jork	Okt.	16.11.
2016	Ingrid Marie <sup>1</sup>	Universität Aarhus, Aarslev (DK)	Ende Sept.	15. / 20.10.
2016	Elstar <sup>1</sup>	Grandt, Estebrügge	04.10.	15. / 20.10.
2016	Pinova Evelina <sup>3</sup>	Prigge, Hamburg-Neuenfelde	28.10.	10.11.

HWT = Heißwasserbehandlung

<sup>1</sup> Versuche zur Wirksamkeit von Heißwassertauchen (HWD) und kurzzeitiger Heißwasserbehandlung (HWR) gegen Lagerfäulen

<sup>2</sup> begleitende Versuche zur Hitzempfindlichkeit

<sup>3</sup> Vergleich der Wirksamkeit unterschiedlicher Heißwasserbehandlungstechnologien

## 2.1. Wirksamkeitsversuche Heißwassertauchen (HWD) gegenüber kurzzeitiger Heißwasserbehandlung (HWR) bei unterschiedlichen Vorbehandlungen im Feld

Die für die Heißwasserbehandlung vorgesehenen Früchte der Sorte ‘Elstar‘ wurden in den Jahren auf integriert wirtschaftenden Obstbaubetrieben an der Niederelbe geerntet. Ab Anfang August wurden in den Versuchsflächen gezielt Pflanzenschutzmaßnahmen durchgeführt, um Früchte mit unterschiedliche Fungizidintensität zu erhalten (**Tab. 2, 3 & 4**). In der Variante ‘ohne Fungizide‘ wurde in jedem Jahr im Sommer (ab etwa Anfang Juli) auf den Einsatz von Fungiziden verzichtet, in der Variante ‘Captan‘ wurden ausschließlich captanhaltige Fungizide bis 21 Tage vor der 1. Pflücke eingesetzt und in der Variante ‘Spritzfolge‘ zusätzlich das trifloxystrobinhaltige Lagerfäulenfungizid Flint mit einer Wartezeit von 7 Tagen bis zur 1. Pflücke. In allen drei Jahren wurden Früchte des zweiten Erntetermins verwendet, um eine maximale Fäulnisempfindlichkeit der Früchte zu erreichen. Die Früchte des ersten Versuchsjahres stammten vom Betrieb Brüggemann in Hollern (Tab. 2).

**Tab. 2** Pflanzenschutzmaßnahmen im Rahmen dreier Feldbehandlungsvarianten in ‘Elstar‘ ab Juli bis zur Ernte am 02.10.2014.

Feldbehandlung	10.07.	24.07.	04.08.	15.08.	25.08.	08.09.
‘ohne Fungizide‘	Malvin <sup>1</sup>	--	--	--	--	--
‘Captan‘	Malvin	Merpan <sup>2</sup>	Merpan	Merpan	Merpan	--
‘Spritzfolge‘	Malvin	Merpan	Merpan	Merpan	Merpan	Flint <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Malvin WG; Aufwandmenge 0,6 kg ha<sup>-1</sup> m Kh<sup>-1</sup>

<sup>2</sup> Merpan 80 WDG; Aufwandmenge 0,75 kg ha<sup>-1</sup> m Kh<sup>-1</sup>

<sup>3</sup> Flint; Aufwandmenge 0,05 kg ha<sup>-1</sup> m Kh<sup>-1</sup>

Im zweiten Versuchsjahr (2015) stammten die Früchte der Sorte ‘Elstar‘ vom Betrieb Köpcke in Mittelnkirchen (Tab. 3). Es wurden zusätzlich auch Früchte des 1. Erntetermins verwendet.

**Tab. 3** Pflanzenschutzmaßnahmen im Rahmen dreier Feldbehandlungsvarianten in ‘Elstar‘ ab Juli bis zur Ernte am 23.09. bzw. 12.10.2015.

Feldbehandlung	06. & 14.07.	31.07.	10.08.	23.08.	31.08.	16.09.
‘ohne Fungizide‘	Score <sup>1</sup>	--	--	--	--	--
‘Captan‘	Score	Merpan <sup>2</sup>	Merpan	Merpan	Merpan	--
‘Spritzzfolge‘	Score	Merpan	Merpan	Merpan	Merpan	Flint <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Score; Aufwandmenge 0,075 l ha<sup>-1</sup> m Kh<sup>-1</sup>

<sup>2</sup> Merpan 80 WDG; Aufwandmenge 0,75 kg ha<sup>-1</sup> m Kh<sup>-1</sup>

<sup>3</sup> Flint; Aufwandmenge 0,05 kg ha<sup>-1</sup> m Kh<sup>-1</sup>

Wiederum Früchte der Sorte ‘Elstar‘ stammten im dritten Versuchsjahr (2016) vom Betrieb Grandt in Estebürgge (Tab. 4).

**Tab. 4** Pflanzenschutzmaßnahmen im Rahmen dreier Feldbehandlungsvarianten in ‘Elstar‘ ab Juli bis zur Ernte am 04.10.2016.

Feldbehandlung	26.06.	14.07.	24.07.	05.08.	19.08.	09.09.
‘ohne Fungizide‘	Malvin <sup>1</sup>	--	--	--	--	--
‘Captan‘	Malvin	Merpan <sup>2</sup>	Merpan	Merpan	Merpan	--
‘Spritzzfolge‘	Malvin	Merpan	Merpan	Merpan	Merpan	Flint <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Malvin WG behandelt durch Anbauer; Aufwandmenge 0,6 kg ha<sup>-1</sup> m Kh<sup>-1</sup>

<sup>2</sup> Merpan 80 WDG; Aufwandmenge 0,75 kg ha<sup>-1</sup> m Kh<sup>-1</sup>

<sup>3</sup> Flint; Aufwandmenge 0,05 kg ha<sup>-1</sup> m Kh<sup>-1</sup>

Zusätzlich standen in allen drei Versuchsjahren Früchte der Sorte ‘Ingrid Marie‘, bereitgestellt durch die Universität Aarhus, Dänemark, zur Verfügung, die nach Richtlinien des ökologischen Landbaus produziert worden waren. Die Früchte wurden in jedem Jahr termingerech, etwa Ende September geerntet. Bis zur Heißwasserbehandlung (HWT) wurden die geernteten Früchte mehrwöchig im Kühllager (1,5 °C) aufbewahrt. Vor der HWT wurden die Früchte homogenisiert, d.h. gleichmäßig auf die einzelnen Varianten verteilt, um einen möglichst homogenen Ausgangsbefall zu erreichen, wobei je Variante vier (2014: fünf) Wiederholungen mit jeweils 60 bis 102 Früchten vorbereitet wurden. Die fünfte Wiederholung in 2014 diente zur Bestimmung von Fruchtreifeparametern (Fruchtfleischfestigkeit, Zucker und Säure sowie teilweise außerdem Stärkegehalt und Saftigkeit der Früchte) mit Hilfe des zerstörerisch arbeitenden Systems ‘Pimprenelle’ (SETOP Giraud Technology, Cavaillon, Frankreich).

## 2.2. Begleitende Versuche zur Hitzempfindlichkeit der Früchte / Vergleich verschiedener Heißwasserbehandlungsanlagen

Für weitergehende Versuchsanstellungen zur Hitzempfindlichkeit der Äpfel standen in 2014 Früchte der Sorte ‘Golden Delicious‘ (Herkunft: Quast, Königreich) und in 2015 Früchte der Sorten ‘Delbarestivale‘, ‘Elstar‘ und ‘Pinova Evelina‘ (Herkunft: Versuchsbetrieb ESTEBURG-Obstbauzentrum Jork) sowie ‘Ingrid Marie‘ (Herkunft: Aarhus Universität,

Aarslev) zur Verfügung. Die Früchte waren im Vorfeld praxisüblich mit Lagerfäulenfungiziden behandelt worden bzw. stammten aus der ökologischen Produktion ('Ingrid Marie'). Bis zur HWT-Behandlung verblieben die Früchte im Kühllager (1,5 °C). Die Früchte wurden vor der Versuchsdurchführung jeweils homogenisiert. Je Variante standen 30 Früchte in einfacher (2014) bzw. 12 Früchte in vierfacher (2015) Wiederholung zur Verfügung. Begleitend wurden in 2015 Analysen zur Bestimmung von Fruchtqualitätsparametern an 4x15 Früchten je Sorte mit dem zerstörerisch arbeitenden System "Pimprenelle" durchgeführt.

Für einen Versuch zum Vergleich unterschiedlicher kurzzeitiger Heißwasserbehandlungstechnologien in 2016 wurden Äpfel der Sorte 'Pinova Evelina' aus ökologischer Produktion (Herkunft: Prigge, Hamburg-Neuenfelde) genutzt. Die Früchte wurden am 28.10.2016 geerntet und verblieben bis zur HWT im Kühllager (1,5 °C). Vor der HWT wurden die Früchte homogenisiert, wobei je Variante 116 Früchte in vierfacher Wiederholung zur Verfügung standen. Begleitend wurden Analysen zur Bestimmung von Fruchtqualitätsparametern an 4x10 Früchten der Sorte vor Versuchsbeginn und 4x12 gesunden Früchten je Variante nach Versuchsende mit dem zerstörerisch arbeitenden System "Pimprenelle" durchgeführt.

### 3. Heißwasserbehandlungen

#### 3.1. Heißwasserbehandlung (HWT) der Früchte nach der Ernte

Die Heißwasserbehandlung (HWT) der Früchte im Tauchverfahren (HWD) wie auch mit dem kurzzeitig arbeitenden HWR-Modul fand in allen Versuchsjahren in einem Zeitraum bis zu 5 Wochen nach der Ernte statt. Ein längerer Zeitraum zwischen Ernte und Behandlung bestand nur für Äpfel der Sorten 'Ingrid Marie' und 'Elstar' im Versuch zur Überprüfung der Hitzempfindlichkeit in 2015 (**Tab. 5**). Nach der HWT wurden alle Früchte entweder im Kühllager bei 1,5 °C oder im ULO-Lager bei 1,5 °C und modifizierter Atmosphäre (~ 1% O<sub>2</sub>; ~ 2% CO<sub>2</sub>) weitergelagert.



**Tab. 5** Temperatur- und Behandlungsdauerkombinationen in den Wirksamkeitsversuchen zum Vergleich von Heißwassertauchen (HWD) mit der kurzzeitigen Heißwasserbehandlung (HWR) in drei Versuchsjahren.

Temperatur [°C]	Dauer [Sek.]	Art der Heißwasserbehandlung	2014	2015.1	2015.2	2016	Lagerung
-- <sup>1</sup>	-- <sup>1</sup>	-- <sup>1</sup>	x	x	x	x	Kühl
-- <sup>1</sup>	-- <sup>1</sup>	-- <sup>1</sup>	x <sup>2</sup>		x	x	ULO
17 <sup>5</sup>	20	HWR		x			Kühl
50	180	HWD		x	x	x	Kühl
52	180	HWD	x	x			Kühl
54	20	HWR			x	x	Kühl
55	25	HWR	x				Kühl
55	25	HWR	x <sup>3</sup>				ULO
55	35	HWR	x				Kühl
56	20	HWR		x	x	x	Kühl
56	20	HWR			x		ULO
58	20	HWR		x	x	x	Kühl
58	20	HWR				x	ULO
58	25	HWR	x				Kühl
60	20	HWR		x	x	x	Kühl
60	25	HWR	x				Kühl

Die Behandlungen fanden jeweils an Äpfeln der Sorte 'Elstar' mit den Feldbehandlungsvarianten 'ohne Fungizide', 'Captan' und 'Spritzzfolge' statt und zusätzlich an Äpfeln der Sorte 'Ingrid Marie' aus ökologischer Produktion. HWR = kurzzeitige Heißwasserbehandlung; HWD = Heißwassertauchen; Kühl = Kühlung; Temperatur: 1,5 °C; Atmosphäre: ~ 21% O<sub>2</sub>, < 0,1% CO<sub>2</sub>; ULO = ULO-Lagerung; Temperatur: 1,5 °C; Atmosphäre: ~ 1% O<sub>2</sub>, ~ 2% CO<sub>2</sub>.

<sup>1</sup> unbehandelte Kontrolle

<sup>2</sup> nicht in der Variante 'Ingrid Marie' aus ökologischer Produktion

<sup>3</sup> Kaltwasser Kontrolle

### 3.2. Heißwasserbehandlung der Früchte nach der Auslagerung

In einem weiteren zweiten Versuchsansatz sollte abgeklärt werden, ob eine HWT nach der Auslagerung noch in der Lage ist den Lagerfäulenbefall während der Vermarktungsperiode zu reduzieren. Dazu wurden Äpfel vor der Einlagerung und/oder nach der Auslagerung aus dem Kühl- oder ULO-Lager einer HWT unterzogen (**Tab. 6**).

Früchte des Erntejahres 2014 wurden nach der Auslagerung aus ULO- oder Kühlungslager und der eventuell anschließenden HWR für etwa vier Wochen bei 12 °C bis zur finalen Auswertung nachgelagert. Früchte der Erntejahre 2015 und 2016 wurden stattdessen für etwa sieben Wochen im Kühlungslager bei 1,5 °C bis zur finalen Auswertung nachgelagert, womit eine kürzere Nachlagerperiode bei höheren Temperaturen, wie sie in der Handelskette und beim Konsumenten auftreten, simuliert wurde.

**Tab. 6** Versuchsaufbau für kurzzeitige Heißwasserbehandlungen (HWR) vor und nach der Lagerperiode.

Temperatur[°C]	Dauer [Sek.]	Versuch	HWR vorher	HWR nachher	Lagerung
55	25	2014 <sup>1</sup>	--	--	Kühl + ULO
55	25	2014 <sup>1</sup>	06.11.14	--	Kühl + ULO
55	25	2014 <sup>1</sup>	--	03.04.15	Kühl + ULO
55	25	2014 <sup>1</sup>	06.11.14	03.04.15	Kühl + ULO
56	20	2015.2	--	--	Kühl + ULO
56	20	2015.2	23.10.15	--	Kühl + ULO
56	20	2015.2	--	11.03.16	Kühl + ULO
56	20	2015.2	23.10.15	11.03.16	Kühl + ULO
58	20	2016	--	--	Kühl + ULO
58	20	2016	15./20.10.16	--	Kühl
58	20	2016	--	24.03.17	Kühl + ULO
58	20	2016	15./20.10.16	24.03.17	ULO

Die Behandlungen fanden jeweils an Äpfeln der Sorte 'Elstar' mit den Feldbehandlungsvarianten 'ohne Fungizide', 'Captan' und 'Spritzfolge' statt und zusätzlich an Äpfeln der Sorte 'Ingrid Marie' aus ökologischer Produktion.  
 Kühl = Kühllagerung: Temperatur: 1,5 °C; Atmosphäre: ~ 21% O<sub>2</sub>, < 0,1% CO<sub>2</sub>; ULO = ULO-Lagerung: Temperatur: 1,5 °C; Atmosphäre: ~ 1% O<sub>2</sub>, ~ 2% CO<sub>2</sub>.

<sup>1</sup> nicht in der Variante 'Ingrid Marie' aus ökologischer Produktion

### 3.3. Behandlungsmatrix zur Ermittlung der Hitzempfindlichkeit verschiedener Apfelsorten

Äpfel der Sorten 'Golden Delicious' (2014), sowie 'Delbarestivale', 'Ingrid Marie', 'Elstar' und 'Pinova Evelina' (alle 2015) wurden zur Ermittlung der Hitzempfindlichkeit einer HWR mit unterschiedlichen Temperatur- und Behandlungsdauer-Kombinationen unterzogen (**Tab. 7**). Die Früchte wurden mit dem HWR-Modul mit 52 bis 64 °C warmem Wasser für 7,5 bis 35 Sekunden behandelt. Aufgrund der Vorergebnisse aus 2014 wurden sowohl der Umfang des Temperatur- als auch des Behandlungsdauerbereichs im Versuch 2015 eingeschränkt. Im Anschluss wurden die behandelten Früchte bis zur finalen Auswertung im Kühllager bei 1,5 °C gelagert.

**Tab. 7** Behandlungsmatrix (Temperatur und Behandlungsdauer) für vier Apfelsorten in 2014 und 2015 für eine kurzzeitige Heißwasserbehandlung (HWR) nach der Ernte.

	Temperatur [°C]						
	52	54	56	58	60	62	64
Dauer [Sek.]							
35	x	x	x	x			x
30		X	x/X	x/X	x/X		
25			x/X	x/X	x/X	x	
20	x	x/X	x/X	x/X	x/X	x/X	x
15			x/X	x/X	x/X	x	x
10		X	x/X	x/X	x/X	x/X	x
7,5				x		x	x

x = Behandlungskombination in 2014; X = Behandlungskombination in 2015

### 3.4. Vergleich unterschiedlicher kurzzeitiger Heißwasserbehandlungstechnologien

Neben dem bestehenden HWR-Modul der Firma Shelah Systems entwickelte die Firma Palm Systems mit fachlicher Unterstützung durch Zwischenergebnisse aus diesem Projekt ein neues HWR-Gerät. Im Unterschied zum HWR-Modul werden die Früchte beim HWR-Gerät der Firma Palm Systems (**Abb. 6**) (Palm Systems, Hamburg) nicht geduscht, sondern einzeln durch ein temperiertes Wasserbad geführt. Dabei lässt sich sowohl die Wassertemperatur im Behandlungsraum wie auch die Durchgangszeit der Früchte präzise steuern. Die Leistung der beträgt mindestens 10 t Früchte h<sup>-1</sup>, war aber nicht exakt bestimmbar, weil das Gerät selbst unter Vollast der nachgelagerten Obstsortieranlage nicht an seine Leistungsgrenze kam. Das Gerät ist voll in den Sortierprozess integrierbar und bindet daher während des Sortiervorgangs kein zusätzliches Personal bzw. benötigt keine zusätzliche Zeit.

In Herbst 2016 wurden Früchte der Sorte ‘Pinova Evelina‘ genutzt um verschiedene Technologien zur Heißwasserbehandlung miteinander zu vergleichen. Die eingesetzten Technologien waren das modifizierte HWR-Modul der Firma Shelah Systems (**Abb. 2**) in der Einstellung 56 °C für 30 Sekunden sowie die Neuentwicklung eines HWR-Geräts der Firma Palm Systems in der Einstellung 56 °C für 33 Sekunden im Vergleich zum konventionellen Heißwassertauchen (HWD) der Früchte (**Abb. 7**) bei 50 °C für 180 Sekunden. Ursprünglich war vorgesehen, für beide zu vergleichenden HWR Systeme identische Behandlungszeiten zu wählen. Die exakte Bestimmung der Behandlungszeit für das Gerät von Palm Systems ergab aber eine Durchgangszeit von 33 Sekunden, die nicht verändert werden konnte. Alle Heißwasserbehandlungen wurden am 10.11.2016 an Früchten der Sorte ‘Pinova Evelina‘, Erntedatum 28.10.2016, durchgeführt. Nach der Behandlung verblieben die Früchte bis zur finalen Auswertung im Kühllager bei 1,5 °C.



**Abb. 6** Neuentwicklung HWR-Gerät der Firma Palm Systems, Hamburg. Installation auf dem ökologisch wirtschaftenden Obstbaubetrieb / Obsthandelsbetrieb Obsthof zum Felde, Jork. Fruchtdurchsatz der Maschine im HWR-Betrieb liegt bei mindestens  $10 \text{ t h}^{-1}$ . (Foto: Holthusen, 2016)



**Abb. 7** Konventionelles Heißwassertauchen (HWD) bei  $50 \text{ °C}$  für 180 Sekunden. Hier exemplarisch durchgeführt im Kleinkistenverfahren an isolierter und beheizbarer 325 l Tauchwanne. (Foto: Appel, 2017)



## 4. Fruchtbonituren

In allen durchgeführten Versuchen wurden nach mehrmonatiger Kühl- oder ULO-Lagerung diverse Fruchtbonituren auf Befall mit Lagerfäulen, Lagerschorf, Hitzeschäden an der Fruchtschale sowie Hitzeschäden an den Fruchtsielen durchgeführt.

### 4.1. Fäulnisbefall und Bestimmung der Fäulniserreger

In der Regel erfolgte die Ermittlung des Fäulnisbefalls zu zwei Terminen, im Dezember/Januar nach der Ernte und ein weiteres Mal im darauffolgenden März oder April. Erfolgte außerdem eine Heißwasserbehandlung nach der Auslagerung schloss sich eine finale Auswertung vier bis acht Wochen später an. Zu jedem der genannten Boniturtermine wurden alle Früchte mit visuell feststellbarem Fäulnissymptomen entnommen und separat weitergelagert. Die Bestimmung der Erregertypen erfolgte lichtmikroskopisch an Hand der Morphologie der Sporen.

### 4.2. Lagerschorfbefall

Mindestens einmalig, in der Regel zum Zeitpunkt der zweiten Fäulnisbonitur, wurde außerdem der Befall der Früchte mit Lagerschorf (*Venturia inaequalis*) ermittelt. Zusätzlich erfolgte eine Einteilung der Früchte in Befallsklassen: Klasse 1 = 0 Schorfflecke, Klasse 2 = 1 Schorffleck, Klasse 3 = 2-3 Schorfflecken und Klasse 4 = > 3 Schorfflecken. Früchte mit vollständiger Fäulnissymptomausprägung wurden von der Bonitur ausgeschlossen. An Früchten, die nach der Auslagerung einer Heißwasserbehandlung unterzogen wurden, erfolgte analog zur dritten Fäulnisbonitur eine erneute Bonitur auf Lagerschorfbefall.

### 4.3. Hitzeschäden an der Fruchtschale

Ebenfalls mindestens einmalig, in der Regel analog zum zweiten Termin der Fäulnisbestimmung bzw. als wichtigste Bonitur in Versuchen zur Ermittlung der Hitzempfindlichkeit, erfolgte eine visuelle Bonitur auf Hitzeschäden (Verbräunungen) an der Fruchtschale. Neben dem reinen Hitzeschaden wurde zusätzlich zwischen leichten, mittleren (**Abb. 8**) und schweren (**Abb. 9**) Schalenschäden unterschieden.

### 4.4. Stielverbräunungen und Pilzbefall der Stiele

Zusätzlich zur Ermittlung der Schäden an der Fruchtschale wurde im Versuch 2015 zur Ermittlung der Hitzempfindlichkeit, wie auch im Versuch zur Wirksamkeit der Heißwasserbehandlung in 2016, eine zusätzliche Qualitätsbonitur der Fruchtsiele durchgeführt. Die Stiele wurden dazu in die Klassen grüner Stiel, teilbrauner Stiel, brauner Stiel, teilbrauner Stiel mit Pilzbefall und brauner Stiel mit Pilzbefall eingeteilt.



**Abb. 8** Mittelstarker Schalenschaden durch Hitzeeinwirkung an einer 'Elstar'-Frucht.  
(Foto: Holthusen, 2015)



**Abb. 9** Starker Schalenschaden durch Hitzeeinwirkung an einer 'Elstar'-Frucht.  
(Foto: Holthusen, 2015)

#### 4.5. Statistische Verrechnung der Boniturdaten

Die statistische Verrechnung erfolgte mit dem Programm R 3.5.1 (R Core Team, 2017) und der Programmoberfläche RStudio 1.1.456 (RStudio Team, 2016). Für die Berechnung binomial verteilte Fehler mit dem verallgemeinerten linearen Modell wurde die Prozedur *glm* aus dem Paket „stats“ genutzt. Zum multiplen Vergleich der Mittelwerte erfolgte im Anschluss der Tukey post-hoc Test bei einem Signifikanzniveau von  $\alpha < 0,05$ . Anwendung fand die Prozedur *glht* aus dem Paket „multcomp“.

### 5. Energetische Untersuchungen der unterschiedlichen Heißwasserbehandlungsmethoden

#### 5.1. Vergleich des Energiebedarfs der kurzzeitige Heißwasserbehandlung (HWR) mit dem Heißwassertauchen (HWD)

Die Beurteilung des Energiebedarfs einer Heißwasserbehandlung von Äpfeln stellt einen zentralen Punkt für die Beurteilung des gesamten Verfahrens dar. Vergleichsmessungen der kurzzeitigen Heißwasserbehandlung (HWR) mit der konventionellen Tauchmethode (HWD) wurden in einer isolierten, mit 325 l Wasser gefüllten Tauchwanne mit permanenter Zirkulation durchgeführt. Temperaturmessungen des Wassers erfolgten an zwei Punkten in etwa 15 cm Tauchtiefe. Die Messungen erfolgten über 60 bzw. 180 Sekunden in Abstand von einer halben Sekunde mit einem testo 735 Temperatur-Messgerät (Testo AG, Lenzkirch, Deutschland) mit zwei Messfühlern (testo PT-100 Laborfühler [T1] und testo NTC Funkfühler [T2]). Die Ausgangstemperaturen des Wassers waren 50, 56 und 58 °C. Es wurde jeweils die Temperaturveränderung des Wassers ohne zusätzliche Maßnahmen, nach komplettem Eintauchen einer gekühlten Kunststoffkiste (Temperatur 2 °C) bzw. nach komplettem Eintauchen einer mit 15 kg Äpfeln der Sorte 'Red Jonaprince' (Temperatur 2 °C) gefüllten Kunststoffkiste in fünffacher Wiederholung ermittelt (**Tab. 8**).

**Tab. 8** Varianten zur Ermittlung der Temperaturveränderung von 320 l Wasser im isolierten Tauchbecken durch Zugabe von Kunststoffkisten und 15 kg Äpfeln der Sorte ‘Red Jonaprince’.

Variante	Kunststoff- kiste [T = 2 °C]	‘Red Jonaprince’ [T = 2 °C]	Messzyklus [Sek.]	Ausgangs- temperatur [°C]	Tauchzeit [Sek.]
Wanne 50-180	--	--	180	50	--
WanneK 50-180	x	--	180	50	180
WanneKA 50-180	x	x	180	50	180
Wanne 56-20	--	--	60	56	--
WanneK 56-20	x	--	60	56	20
WanneKA 56-20	x	x	60	56	20
Wanne 56-30	--	--	60	56	--
WanneK 56-30	x	--	60	56	30
WanneKA 56-30	x	x	60	56	30
Wanne 58-20	--	--	60	58	--
WanneK 58-20	x	--	60	58	20
WanneKA 58-20	x	x	60	58	20
Wanne 58-30	--	--	60	58	--
WanneK 58-30	x	--	60	58	30
WanneKA 58-30	x	x	60	58	30

## 5.2. Untersuchungen zum Energiebedarf des HWR-Geräts Typ Palm Systems

Zur Einschätzung der Energieaufnahme der Äpfel wurde im Spätherbst 2016 beim HWR-Gerät Typ Palm Systems der Dieselverbrauch der Anlage bei einer konstanten Wassertemperatur von 55 °C gemessen. Die Messintervalle waren jeweils 30 Minuten und es erfolgten vier Messungen im Leerlauf der Anlage (ohne Äpfel) und vier weitere Messung unter Last, d. h. beim Durchsatz von etwa 5 bis 6 t gekühlter Äpfel h<sup>-1</sup>. Daraus ließ sich in einem weiteren Schritt die benötigte Energiemenge zur Aufrechterhaltung der Temperatur im Leerlauf, wie auch die durch die Äpfel aufgenommene Energiemenge, ermitteln.

### Ergebnisse der durchgeführten Untersuchungen

#### 1. Versuche zur Wirksamkeit kurzzeitiger Heißwasserbehandlung (HWR) bei ‘Elstar’ und ‘Ingrid Marie’

##### 1.1. Reifeparameter

Die wiederholte Bestimmung verschiedener Reifeparameter ergab sowohl bei der Sorte ‘Elstar’, als auch bei der Sorte ‘Ingrid Marie’ keinen signifikanten Einfluss einer Heißwasserbehandlung (HWT) auf die untersuchten Reifeparameter. Exemplarisch ist der Reifeparameter Fruchtfleischfestigkeit für das Versuchsjahr 2014 dargestellt (**Tab. 9** und **10**). Unabhängig von der HWT nahm die Fruchtfleischfestigkeit mit zunehmender Lagerdauer ab. Die Abnahme war bei Kühlhaus-Lagerung deutlich stärker ausgeprägt. Sowohl zum Zeitpunkt

T2 als auch zum Zeitpunkt T3 war die Fruchtfleischfestigkeit der im ULO-Lager gelagerten Früchte signifikant höher. Ein Einfluss der HWT war dagegen nicht erkennbar.

**Tab. 9** Fruchtfleischfestigkeit der Sorte ‘Elstar‘ (Mischprobe der Feldbehandlungsvarianten ‘ohne Fungizide‘, ‘Captan‘ und ‘Spritzfolge‘) nach Heißwasserbehandlung und anschließender Kühl- bzw. ULO-Lagerung an drei aufeinander folgenden Auswertungsterminen.

HWT [Temp. (°C) -Dauer (Sek.)]	Lagerung	Festigkeit T1 [kg cm <sup>-1</sup> ]	Festigkeit T2 [kg cm <sup>-1</sup> ]	Festigkeit T3 [kg cm <sup>-1</sup> ]
--	Kühl		3,61	3,25
52-180	Kühl		3,58	3,28
55-25	Kühl		3,58	3,28
55-35	Kühl		3,65	3,31
58-25	Kühl	4,80	3,49	3,29
60-25	Kühl		3,74	3,43
--	ULO		4,31	4,41
55-25	ULO		4,16	4,42

HWT = Heißwasserbehandlung; T1 = 07.11.2014; T2 = 26.01.2014; T3 = 08.04.2015

**Tab. 10** Fruchtfleischfestigkeit der Sorte ‘Ingrid Marie‘, Herkunft Aarslev, Dänemark nach Heißwasserbehandlung und anschließender Kühl Lagerung an drei aufeinander folgenden Auswertungsterminen.

HWT [Temp. (°C) -Dauer (Sek.)]	Lagerung	Festigkeit T1 [kg cm <sup>-1</sup> ]	Festigkeit T2 [kg cm <sup>-1</sup> ]	Festigkeit T3 [kg cm <sup>-1</sup> ]
--	Kühl		4,29	3,86
52-180	Kühl		4,26	3,68
55-25	Kühl		4,36	3,70
55-35	Kühl	5,48	4,15	3,73
58-25	Kühl		4,18	3,70
60-25	Kühl		4,32	3,74

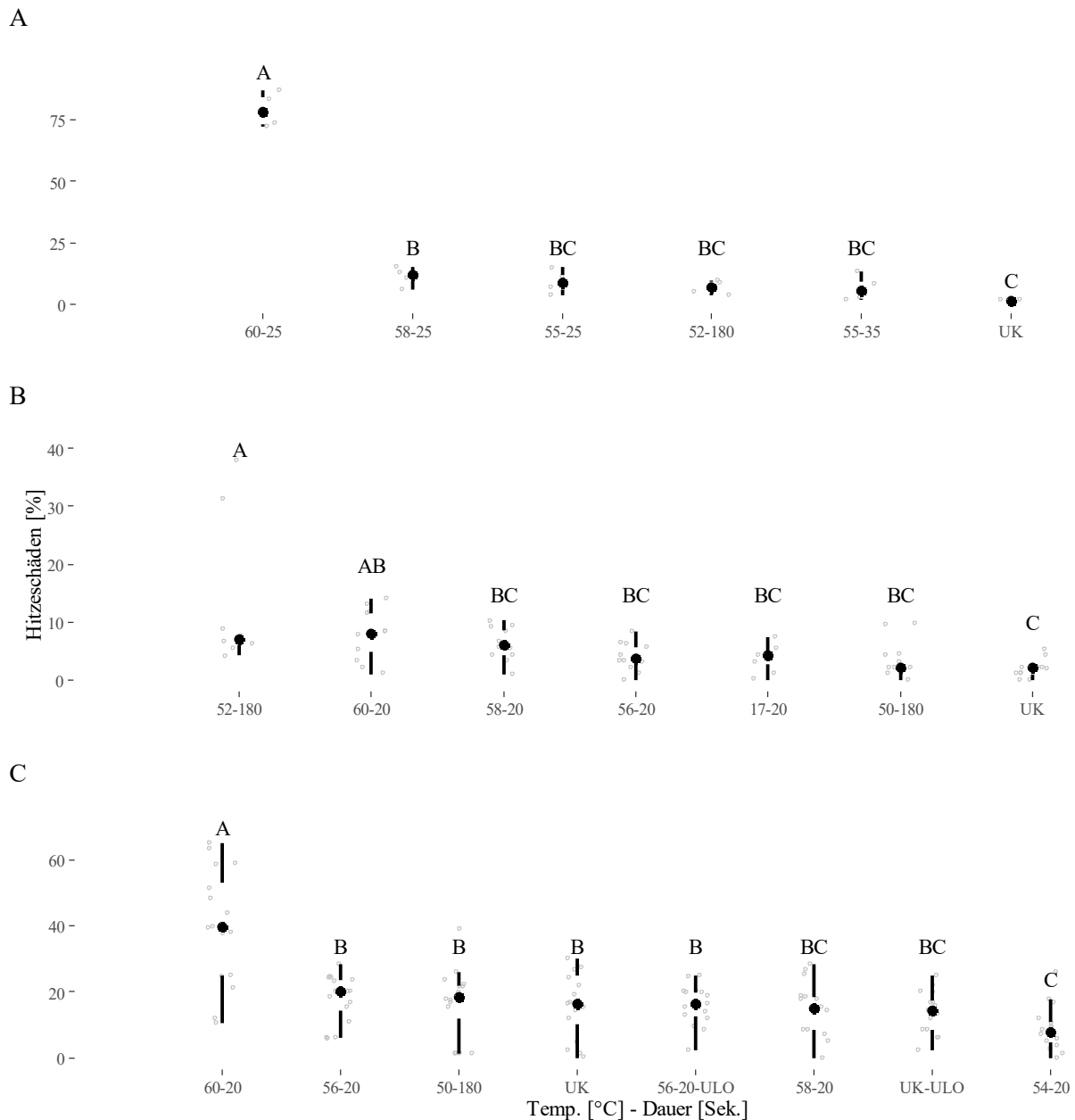
HWT = Heißwasserbehandlung; T1 = 07.11.2014; T2 = 26.01.2014; T3 = 08.04.2015

## 1.2. Hitzeschäden an der Fruchtschale

Hitzeschäden an der Fruchtschale traten nicht in allen Jahren in demselben Maße auf. Generell zeigten sich Hitzeschäden in stärkerem Maße mit zunehmender Temperatur. Wiederholt entstanden signifikante Hitzeschäden bei Temperaturen von 60 °C schon nach kurzer Einwirkdauer von 20 Sekunden und bei Temperaturen von 52 °C nach 180 Sekunden Einwirkdauer (**Abb. 10**). Erste signifikante Schäden entstanden aber bereits bei Temperaturen von 58 °C und einer Einwirkdauer von 25 Sekunden. Generell wurden in den beiden Versuchsjahren 2014 und 2015 vergleichbare Ergebnisse erzielt. Im Gegensatz dazu traten in 2016 nur sehr geringe Hitzeschäden (<4% geschädigte Früchte) auf. Betrachtete man den absoluten Anteil geschädigter Früchte, kann festgestellt werden, dass zumindest in 2015 Schäden an Früchten des 2. Erntetermins im Vergleich zum 1. Erntetermin deutlicher



ausgeprägt waren (Abb. 10). In 2014 lag der Anteil geschädigter Früchte bei ‘Ingrid Marie‘ gegenüber ‘Elstar‘ etwa doppelt so hoch.

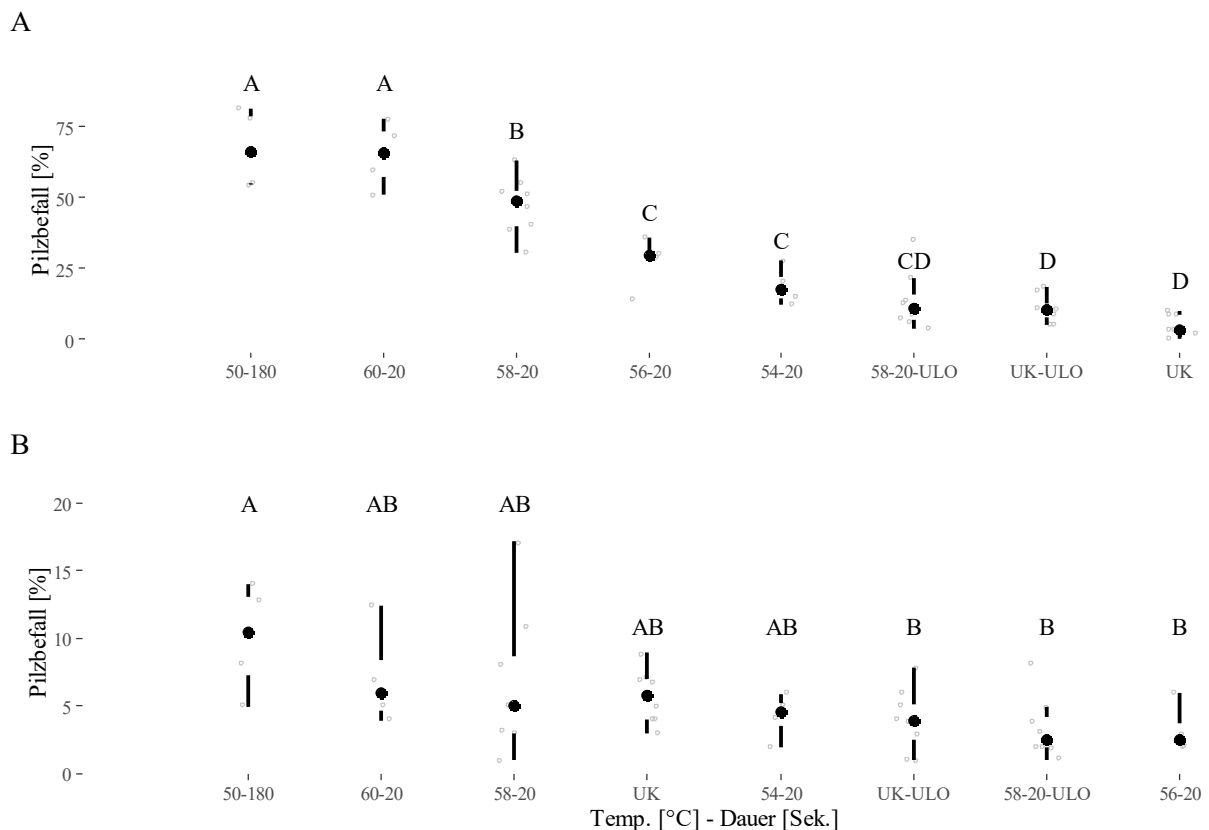


**Abb. 10** Hitzeschäden an der Fruchtschale nach Heißwasserbehandlungen. Schäden an ‘Ingrid Marie‘ im Versuch 2014 (A), an ‘Elstar‘ im Versuch 2015.1 (B) sowie an ‘Elstar‘ und ‘Ingrid Marie‘ im Versuch 2015.2 (C). Die Auswertung auf Hitzeschäden erfolgte drei bzw. vier Monate nach der Behandlung. Buchstaben geben signifikante Unterschiede ( $\alpha < 0,05$ ) nach multiplen Mittelwertvergleichen (Tukey-Test) an. UK = unbehandelte Kontrolle; ULO = ULO-Lagerung; ohne Angabe = Kühlagerung.

### 1.3. Hitzeschäden am Fruchts蒂el

Hitzeschäden am Fruchts蒂el fielen erstmalig nach der Auslagerung der Früchte des Erntejahres 2015 auf. Im Versuch zur Ermittlung der Wirksamkeit von Heißwasserbehandlungen konnten Auswertungen erst an Früchten des Erntejahres 2016 durchgeführt werden. Der Anteil verpilzter Stiele war nach fünfmonatiger Lagerung bei ‘Ingrid Marie‘ verglichen mit der Sorte

‘Elstar‘ deutlich stärker ausgeprägt (**Abb. 11**). Verpilzte Stiele entwickelten sich vorrangig in der Kühllagerung, nicht jedoch bei ULO-Lagerung. Bei der Sorte ‘Ingrid Marie‘ erhöhten alle HWT signifikant den Pilzbefall der Stiele, wobei HWR mit 60 °C warmem Wasser und HWD mit 50 °C warmem Wasser zu signifikant höherem Pilzbefall als alle anderen HWR-Temperaturen führten. Bei der Sorte ‘Elstar‘ wurde der Pilzbefall durch HWD mit 50 °C nur gegenüber den ULO gelagerten Früchten und der HWR mit 56 °C für 20 Sekunden signifikant erhöht (Abb. 11).

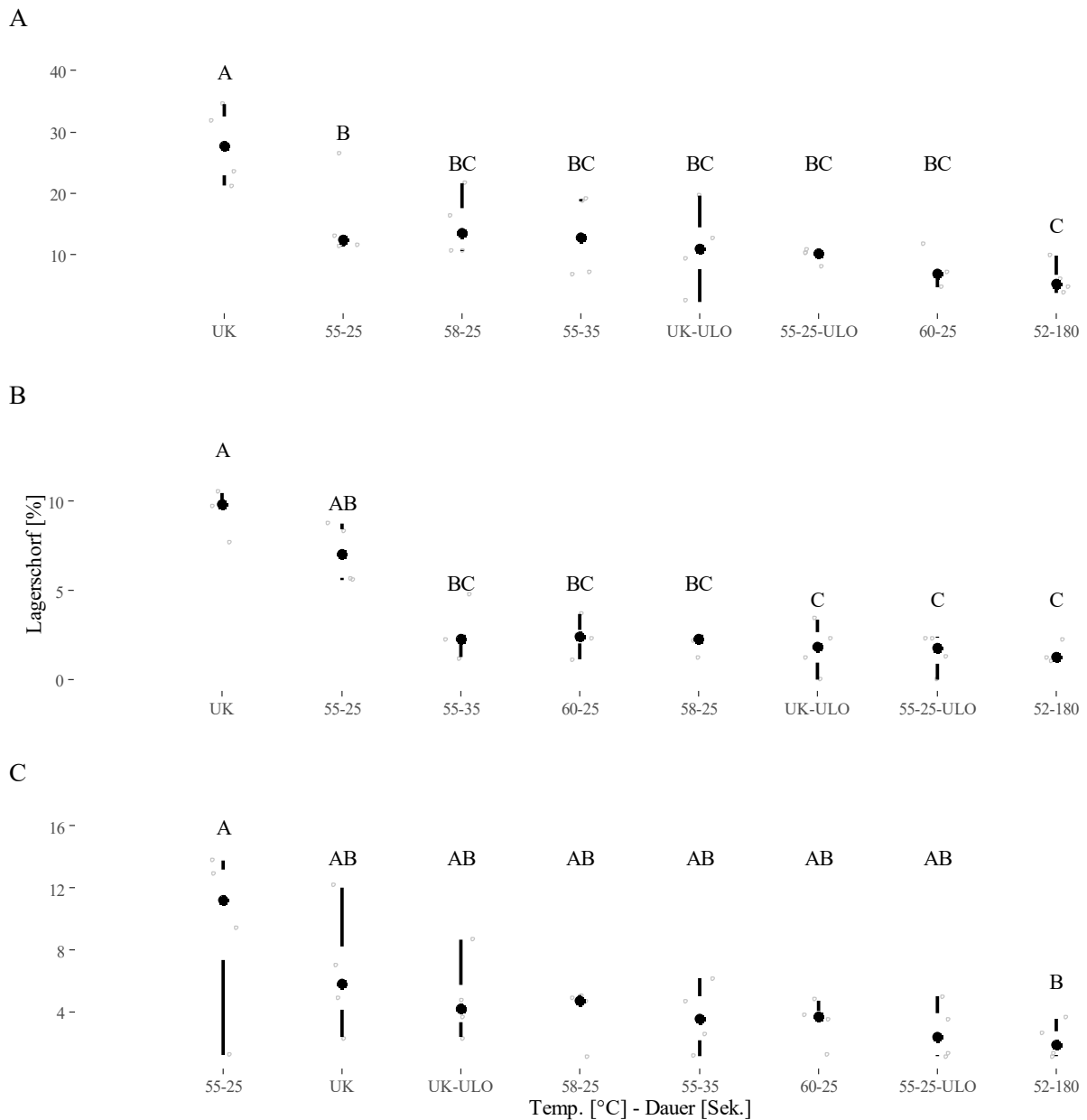


**Abb. 11** Anteil Fruchtstiele mit Pilzbefall nach Heißwasserbehandlung. Schäden an ‘Ingrid Marie‘ (A) und ‘Elstar‘ ohne Fungizide (B) im Versuch 2016. Die Auswertung auf Hitzeschäden erfolgte vier Monate nach der Behandlung. Buchstaben geben signifikante Unterschiede ( $\alpha < 0,05$ ) nach multiplen Mittelwertvergleichen (Tukey-Test) an. UK = unbehandelte Kontrolle; ULO = ULO-Lagerung; ohne Angabe = Kühllagerung.

#### 1.4. Lagerschorf

Lagerschorf (*Venturia inaequalis*) infiziert die Früchte noch in der Obstanlage am Baum. Im Gegensatz zum klassischen Schorfbefall kommt es aber erst während der Lagerphase zur Symptomausprägung. In den Versuchsjahren 2014 und 2015 trat Lagerschorfbefall an den ‘Elstar‘-Früchten auf. Eine HWD bei 52 °C für 180 Sekunden führte unabhängig von der vorausgehenden Feldbehandlung zu einer signifikanten Reduktion des Lagerschorfbefalls im Versuch 2014 (**Abb. 12**). In der Feldbehandlung ‘Spritzfolge‘ war die signifikante Reduktion jedoch nicht gegenüber der unbehandelten Kontrolle feststellbar. In den Feldbehandlungsvarianten ‘ohne Fungizide‘ und ‘Captan‘ waren mit einer Ausnahme alle HWT geeignet den Befall mit Lagerschorf zu reduzieren. In Kombination mit einer sich anschließenden ULO-

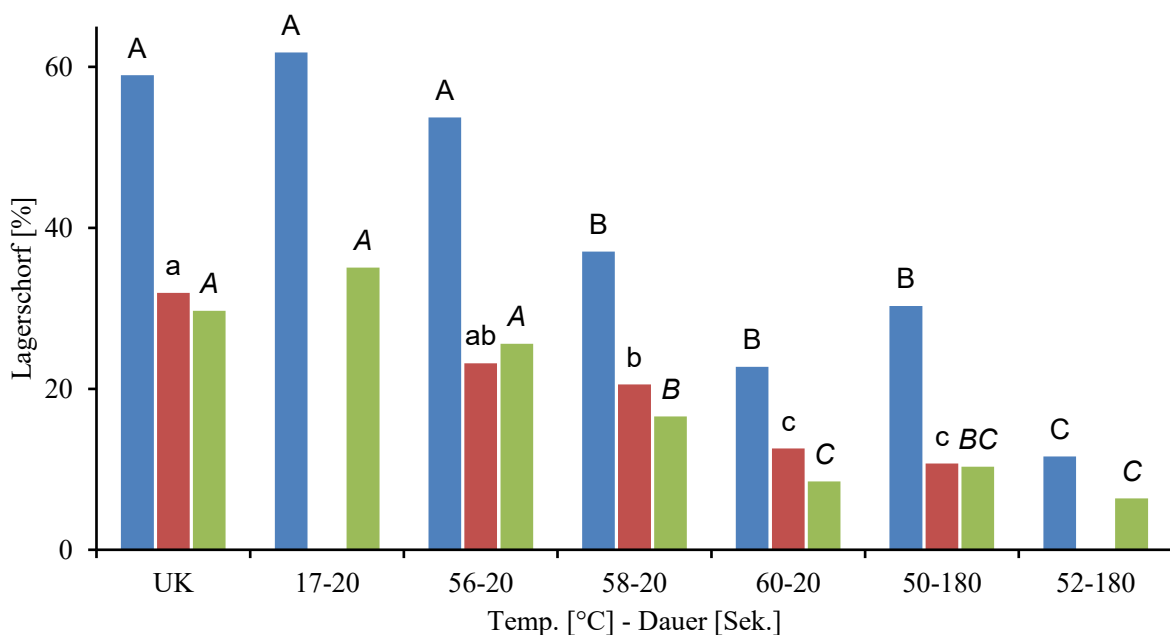
Lagerung führte eine HWT nicht zu einer Reduktion des Lagerschorfbefalls. Generell hatte eine ULO-Lagerung immer eine ähnlich starke Lageschorfreduktion zur Folge wie die beste HWT (Abb. 12).



**Abb. 12** Anteil 'Elstar' mit Lagerschorfbefall nach Heißwasserbehandlung im Versuch 2014. Lagerschorfbefall an Früchten aus den Feldbehandlungsvarianten 'ohne Fungizide' (A), 'Captan' (B) und 'Spritzfolge' (C). Die Auswertung auf Lagerschorf erfolgte drei Monate nach der Behandlung. Buchstaben geben signifikante Unterschiede ( $\alpha < 0,05$ ) nach multiplen Mittelwertvergleichen (Tukey-Test) an. UK = unbehandelte Kontrolle; ULO = ULO-Lagerung; ohne Angabe = Kühlung.

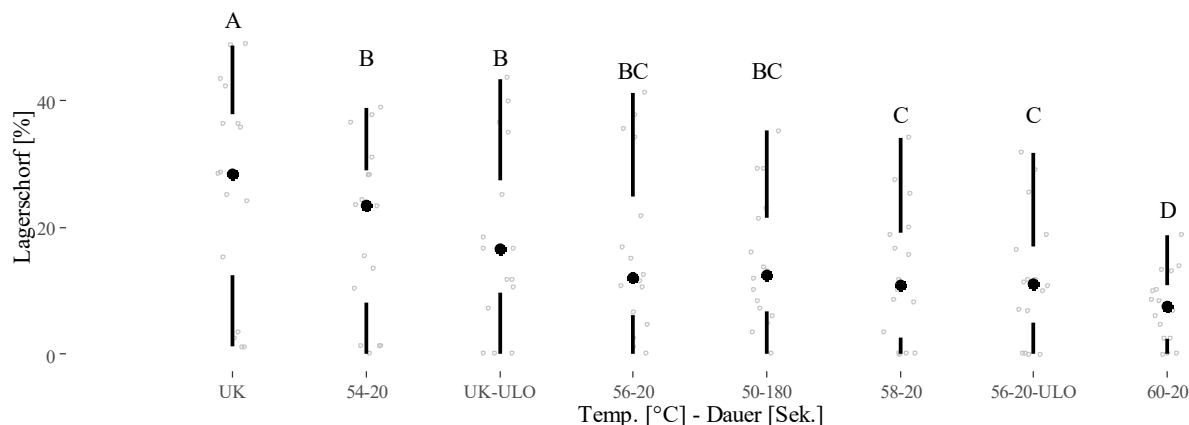
Im Versuch 2015.1 fand die Auswertung auf Lagerschorf vier Monate nach der HWT statt. Das Niveau des Lagerschorfbefalls war primär von den vorausgegangenen Feldbehandlungen abhängig. Etwa 60% der Früchte, die seit Anfang Juli nicht mehr mit Pflanzenschutzmitteln behandelt worden waren, entwickelten während der Lagerung Lagerschorfbefall. Behandlungen im Feld mit captanhaltigen Fungiziden oder mit einer Spritzfolge konnten den

Befall etwa halbieren (**Abb. 13**). Alle HWT mit Ausnahme der HWR mit 56 °C warmem Wasser führten zu einer Reduktion des Lagerschorfbefalls im Vergleich zu nicht mit HWT oder nur kalt (17 °C) behandelten Früchten. Das HWR war bei einer Behandlungsdauer von 20 Sekunden und einer Behandlungstemperatur von 58 oder 60 °C vergleichbar mit dem HWD bei 50 °C für 180 Sekunden. Das HWD bei 52 °C für 180 Sekunden war zumindest bei Früchten aus der Feldvariante ‘ohne Fungizide’ signifikant wirksamer als alle anderer Varianten (Abb. 13). Generell waren die höchsten gewählten Temperaturen, sowohl bei 180- oder auch 20-sekündiger Behandlungsdauer, genauso wirksam oder sogar wirksamer als der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln im Feld. Darüber hinaus wurde eine Zusatzwirkung durch die HWT auch für im Feld mit Pflanzenschutzmitteln behandelte Früchte deutlich. Die Zusatzwirkung zeigte sich ab einer Behandlungstemperatur von 58 °C bei 20-sekündiger Behandlungsdauer und generell beim HWD.



**Abb. 13** Anteil ‘Elstar’ mit Lagerschorfbefall nach Heißwasserbehandlung im Versuch 2015.1. Lagerschorfbefall an Früchten aus den Feldbehandlungsvarianten ‘ohne Fungizide’ (blau), ‘Captan’ (rot) und ‘Spritzzfolge’ (grün). Die Auswertung auf Lagerschorf erfolgte nach viermonatiger Kühlung im Anschluss an die Behandlung. Buchstaben geben signifikante Unterschiede ( $\alpha < 0,05$ ) nach multiplen Mittelwertvergleichen (Tukey-Test) an. UK = unbehandelte Kontrolle.

Eine Auswertung des Lagerschorfbefalls im Versuch 2015.2 zeigte eine signifikante Wirkung aller HWT gegenüber unbehandelten Früchten. Zusätzlich war die HWR bei 58 °C für 20 Sekunden außerdem geeignet den Lagerschorfbefall auch bei ULO-Lagerung signifikant zu reduzieren (**Abb. 14**). Verglichen mit dem Versuch 2015.1 war in diesem Fall die HWR 60 °C für 20 Sekunden außerdem signifikant wirksamer als das HWD bei 50 °C für 180 Sekunden (Abb. 14). Für die HWR konnte in beiden Versuchen 2015.1 und 2015.2 mit steigender Temperatur eine signifikante Zunahme der Wirksamkeit gegen Lagerschorf festgestellt werden, solange die Behandlungsdauer vergleichbar war.

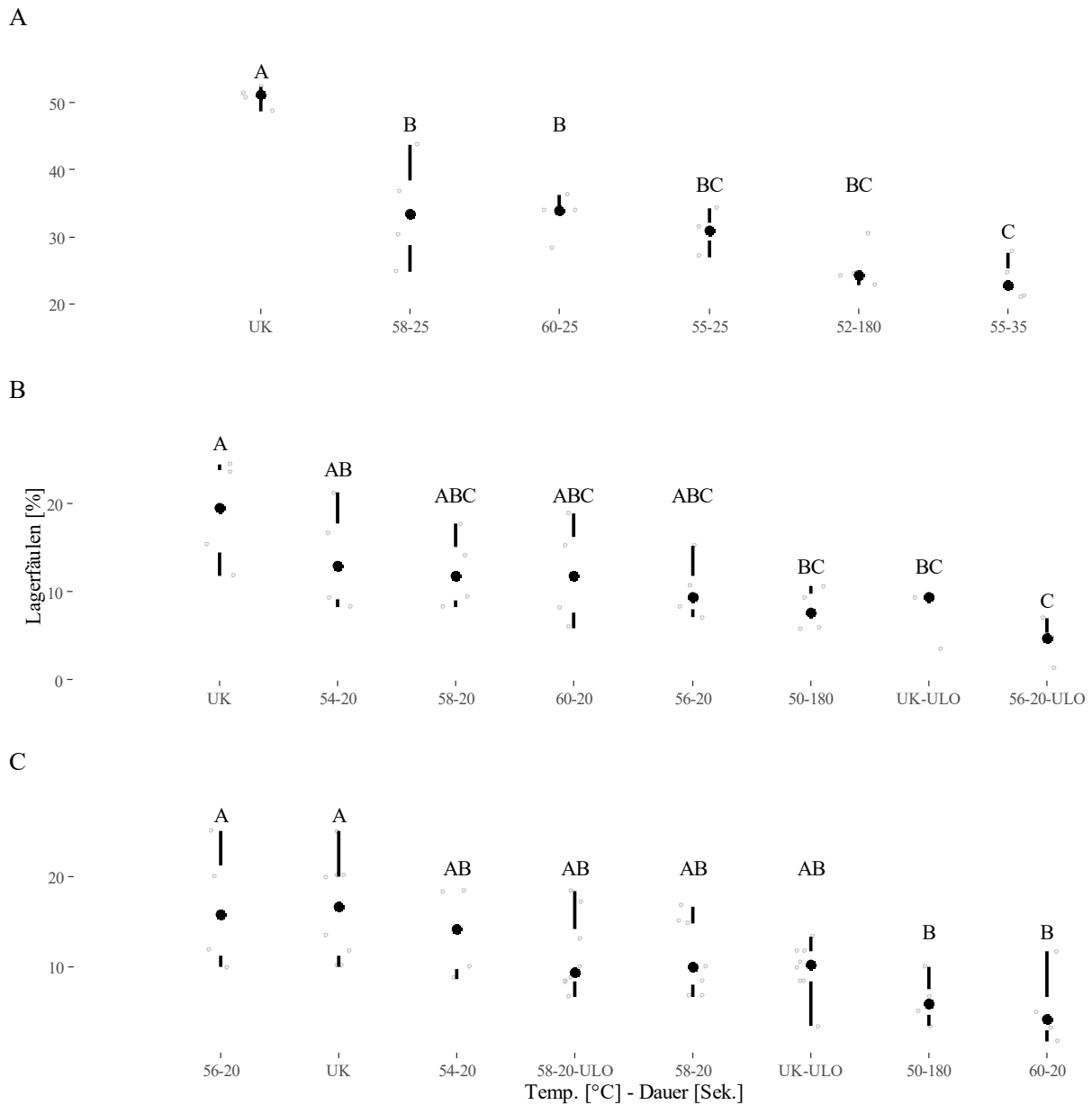


**Abb. 14** Anteil Äpfel mit Lagerschorfbefall nach Heißwasserbehandlung im Versuch 2015.2. Gemittelter Lagerschorfbefall an Früchten aus den Feldbehandlungsvarianten ‘ohne Fungizide’, ‘Captan’ und ‘Spritzfolge’ (alles ‘Elstar’) und ökologische Produktionsweise (‘Ingrid Marie’). Die Auswertung auf Lagerschorf erfolgte vier Monate nach der Behandlung. Buchstaben geben signifikante Unterschiede ( $\alpha < 0,05$ ) nach multiplen Mittelwertvergleichen (Tukey-Test) an. UK = unbehandelte Kontrolle; ULO = ULO-Lagerung; ohne Angabe = Kühlagerung.

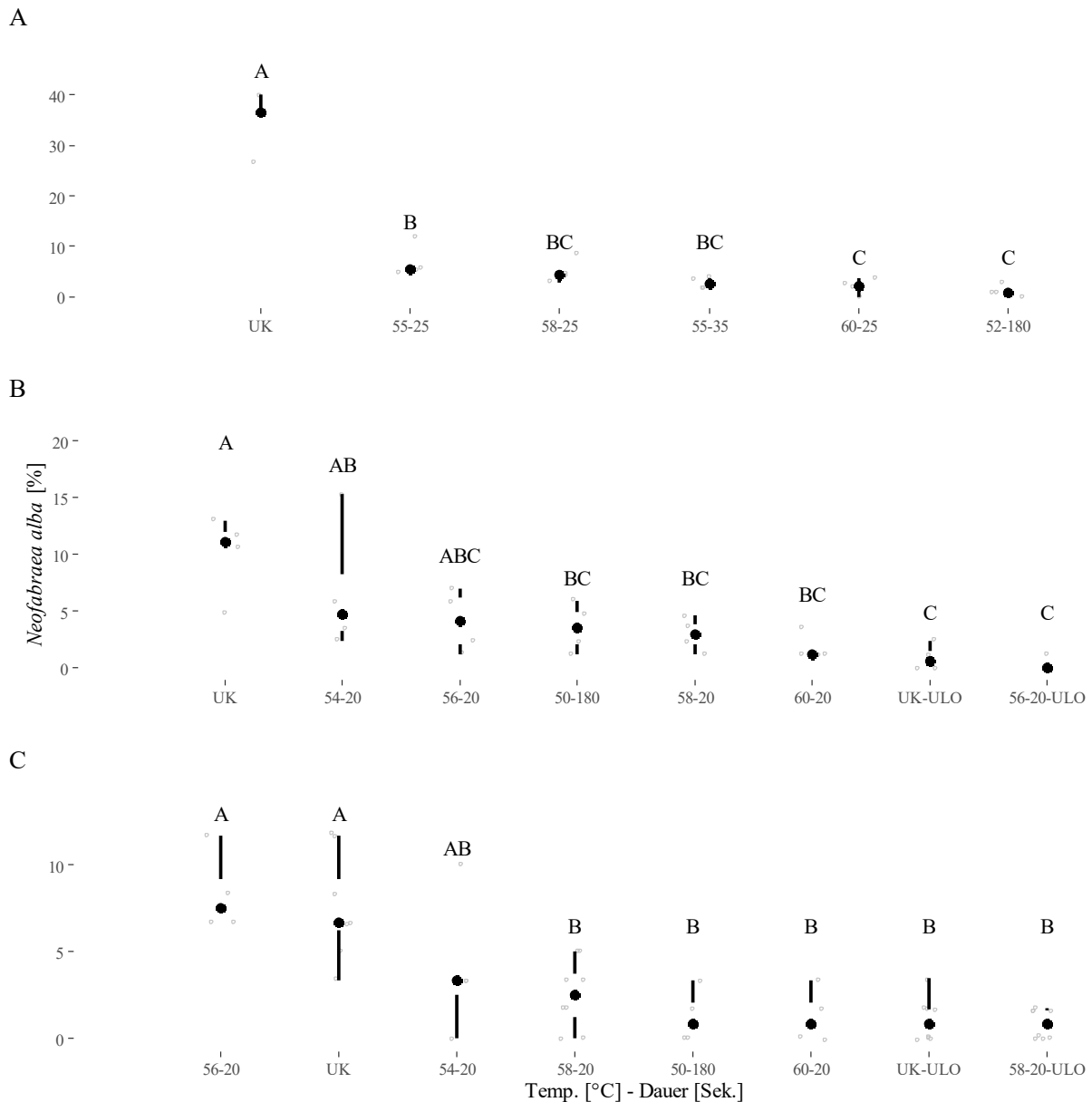
### 1.5. Lagerfäulen

Die Reduktion von Lagerfäulen ist der ursächliche Grund für den Einsatz von HWT-Technologien. In den drei Projektjahren wurden jeweils Früchte mit vier unterschiedlichen Vorbehandlungen mit Pflanzenschutzmitteln im Feld verwendet. Die ökologisch produzierten ‘Ingrid Marie’ stammten in allen Jahren aus derselben Obstanlage in Aarslev, Dänemark und hatten in allen drei Jahren nach einer bis zu 5-monatigen Lagerung einen signifikanten Befall mit Lagerfäulen vorzuweisen., der je nach Jahr zwischen 15 und 50% lag (Abb. 15). HWT waren im allgemeinen geeignet den Anteil faulender Früchte zum Zeitpunkt der Auslagerung signifikant zu reduzieren. Im Jahr 2014 reduzierten alle untersuchten HWT den Fäulnisbefall signifikant. Im Jahr 2015 traf dies nur für das HWD bei 50 °C für 180 Sekunden, nicht aber für die untersuchten HWR zu. In 2016 wurde der Fäulnisbefall wiederum durch das HWD, zusätzlich aber auch durch HWR bei 60 °C für 20 Sekunden signifikant reduziert. Wurden die Früchte statt im Kühlager im ULO-Lager gelagert, führte diese Lagermethode ebenfalls zu signifikant niedrigeren Fäulnisverlusten (Abb. 15).

Im Falle der Sorte ‘Ingrid Marie’ wurde der wesentliche Anteil der Fäulnisverluste durch Infektionen mit dem Pilz *Neofabraea alba* verursacht. Wurde nur die Wirkung der HWT auf durch den Erreger *Neofabraea alba* verursachte Fäulnis beurteilt, zeigte sich die Wirkung der Technologie deutlich. Bei einem sehr hohen Befallsniveau von knapp 40% in der unbehandelten Kontrolle konnten alle HWTs den Befall signifikant reduzieren. Auch in den beiden weiteren Versuchen 2015.2 und 2016 waren die meisten getesteten Varianten geeignet Fäulnisbefall zu reduzieren, nicht jedoch die HWRs mit 54 oder 56 °C warmem Wasser für 20 Sekunden. Kam im Vergleich zur Kühlagerung auch ULO-Lagerung zum Einsatz, so führte dies auch immer zu einer signifikanten Reduktion des Fäulnisbefalls; eine Zusatzwirkung der HWR war dann hingegen nicht gegeben (Abb. 16). Die Differenzen zwischen dem generellen Lagerfäulenbefall und dem Befall mit *Neofabraea alba* entstand durch weiteren, zufälligen Fäulnisbefall mit anderen, eher sporadisch auftretenden, Erregern.



**Abb. 15** Anteil ökologisch produzierter ‘Ingrid Marie’ mit Lagerfäulenbefall nach Heißwasserbehandlung in drei Jahren. Fäulnisbefall an Früchten aus den Versuchen 2014 (A), 2015.2 (B) und 2016 (C). Es erfolgten zwei kumulierte Auswertungen auf Lagerfäulen etwa 2,5 und 4,5 Monate nach der Durchführung der Heißwasserbehandlung. Buchstaben geben signifikante Unterschiede ( $\alpha < 0,05$ ) nach multiplen Mittelwertvergleichen (Tukey-Test) an. UK = unbehandelte Kontrolle; ULO = ULO-Lagerung; ohne Angabe = Kühlagerung.

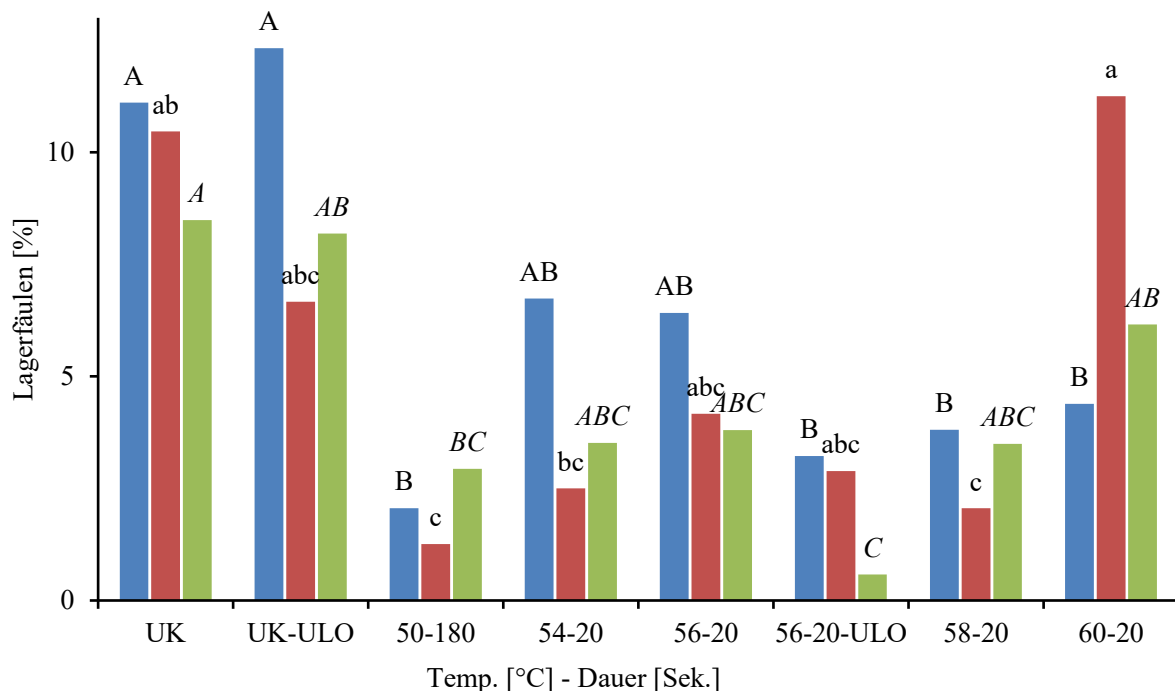


**Abb. 16** Anteil ökologisch produzierter ‘Ingrid Marie‘ mit Befall durch *Neofabraea alba* nach Heißwasserbehandlung in drei Jahren. Befall an Früchten aus den Versuchen 2014 (A), 2015.2 (B) und 2016 (C). Es erfolgten zwei kumulierte Auswertungen etwa 2,5 und 4,5 Monate nach der Durchführung der Heißwasserbehandlung. Buchstaben geben signifikante Unterschiede ( $\alpha < 0,05$ ) nach multiplen Mittelwertvergleichen (Tukey-Test) an. UK = unbehandelte Kontrolle; ULO = ULO-Lagerung; ohne Angabe = Kühl Lagerung.

An ‘Elstar‘ trat in den drei Feldbehandlungsvarianten ‘ohne Fungizide‘, ‘Captan‘ und ‘Spritzzfolge‘ in allen drei Jahren ebenfalls in gewissem Umfang Fäulnisbefall auf. Im Versuch 2016 lag der Befall mit Lagerfäulen in allen Feldbehandlungsvarianten unter 4% und es ergaben sich keine Unterschiede zwischen unbehandelten und mit HWT behandelten Früchten. Im Versuch 2015.1 lag der Befall mit Lagerfäulen nach der zweiten Auswertung zwischen 9,4% (‘ohne Fungizide‘) und 3,2% (‘Spritzzfolge‘). Ein Einfluss der HWT auf den Befall war nicht gegeben. Im Versuch 2014 lag der Befall mit Lagerfäulen nach zwei Auswertungen zwischen etwa 20% (‘ohne Fungizide‘ und ‘Captan‘) und etwa 15% (‘Spritzzfolge‘). Es konnte keine signifikante Reduktion des Fäulnisbefalls durch die HWT

festgestellt werden. In Verbindung mit einer ULO-Lagerung konnte die HWR bei 55 °C für 25 Sekunden aber zumindest in den Varianten ‘ohne Fungizide’ und ‘Spritzfolge’ den Befall signifikant reduzieren. Auch wenn keine generelle Reduktion des Fäulnisbefalls erreicht wurde, ließ sich in allen drei Feldvarianten der Befall mit *Neofabraea perennans* durch eine HWD bei 52 °C für 180 Sekunden signifikant reduzieren. Dieser positive Effekt wurde aber durch einen teilweise signifikant erhöhten Befall mit *Penicillium expansum* aufgehoben.

Nur im Versuch 2015.2 konnte an ‘Elstar’ auch für die drei Feldbehandlungsvarianten eine Reduktion des Fäulnisbefalls durch eine HWT festgestellt werden. Der Befall mit Lagerfäulen lag in allen drei Feldvarianten, unabhängig von der Art der Lagerung, nach zwei Auswertungsterminen bei etwa 10%. Eine signifikante Reduktion des Fäulnisbefalls wurde vorrangig durch eine HWD bei 50 °C für 180 Sekunden erreicht, aber auch durch eine HWR mit 58 °C für 20 Sekunden. Wurden die Früchte zusätzlich im ULO-Lager aufbewahrt, war bereits eine HWR mit 56 °C für 20 Sekunden wirksam. Durch diese drei HWTs konnte der Fäulnisbefall um 50 bis 90% reduziert werden (**Abb. 17**).

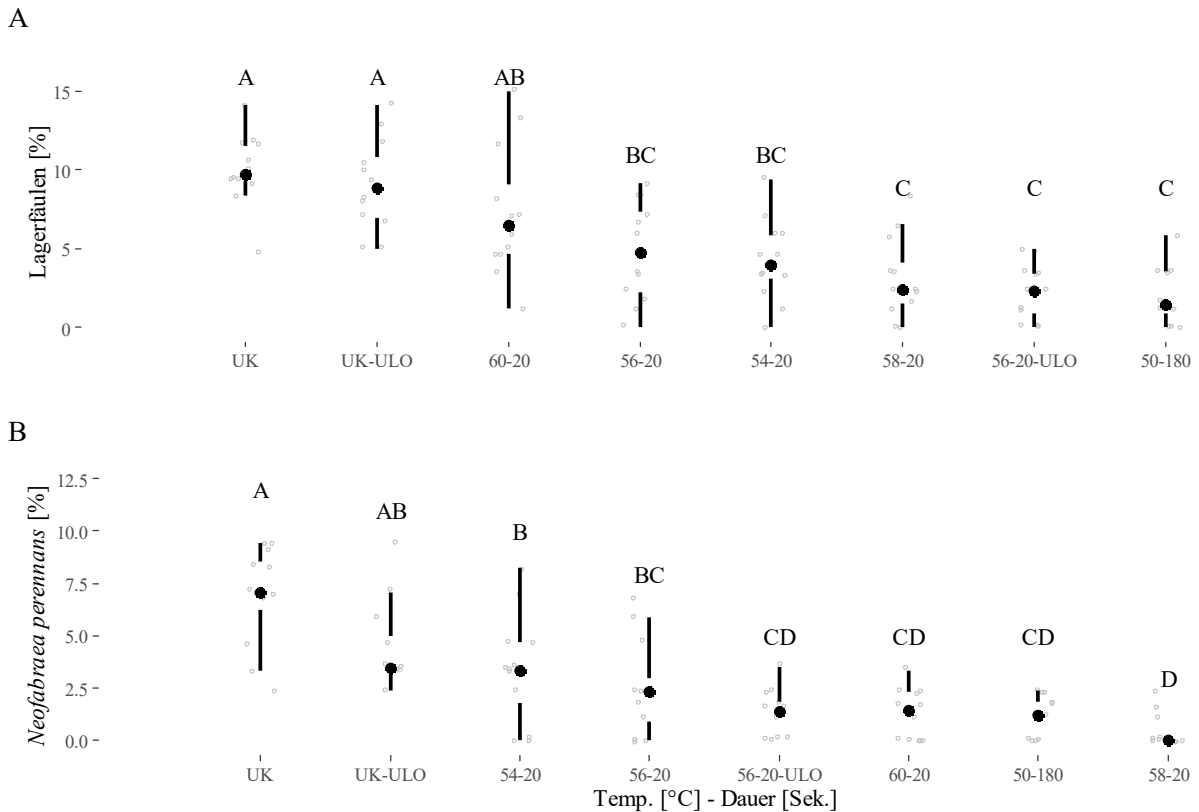


**Abb. 17** Anteil ‘Elstar’ mit Lagerfäulenbefall nach Heißwasserbehandlung im Versuch 2015.2. Lagerfäulenbefall an Früchten aus den Feldbehandlungsvarianten ‘ohne Fungizide’ (blau), ‘Captan’ (rot) und ‘Spritzfolge’ (grün). Zwei kumulierte Auswertungen auf Lagerfäulen 2,5 und 4,5 Monate nach der Durchführung der Behandlung. Buchstaben geben signifikante Unterschiede ( $\alpha < 0,05$ ) nach multiplen Mittelwertvergleichen (Tukey-Test) an. UK = unbehandelte Kontrolle; ULO = ULO-Lagerung; ohne Angabe = Kühlagerung.

Für den Versuch 2015.2 ergibt die Auswertung des über die drei Feldbehandlungsvarianten in ‘Elstar’ gemittelten Lagerfäulnisbefall eine signifikante Wirkung aller HWT-Maßnahmen mit Ausnahme der HWR bei 60 °C für 20 Sekunden (**Abb. 18**). Hinsichtlich der reduzierenden Wirkung auf den gemittelten Befall mit *Neofabraea perennans* ist ebenfalls eine Wirkung aller HWT-Maßnahmen erkennbar, jedoch ist eine signifikante Zunahme der Wirksamkeit



von HWR 54 °C über 56 °C zu 58 °C bei 20-sekündiger Behandlung erkennbar. Eine Steigerung der Temperatur auf 60 °C führte hingegen nicht zu einer Steigerung der Wirksamkeit. Die HWR bei 58 °C für 20 Sekunden war mit dem HWD-Verfahren bei 50 °C für 180 Sekunden vergleichbar (Abb. 18).



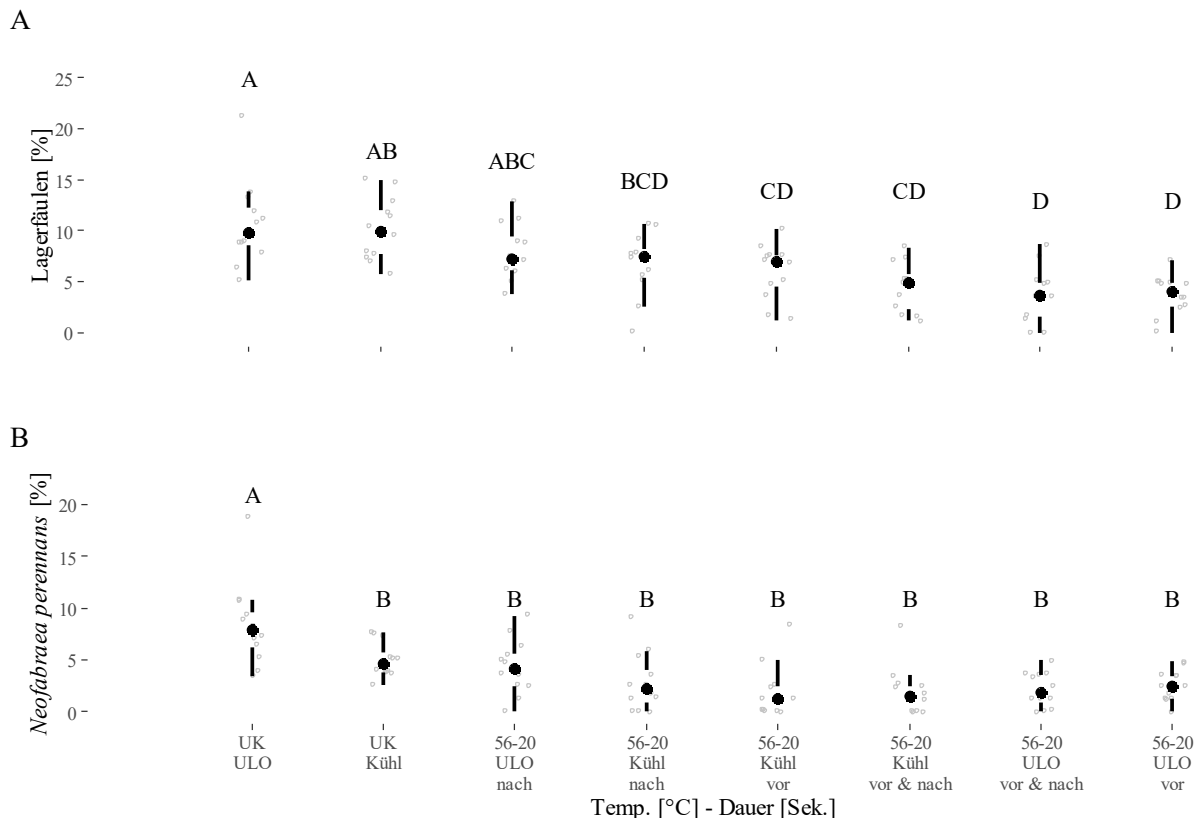
**Abb. 18** Lagerfäulnisbefall (A) und Befall mit *Neofabraea perennans* (B) Heißwasserbehandlung im Versuch 2015.2. Gemittelter Befall an Früchten aus den Feldbehandlungsvarianten ‘ohne Fungizide’, ‘Captan’ und ‘Spritzfolge’ (alles ‘Elstar’). Die Auswertung auf Fäulnisbefall und -erreger erfolgte vier Monate nach der Behandlung. Buchstaben geben signifikante Unterschiede ( $\alpha < 0,05$ ) nach multiplen Mittelwertvergleichen (Tukey-Test) an. UK = unbehandelte Kontrolle; ULO = ULO-Lagerung; ohne Angabe = Kühlagerung.

## 2. Einfluss einer Heißwasserbehandlung nach der Auslagerung auf die Entwicklung von Lagerfäulnis in der Nachlagerphase

Durch eine sich an die 5-monatige Lagerung im Kühl- oder ULO-Lager sowie anschließende Nachlagerung sollte überprüft werden, inwieweit eine HWT nach Ende der regulären Lagerungsdauer die Qualität der Früchte im Einzelhandel und beim Verbraucher („Shelf-life“) positiv beeinflussen kann. In die Auswertung wurden nur Früchte einbezogen, die nach 5-monatiger Kühl- bzw. ULO-Lagerung frei von Lagerfäulesymptomen geblieben sind. Die Auswertung erfolgte nach einer 6- bis 8-wöchigen Nachlagerperiode im Kühlager bei 2 °C, wodurch das „Shelf-life“ simuliert werden sollte.

Im Versuch 2014 war für ‘Elstar’-Früchte kein Nutzen einer HWT im Anschluss an die reguläre Lagerung erkennbar. Dieses Ergebnis wurde unabhängig von den vorhergehenden Feldbehandlungen (‘ohne Fungizide’, ‘Captan’ und ‘Spritzfolge’)/ Lagerungsmethode (Kühl- oder ULO-Lagerung) erzielt. Die Auswertung des Versuchs 2015.2 für ‘Elstar’-Früchte zeigte

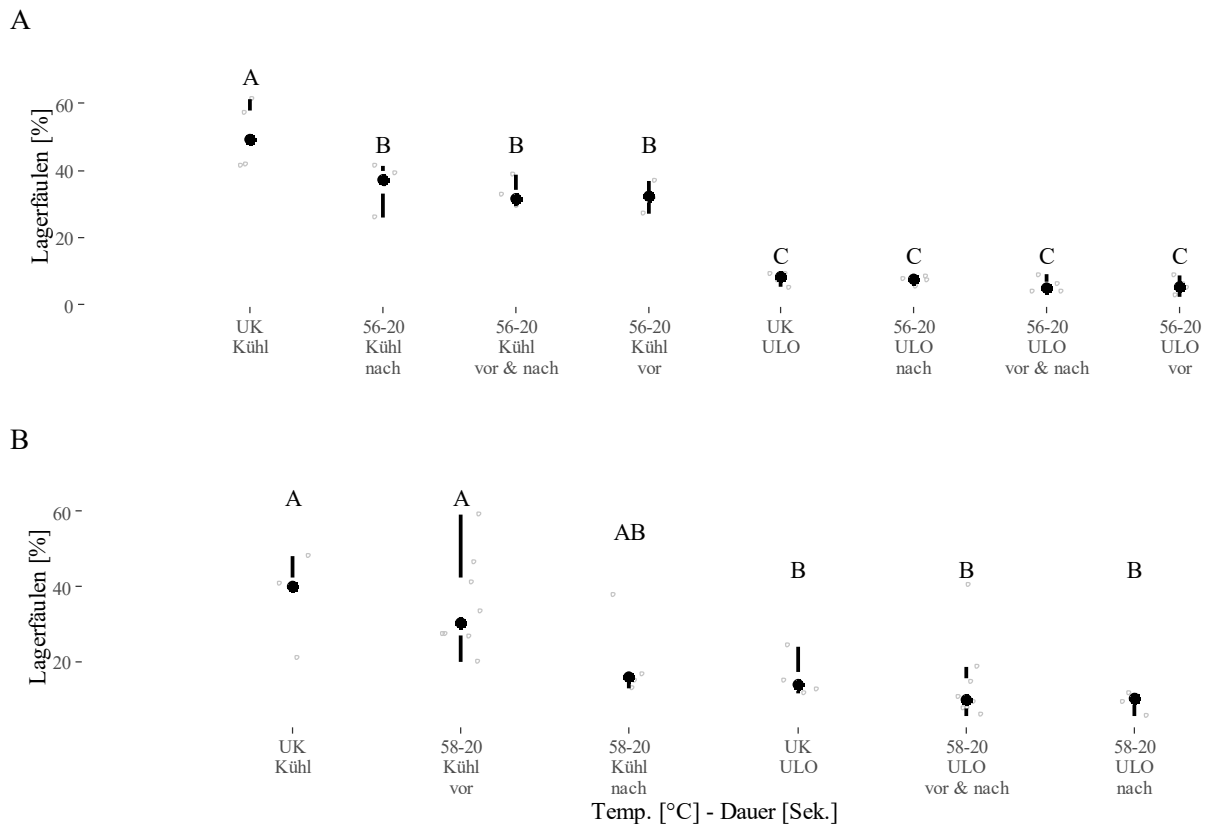
im Gegensatz dazu einen signifikanten Einfluss einer HWT nach Auslagerung auf die Reduktion der Lagerfäulnis (Abb. 19). Zwar konnte durch eine doppelte HWT vor und nach der Auslagerung kein Zusatznutzen erzielt werden, eine HWT vor der Einlagerung wirkte sich aber auch noch in der Nachlagerung positiv aus. Auch eine HWT nach der Auslagerung war wirksam, nicht auf den Gesamtbefall mit Lagerfäulen, aber zumindest auf den Befall mit *Neofabraea perennans*, soweit die Früchte vorher im ULO-Lager gelagert worden waren (Abb. 19). Im Versuch 2016 trat auch in der Nachlagerungsphase kein nennenswerter Fäulnisbefall auf.



**Abb. 19** Lagerfäulnisbefall (A) und Befall durch *Neofabraea perennans* (B) in 'Elstar' im Versuch 2015.2 nach 6-wöchiger Nachlagerung im Kühllager nach der Auslagerung aus einer 5-monatigen Lagerung im Kühl- oder ULO-Lager. Gemittelter Befall aus den Feldbehandlungsvarianten 'ohne Fungizide', 'Captan' und 'Spritzfolge'. Buchstaben geben signifikante Unterschiede ( $\alpha < 0,05$ ) nach multiplen Mittelwertvergleichen (Tukey-Test) an. UK = unbehandelte Kontrolle; ULO = ULO-Lagerung; Kühl = Kühllagerung; vor = HWT vor Einlagerung; nach = HWT nach Auslagerung.

Für 'Ingrid Marie'-Früchte zeigten sich in den Versuchen 2015.2 ebenfalls positive Einflüsse einer HWT nach Auslagerung. Dies galt aber ausschließlich für im Kühllager gelagerte Früchte, wobei wiederum ein Zusatznutzen einer Doppelbehandlung vor Einlagerung und nach der Auslagerung nicht erkennbar war. Bei im Vorfeld kühl gelagerten Früchten konnte jedoch eine HWT nach Auslagerung den Lagerfäulenbefall in der Nachlagerung signifikant reduzieren, vergleichbar mit einer HWT vor Einlagerung (Abb. 20). In der Tendenz spiegelt sich die reduzierende Wirkung einer HWT nach der Auslagerung auf den Fäulnisbefall auch im Versuch 2016 wieder. In beiden Versuchen war der maßgebliche Einfluss der

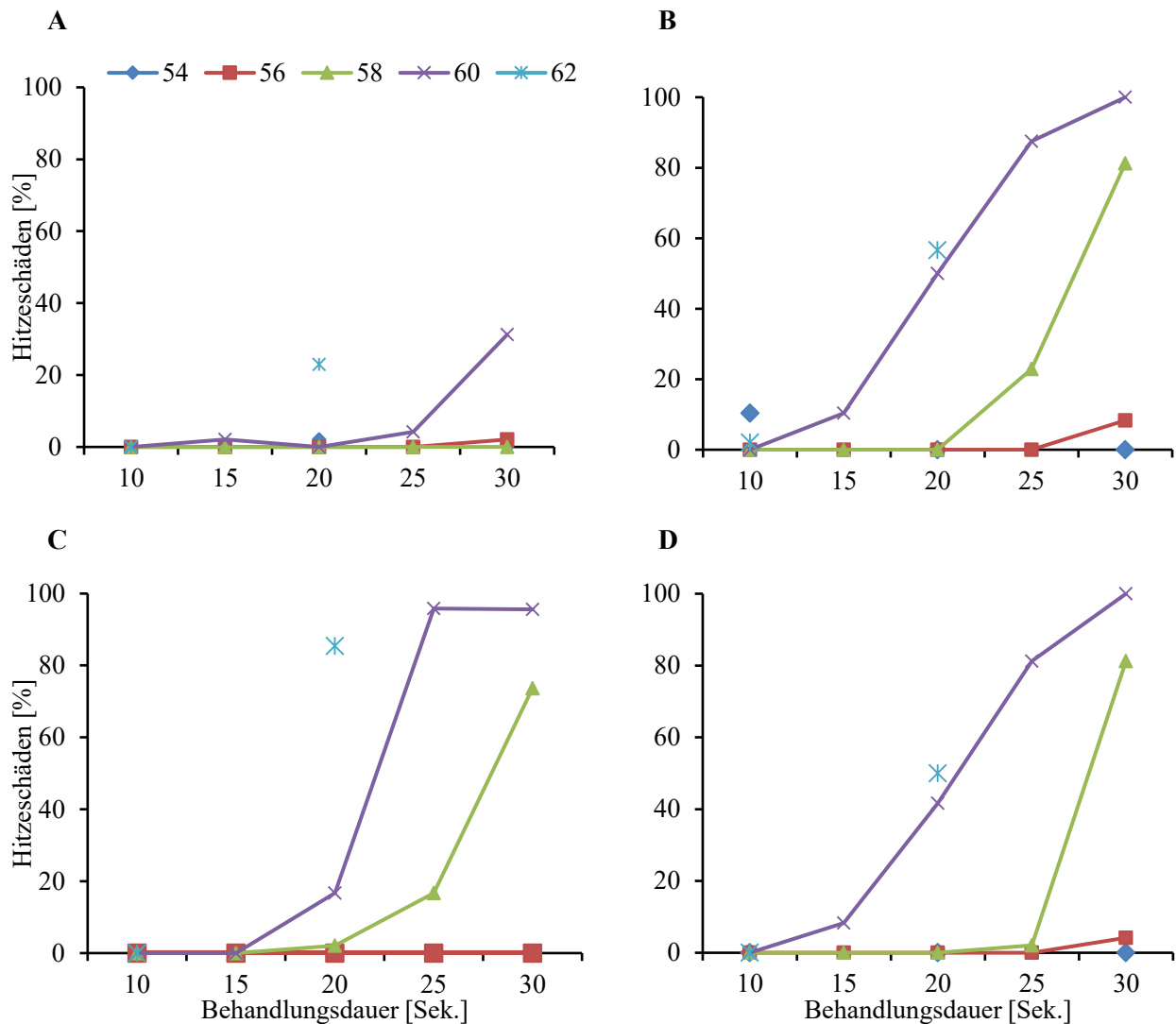
Lagerungsmethode erkennbar. ULO gelagerte Früchte entwickelten auch während der Nachlagerung deutlich weniger Befall mit Lagerfäulen (Abb. 20).



**Abb. 20** Lagerfäulnisbefall in ‘Ingrid Marie’ nach 6 bis 8-wöchiger Nachlagerung im Kühllager nach der Auslagerung aus einer 5-monatigen Lagerung im Kühl- oder ULO-Lager. Befall im Versuch 2015.2 (A) und im Versuch 2016 (B). Buchstaben geben signifikante Unterschiede ( $\alpha < 0,05$ ) nach multiplen Mittelwertvergleichen (Tukey-Test) an. UK = unbehandelte Kontrolle; ULO = ULO-Lagerung; Kühl = Kühllagerung; vor = HWT vor Einlagerung; nach = HWT nach Auslagerung.

### 3. Einfluss einer kurzzeitigen Heißwasserbehandlung auf Hitzeschäden an der Fruchtschale bei vier Apfelsorten

Die Versuche wurden jeweils kurz nach der Ernte durchgeführt. Die Frucht reife war zu diesem Zeitpunkt nur unwesentlich fortgeschritten und die Früchte prinzipiell für eine längere Lagerung, auch ULO-Lagerung geeignet. Die HWR von Äpfeln der Sorten ‘Delbarestivale’, sowie ‘Elstar’, ‘Ingrid Marie’ und ‘Pinova’ führte in Abhängigkeit von der gewählten Temperatur-Behandlungsdauer-Kombination zu vermarktungsrelevanten Schädigungen der Fruchtschale, die vorrangig als Verbräunung sichtbar wurden (Abb. 8 & 9). Ab einer Temperatur von 56 °C in Verbindung mit einer 20-sekündigen Einwirkdauer traten erste Schäden auf. Der Grad der Schädigung nahm bei höheren Temperaturen und verlängerter Behandlungsdauer stark zu und erreichte bei allen Sorten mit Ausnahme der Sorte ‘Delbarestivale’ spätestens bei der Kombination 60 °C für 30 Sekunden einen Schädigungsgrad von 100% (Abb. 21).



**Abb. 21** Marktrelevante Hitzeschäden der Schale bei den Sorten ‘Delbarestivale’ (A), ‘Elstar’ (B), ‘Ingrid Marie’(C) und ‘Pinova ‘Evelina’ (D) in Abhängigkeit von Dauer und Temperatur der Behandlung zwischen 54 und 62 °C.

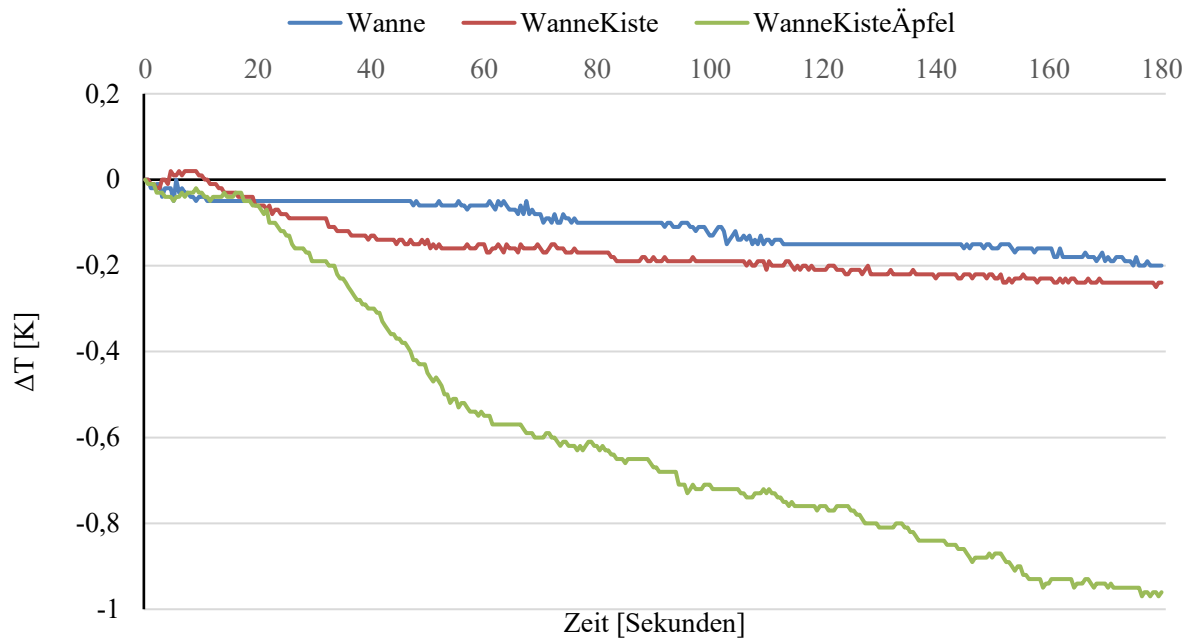
#### 4. Energetischer Vergleich Heißwassertauchen mit kurzzeitiger Heißwasserbehandlung

##### 4.1. Temperaturveränderung Wasser

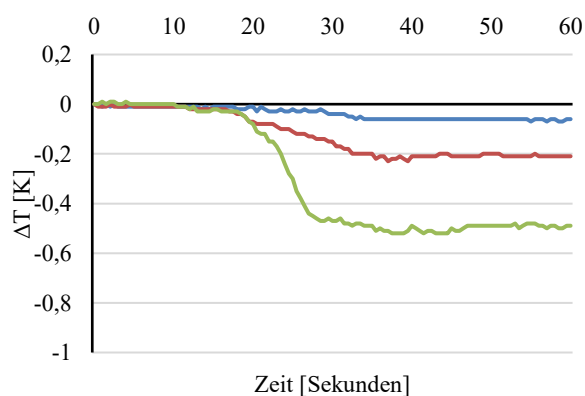
Die Temperatur des Wassers in der isolierten Tauchwanne nahm im Untersuchungszeitraum unabhängig von der Ausgangstemperatur um etwa  $0,7 \text{ K min}^{-1}$  ab. Die Abnahme der Temperatur konnte durch das Eintauchen einer Kunststoffkiste weiter verstärkt werden, (etwa  $0,15 \text{ K}$  nach einer Minute bei allen untersuchten Varianten). Für das Eintauchen von auf  $2 \text{ °C}$  gekühlten Äpfeln konnten dagegen in Abhängigkeit von der Ausgangstemperatur und der Tauchdauer sehr unterschiedliche Temperaturverluste registriert werden. Generell war der Temperaturverlust zu Beginn des Tauchens am größten, wobei der Temperaturabfall etwa 15 bis 20 Sekunden nach dem Eintauchen einsetzte. Ein zweiter deutlicher Temperaturabfall entstand, bedingt durch die zusätzlichen Turbulenzen, häufig zum Zeitpunkt der Fruchtentnahme aus der Wanne (**Abb. 22**). Beim Vergleich des konventionellen HWDs bei

50 °C für 180 Sekunden wird gegenüber den verschiedenen HWRs bei 56-58 °C und 20-30 Sekunden insgesamt ein stärkerer Temperaturverlust des Wassers deutlich (**Tab 11**).

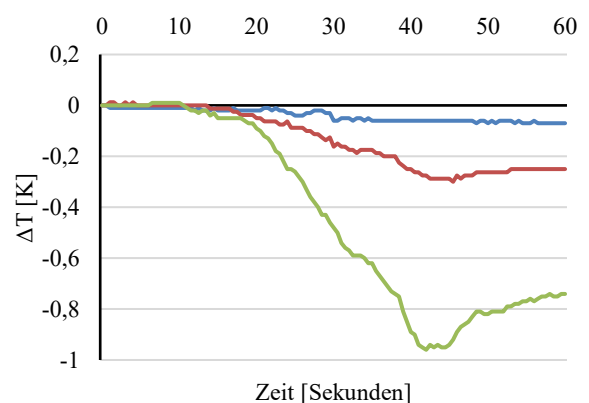
**A**



**B**



**C**



**Abb. 22** Temperaturveränderung von 320 l Wasser im isolierten Tauchbecken im Zeitverlauf ohne zusätzliche Maßnahmen (Wanne), Tauchen einer Kunststoffkiste (WanneKiste) bzw. einer Kunststoffkiste gefüllt mit 15 kg 'Red Jonaprince'-Äpfeln (WanneKisteÄpfel). Ausgangstemperatur 50 °C und Tauchen für 180 Sekunden (A), Ausgangstemperatur 56 °C und Tauchen für 20 Sekunden (B), Ausgangstemperatur 58 °C und Tauchen für 30 Sekunden (C).

**Tab. 11** Veränderung der Wassertemperatur von 320 l Wasser bei drei Ausgangs-temperaturen (50, 56 und 58 °C) verursacht durch Tauchen von ‘Red Jonaprince‘-Äpfeln (15 kg) für drei Zeiträume (20, 30 und 180 Sekunden).

HWT [Temperatur (°C) – Dauer (Sek.)]	Δ Temperatur [K]
56-20	-0,29
58-20	-0,37
56-30	-0,47
58-30	-0,52
50-180	-0,73

HWT = Heißwasserbehandlung

#### 4.2. Energieaufnahme der Äpfel in Tauchwanne

Aus den in Tab. 11 dargestellten Temperaturveränderungen des Wassers in Folge unterschiedlicher Heißwasserbehandlungen, sowie den Daten zur Temperaturveränderung des Wassers ohne zusätzliche Einflüsse oder nur des Tauchens einer Kunststoffkiste, ließ sich die Energieaufnahme der Früchte errechnen und in die benötigte Menge Heizöl umrechnen (**Tab. 12**). Zusätzlich zur Energieaufnahme durch die Früchte entstehen weitere Energieverluste durch Abkühlung des Wassers (Dampfbildung, unzureichende Isolierung) sowie die Energieaufnahme von Hilfsmitteln (Kisten). Die in der Literatur genannten etwa 3 l Heizöl je 1.000 kg Äpfel (Maxin & Klopp, 2004) wurden in dieser Untersuchung im Heißwassertauchverfahren (50 °C für 180 Sekunden) nicht erreicht, es muss aber berücksichtigt werden, dass weitere Energieverluste (Wasserdampf, Kisten, Leerlaufzeiten, etc.) in die hier vorliegende Betrachtung nicht mit einfließen. Die Daten zeigen aber sehr deutlich, dass die benötigte Energiemenge bei der kurzzeitigen Heißwasserbehandlung gegenüber dem herkömmlichen Verfahren um bis zu 60% gesenkt werden kann, zieht man ausschließlich die Energieaufnahme der Früchte in Betracht.

**Tab. 12** Energieaufnahme von ‘Red Jonaprince‘-Äpfeln in Folge einer Heißwasserbehandlung und die zur Erzeugung notwendige Energiemenge bzw. Heizöl.

HWT [Temp. (°C) - Dauer (Sek.)]	Heizöl t <sup>-1</sup> Äpfel [l]	Energieaufnahme Äpfel [kWh t <sup>-1</sup> ]
56-20	0,75	7,34
58-20	0,95	9,34
56-30	1,23	12,04
58-30	1,34	13,17
50-180	1,83	17,90

Energiegehalt von 1 l Heizöl etwa 9,8 kWh l<sup>-1</sup>; HWT = Heißwasserbehandlung

#### 4.3. Energetische Untersuchung HWR-Gerät der Firma Palm Systems

Das seit Spätherbst 2016 auf dem Obstbaubetrieb / Obsthändlerbetrieb „Obsthof zum Felde“ in Jork verbaute HWR-Gerät der Firma Palm Systems war eine komplette Neuentwicklung auf Anregung des Betriebs „Obsthof zum Felde“. Die Entwicklung des Geräts wurde maßgeblich durch Erkenntnisse dieses Projekts beeinflusst und hinsichtlich der Art der Behandlung wurde abweichend zum Aufbau im Projekt auf eine Versprühung von Wasser

verzichtet. Die Früchte wurden stattdessen einzeln durch ein temperiertes Wasserbad geführt. Insbesondere das Problem der Dampfentwicklung, wie auch die Präzision der Temperaturführung des Wassers am Apfel, sollte dadurch verbessert werden. Anfang Dezember 2016 fand eine Energieverbrauchsermittlung an der Anlage statt. Die auf 55 °C Betriebstemperatur erwärmte Anlage wurde über mehrere Stunden im Dauerlauf gefahren und viermalig im 30 Minuten Rhythmus der Heizölverbrauch der Heizung bestimmt. Im Anschluss wurden die Messung viermalig im Betrieb wiederholt, wobei gleichzeitig die jeweils sortierte Apfelmenge erfasst wurde (**Tab.13**).

**Tab. 13** Energiebedarf und Sortiermengen des HWR-Geräts Palm Systems ermittelt am 08.12.2016 auf dem Obsthof zum Felde.

Messung [Nr.]	Heizölverbrauch [l h <sup>-1</sup> ]	Energieverbrauch [kWh h <sup>-1</sup> ]	Energiebedarf Maschine [kW]	Sortiermenge [kg Äpfel h <sup>-1</sup> ]	Heizöl t <sup>-1</sup> Äpfel [l]	<sup>1</sup> Energieverbrauch [kWh t <sup>-1</sup> Äpfel]	<sup>2</sup> Energieaufnahme Äpfel [kWh t <sup>-1</sup> ]
1	2,5	24,5	24,5	-- <sup>3</sup>	--	--	--
2	1,0	9,8	9,8	--	--	--	--
3	1,5	14,7	14,7	--	--	--	--
4	1,0	9,8	9,8	--	--	--	--
5	5,6	55,1	14,7 <sup>4</sup>	5.330	1,06	10,3	7,6
6	6,4	62,7	14,7	5.744	1,11	10,9	8,4
7	4,8	47,0	14,7	5.850	0,82	8,0	5,5
8	8,2	80,4	14,7	6.230	1,31	12,9	10,4

Die Wassertemperatur des HWR-Geräts wurde konstant bei 55 °C gehalten. Die Durchlaufzeit der Früchte durch die Maschine betrug 33 Sekunden.

<sup>1</sup> Unter dem Energieverbrauch wird die gesamte eingesetzte Energie für das Gerät zusammengefasst.

<sup>2</sup> Unter der Energieaufnahme wird nur die Energiemenge erfasst, die tatsächlich durch die Äpfel aus dem System ausgetragen werden.

<sup>3</sup> Die Messungen 1 bis 4 wurden im Leerlauf, d.h. ohne Früchte durchgeführt.

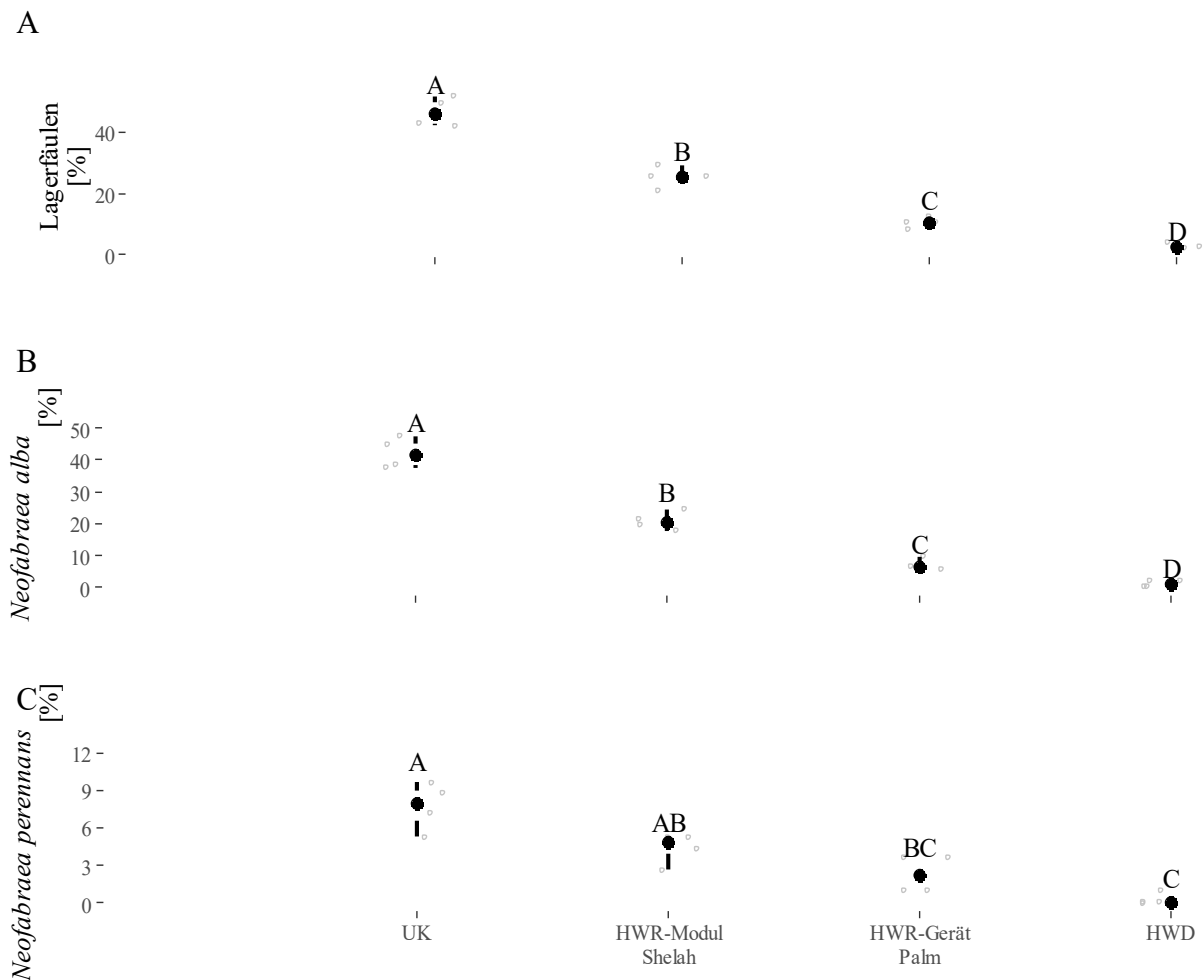
<sup>4</sup> Der Energiebedarf der Maschine zur Temperaturerhaltung inkl. Dampfverluste wurde für die Messungen 5 bis 6 aus den Messungen 1 bis 4 kalkuliert.

Aus den am HWR-Gerät Palm Systems ermittelten Verbrauchsdaten kann abgelesen werden, dass die Energieverluste der Maschine etwa 20 bis 25% des Gesamtenergiebedarfs ausmachen. Die aufgenommene Energiemenge korrespondiert recht gut mit den an der Tauchwanne ermittelten Daten. Die mittlere aufgenommene Energiemenge kann mit etwa 8 kWh t<sup>-1</sup> Äpfel angenommen werden bei einer Temperatur von 55 °C und einer Durchgangszeit der Früchte von 33 Sekunden. In der Tauchwanne ermittelte Werte lagen mit etwa 12 kWh t<sup>-1</sup> Äpfel bis zu 50% höher. Angeführt werden muss aber, dass gewisse Messungenauigkeiten bei der verwendeten Methode bestehen.

## 5. Untersuchung zur Wirksamkeit des HWR-Geräts Palm Systems

Ökologisch produzierte Äpfel der Sorte ‘Pinova Evelina’, geerntet in guter Lagerqualität (Fruchtfleischfestigkeit = 7,6 kg cm<sup>2</sup>), wurden mit drei verschiedenen Methoden einer HWT unterzogen. Im Fokus stand dabei die Überprüfung der Wirksamkeit des HWR-Geräts der Firma Palm Systems. Im Vergleich fanden HWT im HWD-Verfahren und mit dem HWR-Modul der Firma Shelah Systems statt. Nach der Behandlung erfolgte die Lagerung der

Früchte für knapp fünf Monate im Kühllager bei 1,5 °C. Auswertungen des Fäulnisbefalls fanden nach 2,5 und 5 Monaten statt; zusätzlich erfolgte eine Bewertung des Lagerschorfbefalls sowie die Feststellung von Hitzeschäden am Ende der Lagerperiode. Die Früchte entwickelten bis zum Ende der Lagerperiode einen kumulierten Fäulnisbefall von 46% in der unbehandelten Kontrolle. Alle HWT-Varianten konnten den Lagerfäulenbefall reduzieren, unterschieden sich aber in ihrer Wirksamkeit auch signifikant untereinander. Die auftretenden Lagerfäulen wurden vor allem durch die Bitterfäule-Erreger *Neofabraea alba* (43%) und *Neofabraea perennans* (8%) verursacht. (Da auch Doppelinfektionen an ein und derselben Frucht auftraten, kann der kumulierte Befall einzelner Erreger den Gesamtbefall auch übersteigen.) Alle HWT-Varianten konnten den Befall mit *Neofabraea alba* signifikant reduzieren, wobei die Wirksamkeit sich auch zwischen den Varianten signifikant unterschied. Der Befall mit *Neofabraea perennans* konnte nur durch das HWD-Verfahren und das HWR-Gerät der Firma Palm Systems signifikant reduziert werden, nicht jedoch durch das HWR-Modul der Firma Shelah Systems (**Abb. 23**).



**Abb. 23** Gesamlagerfäulnis (A), sowie Befall mit *Neofabraea alba* (B) und *Neofabraea perennans* (C) in ‘Pinova Evelina’ nach 5-monatiger Kühllagerung. Vor der Einlagerung waren die Früchte keiner (UK) oder einer Heißwasserbehandlung unterzogen worden. Mit dem HWR-Modul Shelah bei 56 °C für 30 Sekunden, dem HWR-Gerät Palm bei 56 °C für 33 Sekunden oder im HWD-Verfahren bei 50 °C für 180 Sekunden. Buchstaben geben signifikante Unterschiede ( $\alpha < 0,05$ ) nach multiplen Mittelwertvergleichen (Tukey-Test) an.



Insgesamt ließ sich der Verluste durch Lagerfäulen durch die unterschiedlichen Methoden erheblich reduzieren, durch das HWD um 95%, durch das HWR-Gerät der Firma Palm Systems um 78% und durch das HWR-Modul Shelah Systems um 46%. Weniger als 5% der Früchte entwickelten Lagerschorf und es konnte daher kein signifikanter Einfluss der HWT auf das Auftreten festgestellt werden. In der Tendenz reduzierte aber nur die HWD-Behandlung den Befall mit Lagerschorf. An 4 bis 9% einer HWT unterzogenen Früchte konnten Hitzeschäden an der Fruchtschale festgestellt werden. Die Behandlungen unterschieden sich damit signifikant zur unbehandelten Kontrolle, in denen keine Schäden feststellbar waren. Ebenso war ein signifikanter Einfluss auf den Anteil verpilzter Fruchtsiele feststellbar. Eine Verpilzung der Fruchtsiele wurde durch die HWD-Behandlung wie auch durch die Behandlung mit dem HWR-Gerät Palm Systems signifikant gefördert und der Anteil erhöhte sich von etwa 65 auf knapp 85%.

### **Bewertung der Projektergebnisse**

In der Summe können die Projektergebnisse das Potential der Kurz-Heißwasserbehandlung (HWR) bestätigen. Es wurden aber nicht in allen Versuchen die von Maxin et al. (2012a) beschriebenen Wirkungsgrade erreicht. Insbesondere bei Verwendung der Heißwassertechnologie im Zusammenhang mit nicht ökologisch produzierten Früchten konnte nicht in jedem Fall ein Zusatznutzen der HWT realisiert werden. Dies kann aber zum einen auf einen sehr geringen Ausgangsbefall in den untersuchten Früchten, bedingt durch den Einsatz von Fungiziden und besondere Witterungskonstellation, die die Entstehung von Lagerfäulnis verhinderte (Versuch 2016), zurückgeführt werden. War der Befallsdruck insgesamt sehr hoch, wie in allen Untersuchungsjahren bei den ökologisch produzierten Äpfeln der Sorte 'Ingrid Marie', konnte die HWT-Technologie ihre Wirksamkeit deutlich unter Beweis stellen.

Gegenüber dem konventionellen Heißwassertauchen (HWD) sind die zu nutzenden Parameter (Temperatur und Behandlungsdauer) bei der HWR deutlich kritischer zu bewerten. Veränderungen von nur 2 °C und 10 Sekunden entschieden maßgeblich über die Wirksamkeit der Technologie. In der Gesamtheit waren Behandlungstemperaturen von 58 °C für 20 Sekunden oder 56 °C für 30 Sekunden am besten geeignet eine nachhaltige Wirkung gegen Lagerfäulen und Lagerschorf zu entfalten, reichten aber auch dann in einigen Fällen nicht an eine konventionelle HWD heran. In den durchgeführten Versuchen beruhte die Wirksamkeit vor allem auf der Reduktion des Befalls mit Bitterfäulen (*Neofabraea perennans* und *Neofabraea alba*). Andere Fäulniserreger traten nicht in ausreichendem Umfang auf bzw. wurden z.T. durch überkritische Behandlungsparameter befördert (*Penicillium expansum*), wie es bereits durch Maxin et al. (2012a) beschrieben wurde. Zur Bekämpfung von Lagerschorf sind laut Maxin (2012) die relativ längeren Einwirkzeiten des HWD maßgeblich für den Bekämpfungserfolg. Im vorgestellten Projekt konnte dagegen aber sehr deutlich herausgearbeitet werden, dass eine Erhöhung der Behandlungstemperatur relativ linear zu einem besseren Bekämpfungserfolg führt. Eine Temperaturerhöhung birgt bekanntermaßen das Risiko von Hitzeschäden. Die Reduktion von Lagerschorf im zweiten Projektjahr, gerade bei integriert erzeugten Äpfeln, war aber so erheblich, dass in bestimmten Jahren mit starkem

Schorfbefall und entsprechender Erwartung von Lagerschorf zusätzliche leichte Hitzeschäden akzeptabel wären.

Die Ergebnisse zeigen auch, dass bei einer HWR bei 56 °C für 30 Sekunden mehr Energie von den Früchten aufgenommen werden kann, im Vergleich zur Behandlung mit 58 °C für 20 Sekunden. Es kann daher davon ausgegangen werden, dass ähnliche Effekte auch durch eine Verlängerung des Behandlungszeitraums erzielt werden können. Hinsichtlich der Fruchtschädigung sind diese beiden Einstellungen als relativ unkritisch anzusehen, wobei trotzdem erste Schädigungen auftraten. In diesem Zusammenhang muss aber festgehalten werden, dass die konventionelle HWD zu vergleichbaren Schäden führte, was sich beispielsweise auch an den Schädigungen der Fruchstiele ablesen lässt.

Eine zusätzliche oder alternative HWT nach der Auslagerung mit anschließender mehrwöchiger Nachlagerung brachte nur einen eingeschränkten Zusatznutzen. In 2014 war kein Effekt nachweisbar. In den Versuchen 2015 konnte selbst in der Nachlagerung ein Effekt der HWT vor der Einlagerung festgestellt werden, in deutlich geringerem Maße aber ein Effekt der HWT nach der Auslagerung. Die doppelte Behandlung der Früchte vor und nach der Lagerung brachte keinen Zusatznutzen gegenüber der Behandlung vor der Einlagerung. Positive Effekte einer HWT nach der Auslagerung zeigten sich eher bei ULO gelagerten Früchten, bei denen ein Ausbruch von *Neofabraea perennans*-Infektionen bis zur HWT durch die Lageratmosphäre unterdrückt worden war. Exemplarisch konnte dies an Elstar-Früchten im Versuch 2015.2 gezeigt werden.

Die im zweiten Projektjahr durchgeführten Detailuntersuchungen zur Abkühlung des Behandlungswassers und gleichzeitiger Energieaufnahme durch die zu behandelnden Früchte belegten das große Potenzial der HWR im Hinblick auf Energieeinsparung und dadurch letztendlich Vermeidung von CO<sub>2</sub>-Emissionen. Gegenüber dem konventionellen HWD wird bei den anzustrebenden HWRs 33% (56 °C für 30 Sekunden) bzw. 48% (58 °C für 20 Sekunden) weniger Energie von den Früchten aufgenommen. Werden vorgekühlte Früchte für die Behandlung genutzt, wird diese Energiemenge sogar zwei Mal eingespart, da sie im Nachgang nicht erneut aus den Früchten entfernt werden muss. Messungen der Energieverluste am HWR-Modul Shelah Systems zeigten deutlich größere Verluste, die aber hauptsächlich durch die Art der Behandlung (Versprühen des Wassers, Dampfbildung, große Oberflächen) zu erklären sind. Energiemessungen am HWR-Gerät Palm Systems konnten aber das Energiesparpotential der HWR-Technologie belegen. Erstens zeigte das Gerät selbst geringe Energieverlust und zweitens lag die ermittelte Energieaufnahme der Früchte niedriger als durch die experimentell in der Tauchwanne ermittelten Werte erwartbar war. Mit dem HWR-Gerät der Firma Palm Systems lässt sich nach den vorliegenden Daten die Energieaufnahme der Früchte daher um mindestens 50% reduzieren. Der Gesamtenergiebedarf der Technologie liegt dabei bei nur gut einem Drittel des durch Maxim & Klopp (2004) für das HWD-Verfahren ermittelten Bedarfs. Angemerkt werden muss aber, dass die Messungen in diesem Projekt mit vorgekühlten Früchten (~ 2 °C) durchgeführt wurden, weshalb ein höherer Energiebedarf im Vergleich zur HWT frisch geernteter Äpfel (Kerntemperatur etwa 10 bis 25 °C) sehr wahrscheinlich ist.

Ein Einfluss der HWR auf die „Fettigkeit“ von Äpfeln wurde abweichend vom Projektantrag nicht untersucht. Ein Schmelzen der Fruchtwachse wurde aber erst bei höheren, als den kritischen Temperaturen beschrieben und von uns auch so beobachtet. Leider sind die dafür zu wählenden Temperaturen in der Regel geeignet Hitzeschäden an der Fruchtschale hervorzurufen.

Weitere Untersuchungen zum Einfluss einer HWT auf das Auftreten physiologischer Erkrankungen der Früchte wurden in 2017/18 durchgeführt. Für die Zukunft sind weitere Versuche, insbesondere zur Ermittlung der optimalen Behandlungsparameter bei verschiedenen Sorten geplant. In einem größeren Projekt in Zusammenarbeit mit der Universität Aarhus (DK) werden darüber hinaus Fragestellungen zum Wirkmechanismus der HWT untersucht.

### **Ergebnisverbreitung**

Durch die enge Verzahnung der OVA Jork mit den Beratungseinrichtungen OVR und ÖON im ESTEBURG-Obstbauzentrum Jork wird eine direkte Überführung von gewonnenen Erkenntnissen in die obstbauliche Praxis sichergestellt.

Im Rahmen einer im Winterhalbjahr monatlich am ESTEBURG-Obstbauzentrum Jork stattfindenden Seminarreihe bestand für interessierte Obsterzeuger und -vermarkter am 15. Dezember 2014 erstmalig die Möglichkeit sich zum Thema „Kurz-Heißwasserbehandlung – Eine Alternative zu Lagerspritzungen?“ zu informieren. Das Seminar wurde maßgeblich durch Dr. Weber und Dr. Maxin gestaltet, die insbesondere die Biologie pilzlicher Lagerfäuleerreger und die Wirkungsweise einer Heißwasserbehandlung darstellten. Im Rahmenprogramm wurde der Einsatz des HWR-Modul Shelah Systems demonstriert. Erste Ergebnisse zur Wirksamkeit und wiederum das HWR-Modul in Aktion wurden anlässlich eines europäischen Fachmeetings der Gruppen EUFRIN/ EUFRUIT im Mai 2016 und anlässlich der europäischen Fachtagung Prognosfruit im August 2016 an der ESTEBURG einem breiten Publikum vorgestellt. In Fachvorträgen anlässlich des 36. Bundeskernobstseminars in Bonn und vor Pflanzenschutzexperten der Landwirtschaftskammer Niedersachsen in Hannover (beides Januar 2016) wurden Auszüge der Arbeiten präsentiert. Ebenfalls in Auszügen wurden Ergebnisse anlässlich des 15. Schweizer Obstkulturtages in St. Gallen (Schweiz) im Februar 2017 dargestellt. Anlässlich der FRUTIC Tagung in Berlin (Februar 2018) wurden, im Kontext grundlagenorientierter Arbeiten an der Universität Aarhus (Dänemark), Ergebnisse zur Lagerfäulen- und Lagerschorfwirkung aus dem Projekt einem wissenschaftlichen Fachpublikum vorgestellt. Ebenso einer Gruppe von Wissenschaftlern aus dem Bereich Nacherntetechnologie bei Obst anlässlich eines EUFRUIT-Meetings in München im Mai 2018.

Darüber hinaus standen und stehen Versuchsergebnisse sowie technische Detailinformationen zum Aufbau des HWR-Moduls / der Technologie im Allgemeinen interessierten Obstanbauern und Maschinenbauern zur Verfügung. Besuchergruppen aus Dänemark, Sachsen und der Schweiz reisten speziell zur Besichtigung der Technologie an. Auf großes Interesse stieß das Projekt unter anderem auch bei der lokalen Obstwirtschaft. Nach

Aufforderung durch den Obstbaubetrieb „Obsthof zum Felde“ konstruierte die Firma Palm Systems ein HWR-Gerät, das deutlich durch die zu dem Zeitpunkt erarbeiteten Projektergebnisse (Vor- und Nachteile) inspiriert wurde. Unter anderem aufgrund der ungünstigen Erfahrungen mit dem Besprühen einzelner Früchte setzte die Firma Palm Systems bei ihrer Neuentwicklung daher auf ein System, das vereinzelt Früchte durch ein temperiertes Wasserbad führt. Das HWR-Gerät der Firma Palm Systems hat mittlerweile Eingang in die obstbauliche Praxis gefunden. Neben dem Gerät auf dem „Obsthof zum Felde“ befindet sich aktuell eine zweite Anlage auf einem ökologisch wirtschaftenden Obstbaubetrieb im Alten Land im Bau. Seitens eines schweizerischen Obstbaubetriebs besteht ebenfalls großes Interesse an der Technologie / am HWR- Gerät der Firma Palm Systems. Eine Veröffentlichung der Ergebnisse oder Teilergebnisse in den Mitteilungen des Obstbauversuchsringes des Alten Landes ist in Planung.

### **Fazit**

Schlussendlich konnte die Vorzüglichkeit der Technologie, nicht nur für den ökologischen Anbau, gezeigt werden. Insbesondere in Jahren mit starkem Befall durch Lagerschorf oder aus Anlagen mit zu erwartendem Befall durch Bitterfäulen bietet sich der Einsatz der Technologie auch in der integriert wirtschaftenden Produktion an. Selbst nach dem Einsatz einer an der Niederelbe allgemein empfohlen Spritzfolge mit Fungizide gegen Lagerfäulen und Lagerschorf führte der Einsatz der HWR-Technologie noch zu einer Verbesserung des Auslagerungsergebnisses. Im ökologischen Anbau sollte die Technologie zur Vermeidung von Ertragsverlusten zeitnah zum Standard werden. Das Interesse zweier großer, ökologisch produzierender Betriebe in der Region in den letzten beiden Jahren unterstreicht, dass diese Erkenntnis auch von der obstbaulichen Praxis aufgegriffen wird.

Ein genereller Einsatz der HWT-Technologie nach der Auslagerung macht nach derzeitigem Kenntnisstand keinen Sinn. Bei Äpfeln, deren Nachlagerverhalten nach der ULO-Lagerung kritisch gesehen wird, kann sie aber unter Umständen sinnvoll sein, soweit keine HWT vor der Einlagerung stattgefunden hat.

Das relativ kleine, im Projekt maßgeblich modifizierte HWR-Modul der Firma Shelah Systems konnte die Erwartungen nicht erfüllen. Die Kapazität erfüllt mit etwa 1 bis 1,5 t h<sup>-1</sup> zwar die Anforderungen vieler kleinerer Sortierbetriebe, die Energieverluste durch das Versprühen des Wassers und die relativ offene Bauweise sind für den praktischen Betrieb deutlich zu hoch. Außerdem zeigte sich im testweisen Praxisbetrieb, dass die Temperatursteuerung höheren Kapazitäten nicht gewachsen war. Es kam teilweise zum unkontrollierten Aufheizen der Anlage, was massive Hitzeschäden an den Früchten der behandelten Partien zur Folge hatte. Mit dem inzwischen verfügbaren, und maßgeblich durch die Ergebnisse des Projekts beeinflussten HWR-Geräts der Firma Palm Systems steht der Obstbaupraxis aber eine deutlich bessere Alternative zur Verfügung. Das Gerät kann sowohl hinsichtlich der Wirksamkeit, des Energieverbrauchs als auch der Kapazität (~ 10 t h<sup>-1</sup>) vollumfänglich überzeugen. Der geringere Energieverbrauch und die Kapazität wird aber durch eine etwas verminderte Wirksamkeit (siehe Technologievergleich) erkauft.

## Literatur

- Ahmadi-Afzadi, M., Tahir, I. & Nybom, H. (2013). Impact of harvesting time and fruit firmness on the tolerance to fungal storage diseases in an apple germplasm collection. *Postharvest Biology and Technology* 82: 51–58.
- Barrett, J. T. & Fawcett, H. S. (1922). Withertip, tear-stain and control of brown rot. *California Citrograph* 7: 232–233, 254.
- Blank, H. G. & Reich, H. (1970). Lagerungsergebnisse von Spritzversuchen mit Benomyl (Benlate). *Mitteilungen des Obstbauversuchsrings des Alten Landes* 25(8): 284–299.
- Børve, J., Røen, D. & Stensvand, A. (2013). Harvest time influences incidence of storage diseases and fruit quality in organically grown „Aroma“ apples. *European Journal of Horticultural Science* 78(5): 232–238.
- Burchill, R. T. (1964). Hot water as a possible post-harvest control of Gloeosporium rots of stored apples. *Plant Pathology* 13(3): 106–107.
- Holthusen, H. H. F. (2014). Strategien zur Minimierung von Pflanzenschutzmittel-Rückständen im Kernobst. *Mitteilungen des Obstbauversuchsrings des Alten Landes* 69(5): 121–130.
- Lipinski, B., Hanson, C., Lomax, J., Kitinoja, L., Waite, R. & Searchinger, T. (2013). Reducing food loss and waste. *World Resources Institute Working Paper* 40.
- Lurie, S. & Pedreschi, R. (2014). Fundamental aspects of postharvest heat treatments. *Horticulture Research* 1: 14030.
- Maxin, P. (2012). *Improving apple quality by hot water treatment*. Dissertation an der Aarhus Universität, Dänemark. Verfügbar unter: [https://pure.au.dk/ws/files/47656934/Improving\\_apple\\_quality\\_by\\_hot\\_water\\_treatment\\_PhD\\_Thesis\\_Peter\\_Maxin\\_16\\_04\\_12.pdf](https://pure.au.dk/ws/files/47656934/Improving_apple_quality_by_hot_water_treatment_PhD_Thesis_Peter_Maxin_16_04_12.pdf) [Stand: 3.07.2013].
- Maxin, P. & Klopp, K. (2004). Die Wirkung des Heißwassertauchverfahrens gegen biotische Lagerschäden im ökologischen Obstbau. *Mitteilungen des Obstbauversuchsrings des Alten Landes* 59(9): 349–356.
- Maxin, P. & Weber, R. W. S. (2011). Control of *Phacidiopycnis washingtonensis* storage rot of apples by hot-water treatments without the ethylene inhibitor 1-MCP. *Journal of Plant Diseases and Plant Protection* 118(6): 222–224.
- Maxin, P., Weber, R. W. S., Pedersen, H. L. & Williams, M. (2012a). Control of a wide range of storage rots in naturally infected apples by hot-water dipping and rinsing. *Postharvest Biology and Technology* 70: 25–31.
- Maxin, P., Weber, R. W. S., Pedersen, H. L. & Williams, M. (2012b). Hot-water dipping of apples to control *Penicillium expansum*, *Neonectria galligena* and *Botrytis cinerea*: Effects of temperature on spore germination and fruit rots. *European Journal of Horticultural Science* 77(1): 1–9.

- Maxin, P., Williams, M. & Weber, R. W. S. (2014). Control of fungal storage rots of apples by hot-water treatments: a Northern European perspective. *Erwerbs-Obstbau* 56(1): 25–34.
- Palm, G. (2010). Abteilung Integrierter Pflanzenschutz und Diagnostik. *Mitteilungen des Obstbauversuchsringes des Alten Landes* 65(12): 377–385.
- Palm, G. & Kruse, P. (2005). Maßnahmen zur Verminderung der Verluste durch Fruchtfäulnis beim Apfel. *Mitteilungen des Obstbauversuchsringes des Alten Landes* 60(2): 46–52.
- Palm, G. & Kruse, P. (2007). Verhinderung von Lagerfäulen und Lagerschorf bei Äpfeln mit Heißwasser, Hefen, 1-MCP, Calcium-Salzen und Fungiziden. *Mitteilungen des Obstbauversuchsringes des Alten Landes* 62(7): 231–236.
- Palm, G. & Kruse, P. (2012a). Untersuchungen zur Verhinderung von Lagerfäulnis bei Äpfeln durch Nacherntebehandlungen. *Mitteilungen des Obstbauversuchsringes des Alten Landes* 67(10): 342–347.
- Palm, G. & Kruse, P. (2012b). Wie ist in der Zukunft Lagerfäulnis zu verhindern? *Mitteilungen des Obstbauversuchsringes des Alten Landes* 67(9): 306–311.
- Peter, G., Kuhnert, H., Haß, M., Banse, M., Roser, S., Trierweiler, B. & Adler, C. (2013). *Einschätzung der pflanzlichen Lebensmittelverluste im Bereich der landwirtschaftlichen Urproduktion* (Bericht im Auftrag des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV)) (S. 44). Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut, Max Rubner-Institut, Julius Kühn-Institut. Verfügbar unter: [http://m.lifepn.de/attachment/483903/05-163-AI-Studie-Nachernteverluste-in-der-Landwirtschaft-Lebensmittelverluste\\_Endbericht.pdf](http://m.lifepn.de/attachment/483903/05-163-AI-Studie-Nachernteverluste-in-der-Landwirtschaft-Lebensmittelverluste_Endbericht.pdf) [Stand: 10.12.2013].
- R Core Team (2017). *R: A language and environment for statistical computing*. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. Verfügbar unter: <https://www.R-project.org/> [Stand: 8.02.2018].
- RStudio Team (2016). *RStudio: Integrated Development for R*. Boston, MA: RStudio, Inc. Verfügbar unter: <http://www.rstudio.com/>
- Sharples, R. O. (1967). The effect of a post-harvest heat-treatment on the storage behaviour of Cox's Orange Pippin apple fruits. *Annals of Applied Biology* 59(3): 401–406.
- Tahir, I. I., Nybom, H., Ahmadi-Afzadi, M., Røen, K., Sehic, J. & Røen, D. (2015). Susceptibility to blue mold caused by *Penicillium expansum* in apple cultivars adapted to a cool climate. *European Journal of Horticultural Science* 80(3): 117–127.
- Usall, J., Ippolito, A., Sisquella, M. & Neri, F. (2016). Physical treatments to control postharvest diseases of fresh fruits and vegetables (Alternatives to the use of synthetic fungicides for the control of postharvest decay of fruit and vegetables: current status and future perspectives). *Postharvest Biology and Technology* 122: 30–40.
- Weber, R. W. S. & Palm, G. (2010). Resistance of storage rot fungi *Neofabraea perennans*, *N. alba*, *Glomerella acutata* and *Neonectria galligena* against thiophanate-methyl in Northern German apple production. *Journal for Plant Diseases and Plant Protection* 117(4): 185–191.