



Kontrolle der Frische in der Nacherntekette von Ökogemüse

Control of freshness in the postharvest chain of organic vegetables

Gefördert vom:



Bundesministerium für
Ernährung, Landwirtschaft
und Verbraucherschutz

Mit Unterstützung durch:



Bornimer Agrartechnische Berichte

Heft 57

Potsdam-Bornim 2006

Kontrolle der Frische in der Nacherntekette von Ökogemüse

Control of freshness in the
postharvest chain of
organic vegetables

Gefördert vom:



Bundesministerium für
Ernährung, Landwirtschaft
und Verbraucherschutz

Mit Unterstützung durch:



Bornimer Agrartechnische Berichte

Heft 57

Potsdam-Bornim 2006

Herausgeber:

Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V. (ATB)
Max-Eyth-Allee 100
14469 Potsdam

☎ 0331 5699-0
Fax 0331 5699-849
E-Mail atb@atb-potsdam.de
Internet www.atb-potsdam.de

Bearbeiter des ATB:

Dipl.-Ing. Manfred Linke
Dipl.-Ing. agr. Katrin Butenuth

Auftraggeber:

Bioland Erzeugerring Bayern e.V.

Praxispartner:

8 Ökobetriebe mit Fein- und Feldgemüse-
anbau
2 Großhandelsunternehmen:
Tegut...gute Lebensmittel, Fulda
Ökoring Handels GmbH, Mammendorf
25 Einzelhandelsunternehmen

Typographische Gestaltung:

Andrea Gabbert

August 2006

Herausgegeben vom Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V. (ATB) mit Förderung des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz im Rahmen des Bundesprogramms Ökologischer Landbau (BÖL-Projekt 03OE 256)

Für den Inhalt der Beiträge zeichnen die Autoren verantwortlich.

Eine Weiterveröffentlichung von Teilen ist unter Quellenangabe und mit Zustimmung des Leibniz-Instituts für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V. möglich.

ISSN 0947-7314

© Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V., Potsdam-Bornim 2006

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	5
2	Material und Methoden	6
2.1	Versuchsmaterial in der realen Kette und während der Klimasimulation	6
2.1.1	Produktarten, Umfang, Sorten und Zeiten	6
2.1.2	Abschnitte in der realen Nacherntekette (Erzeuger bis Verkauf)	10
2.1.3	Klima- und Verpackungsvarianten in der Nacherntesimulation	10
2.2	Eingesetzte Versuchstechnik	12
2.2.1	Versuchstechnik in der realen Kette	12
2.2.2	Versuchstechnik unter Laborbedingungen	13
2.3	Versuchsmethoden	15
2.3.1	Versuchsmethoden in der realen Kette	15
2.3.2	Versuchsmethoden unter Laborbedingungen	17
3	Berichtsteil Kopfsalat (<i>Lactuca sativa</i> var. <i>capitata</i> L.)	20
3.1	Allgemeine Informationen	20
3.2	Nachernteverhalten von Kopfsalat.....	21
3.3	Schwachstellenanalyse im realen Prozess bei Kopfsalat	23
3.4	Einfluss des Nachernteklimas auf die Transpiration von verpackten Kopfsalaten.....	26
3.5	Analyse der aktuellen Verpackungsformen bei Kopfsalat.....	29
3.6	Zusammengefasste Empfehlungen zum Produkthandling bei Kopfsalat	31
4	Berichtsteil Brokkoli (<i>Brassica oleracea</i> convar. <i>botrytis</i> var. <i>italica</i>)	33
4.1	Allgemeine Informationen	33
4.2	Nachernteverhalten von Brokkoli	33
4.3	Schwachstellenanalyse im realen Prozess bei Brokkoli	35
4.4	Einfluss des Nachernteklimas auf die Transpiration von verpacktem Brokkoli	40
4.5	Analyse der aktuellen Verpackungsformen bei Brokkoli	43
4.6	Zusammengefasste Empfehlungen zum Produkthandling bei Brokkoli	44
5	Berichtsteil Salatgurke (<i>Cucumis sativus</i> L.)	46
5.1	Allgemeine Informationen	46
5.2	Nachernteverhalten von Salatgurke	47
5.3	Schwachstellenanalyse im realen Prozess bei Salatgurke	48

5.4	Einfluss des Nachernteklimas auf die Transpiration von verpackten Salatgurken	52
5.5	Analyse der aktuellen Verpackungsformen bei Salatgurken	54
5.6	Zusammengefasste Empfehlungen zum Produkthandling bei Salatgurken.....	55
6	Berichtsteil Möhre (<i>Daucus carota</i> L. ssp. <i>sativus</i> [Hoffm.].....	56
6.1	Allgemeine Informationen	56
6.2	Nachernteverhalten von Möhre.....	57
6.3	Schwachstellenanalyse im realen Prozess bei Wasch- und Bundmöhre.....	58
6.4	Einfluss des Nachernteklimas auf die Transpiration von verpackten Möhren	60
6.5	Analyse der aktuellen Verpackungsformen bei Möhren.....	62
6.6	Zusammengefasste Empfehlungen zum Produkthandling bei Möhren.....	63
7	Berichtsteil Speisekartoffel (<i>Solanum tuberosum</i>).....	65
7.1	Allgemeine Informationen	65
7.2	Nachernteverhalten von Speisekartoffeln.....	66
7.3	Schwachstellenanalyse im realen Prozess bei Speisekartoffeln	66
7.4	Einfluss des Nachernteklimas auf die Transpiration von verpackten Speisekartoffeln.....	69
7.5	Analyse der aktuellen Verpackungsformen bei Speisekartoffeln.....	69
7.6	Zusammengefasste Empfehlungen zum Produkthandling bei Speisekartoffeln.....	70
8	Zusammenfassung für die Erzeuger	71
8.1	Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse.....	71
8.2	Gegenüberstellung geplanter und erreichter Ziele, weiterführende Fragestellung	71
9	Abstract	72
10	Literaturverzeichnis	73
	Bildverzeichnis.....	75
	Tabellenverzeichnis.....	76
	Anhang	79
	In der Reihe Bornimer Agrartechnische Berichte erschienen.....	91

Kontrolle der Frische in der Nacherntekette von Ökogemüse

1 Einleitung

Der Markt für Ökolebensmittel wird nach der Erwartung von Experten (GRONEWALD & HAMM 2003, HAMM 2002) in Zukunft weiter wachsen und damit einheimischen Landwirten und Gärtnern gute Absatzmöglichkeiten bieten. Als besonders günstig werden diese u.a. für Obst und Gemüse eingeschätzt. Um das vorhandene Potential vollständig nutzen zu können, wird es in Zukunft vor allem darauf ankommen, dass sich Erzeuger und Handel konsequenter als bisher, qualitativ und quantitativ, an den Bedürfnissen, Anforderungen und Wünschen der Abnehmerseite orientieren.

Untersuchungen (GEYER *et al.* 2003) bestätigen, dass Qualitätsverluste ökologischer Frischmarktprodukte v.a. durch wenig aufeinander abgestimmte Arbeitsabläufe der einzelnen Akteure entlang der gesamten Wertschöpfungskette entstehen. Zur Qualitätssicherung ist es daher notwendig, die einzelbetriebliche Ebene zu verlassen und kettenübergreifend zu handeln. Die Erfassung und Bewertung realer Klimabelastungen (thermische, wasserseitige) von ausgewählten Produkten in handelsüblichen Verpackungen pro Nacherntephase dient zur Analyse von Schwachstellen in der Lieferkette und zeigt so mögliche Ansätze zur Verbesserung auf.

Ferner finden sich in der Literatur immer wieder Hinweise, dass das verfügbare Angebot bei Obst und Gemüse in Menge und Qualität nicht der Nachfrage seitens der Verbraucher gerecht wird und damit zu einem weiteren begrenzenden Faktor bei der Vermarktung gehört (HAMM 2002). Daher wurden Nacherntesimulationen angesetzt, bei denen Veränderungen von relevanten Qualitätsparametern im Labormaßstab unter praxisnahen Klima-Zeitrelationen bis zum Erreichen einer Verderbgrenze gemessen und bewertet wurden.

Aus den Ergebnissen der Versuchsserien in realen Ketten und der Klimasimulation unter Laborbedingungen sollen Empfehlungen für die Gestaltung der Nacherntekette abgeleitet werden, sodass sich regionales Ökogemüse beim Verbraucher durch einen wahrnehmbaren Mehrwert in der erlebten Frische positioniert.

2 Material und Methoden

2.1 Versuchsmaterial in der realen Kette und während der Klimasimulation

2.1.1 Produktarten, Umfang, Sorten und Zeiten

Die Produkte wurden in Absprache mit den beteiligten Erzeugern so ausgewählt, dass sie entweder aus der Sicht des Fachhandels von großer Bedeutung und/oder in der Nachernte schwer zu handhaben sind. Die im **Bild 1** und **Bild 2** dargestellten Atmungs- und Transpirationsraten der untersuchten Produktarten machen deutlich, dass sich die Produkte in ihrem Nachernteverhalten stark voneinander unterscheiden und daher eine Produktgruppenbildung aufgrund ähnlicher Eigenschaften, wie im Projektantrag aufgeführt, nicht möglich ist. Beispielsweise zeigt Brokkoli in der Nacherntephase eine hohe Atmungsintensität, sodass eher thermische als wasserseitige Belastungen zum Verderb führen. Beim Kopfsalat führen dagegen wasserseitige Belastungen eher zur Verderbnis, sodass hier Maßnahmen zur Transpirationseindämmung angewendet werden müssen.

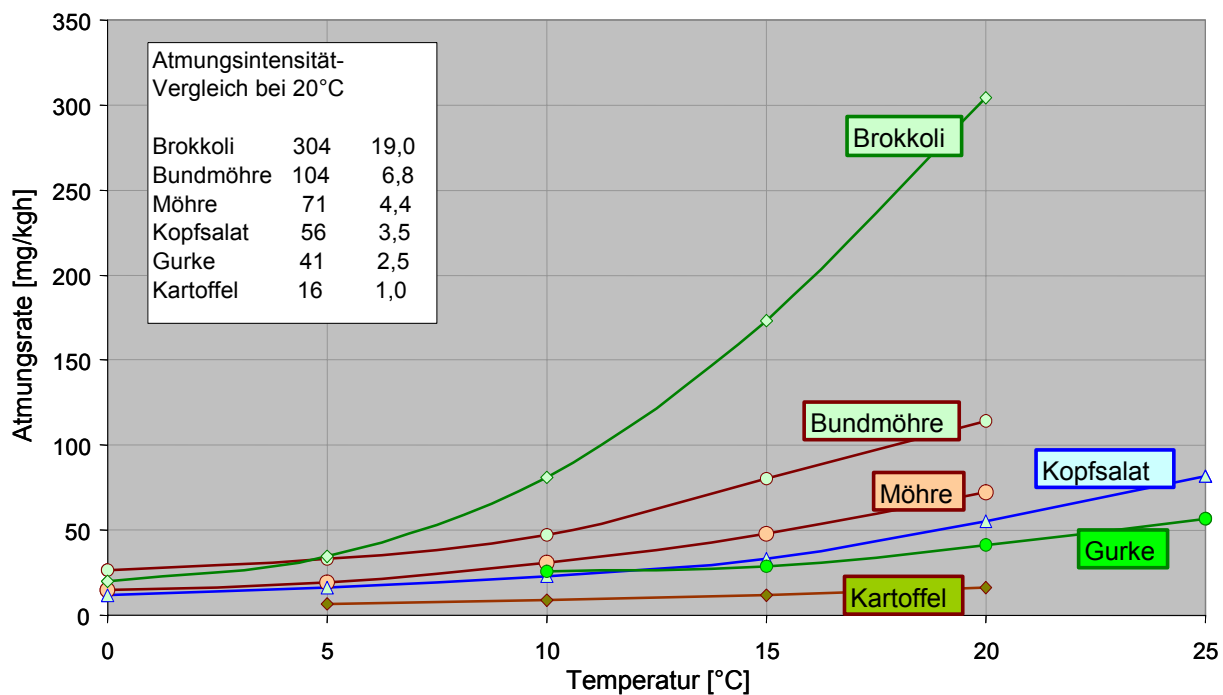


Bild 1: Atmungsintensitäten der untersuchten Produktarten

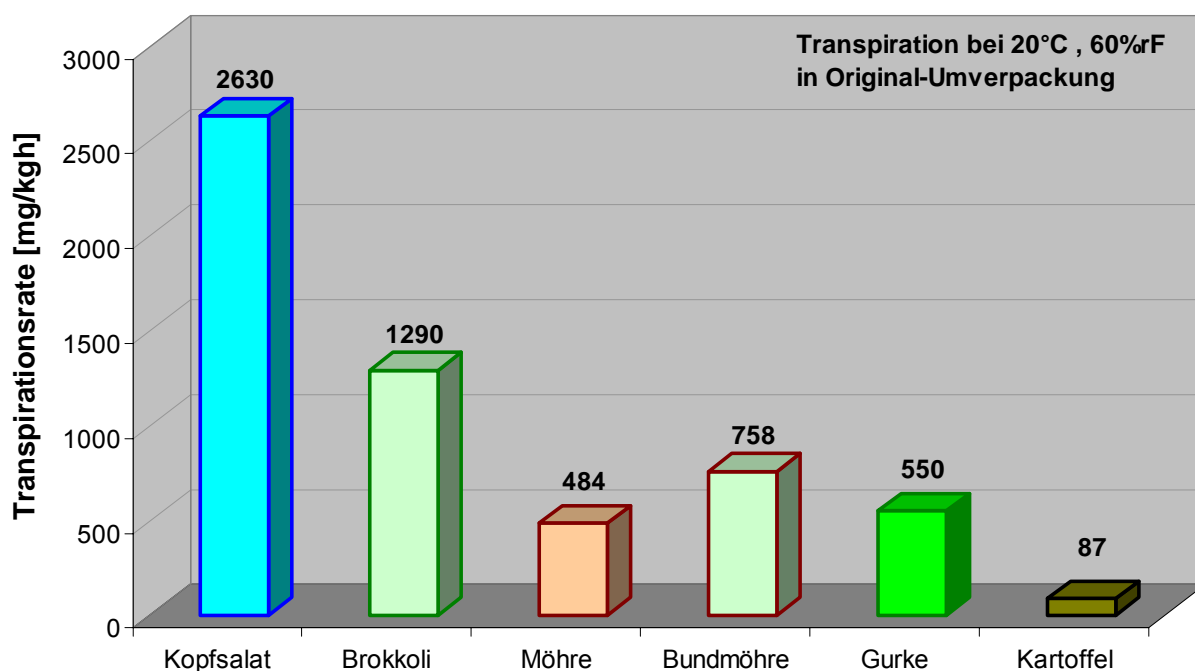


Bild 2: Transpirationsraten der untersuchten Produktarten

Andererseits sollte es sich um Produkte handeln, die in entsprechender Menge gehandelt werden und deren Vermarktung aus wirtschaftlicher Sicht sinnvoll ist. In Abstimmung auf den vorgegebenen Zeitrahmen des Projektes wurden fünf Produkte in die Untersuchungen eingebunden. Insgesamt waren sieben Erzeuger, zwei Großhandelsunternehmen sowie 25 Einzelhandelsunternehmen an den Untersuchungen in realen Nachernteketten beteiligt. Der Beginn der jeweiligen Versuchsserien (und damit auch der Zeitpunkt der Erreichung der vorgegebenen Ziele) variierte, da er stark von der Auswahl der zu untersuchenden Produkte und deren saisonalen Verfügbarkeit abhängt.

- | | |
|--------------|--------------------|
| ✓ Kopfsalat | April bis Oktober |
| ✓ Möhre | Juni bis Oktober |
| ✓ Salatgurke | Juli bis Oktober |
| ✓ Brokkoli | Juli bis Oktober |
| ✓ Kartoffel | August bis Oktober |

Das gesamte Versuchsmaterial wurde im südlichen Raum Deutschlands angebaut. Der Versuchszeitraum mit frischen Produkten erstreckte sich über den Zeitraum Mai 2004 bis September 2005. Bei Kopfsalat wurden insgesamt sechs Sorten von zwei Erzeugern untersucht. Für das Jahr 2004 wurden die Sorten *Hermann*, *Naima* und *Ponchito* für das Jahr 2005 die Sorten *NUN 4009*, *Latino* und *Alanis* verwendet. Bei Brokkoli wurden

in beiden Versuchsjahren vier Sorten von einem Erzeuger untersucht. Im Jahr 2004 wurde ausschließlich die Sorte *Fiesta* und im Jahr 2005 wurden die Sorten *Lord*, *Marathon* und *Montop* verwendet. Für die Untersuchungen mit Salatgurken wurden in beiden Versuchsjahren die Sorte *Tyria* von 2 Erzeugern verwendet. Im Jahr 2004 und im Januar 2005 wurden ausschließlich Waschmöhren, frisch geerntet und aus der Lagerung, untersucht. Verwendet wurden drei Sorten (*Bolero*, *Maestro*, *Milan*) von drei Erzeugern. Im Sommer 2005 wurden Versuche mit Bundmöhren der Sorte *Senator* von einem Erzeuger durchgeführt. Die Untersuchungen mit Kartoffeln umfassten ebenfalls frische und gelagerte Sorten (*Nicola*, *Ditta*) von zwei Erzeugern. Die Beschreibung der Produkteigenschaften zum Erntezeitpunkt und deren Veränderung in der Nachernte wurde anhand der Begriffe und Kategorien der gültigen EG- QUALITÄTSNORMEN UND HANDELSKLASSEN (2003) vorgenommen und übertragen.

Laut Projektplan sollte die erste Versuchsserie im Zeitraum 05-12/04 (05/04, 06/04, 08/04, 09/04, 12/04) erfolgen und die zweite Versuchsserie im Zeitraum 06-09/05 (06/05, 06/05, 07/05, 08/05, 09/05). Insgesamt sollten 118 Kisten (zwei Kisten pro Produkt) in der realen Nacherntekette begleitet werden. Je nach saisonaler Verfügbarkeit wurden zwei bis fünf Produkte begleitet. Pro Versuchstermin wurden von jedem Produkt und jedem Erzeuger zwei Kisten in handelsüblichen Mengen im ATB untersucht, die kurz nach der Ernte unter kontrollierten und gekühlten Bedingungen zum ATB transportiert wurden. Insgesamt wurden 152 Kopfsalate (24 Kisten), 168 Salatgurken (16 Kisten), 60 kg Brokkoli (12 Kisten), 44 kg Waschmöhren (10 Kisten), 20 Bunde Bundmöhren (2 Kisten) und 106 kg Kartoffeln (8 Kisten) unter definierten Bedingungen im Rahmen einer Nacherntesimulation bis zum Erreichen einer Verderbgrenze (sichtbare/fühlbare Mängel, wie Festigkeit, Farbe, mikrobieller Befall, ...) aufbewahrt.

Die nachfolgende **Tabelle 1** zeigt, welche Produkte in welchen Mengen in den einzelnen Versuchsmonaten sowohl in die Untersuchungen zur klimatischen Belastung (kB) innerhalb der realen Nacherntekette als auch in die Untersuchungen unter kontrollierten Laborbedingungen im ATB tatsächlich einbezogen wurden. Die Versuche im September 2004 wurden in Absprache mit den Erzeugern um einen Monat verschoben. Der für Mitte Dezember 2004 mit Lagerprodukten geplante Versuch wurde aus labortechnischen Gründen auf Anfang Januar 2005 verlegt. Der geplante Versuch im August 2005 entfiel, aufgrund der umfangreichen Menge an Auswertungsmaterial komplett.

Tabelle 1: Übersicht zur Verteilung der Produkte und Produktmengen während der Versuchsserien

	Salat	Gurke	Brokkoli	Möhre Waschmöhre 04 Bundmöhre 05	Kartoffel
Mai 04	6 Kisten kB 6 Kisten ATB	2 Kisten kB 2 Kisten ATB			
Juni 04	6 Kisten kB*) 6 Kisten ATB	2 Kisten kB*) 4 Kisten ATB	2 Kisten kB*) 2 Kisten ATB		
Aug. 04	6 Kisten kB*) 2 Kisten ATB	4 Kisten kB*) 4 Kisten ATB	2 Kisten kB*) 2 Kisten ATB	2 Kisten kB*) 2 Kisten ATB	2 Kisten kB*) 2 Kisten ATB
Okt. 04			2 Kisten ATB	2 Kisten kB*) 2 Kisten ATB	2 Kisten kB*) 2 Kisten ATB
Jan. 05				6 Kisten kB*) 6 Kisten ATB	4 Kisten kB*) 4 Kisten ATB
Juni 05	2 Kisten kB*) 4 Kisten ATB	2 Kisten kB*) 4 Kisten ATB	4 Kisten kB*) 2 Kisten ATB		
Juli 05	6 Kisten kB*) 6 Kisten ATB		4 Kisten kB*) 2 Kisten ATB	2 Kisten kB*) 2 Kisten ATB	
Sept. 05			4 Kisten kB*) 2 Kisten ATB		

*) kB = Klimatische Belastung der Produkte in der realen Kette

Die nach Versuchsplanung vorgesehene Begleitung von insgesamt 118 Napf-Systemkästen und Steco-Klappboxen vom Erzeuger bis zum Verkauf konnte aus verschiedenen Gründen nicht in vollem Umfang realisiert werden. Brokkoli, Gurke und Bundmöhre konnten am Anfang der Saison nicht im vermarktungsfähigen Reifestadium angeboten werden. Aufgrund des Verlusts von mehreren Mini-Dataloggern während der ersten Versuchsserie 2004 musste auf die Begleitung einiger Kisten verzichtet werden, da keine Überwachung der thermischen Belastung möglich war. Des Weiteren wurden mehrere Kisten mit verschiedenen Produkten von den Erzeugern nicht oder nicht vollständig mit dem benötigten Unterlagen und Messmitteln (Laufzettel, Mini-Datalogger und Verdunstungsmesszelle) ausgestattet. Am Ende der Saison wurden Kopfsalat, Salatgurke und Möhre (Wasch- und Bundmöhre) aufgrund von qualitativen Gründen bedingt durch die bereits fortgeschrittene Jahreszeit nicht mehr von den Erzeugern angeboten. Insgesamt konnten 72 Kisten begleitet werden. Davon wurden 64 Laufzettel an das ATB zur Auswertung zurückgeschickt, von denen 39 Laufzettel vollständig ausgefüllt waren. Durch den Verlust von 12 Mini-Dataloggern während der beiden Versuchsserien musste davon Abstand genommen werden, jede Kiste mit zwei Loggern auszurüsten.

2.1.2 Abschnitte in der realen Nacherntekette (Erzeuger bis Verkauf)

Je nach beteiligtem Großhandelsunternehmen wurde die Nacherntekette in fünf bzw. sechs Abschnitte unterteilt:

1. Aufenthalt beim Erzeuger
2. Transport zum Großhandel
3. Wareneingang Großhandel bis Wareneingang Einzelhandel
4. Kommissionierung bis Wareneingang Einzelhandel
5. Wareneingang Einzelhandel bis Regalbestückung
6. Regalbestückung bis Abverkauf

2.1.3 Klima- und Verpackungsvarianten in der Nacherntesimulation

Für die Untersuchungen wurden zwei verschiedene Klimasimulationen ausgewählt, die für die Einschätzung aller realen Nachernteabschnitte benutzt werden können. Dabei wurde je die Hälfte der Produkte während der Präsentationsphase bei ca. 20°C ohne zusätzlichen Transpirationsschutz aufbewahrt und in den Nachtstunden sowie am Wochenende, je nach Temperaturempfindlichkeit, bei unterschiedlichen Temperaturen (3°C oder 10°C) mit einer Folienabdeckung aufbewahrt. Es sollte geprüft werden, in welchem Umfang physiologische Prozesse und Wasserverluste durch eine Temperaturherabsetzung während der präsentationsfreien Zeit (z.B. auch am Wochenende) verlangsamt werden, um eine Verlängerung der Haltbarkeit zu erreichen. Die andere Hälfte wurde während des gesamten Versuchszeitraumes bei 10°C aufbewahrt. Eine Ausnahme bildet die Aufbewahrung der Kartoffeln. Diese wurden während der gesamten Klimasimulation bei ca. 20°C aufbewahrt.

Aus der Veränderung der Produkteigenschaften bei den entsprechenden Klimabedingungen wurden unter Beachtung des Produktzustandes zum Erntezeitpunkt Empfehlungen für die Aufbewahrung abgeleitet.

Für die Untersuchungen wurden zwei verschiedene, handelsübliche Verpackungen (NAPF-Systemkästen = Naturkost Pfandsystem, Fa. Ringoplast GmbH und Steco-Klappbox, Fa. Steco Logistic GmbH), die für den Transport als auch für die Warenpräsentation im Verkauf genutzt werden, verwendet (**Tabelle 2**). Die Verpackungen unterscheiden sich in ihren konstruktiven Gestaltungen (Festigkeit, Anordnung und Größe von Durchbrüchen, Kantenschärfe), sodass sie hinsichtlich der lufttechnischen Eigenschaften auf Unterschiede untersucht werden konnten. Beim Kopfsalat wurden zwei Verpackungen verwendet. Entweder wurde der Salat einzeln in Folientüten zu sechs Stück pro Steco-Kiste oder zweilagig zu neun Stück pro NAPF-Kiste verpackt. Dabei wurden sechs Salate in die unterste Lage und drei Salate kopfüber in die zweite Lage gelegt. Brokkoli wurde

ausschließlich in 2er NAPF-Kisten zu 5 kg verpackt. Während des Transportes zum Großhändler wurde der Brokkoli mit Eis bedeckt (**Bild 3**). Je nach Größe wurden insgesamt 12 Gurken in 1,5er oder 3er NAPF-Kisten verpackt. Wascmöhren wurden sowohl in Steco-Kisten (7 kg) als auch in NAPF-Kisten (10 kg), die mit einem PE-Seidenfaltbeutel bzw. mit einer PE-Lochfolie ausgeschlagen waren, verpackt. Bundmöhren wurden in 3er NAPF-Kisten zu 10 Bündeln pro Kiste, ohne zusätzlichen Transpirationsschutz, verpackt. Kartoffeln wurden sowohl in Steco-Kisten (12 x 1,5 kg Netze) als auch in NAPF-Kisten (5 x 2 kg Papiertüten) angeboten. Kopfsalat, Brokkoli und Salatgurken wurden auf dem Weg vom Erzeuger zum Verkauf mit einer Lochfolie aus Kunststoff (62 x 40 cm und 42 x 30 cm), mit einem luftdurchlässigen Flächenanteil von 12%, abgedeckt. Die Wascmöhren wurden mit den überstehenden Seiten des Seidenfaltbeutels abgedeckt. Diese Abdeckungen wurden auch während der Nacherntesimulation in den Nachtstunden und am Wochenende als künstlicher Transpirationsschutz, um Wasserverluste einzugrenzen, verwendet.



Bild 3: Für den Transport vorbereiteter Brokkoli

Tabelle 2: Herstellerangaben und Produktzuordnung zu den verwendeten Transport- und Verkaufsverpackungen

	Außenmaße (mm)	Innenmaße (mm)	Tara (g)	Produkt
Steco Typ 6416	600 x 400 x 180	570 x 370 x 156	1830	Kopfsalat
Steco Typ 6418	600 x 400 x 206	570 x 370 x 182	1950	Kartoffel
Steco Typ 3415	300 x 400 x 169	270 x 370 x 145	1130	Waschmöhre
NAPF 1,5	400 x 300 x 182	372 x 272 x 180	820	Salatgurke
NAPF 2	400 x 300 x 261	372 x 272 x 260	1150	Brokkoli Waschmöhre
NAPF 3	600 x 400 x 162	568 x 368 x 160	1400	Kartoffel Salatgurke Bundmöhre
NAPF 3,5	600 x 400 x 212	568 x 368 x 221	1750	Kopfsalat

2.2 Eingesetzte Versuchstechnik

2.2.1 Versuchstechnik in der realen Kette

Zur Charakterisierung der Umgebungsbedingungen der Produktarten entlang der realen Nacherntekette wurden Miniatur-Datalogger (Fa. Meilhaus) zur Aufzeichnung der Temperatur oder der Temperatur und der Luftfeuchtigkeit sowie Verdunstungsmesszellen (patentierte Eigenentwicklung des ATB) zur Erfassung von Wasserabgaberraten (pro Zeit und Frischmasse) als Prüfkörper verwendet. Die verwendeten Mini-Datalogger speichern in wählbaren Intervallen Temperaturen und eignen sich aufgrund ihrer geringen Abmessung und einfachen Handhabung sowohl für die mobile als auch für die stationäre Klima-Überwachung.

Neben den Mini-Dataloggern zur Kontrolle von Prozessabläufen im Nacherntebereich wurden probeweise neuartige elektronische Hilfsmittel, sogenannte Etikettensensoren (auch RFID-Tags oder Smart Active Labels) eingesetzt. Die Etikettensensoren haben etwa die Abmessungen einer Kreditkarte und speichern ebenfalls, aufgeklebt auf Verpackungen, in wählbaren Intervallen Temperaturen. Zusätzliche Informationen über das Produkt und den Prozess, die der Rückverfolgbarkeit der Produkte dienen, können unter Verwendung von Schreib-/Lesegeräten auf der Karte abgelegt werden. Die Grenzen für den Einsatz der Sensoren werden durch den zu überwachenden Prozess, durch spezifische Eigenschaften des zu überwachenden Produktes und vor allem durch ökonomische Erwägungen vorgegeben. Zur Zeit sind die hohen Stückpreise der stark be-

grenzende Faktor für den Einsatz solcher Sensoren zur Qualitätsüberwachung (von einzelnen Verpackungseinheiten).

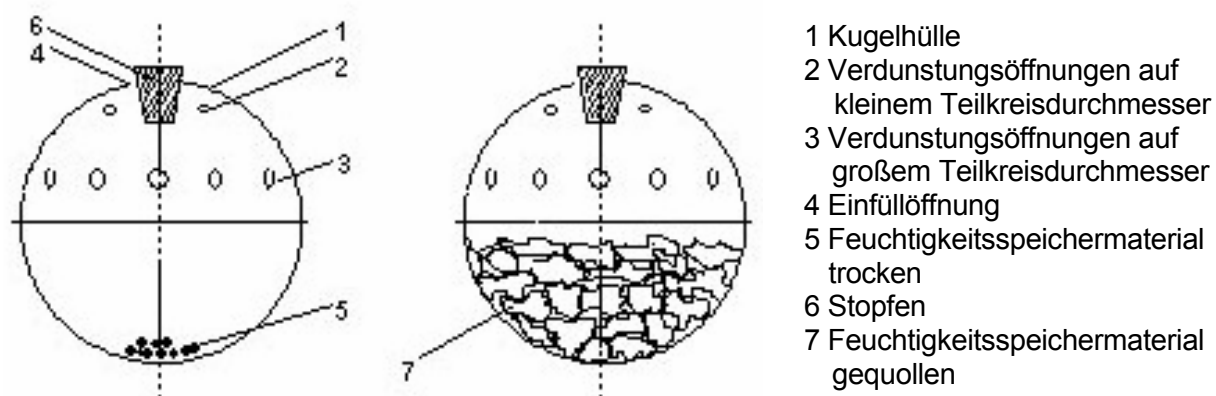


Bild 4: Schematischer Aufbau einer Verdunstungsmesszelle

Für die Verwendung der Verdunstungskugeln zur Überwachung der Wasserabgaberate werden diese mit einer großen Öffnung zum Befüllen der Kugel und mit mehreren, kleinen Verdunstungsöffnungen auf einer Seite der Kugel ausgestattet (**Bild 4**). Die Verdunstungskugeln wurden mit einem feuchtigkeitspeicherndem Granulat befüllt und den Kisten beigelegt. Das Transpirationsverhalten der Kugeln ähnelt dem der realen Produkte und kann daher zur Charakterisierung des Stoffübergangs zwischen Produkt und Umgebung genutzt werden.

Zu Beginn jeder Versuchsserie mussten bis zu 24 Mini-Datalogger sowie bis zu 60 Verdunstungsmesszellen eingemessen werden. In Absprache mit dem Großhandel wurde ein Laufzettel entworfen, der die oben beschriebenen Abschnitte (Ernte bis Abverkauf), nach Datum und Zeit abfragte, damit die aufgezeichneten Temperaturmesswerte und die ermittelten Wasserabgaberraten der Prüfkörper den einzelnen Abschnitten zugeordnet werden konnte. Ferner wurden die Erzeuger zu Maßnahmen wie Pflanztermin, Düngung, Bewässerung, Kulturführung und Pflanzenschutz während der Kulturperiode sowie zur Ernte und Aufbereitung der Produkte befragt. Zusätzliche Informationen aus der Vorernteperiode (Boden, Klima, Erntetermin,...) und Angaben über die zeitliche und örtliche Zuordnung der gemessenen Temperaturwerte sowie der Wasserabgaberraten in der Nachernte können für die Analyse von Schwachstellen und damit für eine Verbesserung der Qualitätserhaltung genutzt werden.

2.2.2 Versuchstechnik unter Laborbedingungen

Zur Charakterisierung der Umgebungsbedingungen und der Veränderung von ausgewählten, produktspezifischen Qualitätsparametern wurden verschiedene Messgeräte und -verfahren eingesetzt. Für die Aufbewahrung der Produkte während der Klimasi-mulation unter Laborbedingungen wurde ein klimatisierter Laborraum, ein temperatur-geregelter Kellerraum und eine klimageregelte, begehbare Pflanzenanzuchtzelle aus-

gewählt. Zur Erfassung verschiedener Strömungsverhältnisse wurde ein Strömungskanal mit definierten Strömungsbedingungen in die Untersuchungen einbezogen. Die Messung der Klimabedingungen in den einzelnen Phasen der Nacherntesimulation erfolgte mit verschiedenen Sensoren und Dataloggern über die Lufttemperaturen, relative Luftfeuchten, Luftgeschwindigkeiten und Luftdrücke erfasst und in wählbaren Intervallen gespeichert werden konnten. Die für die gravimetrische Methode zur Bestimmung von Wasserdampfdurchlässigkeiten erforderliche Messung der Produktoberflächentemperaturen wurde mit einem Oberflächenthermometer auf Infrarotbasis bzw. mit einem Thermografiekamerasystem (Typ Varioscan 2010, Fa. Jenoptik) bestimmt.



Bild 5: Messung von Atmungsaktivitäten

Die Atmungsintensität, als Maß für innere Stoffumsetzungen, wurde mit Infrarotgasanalysatoren (über die Erhöhung der Kohlendioxidkonzentration) in 10 Messküvetten im Anreicherungsverfahren gemessen (**Bild 5**). Dazu wurden wegen der Temperaturabhängigkeit der Atmung auch die Lufttemperaturen in den Küvetten erfasst, die für eine Korrektur der Atmungswerte auf einen einheitlichen Temperaturwert (20°C) erforderlich sind.

Zur Bestimmung von Wasserzuständen wurde eine hochempfindliche und gebräuchliche Wägemesstechnik für gravimetrische Verfahren eingesetzt.

Die Verderbgrenzenbestimmung von Möhre und Speisekartoffel erfolgte anhand der Elastizitätsmoduli der Produkte. Dazu war es erforderlich, eine Universalprüfmaschine

(Fa. Zwick) zur objektiven Messung elastischer Produkteigenschaften vorzubereiten. Dies umfasste die Auswahl des Messwerkzeugs und die Wahl der Messparameter (Kraft/Weg). Zur Bestimmung des Produktzustands zum Erntezeitpunkt, um die Vergleichbarkeit der Produkte (bei Brokkoli und Kopfsalat), die zu unterschiedlichen Terminen geerntet wurden zu gewährleisten, wurde der Grad des Chlorophyllabbaus (Fluoreszenz- und Bildanalyse = Farbveränderung der Oberfläche) ermittelt.

Die Farberfassung der im Projekt untersuchten Produkte (Brokkoli, Salatgurke, Möhre, Kopfsalat) wurde mit einem portablen Spektrofotometer CM-2600d (Fa. Minolta) durchgeführt. Das Gerät liefert Farbdaten für Messwerte mit und ohne Glanzeinschluss und ermöglicht eine einfache farbmetrische Farbkontrolle von frischen Produkten. Die Ergebnisse wurden z.T. für die Verderbgrenzenbestimmung unter Einsatz eines Verbraucherpanels verwendet.

2.3 Versuchsmethoden

2.3.1 Versuchsmethoden in der realen Kette

Zur Bewertung der Qualitätsveränderungen sowohl in der realen Kette als auch während der Klimasimulation kamen eigene, früher für konventionell erzeugte Produkte entwickelte Methoden zur Anwendung, die davon ausgehen, dass Frischeverluste in der Nachernte hauptsächlich auf Wasserverluste und/oder auf den Abbau von Inhaltsstoffen zurückzuführen sind (LINKE & GEYER 2002). Dementsprechend wurden zwei Grenzwerte für die Verkaufsfähigkeit eingeführt (**Bild 6**).

In Abhängigkeit vom Produkt und den Nacherntebedingungen wird entweder der Grenzwert für den Wasserverlust oder der Grenzwert für den Inhaltsstoffabbau zuerst erreicht und damit wirksam. Eine erhöhte mikrobielle Belastung der Produkte kann dazu führen, dass die Verkaufsfähigkeit nicht mehr gegeben ist, obwohl weder der Grenzwert für den Wasserverlust noch der Grenzwert für den Inhaltsstoffabbau erreicht ist.

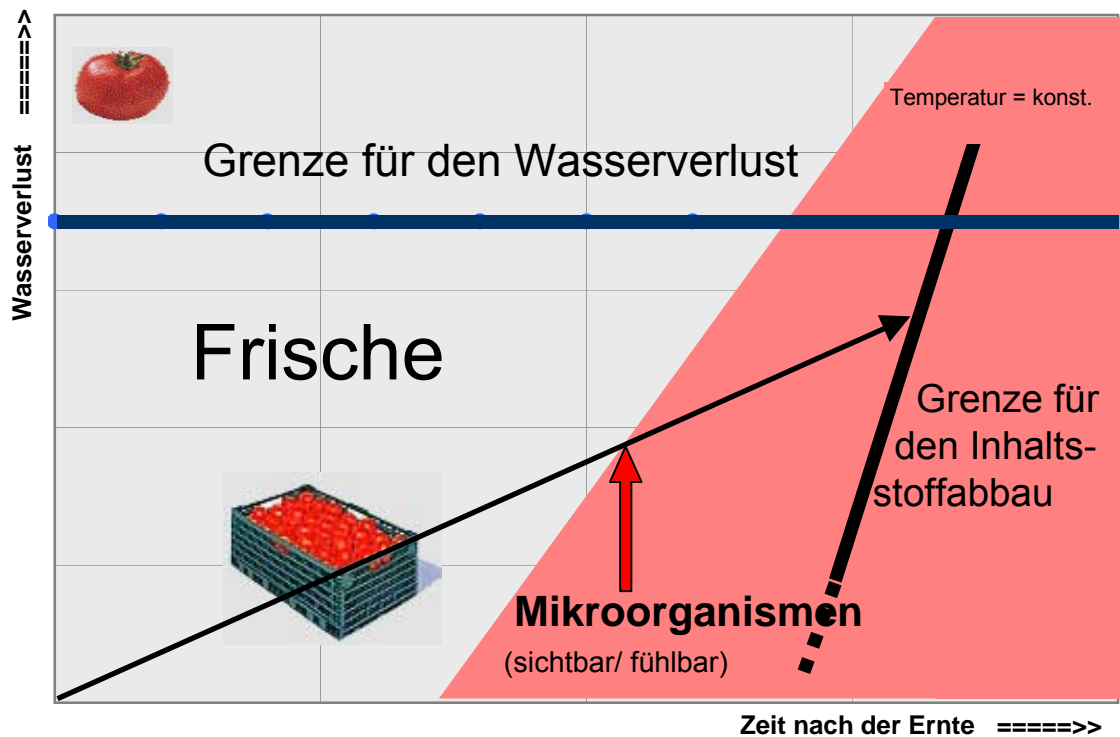


Bild 6: Grenzwerte für die Verkaufsfähigkeit von frischen Produkten

Als Grenzwerte werden sicht- oder fühlbare äußere Kriterien verwendet, die der Verbraucher/Mitarbeiter zum Zeitpunkt der Kaufentscheidung/Warenkontrolle im gewissen Umfang selbst kontrollieren kann. Für den Wasserverlust wird der Grenzwert durch Glanzverlust und durch Schrumpfungerscheinungen der ansonsten glatten Oberfläche sowie durch Veränderung der Festigkeit/Elastizität spürbar. Als Grenzwert für den Inhaltsstoffabbau werden Veränderungen der Farbe und/oder der Festigkeit der Produkte verwendet, die ebenfalls leicht eingeschätzt werden können. Es wird vorausgesetzt, dass die Gesamtheit der Inhaltsstoffveränderungen in der Nachernte hinreichend genau durch die Veränderung der temperaturabhängigen Atmungsintensität beschrieben werden kann. Damit besteht die Möglichkeit, den Abbau von Inhaltsstoffen - die den Gesundheitswert eines Produkts widerspiegeln - über die vom Produkt aufgenommenen Temperatursumme zu kontrollieren.

Zur abschnittswisen Bestimmung der thermischen und der wasserseitigen Belastung der Produkte in üblichen Verpackungseinheiten zur qualitativen Bewertung der einzelnen Abschnitte bezogen auf die Gesamtbelastung wurden Temperatursummen und Wasserabgaberraten der Prüfkörper (Verdunstungskugeln) herangezogen.

Die Atmung ist ein temperaturabhängiger Prozess, sodass es prinzipiell möglich ist, aufgrund der thermischen Belastung eines Produktes Aussagen zu Atmungsverlusten und damit zum Grad des Qualitätsabbaus zu erhalten. Die thermische Belastung wurde in Form der Temperatursumme bestimmt. Die Temperatursumme ist das Produkt aus der

Zeit, die von der Ernte bis zum Abverkauf des Produkts vergangen ist und der dabei aufgenommenen mittleren Temperatur, die mittels des transportablen Mini-Datalogger erfasst wurde.

Neben Atmungsvorgängen führen Veränderungen des Wasserhaushalts zu Qualitätsveränderungen, sodass durch Transpiration verursachte Welkeerscheinungen zur Herabsetzung der Vermarktungsfähigkeit führen, bevor Inhaltsstoffverluste kritische Werte erreichen. Die Transpiration ist weniger von der Temperatur als von Luftströmung und Luftfeuchtigkeit abhängig. Gemüse reagiert aufgrund der morphologischen Beschaffenheit unterschiedlich auf Veränderung des Temperatur- bzw. Wasserhaushaltregimes. Für Produkte, die einen hohen natürlichen (z.B. Tomaten) oder einen hohen künstlichen (z.B. durch Verpackungen) Transpirationsschutz besitzen, lassen sich Qualitätskontrollen anhand von Temperatursummen durchführen. Bei empfindlichen Produkten (z.B. Kopfsalat) ohne künstlichen Transpirationsschutz sind Qualitätskontrollen allein durch Temperatursummen nicht geeignet. Hier wurden begleitende Untersuchungen mit den oben beschriebenen Verdunstungskugeln durchgeführt. Jede Kiste, die mit den in die Untersuchungen einbezogenen Produkten befüllt war wurde mit mehreren Verdunstungskugeln ausgestattet, die zuvor im ATB einzeln eingemessen und luftdicht verpackt wurden.

Die Vorgehensweise während der Begleitung der Kisten verschiedener Produkte in realen Nachernteketten zur Erfassung der klimatischen Belastung sah wie folgt aus: Die benötigten Mini-Datalogger bzw. Etikettensensoren sowie die Verdunstungskugeln wurden im ATB eingemessen und verpackt. Jedem Erzeuger wurden die gesamten Unterlagen und Messmittel (Laufzettel, Blatt zu den Erzeugerabgaben, Mini-Datalogger und vier bis fünf Verdunstungskugeln) für jede Kiste per Post zugeschickt oder bei Abholung der Produkte durch Mitarbeiter des ATB für Untersuchungen im ATB persönlich geliefert. Aufgabe der Erzeuger war es zur Ernte des jeweiligen Produkts, die Kiste mit den Unterlagen und Messmitteln auszustatten, dabei wurden der Mini-Datalogger sowie die jeweilige Verdunstungskugel mittels einer Styroporleiste am inneren Rand der Kiste befestigt. Die restlichen Unterlagen und Messmittel wurde wasserdicht verpackt der Kiste beigelegt. Mit Beginn eines neuen Abschnitts innerhalb der Nacherntekette mussten Datum und Zeit auf dem Laufzettel eingetragen werden und die Verdunstungskugel ausgewechselt werden. Nach dem Abverkauf der Ware im Einzelhandel sollten die gesamten Unterlagen und Messmittel an das ATB zurückgeschickt werden.

2.3.2 Versuchsmethoden unter Laborbedingungen

Die Produkte wurden im Versuchsverlauf unterschiedlichen, möglichst realitätsnahen Klima-/Zeitrelationen ausgesetzt. Dementsprechend wurden reale Klimabelastungen während der Warenpräsentation und der nächtlichen Aufbewahrung unter Laborbedingungen simuliert, dabei repräsentieren die abgedeckten Zeitabschnitte gleichzeitig die vorgelagerten Nacherntephase. Die Produkte wurden in den oben beschriebenen Verpackungen so aufbewahrt, wie sie im realen Prozess die Kette durchlaufen haben.

Zur Bewertung des Einflusses der Verpackung auf die Frischhaltung bzw. auf Qualitätsveränderungen der untersuchten Produkte wurden die Produkte solange bei den entsprechenden Temperaturen aufbewahrt bis sichtbare und/oder fühlbare Schäden auftraten. Die unterschiedlichen Temperaturen in der Nacht wurden gewählt, um thermisch abhängige Stoffwechselprozesse, Wasserverluste und mikrobielle Aktivitäten und deren Auswirkungen auf die Verkaufsfähigkeit zu berücksichtigen.

Für jedes Produkt war eine Referenzvariante und zwei klimatisch unterschiedlich belastete Varianten für die Warenpräsentation vorgesehen. Die Referenz liefert Informationen über den Zustand wichtiger Produktparameter (Abmessungen, Frischmasse, Elastizität, Farbe) zum Erntezeitpunkt (Beginn der Nacherntesimulation) für einen späteren Vergleich mit belasteten Varianten.

Es wurde vorgesehen, dass die zerstörungsfreien Messungen der Veränderung von ausgewählten Produkteigenschaften (Transpiration, Atmung, Elastizität, Farbe) bei allen Varianten im Abstand von zwei bis sieben Tagen durchgeführt wird. Zusätzlich wurde eine Bonitur auf markante Veränderungen des äußeren Erscheinungsbildes eingeordnet.

Das Transpirationsverhalten der Produkte in den Verpackungen (z.B. Kopfsalat in Folientüten, Kartoffeln im Netz/Tüte) wurde direkt gemessen. Im Gegensatz dazu wurde der gesamte Inhaltsstoffabbau indirekt über die Atmungsintensität und der Bildung der Temperatursumme berücksichtigt.

Zur Charakterisierung des Transpirationsverhaltens der Produkte wurde ein am ATB entwickeltes Messprinzip eingesetzt, mit welchem der Wasserzustand von Produkten und eine Kenngröße zur Charakterisierung der Luftströmung in unmittelbarer Nähe des Produkts getrennt bestimmt werden kann (GEYER & LINKE 2001). Dazu werden Transpirationswiderstände genutzt, die den Wasserzustand eines Produktes charakterisieren und mit einfachen Mitteln gemessen werden können. Der Gewebewiderstand im Wasserdampfpfad ist artspezifisch, außerdem abhängig vom Entwicklungszustand eines Produkts, den Vorerntebedingungen und den Belastungen in der Nachernte (MÜLLER & LINKE 2002). Der Grenzschichtwiderstand ist ein Maß für die vorhandenen An- und Umströmungsbedingungen. Dessen resultierende Größe ergibt sich durch Überlagerung einzelner Grenzschichten im Bündel, in Schichten und/oder durch den Schutz von Verpackungen. Zur Bestimmung der Transpirationseigenschaften werden zunächst die Transpirationswiderstände (Gewebewiderstand, Grenzschichtwiderstand) von Einzelfrüchten gemessen.

Das Produkt wird für kurze Zeit (0,5-1 Std.) bei definierten Klimabedingungen (Lufttemperatur, relative Luftfeuchte, freie Konvektion am Einzelprodukt) aufbewahrt (**Bild 7**)

In einem bestimmten Zeitintervall wird die Gewichtsabnahme (mit einer Präzisionswaage) und die Oberflächentemperatur (mit Hilfe einer Thermographiekamera oder mit Infrarotthermometern) erfasst. Wenn die Transpirationswiderstände vom Einzelprodukt bekannt sind, können auf ähnliche Weise die Transpirationswiderstände einer Verpackungseinheit mit Inhalt bestimmt werden. Der einzige Unterschied besteht darin, dass

die mittlere Temperatur zwischen den einzelnen Produkten mit normalen Thermometern gemessen wird. Dieser Widerstand ist ein Maß für die Strömungsbedingungen in unmittelbarer Nähe zum Produkt.

Die Temperaturabhängigkeit der Atmung ist hinreichend bekannt und in zahlreichen Publikationen (BÖTTCHER 1996, KADER 2000, OSTERLOH *et al.* 1996) für die verschiedensten Obst- und Gemüsearten verfügbar.

Aus dem allgemeinen Zusammenhang zwischen der Atmung des jeweiligen Produkts und der Temperatur (im Bereich von 10 bis 25°C) und den konkreten Messwerten für die in



Bild 7: Messung von Transpirationswiderständen

den Versuchen verwendeten Sorten wurde der temperaturabhängige Verlauf der Atmung der jeweiligen Sorte ermittelt. Damit besteht die Möglichkeit, über den gesamten Verlauf des Versuchs, aus den gemessenen Temperaturwerten auf die aktuelle Atmungsintensität zu schlussfolgern und ein Grenzwert der Vermarktungsfähigkeit, z.B. in Abhängigkeit von der Elastizität oder der Farbänderung festzulegen. Zur Gewährleistung der Vergleichbarkeit einer Produktart in unterschiedlicher Form und Größe bei mehreren Versuchsserien ist die Kenntnis der Oberfläche der Produkte erforderlich. Für die Bestimmung dieser Flächen war eine rechnergestützte Vermessung von jeweils 30 Produkten (Salatgurke, Möhre, Kartoffel) vorgesehen, in deren Ergebnis die Oberfläche und leicht zu ermittelnde Hauptabmessungen (Quer- und Längsdurchmesser) vorliegen. Der Zusammen-

hang zwischen der näherungsweise bestimmten Oberfläche und den Hauptabmessungen wurde durch eine Regressionsanalyse ermittelt. Für Brokkoli und Kopfsalat (und auch für die anderen Produkte) wurden gewichtsbezogene Kenngrößen ausgewertet, weil die transpirationsaktive Fläche nicht hinreichend genau bestimmt werden kann.

3 Berichtsteil Kopfsalat (*Lactuca sativa* var. *capitata* L.)

3.1 Allgemeine Informationen

Innerhalb des ökologischen Frischgemüse-Sortiments kommt den Blattsalaten allgemein eine wichtige Bedeutung zu (KASBOHM 2004). Laut einer Öko-Sondererhebung haben Blattsalate einen Anteil von 8,2% an der Gesamt-Bio-Gemüsemenge. Kopfsalate aus ökologischem Anbau konnten im Gegensatz zu konventionell erzeugten Kopfsalaten ihre führende Stellung innerhalb des deutschen Sortiments, wenn auch knapp, behaupten. Der Importbedarf bei Bio-Blattsalaten hat sich in den letzten Jahren nur wenig verändert und liegt bei etwa 30% des Jahresbedarfs. Vor allem im Frühjahr und Herbst dominieren Salate südeuropäischer Herkunft am deutschen Markt. Bio-Kopfsalate werden vorwiegend aus Frankreich importiert.

Der Pro-Kopf-Verbrauch für konventionellen Kopfsalat lag 2002 bei 1,3 kg pro Haushalt (ILLERT 2003). Bei einem durchschnittlichen Gewicht von 350 g wären das etwa vier Köpfe pro Jahr. Interessanterweise ist der Verbrauch beim Kopfsalat stark alters-, regional- und saisonalabhängig. Das Alterssegment ab 50 Jahren konsumiert überdurchschnittlich viel Kopfsalate, die junge Generation liegt im Verzehr weit unter dem Durchschnitt. Der Verzehr im Süden Deutschlands liegt weit höher als der im Nordwesten und Nordosten. Die Saisonalität bei Kopfsalat ist in den letzten Jahren stark gestiegen. Kopfsalat ist im starken Maße ein „Sommersalat“.

Der Anbau von Kopfsalat findet überwiegend in Mitteleuropa statt. An der Präsentation hat sich in den letzten Jahren nichts verändert, zu 94% wird er lose angeboten, nur 4% werden in Folientüten verkauft. Hinsichtlich der Einkaufsstätten fällt auf, dass Kopfsalate stark unterdurchschnittlich in Discountern vertreten sind, was vor allem an ihrer Präsentation liegt. Kopfsalate werden dagegen überdurchschnittlich stark an Marktständen bzw. direkt vom Erzeuger gekauft.

Der Kopfsalat (*L. sativa* var. *capitata* L.) gehört zur artenreichen Familie der *Asteraceae*, welche über die gesamte Erde verbreitet ist (KRUG *et al.* 2002). Kopfsalate bilden mit großlappigen, ungeteilten, meist blasigen Blättern nach anfänglich offener Rosette einen mehr oder weniger festen „Kopf“. Die Blätter sind zart und weich, die Farbe kann, je nach Sorte, von Milchig-Weiß über Hellgelb, Hellgrün bis Dunkelgrün variieren. Oft sind die kopfbildenden Blätter und die Umblätter verschieden gefärbt. Der Blattrand ist meist glatt.

Für Kopfsalate sind an Vitaminen mittlere Gehalte für E, Riboflavin und Folsäure, ein mittlerer bis niedriger Gehalt für Thiamin und Niacin ausgewiesen. Ihr Gehalt an Mineralstoffen ist gering. Bedeutsam sind die zusammen mit den Zuckern geschmacksbildenden organischen Säuren (Apfel-, Zitronen- und Bernsteinsäure). Der spezifisch bittere Geschmack wird hauptsächlich durch die organische Verbindung Lactucin bedingt.

3.2 Nachernteverhalten von Kopfsalat

Zur Charakterisierung des Nachernteverhaltens von Kopfsalat werden, wie auch bei anderen Produktarten praktiziert, zwei Verderbgrenzen eingeführt.

Bei Kopfsalat besteht die Besonderheit, dass die für den Verzehr vorgesehenen Pflanzenteile (Umblätter und Kopfblätter) eine ausgeprägte, differenzierte Altersstruktur aufweisen. Das äußerste noch vorhandene Umblattpaar ist immer das älteste Teil des Kopfes, an dem auch der Abbau von Inhaltsstoffen erst zu einem relativ späten Zeitpunkt z.B. durch Vergilbungen (Chlorophyllabbau) sichtbar wird. Bis zu einem bestimmten Punkt können Alterungserscheinungen durch das Entfernen von Umblättern kaschiert werden. Prinzipiell ist jedoch der Inhaltsstoffabbau nicht die begrenzende Größe auf die Haltbarkeit von Kopfsalat, wenn die Grundregeln für die Aufbewahrung von empfindlichen Produkten (opt. Erntetermin, Temperaturregime, Hygiene) eingehalten werden. In externen Quellen werden 14 Tage bei 5°C und 28 Tage bei 0°C (USDA-HANDBOOK 2004) als maximale Haltbarkeit angegeben.

Aufgrund des ungünstigen Oberflächen-/Masseverhältnisses bei Kopfsalat wirken Transpirationsverluste eher begrenzend auf die Verkaufsfähigkeit. Dementsprechend sollen die relevanten Produkteigenschaften und die Umgebungsbedingungen einer näheren Betrachtung unterzogen werden.

Sowohl der Ausgangszustand des Produktes (Phänotyp) als auch die Art und Weise der Aufbewahrung (Losgrößen in der Verpackung, künstlicher Transpirationsschutz, ...) haben großen Einfluss auf die transpirationsaktive Fläche. Neben der Fläche wird die Transpirationsrate maßgeblich durch die Widerstände im Wasserdampfpfad beeinflusst. Bei Kopfsalat sind zwei Parallelwiderstände am Blatt und der dazu in Reihe befindliche Grenzschichtwiderstand zu berücksichtigen. Der cuticuläre Parallelwiderstand ist stark von der Altersstruktur der einzelnen Umblätter abhängig. Er liegt im Bereich von etwa 40 s/cm. Der stomatäre Parallelwiderstand ist von den Lichtverhältnissen (photosynthetisch aktive Strahlung) und vom Wasserzustand des Produktes abhängig. Ungünstigenfalls (ausreichend Licht, ausreichend Wasser) kann er in den Bereich von <4 s/cm abfallen, d.h. der dann niedrige Gesamtgewebewiderstand hat verhältnismäßig große Transpirationsverluste zur Folge.

Dämpfend auf Transpirationsverluste wirkt sich das häufig auf der transpirationsaktiven Fläche und zwischen den Umblättern vorhandene freie Wasser (aus Niederschlägen oder Waschprozess) aus.



Bild 8: Frischer Kopfsalat (links) und Kopfsalat nach achttägiger Klimasimulation (rechts)

Laut Literaturangaben liegt die Grenze für die Vermarktungsfähigkeit (infolge Welkeerscheinungen) bei 3-5% Wasserverlust bezogen auf den Ausgangszustand (KAYS 1991). Diese Größenordnung konnte durch die eigenen Versuche mit mehr als 1000 konventionell und ökologisch erzeugten Produkten unter Laborbedingungen über mehrere Jahre nicht generell bestätigt werden. Die Ursache dafür ist in Wasserumverteilungsvorgängen im Kopfsalat als Folge örtlich auftretender Potentialdifferenzen zu sehen.

Wenn äußerer Transpirationsdruck vorhanden ist (niedrige Luftfeuchte, Luftbewegung an der Oberfläche, Licht), wird Wasser aus den inneren Regionen (abgedeckte Umblätter, Strunk, Herzblätter) zur transpirationsaktiven Fläche transportiert. Da insgesamt nur eine endliche Wassermenge vorhanden ist, kann dieser Vorgang nur über eine bestimmte Zeit aufrecht erhalten werden. Wenn die inneren Druckverhältnisse keinen weiteren Wasserfluss erlauben, beginnen die Umblätter erste Welkeerscheinungen zu zeigen. Dieser Zeitpunkt liegt sicherlich im Bereich von 3-5% Gesamtwasserverlust bezogen auf den Zustand zum Erntezeitpunkt.

Die im Rahmen des Projektes durchgeführten Nacherntesimulationen unter Laborbedingungen mit Kopfsalat haben gezeigt, dass Wasserverluste im Bereich von 10-12% nicht zwangsläufig zu Welkeerscheinungen am Produkt führen müssen (**Bild 8**, 11,6% Wasserverlust, rechts). Bei Verringerung des äußeren Transpirationsdruckes (minimale Luftströmung und hohe Luftfeuchte an der Produktoberfläche) findet im Produktinnern ein Druckausgleich statt, der einen teilweisen Wasserrückfluss zur Folge hat. Produkt und Umgebung haben das Bestreben ein Gleichgewicht zu erreichen. Ausgeglichene Druckverhältnisse können durch einfach zu realisierende Maßnahmen (z.B. Folienabdeckungen) erreicht werden. Wenn es möglich ist unter Beachtung aller anderen Randbedingungen einen Wechsel von Belastungs- und Ausgleichssituationen zu schaffen, sollten unter Ausnutzung der Wasserumverteilungsprozesse Verlängerungen der Haltbarkeit bei Kopfsalat realisierbar sein.

3.3 Schwachstellenanalyse im realen Prozess bei Kopfsalat

Für die Schwachstellenanalyse im realen Prozess bei Kopfsalat wurden zwei Erzeuger (E1, E2) und zwei Großhändler (G1, G2) einbezogen. Untersucht wurden zwei verschiedene Verpackungsvarianten (siehe unter 2.1.3).

Die aufgezeichneten Temperatursummen und Wasserabgaberraten für jede begleitende Kiste wurden zur Anschaulichkeit graphisch dargestellt. Im Folgenden wird für jede Erzeuger/Großhandel-Variante (E1G1, E1G2, E2G2) beispielhaft eine Graphik abgebildet (**Bild 9-11**). Aus den Graphiken lassen sich die zeitliche Dauer der einzelnen Abschnitte, die thermischen Belastung (Temperaturverlauf) sowie die Wasserabgaberrate erkennen. Somit lassen sich temperatur- als auch wasserseitige Schwachstellen innerhalb der Nacherntekette schnell aufzeigen.

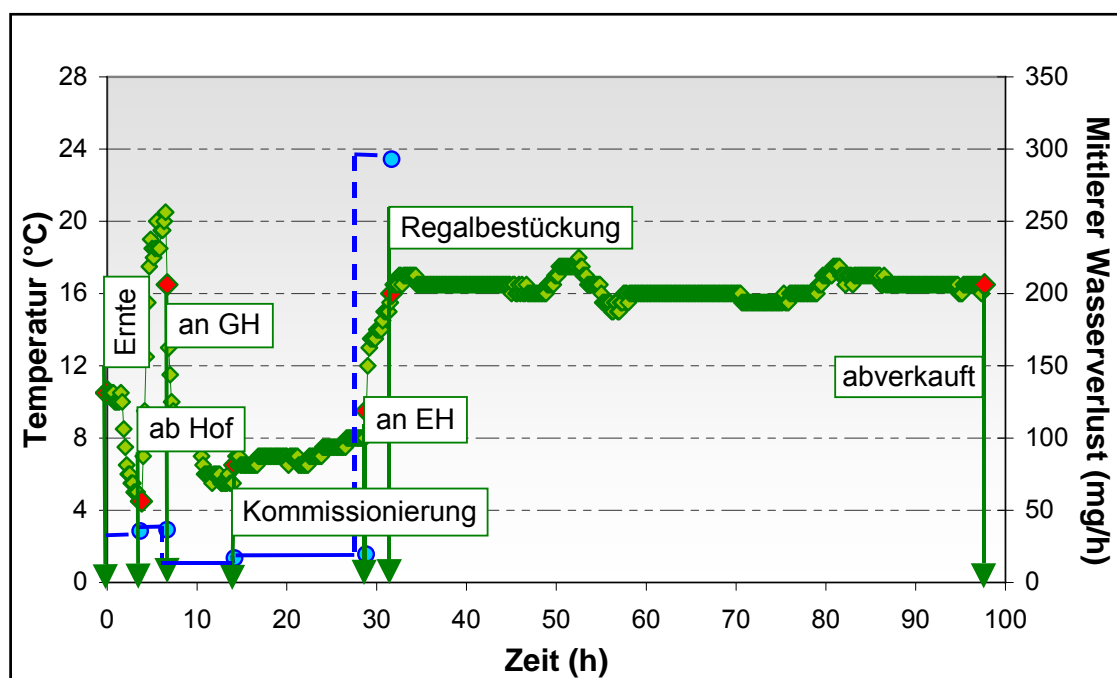


Bild 9: Temperaturverlauf und mittlere Wasserabgaberrate entlang der Nacherntekette von Kopfsalat (E1G1)

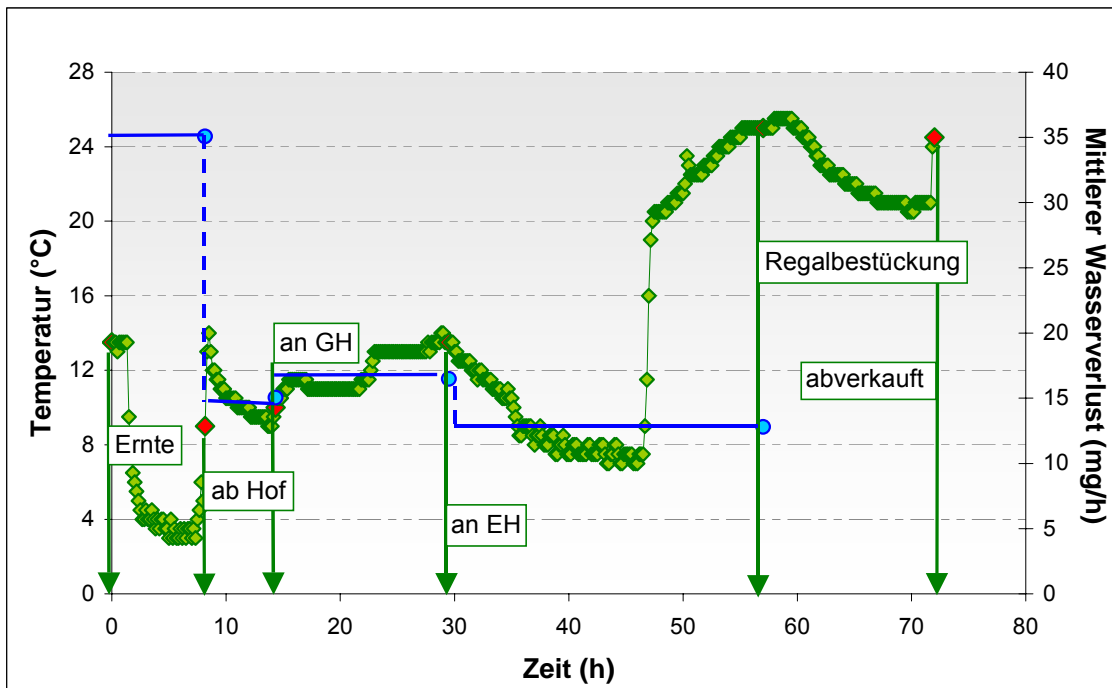


Bild 10: Temperaturverlauf und mittlere Wasserabgaberrate entlang der Nacherntekette von Kopfsalat (E1G2)

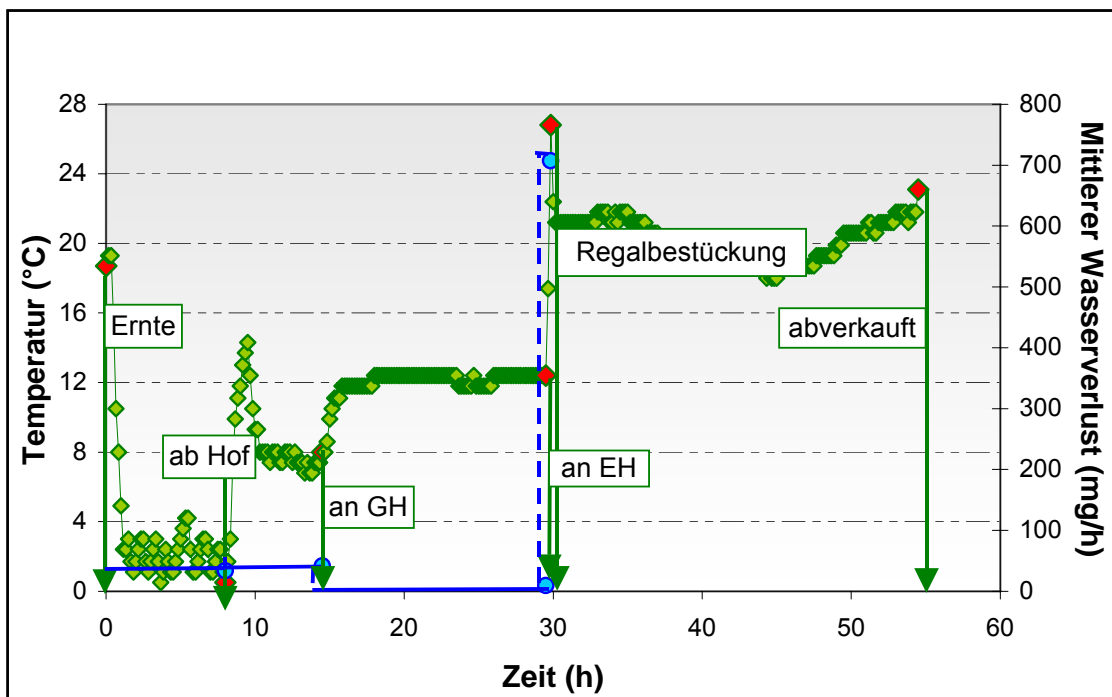


Bild 11: Temperaturverlauf und mittlere Wasserabgaberrate entlang der Nacherntekette von Kopfsalat (E2G2)

In der nachfolgenden **Tabelle 3** sind die Mittelwerte der zeitlichen Aufenthalte, der mittleren Wasserverluste und der Temperatursumme der einzelnen Abschnitte aufgeteilt nach beteiligten Erzeugern und Großhändlern über den gesamten Versuchszeitraum wiedergegeben. Die detaillierten Ergebnisse pro Versuchsserie sind im Anhang beigelegt (**Anhang 1, 2, 3**). Die Verdunstungskugeln zur Erfassung der Wasserverluste wurden aus versuchstechnischen Gründen (zu hohe Verlustrate durch Entwendung von Kunden) nicht in den Verkauf gebracht.

Tabelle 3: Zeitliche Einstufung und Angabe des mittleren Wasserverlusts sowie der Temperatursumme der einzelnen Abschnitte entlang der realen Nacherntekette von Kopfsalat

Abschnitte	Zeit (h)			Mittlerer Wasserverlust des Prüfkörpers (mg/h)			Temperatursumme (Gradstunden)		
	E1G1	E1G2	E2G2	E1G1	E1G2	E2G2	E1G1	E1G2	E2G2
Aufenthalt beim Erzeuger	3	7	6	50	28	43	36	62	48
Transport zum Großhandel	2	6	9	98	33	28	38	55	75
Wareneingang Großhandel bis Wareneingang Einzelhandel	27	27	26	41	23	32	188	307	308
Wareneingang Einzelhandel bis Regalbestückung	5	7	8	437	112	163	69	115	144
Abverkauf	25	11	30				331	229	610
Summe	62	59	79	625	196	266	662	767	1186

Anhand der enthaltenen Daten lassen sich Schlussfolgerungen zur wasserseitigen und thermischen Belastung der Produkte sowohl im Hinblick auf die einzelnen Phasen der Nachernte als auch auf die drei einbezogenen Ketten ziehen.

Die höchsten mittleren Wasserverluste sind bei allen Varianten während der Zeit vom Wareneingang im Einzelhandel bis zur Regalbestückung aufgetreten. Daraus lässt sich schließen, dass hier ungünstige Klimabedingungen unabhängig von der Einzelhandelsstruktur (Wochenmarkt, Naturkosteinzelhandel, Supermarkt,...) auftreten. Vermutlich sind unangepasste Luftströmungen die Ursache. Die thermische Belastung während des Aufenthalts beim Erzeuger und während des Transports zum Großhandel spielte im Vergleich zur gesamten Temperatursumme nur eine untergeordnete Rolle. Die höchste

thermische Belastung, unabhängig von der jeweiligen Nacherntekette, erfuhr das Produkt während des Abverkaufs.

Beim Vergleich der untersuchten Ketten fällt auf, dass sich die mittleren Wasserverluste während der Transporte vom Erzeuger zum Großhandel stark voneinander unterscheiden (E1G1 zu E1G2 und E2G2), was daraufhin deuten könnte, dass hier unterschiedliche Luftbewegungen während der einzelnen Transportstrecken herrschen. Auffällig ist die unterschiedliche thermische Belastung bei den beteiligten Großhandelsunternehmen. Diese unterscheidet sich um 60%, was aufgrund der ähnlich langen Aufenthaltsdauer auf das jeweilige Temperaturregime zurückzuführen ist.

Die zeitlichen Unterschiede während der Transporte zum Großhandel sind durch die unterschiedlichen Entfernungen zwischen Erzeuger und Großhandel bedingt.

3.4 Einfluss des Nachernteklimas auf die Transpiration von verpackten Kopfsalaten

Die Transpirationsrate (in $\text{mg}_{\text{Wasser}} / \text{kg}_{\text{Frishmasse}} \text{ h}$) ist sowohl von den Gewebedurchlässigkeiten als auch von den Umgebungsbedingungen abhängig. Bei mehreren Kopfsalaten in einer Umverpackung, die sich zusätzlich in Folientüten befinden bzw. zeitweilig mit Folienabdeckungen versehen sind, sind verschiedene natürliche und künstliche Widerstände im Wasserdampfpfad (parallel im Gewebe, überlagerte Grenzschichten, Abdeckungen, Umverpackungen) vorhanden. Die Transpirationsrate wird durch den resultierenden Gesamtwiderstand und die Parameter des umgebenden Klimas (Lufttemperatur, Luftfeuchte in ausreichender Entfernung von der Verpackungseinheit) bestimmt.

Sowohl die Klimabedingungen als auch die Schutzwirkung der Verpackungsformen (siehe unter 3.5) werden im folgenden anhand der gewichtsbezogenen Transpirationsrate bewertet. Es ist prinzipiell auch möglich aus der Transpirationsrate und den Grenzwerten 10-12% (im Mittel 11% für Umverpackungen, die abwechselnd offen und abgedeckt stehen) und 3-5% (im Mittel 4% für ständig offenstehende Umverpackungen) entsprechende Resthaltbarkeiten zu berechnen.

Tabelle 4: Mittelwerte der gewichtsbezogene Transpirationsraten von abgedecktem Kopfsalat in Umverpackungen bei verschiedenen Temperaturen

Variante	Transpirationsrate	Streuung
	[mg / kg h]	[mg / kg h]
3°C	345	±145
10°C	512	±149

Die in der **Tabelle 4** angegebenen Werte gelten für alle Nacherntephase im Temperaturbereich von 3-10°C bei relativen Luftfeuchten im Bereich von 80-95%, in denen die Fo-

lienabdeckung durchgängig wirksam ist (mit Ausnahme der Präsentation). Luftbewegung am Produkt und photosynthetisch aktive Strahlung führen zu z.T. weitaus höheren Wasserverlusten. Tiefere Temperaturen (3°C vs 10°C) bewirken tendenziell etwa 1/3 geringere Transpirationsraten. Höhere Temperaturen sollten ohnehin aus mehreren Gründen (exponentieller Anstieg der Stoffwechselaktivitäten, mikrobielle Belastungen) vermieden werden, falls nicht einzuhalten ist in erster Näherung von ähnlichen Größenordnungen in Richtung höherer Temperaturen auszugehen.

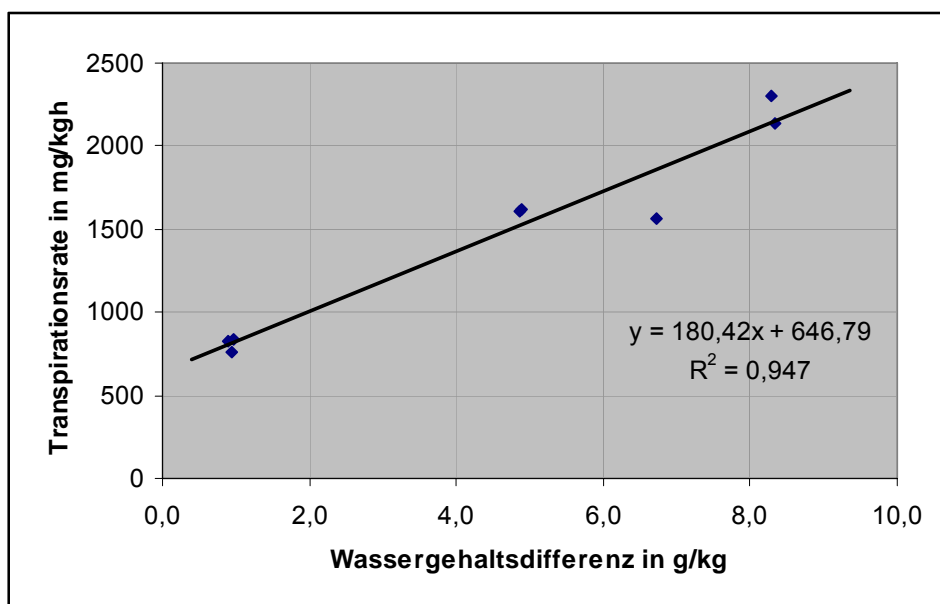


Bild 12: Zusammenhang zwischen Transpirationsrate und Wassergehaltsdifferenz der untersuchten Verpackungseinheiten

Die absolut höchsten Verluste sind bei der offenen Präsentation (ohne Folienabdeckung) unter Raumklimabedingungen zu erwarten. Im **Bild 12** ist der in der Nacherntesimulation gemessene Zusammenhang zwischen der Transpirationsrate und der Wassergehaltsdifferenz dargestellt, bestimmt aus den Mittelwerten je untersuchte Verpackungseinheit der fünf Versuchsserien.

Die Beziehung bildet die Grundlage für ein Modell zur Vorausberechnung der Haltbarkeit unter Präsentationsbedingungen. Lufttemperatur, relative Luftfeuchte und Zeit können eingegeben werden, Ausgabegrößen sind Transpirationsintensitäten und der daraus resultierende prozentuale Wasserverlust bezogen auf den Ausgangszustand. In der nachfolgenden **Tabelle 5** sind für zwei Klima-/Zeitkombinationen Transpirationsraten und Wasserverluste aus der Modellrechnung aufgelistet.

Tabelle 5: Transpirationsraten und Wasserverluste während der offenen Präsentation bei verschiedenen Raumklimabedingungen

Zeit [h]	Lufttemperatur [°C]	Rel. Luftfeuchte [%]	Transpirationsrate [mg / kg h]	Proz. Wasserverlust [%]
10	20	50	2003	2,0
10	10	80	929	0,9

Die ermittelte Beziehung ist ausschließlich für die beiden Verpackungsversionen (6 Kopfsalate in Steco-Kiste, 9 Kopfsalate in NAPF-Kiste) verwendbar. Sie gilt strenggenommen nur für den Klimabereich der Ausgangsdaten (freie Konvektion, Lufttemperatur 9°C bis 23°C, relative Luftfeuchte 44% bis 88%). Extrapolation im Bereich von 10% sollten jedoch möglich sein, da der Zusammenhang relativ deutlich ist. Bei Zwangsluftströmung darf die Gleichung nicht verwendet werden, da bereits Anströmgeschwindigkeiten von 0,3 m/s zu einer Verdopplung der Wasserverluste führten.

Im **Bild 13** sind Transpirationsraten in Abhängigkeit von der Lufttemperatur und von der relativen Luftfeuchte aus der Modellrechnung für den gesamten Raumklimabereich dargestellt. Die eingetragenen Ablesebeispiele entsprechen den Werten aus **Tabelle 5**. Durch die Einbeziehung von Zeitintervallen und Frischmassen (pro Verpackungseinheit) kann der Wasserverlust errechnet werden. Bei Verwendung der Verderbgrößen kann letztendlich auch die Resthaltbarkeit bestimmt werden.

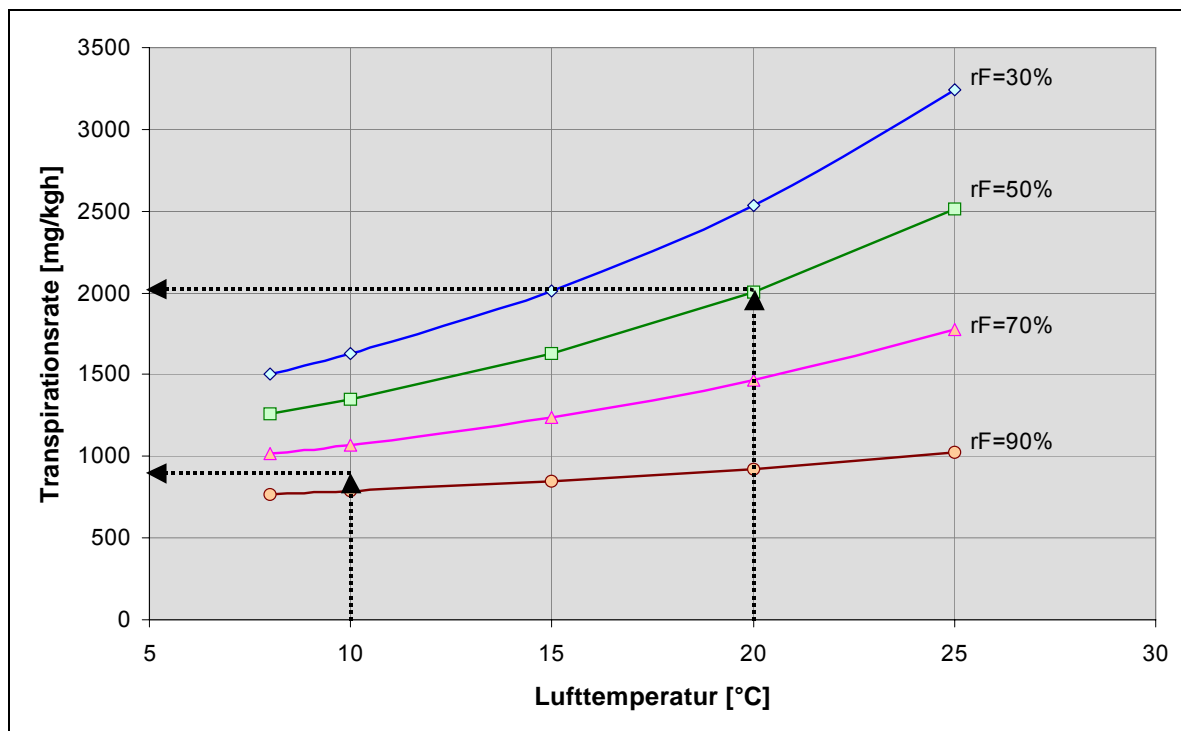


Bild 13: Transpirationsrate in Abhängigkeit von der Lufttemperatur und von der relativen Luftfeuchte (bei freier Konvektion) während der offenen Präsentation

Aus den Ergebnissen der Transpirationmessungen der für die Nacherntesimulation gewählten Präsentationsvarianten (siehe unter 2.1.3) lassen sich weitere Richtwerte in Bezug auf die Klimagestaltung während der Präsentation ableiten. Die nachfolgende **Tabelle 6** enthält eine Gegenüberstellung der beiden Klimavarianten (mit nächtlicher Folienabdeckung). Die Transpirationsraten können direkt zu den Werten aus der Modellrechnung (**Tabelle 5** bzw. **Bild 13**) für durchgehend offene Präsentation in Beziehung gesetzt werden.

Bei nächtlicher Folienabdeckung für beide Varianten führen durchgängig kühle Umgebungsbedingungen (10°C) zu tendenziell geringeren Verlusten (ca. 70%) gegenüber wechselnden Bedingungen (20°C / 3°C) mit einer angenommenen nächtlichen Kühlung. Im Vergleich zu offenen Präsentationen bei gleichbleibenden Temperaturen (siehe beispielsweise **Tabelle 5**) ergeben sich weitere Relationen, die zur Abschätzung der Wirksamkeit von haltbarkeitsverlängernden Maßnahmen herangezogen werden können. Hier können die möglichen Effekte einer zwischenzeitlichen Kühlung ermittelt werden für den Fall, dass das Produkt nicht verkauft werden konnte.

Tabelle 6: Transpirationsraten in Abhängigkeit vom Klimaregime in der Präsentationsphase

Variante	Transpirationsrate [mg/kg/h]	Streuung [mg/kg/h]
Wechselnde Bedingungen (20°C-3°C)	1032	± 323
Durchgängig kühle Bedingungen (10°C)	725	± 229

In Abhängigkeit von der Luftfeuchte im Verkaufsraum ergeben sich erhebliche Unterschiede (>100%) im Transpirationsverhalten (bei freier Konvektion) mit Auswirkungen auf die Haltbarkeit. Mit abnehmender Luftfeuchte werden die Differenzen größer.

Bei der Klimavariante mit durchgängig kühlen Bedingungen kann auf die gleiche Art und Weise der Effekt der nächtlichen Folienabdeckung bewertet werden. Es wird, wie erwartet deutlich, dass die Schutzwirkung der Folie mit abnehmender Luftfeuchte größer wird.

3.5 Analyse der aktuellen Verpackungsformen bei Kopfsalat

Im Rahmen der Nacherntesimulation unter Laborbedingungen wurden die unter den Bedingungen in der realen Kette eingesetzten Verpackungsformen (siehe unter 2.1.3) 6 Kopfsalate in Steco-Kisten mit Folientüten bzw. 9 Kopfsalate in NAPF-Kisten ohne Folientüten hinsichtlich ihrer Eignung untersucht.

Die zur Anwendung kommenden offenen, transparenten Folientüten bilden in der gesamten Kette einen zusätzlichen künstlichen Widerstand im Wasserdampfpfad, der

mehr oder weniger wirksam gegen Transpirationsverluste ist. Bei den Varianten (3°C, 10°C) mit zusätzlichen Folienabdeckungen, die die Nacherntephasen bis zur Präsentation widerspiegeln sollten, konnten keine verwertbaren Unterschiede im Transpirationsverhalten herausgearbeitet werden. Unabhängig davon wird vermutet, dass die Variante mit Folientüten bei erhöhter Zwangsluftbewegung geringere Wasserverluste haben könnte.

In der **Tabelle 7** sind die Ergebnisse bei den unterschiedlichen, klimatischen Belastungen in den Präsentationsphasen (ohne zusätzliche Folienabdeckung) dargestellt.

Tabelle 7: Transpirationsraten von Kopfsalaten in unterschiedlichen, in der Praxis üblichen Verpackungsformen (in mg_{Wasser} / kg_{Frischmasse} h)

Klimaversion	Steco mit Folientüten	NAPF ohne Folientüten
Durchgängig kühle Bedingungen (10°C) - gesamt	666	834
dto. mit Folienabdeckung	n.b. *)	n.b. *)
dto. ohne Folienabdeckung	n.b. *)	n.b. *)
Wechselnde Bedingungen (20°C-3°C) - gesamt	995	1105
dto. 3°C mit Folienabdeckung	539	576
dto. 20°C ohne Folienabdeckung	1844	2037

*) nicht bei allen Versuchsserien gesondert erfasst

Hier werden sowohl bei gekühlten als auch bei ungekühlten Präsentationsbedingungen tendenzielle (weil nicht statistisch gesicherte) Vorteile der Variante mit Folientüten in einer Größenordnung von 10-20% weniger Wasserverlusten deutlich.

Bei der Verpackungsform 9 Kopfsalate in NAPF-Kiste ergibt sich zudem eine Besonderheit in Bezug auf die Gleichmäßigkeit der klimatischen Belastung der Produkte. Die Transpirationsrate der oben aufliegenden Kopfsalate war 10-40% höher als die der übrigen 6 darunter liegenden Produkte. Ursache dafür ist der geringere Selbstschutz (durch Überlagerung der Grenzschichten) und die gleichfalls örtlich geringere Schutzwirkung der Umverpackung. Dieses Problem wird allerdings unter praktischen Bedingungen nur wirksam, wenn die oben aufliegenden Kopfsalate nicht schnell verkauft werden können.

3.6 Zusammengefasste Empfehlungen zum Produkthandling bei Kopfsalat

Die grundlegenden Aussagen zum Produkthandling in der Nachernte gelten uneingeschränkt auch für Kopfsalat. Niedrige Temperaturen schränken die Stoffwechselaktivität ein und verringern den Transpirationsdruck. Niedrige relative Luftfeuchten verringern die Wasserdampfpartialdruckdifferenz und grenzen aus diesem Grund Wasserverluste ein.

Bei transpirationsempfindlichen Produkten wie Kopfsalat ist es besonders wichtig jegliche Zwangsluftströmung (Wind, Zugschienen, ...) an der Produktoberfläche zu vermeiden. Bereits kaum spürbare Luftbewegungen (im Bereich um 0,2 m/s) führen zu einem starken Abbau des (resultierenden) Grenzschichtwiderstandes.

Die gleiche allgemeine Aussage gilt für Strahlungseinflüsse (Wärme, Licht). Während Strahlungswärme (von umgebenden wärmeren Oberflächen) die Produktoberflächentemperatur nachteilig erhöht, führt Lichtstrahlung (in einem eingegrenzten Spektrum) zu einer drastischen Verkleinerung des Gesamtgewebewiderstandes. Jegliche Verringerung der Transpirationswiderstände führt zu höheren Wasserverlusten und damit zu einer Verkürzung der Haltbarkeit.

Wenn aus vorwiegend technologisch-organisatorischen Gründen verschiedene Produktarten auf engem Raum zwischengelagert, transportiert oder präsentiert werden müssen, sind die dem Kopfsalat eigenen Produktverträglichkeiten zu berücksichtigen.

Verfärbungen an den Mittelrippen der Umblätter signalisieren zu hohe Kohlendioxidkonzentrationen, die durch eigene Atmungsaktivitäten bei gleichzeitig zu hohen künstlichen Stoffwechselwiderständen (Verpackungsmaterialien) oder durch Fremdeinwirkungen (z.B. durch andere stark atmende Produktarten) hervorgerufen werden.

Die hohe Kohlendioxidempfindlichkeit erfordert, dass sich starke CO₂-Produzenten (z.B. Brokkoli, Erbsen, Grüne Bohnen, Spinat, Speisepilze, verschiedene Küchenkräuter, einige Beerenobstarten) über längere Zeiträume nicht in der unmittelbaren Nähe von Kopfsalat befinden sollten.

Die hohen Ethylenempfindlichkeiten von Kopfsalat erfordern Vorkehrungen, die verhindern, dass starke Ethylenproduzenten (z.B. reife Tomaten, Äpfel, Birnen, Aprikosen, Avocado, viele Südfrüchtearten) gemeinsam mit Kopfsalat aufbewahrt werden.

Aus den Untersuchungen während der Nacherntesimulation konnten weitere Empfehlungen herausgearbeitet werden.

Eine Verbesserung der Haltbarkeit kann durch die Verringerung der freien (luftdurchlässigen) Flächenanteile der Umverpackungen realisiert werden. Eine Erhöhung des Transpirationsschutzes wird durch einen Wechsel des Typs der Umverpackung (falls möglich) oder durch eine Folieneinlage (Lochfolie) erreicht. Hierbei ist natürlich abzuwägen, ob die erzielbaren Effekte die zusätzlich erforderlichen ökonomischen Aufwendungen rechtfertigen.

Die luftdurchlässigen Flächenanteile der z.Z. genutzten Folienabdeckung sollten um bis zu 50% verkleinert werden.

Es ist zu beachten, dass die Erhöhung des Transpirationswiderstandes den erforderlichen Gasstoffwechsel nicht maßgeblich beeinflusst (siehe weiter oben zum Einfluss von Kohlendioxid).

Unter Umständen wird es möglich sein, die interne Wasserumverteilung bei Kopfsalat auszunutzen, um eine längere Haltbarkeit zu gewährleisten. Dies ist überall dort möglich, wo ein Wechsel von offener Präsentation und Folienabdeckung vorgenommen werden kann. Die entsprechenden Zeitintervalle sind allerdings schwer vorherzusagen, da Sorten-, Vor-ernte- und vorgelagerte Nachernteeinflüsse wirksam sein können. Eventuell können Tastversuche mit kleinen Mengen hilfreich sein.

Eine wichtige Größe im Hinblick auf Wasserverluste bei Kopfsalat ist immer auch der Füllungsgrad der Verpackung insbesondere bei der Präsentation. Je weniger Produkt sich in der Verpackung befindet, desto geringer ist auch die Selbstschutzwirkung durch den überlagerten Grenzsichtwiderstand. Es sollten also immer ausreichend Produkte in der Verpackung verbleiben, um einen hohen Eigenschutz zu ermöglichen.

4 Berichtsteil Brokkoli (*Brassica oleracea* convar. *botrytis* var. *italica*)

4.1 Allgemeine Informationen

Brokkoli erfreut sich einer wachsenden Beliebtheit beim deutschen Verbraucher (RAM-POLD 2003). Dadurch hat auch der flächenmäßige Anbau in Deutschland erheblich zugenommen. 2002 lag dieser bei 2100 ha mit einer geernteten Menge von 31.900 t Brokkoli. Das führende Anbaugebiet Deutschlands ist Niedersachsen. Deutschland gehört zusammen mit Großbritannien zu den wichtigsten Importländern. Wichtigster Brokkolilieferant für Deutschland ist Frankreich, mit großem Abstand folgt Italien.

Der Verbrauch von Brokkoli lag 2002 bei 1,3 kg je Haushalt. Knapp 50% aller Haushalte kauften demnach mindestens einmal im Jahr Brokkoli. Bei der Betrachtung der Einkaufsmenge nimmt beim deutschen Verbraucher das Winterhalbjahr die mengenmäßig größte Bedeutung ein. Aus Sicht des deutschen Brokkolierzeugers ist dies ein bedauerlicher Umstand, da die inländische Produktion erst ab dem Frühsommer auf den Markt kommt. Die deutsche Erntezeit beginnt im Mai und reicht bis in den Spätherbst. Überwiegend handelt es sich bei den in Deutschland produzierten Brokkoli um geeiste Ware, da das Erntegut sehr empfindlich ist und schnell welkt. Frischer Brokkoli wird angeboten als Kopf, in Bündeln (Nebentriebe), nicht und in Folie verpackt (SCHONHOF & BRÜCKNER 1997). Brokkoli wird mit großer Präsenz in Discountern angeboten. Die Menge, die über Obst- und Gemüsestände sowie Wochenmärkte verkauft wird, nimmt nur einen verschwindend geringen Teil an der Gesamtmenge ein. 2002 wurden 60% der Ware über Discounter und 25% über Verbrauchermärkte abgesetzt.

Brokkoli (*Brassica oleracea* convar. *botrytis* var. *italica*) gehört zur Familie der *Brassicaceae*, deren Verbreitungsgebiet sich vorwiegend auf der nördlichen Erdhalbkugel befindet. (KRUG *et al.* 1991). Brokkolisorten unterscheiden sich in der Kulturzeit, der Farbe, der Seitentriebbildung und in der Belaubung von Haupt- und Nebentrieben. Geerntet wird, wenn die gewünschte Kopfgröße erreicht ist oder die Tendenz zum Aufblühen erkennbar wird. Die Ernte erfolgt von Hand, der Bestand wird mehrfach durchgeerntet.

Brokkoli ist durch einen hohen Gesundheitswert charakterisiert (KRUMBEIN & SCHONHOF 2000). Er zeichnet sich u.a. durch hohe Gehalte an Carotinoiden, Chlorophyll und Vitamin C aus, die eine antikanzerogene Wirkung haben.

4.2 Nachernteverhalten von Brokkoli

Zur Charakterisierung des Nachernteverhaltens von Brokkoli werden, wie schon bei Kopfsalat praktiziert, wiederum zwei Verderbgrenzen betrachtet.

Brokkoli weist im Vergleich zu vielen anderen Produktarten sehr starke Atmungsaktivitäten auf, die gleichzeitig intensive Stoffwechselaktivitäten signalisieren.

Wenn normale Anforderungen an den Transpirationsschutz eingehalten werden, kann davon ausgegangen werden, dass der temperaturabhängige Grenzwert für Inhaltsstoffver-

luste früher erreicht wird. Die Temperatur der Umgebungsluft wird in den meisten Fällen den haltbarkeitsbegrenzenden Faktor darstellen.

Die temperaturabhängigen Stoffwechselaktivitäten führen zu unerwünschten Inhaltsstoffverlusten. Darunter sind auch viele Inhaltsstoffkomponenten, die für die menschliche Ernährung von Bedeutung sind. Bei Brokkoli werden Inhaltsstoffverluste äußerlich durch Farbveränderungen erkennbar, wenn Chlorophyll abgebaut wird (Vergilbung, Verbräunung). Dies geschieht zu einem relativ späten Zeitpunkt, wenn andere wichtige Komponenten schon verbraucht (verloren) sind.

Schnelle Wasserverluste im Bereich von mehr als 5% bezogen auf den Zustand zum Erntezeitpunkt führen zu sichtbaren/fühlbaren Welkeerscheinungen. Wasserumverteilungsprozesse, wie bei Kopfsalat ausführlicher beschrieben, treten bei Brokkoli aufgrund der äußeren Gestalt vermutlich in geringerem Umfang auf. Durch entsprechenden Druckausgleich (erreichbar durch Abdeckung des Produktes in den Nicht-Präsentationsphasen) kann der Grenzwert auch etwas höher liegen.

Eine Schwachstelle in Bezug auf Transpirationsverluste stellt die verhältnismäßig große Schnittfläche dar. Es kann als sicher angenommen werden, dass anfänglich hohe lokale Wasserverluste über die Schnittstelle auftreten, die auch den anfänglichen Gesamtwasserverlust merklich beeinflussen. Detailliertere Informationen hierzu konnten im Rahmen des zur Verfügung gestellten Budgets leider nicht vorgenommen werden. Aus Untersuchungen mit anderen Produktarten, die anfängliche Wasserverluste in Bereichen von 30-40% des Gesamtwasserverlustes zeigten, können jedoch auch einige, allgemeine Empfehlungen zum Handling von Brokkoli abgeleitet werden (siehe unter 4.6).

Inhaltsstoffverluste werden, wie oben schon angedeutet, u. a. durch Farbveränderungen sichtbar. Für die folgenden Betrachtungen wird der Zeitpunkt des Beginns der Verfärbungen (Vergilbung/Verbräunung) als Grenzwert für Inhaltsstoffverluste festgelegt. Es muss jedoch beachtet werden, dass zu hohe Ethylenkonzentrationen ebenfalls zu Vergilbungen bei Brokkoli führen können. Daher ist bei der Grenzwertbestimmung auf die Ethylenkonzentration in der Umgebung zu achten.

Zur Bestimmung der Resthaltbarkeit von Brokkoli wurden Untersuchungen der Universität UC Davis (CANTWELL 2006), gestützt durch eigene Messungen bei 2 mittleren Temperaturen genutzt (**Bild 14**). In Abhängigkeit von der mittleren Temperatur in der Nachernte wird die Haltbarkeit (bis zum Einsetzen des Gelbwerdens) aufgezeigt. Davon ausgehend wird das (mathematische) Produkt aus Temperatur und Zeit errechnet, das die thermische Belastung in Gradstunden darstellt.

Für die Nutzung dieser Werte als Grenzwerte im realen Prozess wird der Zusammenhang zwischen thermischer Belastung und Temperatur benötigt. Dieser Zusammenhang wird für den zu erwartenden Temperaturbereich über eine Regressionsrechnung ermittelt. Die Beziehung bildet die Grundlage zur Berechnung der Resthaltbarkeit von Brokkoli in den verschiedenen Abschnitten entlang der realen Nacherntekette auf der Grundlage eines in erster Näherung angesetzten linearen Qualitätsänderungsmodells.

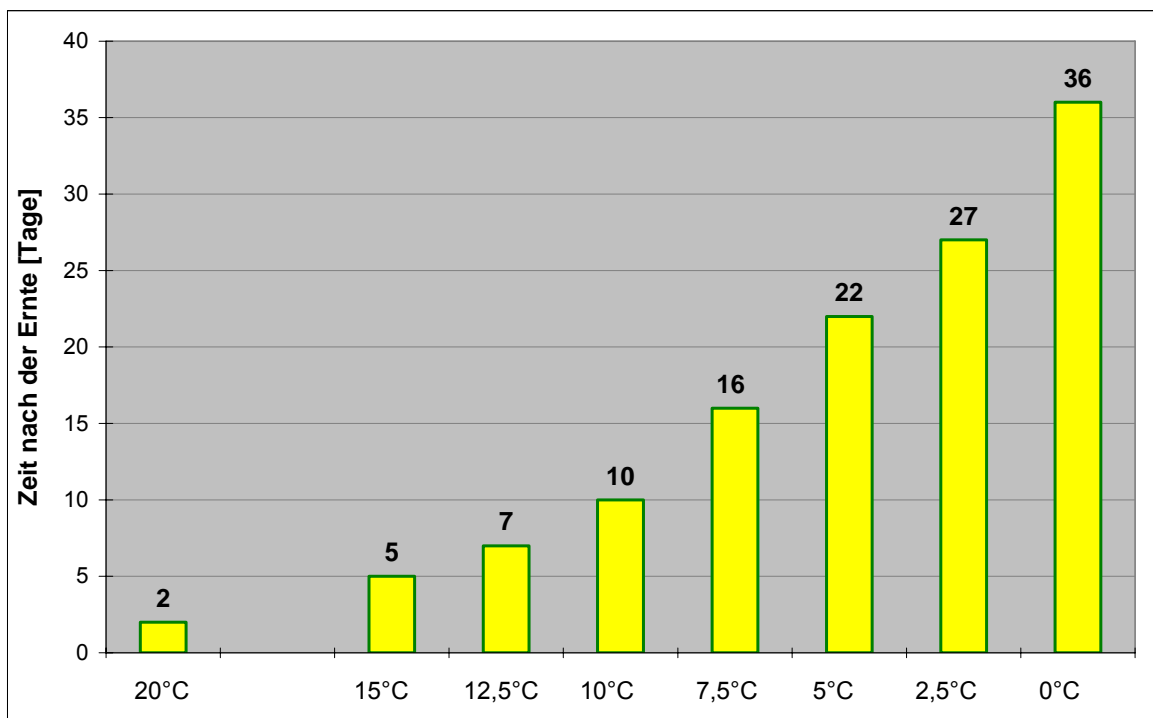


Bild 14: Zeit bis zum Beginn sichtbarer Vergilbung von Brokkoli

4.3 Schwachstellenanalyse im realen Prozess bei Brokkoli

Für die Schwachstellenanalyse im realen Prozess bei Brokkoli liegt eine einfache Nachertekette mit einem Erzeuger und einem Großhändler zugrunde. Brokkoli wurde ausschließlich in 2er NAPF-Kisten aufbewahrt (siehe **Tabelle 2**).

Entsprechend dem Abschnitt 3.3 werden für die Schwachstellenanalyse im realen Prozess bei Brokkoli beispielhaft zwei Graphiken dargestellt. Aus den abgebildeten Verläufen ist erkennbar, dass die temperatur- und wasserseitigen Schwachstellen in der Nachertekette innerhalb der verschiedenen Versuchsmonate variieren und daher nicht eindeutig einem bestimmten Abschnitt zuzuordnen sind. Während im **Bild 15** eine hohe thermische Belastung des Produkts auf Seiten des Erzeugers und Verkaufs liegt, wird im **Bild 16** der Großhandel als thermische Schwachstelle aufgedeckt. Im **Bild 15** treten hohe Wasserabgaberraten während des Transports zum Großhandel als auch beim Großhandel selbst auf. Währenddessen die wasserseitigen Schwachstellen im **Bild 16** beim Erzeuger und im Verkauf zu finden sind.

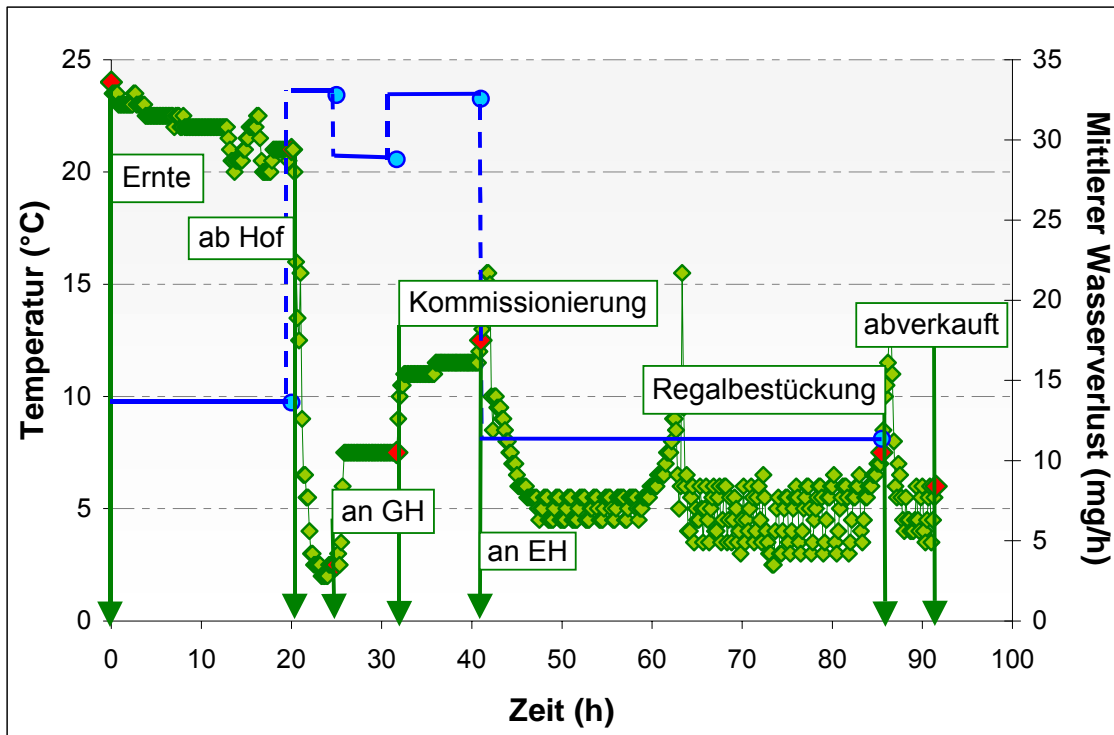


Bild 15: Temperaturverlauf und mittlere Wasserabgaberrate entlang der Nacherntekette von Brokkoli I

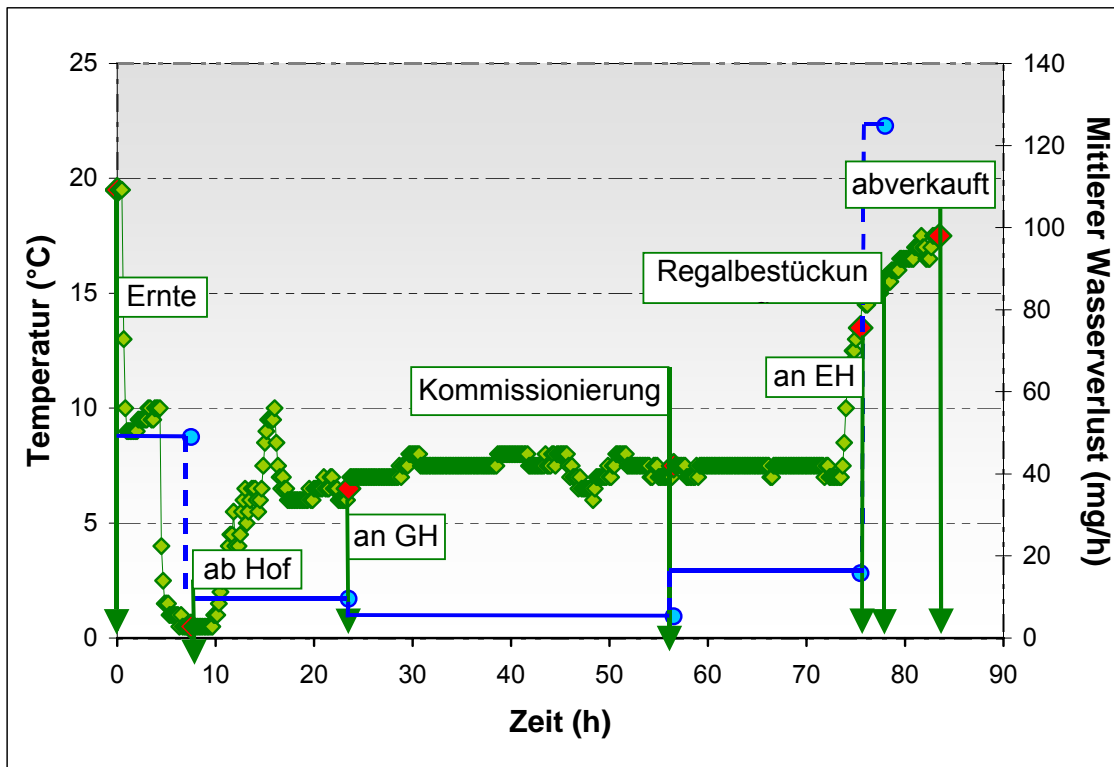


Bild 16: Temperaturverlauf und mittlere Wasserabgaberrate entlang der Nacherntekette von Brokkoli II

Analog zu den Untersuchungen an Kopfsalat sind in der nachfolgenden **Tabelle 8** die Mittelwerte der zeitlichen Aufenthalte, der mittleren Wasserverluste und der Temperatursumme der einzelnen Abschnitte aufgeteilt nach den beiden Versuchsjahren wiedergegeben. Die detaillierten Ergebnisse pro Versuchsserie sind im Anhang beigefügt (**Anhang 4**).

Tabelle 8: Zeitliche Einstufung und Angabe des mittleren Wasserverlusts sowie der Temperatursumme der einzelnen Abschnitte entlang der realen Nacherntekette von Brokkoli

Abschnitte	Zeit (h)		Mittlerer Wasserverlust des Prüfkörpers (mg/h)		Temperatursumme (Gradstunden)	
	MW 04	MW 05	MW 04	MW 05	MW 04	MW 05
Aufenthalt beim Erzeuger	15	30	21	20	233	212
Transport zum Großhandel	4	13	536	42	26	85
Wareneingang Großhandel bis Kommissionierung	3	15	276	60	18	106
Kommissionierung bis Wareneingang Einzelhandel	9	11	40	73	78	78
Wareneingang Einzelhandel bis Regalbestückung	45	17	11	75	252	93
Abverkauf	6	51			38	929
Summe	81	137	884	270	645	1503

In beiden Versuchsjahren war die wasserseitige Belastung beim Erzeuger gemessen an der Gesamtbelastung (2%, 2004 und 7%, 2005) am geringsten. Unterschiede traten dagegen während des Transportes zum Großhandel auf. 2004 entfielen 61% der wasserseitigen Gesamtbelastung auf diesen zeitlich relativ kurzen Abschnitt. Der Transport zum Großhandel erfolgt als Sammeltransport, d.h. es werden Produkte von mehreren Erzeugern, die während der Strecke zum Großhandel aufgeladen werden, transportiert. Durch das ständige Öffnen und Beladen des Transportfahrzeugs gelangt warme Luft in das Fahrzeug, welche zur Erhöhung der Wasserdampfdruckdifferenz zwischen Produktoberfläche und der Umgebungsluft führt. Zusätzlich können Luftströmungen zu einer erhöhten Verdunstung führen. Im zweiten Versuchsjahr (2005) wurden die Brokko-

lipaletten daher mit Stretchfolien versehen, die als Verdunstungsschutz dienten und den Wasserverlust auf 15% eindämmten.

Der Großhandel nimmt hinsichtlich des Wasserverlustes, gemessen am Gesamtverlust, in beiden Versuchsjahren (36%, 2004 und 49%, 2005) eine mittlere Stellung ein. Die Ursache liegt vermutlich bei unangepassten Luftströmungen bei ähnlichem Temperaturregime. Die prozentualen Wasserverluste im Einzelhandel (1%, 2004 und 28%, 2005) unterscheiden sich in beiden Jahren stark voneinander. Es ist zu vermuten, dass bedingt durch die unterschiedlichen Einzelhandelsstrukturen (Wochenmarkt, Naturkost-einzelhandel, Hofladen,...) z.T. ungünstige Klimabedingungen (z.B. geringe Luftfeuchte, Luftbewegung, Wärmestrahlung) herrschten.

Die Aufenthaltsdauer beim Erzeuger lag in beiden Versuchsjahren bei durchschnittlich 24 Stunden, dabei herrschten starke Schwankungen. Das Produkt stand zwischen 8 und 57 Stunden bei ebenfalls starken Temperaturschwankungen (2-22°C) auf dem Hof. Die vom Produkt aufgenommene Temperatursumme beim Erzeuger entspricht 36% (2004) bzw. 17% (2005) der Gesamtsumme, sodass bereits am Anfang der Nach-ernte-kette mit größeren Qualitätsverlusten zu rechnen ist. Die prozentuale thermische Belastung des Produkts während des Transports zum Großhandel (4%, 2004 und 5%, 2005) sowie während des Aufenthalts beim Großhandel (15%, 2004 und 12%, 2005) war in beiden Jahren annähernd gleich und war gemessen an der Gesamtbelastung noch vertretbar. Auffallend war, dass die Temperaturen in beiden Versuchsjahren in diesen Abschnitten fast gleich hoch waren, die Zeiten jedoch stark variierten. Die höchste thermische Belastung in beiden Jahren (45%, 2004 und 66%, 2005) trat im Einzelhandel auf. Daher sollte man hier hinsichtlich der Qualitätssicherung bemüht sein, die Ware schnellstmöglich zu präsentieren bzw. die Bestellung beim Großhandel bedarfsgerecht abzugeben. Eine effektive Maßnahme zur Reduzierung der thermischen Belastung während der Warenpräsentation stellt eine Kühlung des Produkts in Form eines Kühlmöbels oder einer Verdunstungskühlung dar. Entscheidungshilfen werden mit auch dieser Arbeit geliefert

In der nachfolgenden **Tabelle 9** ist die prozentualen Resthaltbarkeit von Brokkoli beim Verlassen eines Abschnitts unterteilt nach den verschiedenen Versuchsserien aufgelistet.

Tabelle 9: Prozentuale Resthaltbarkeit von Brokkoli

Abschnitte	Resthaltbarkeit %					
	Juni 04	August 04	Juni 05	Juli 05	September 05	MW 04/05
ab Hof	98,6	47,5	72,6	94,6	98,2	82,3
an Großhandel	98,0	55,3	72,2	88,3	95,7	81,9
nach Kommissionierung	97,8	59,9	71,6	86,6	87,8	80,7
an Einzelhandel	95,9	60,9	70,3	83,5	83,2	78,8
nach Regalbestückung		65,6	63,9	80,7	79,3	72,4
nach Abverkauf		64,8	31,5	58,6	61,1	54,0

Es ist zu erkennen, dass die Resthaltbarkeit von Brokkoli in den unterschiedlichen Versuchsmonaten in allen Abschnitten der Nacherntekette z.T. starken Schwankungen unterworfen ist. Besonders auffallend ist die niedrige Resthaltbarkeit beim Erzeuger im Versuchsmonat August 2004. Hier lag die Resthaltbarkeit nur noch bei knapp 50%. Die Resthaltbarkeit der weiteren Abschnitten in diesem Monat weist ebenfalls, mit Ausnahme des Abverkaufs, den niedrigsten Prozentsatz auf. Dieser Sachverhalt hängt sicherlich z.T. mit der Saisonalität (Hochsommer) zusammen.

Der Mittelwert über die gesamten Versuchsmonate der einzelnen Abschnitte zeigt, dass die Resthaltbarkeit in den Abschnitten Aufenthalt beim Erzeuger, Transport zum Großhandel, Aufenthalt beim Großhandel und Transport zum Einzelhandel jeweils bei ca. 80% liegt.

Der Abverkauf ist, wie schon weiter oben erwähnt, als Schwachstelle hinsichtlich der Qualitätssicherung anzusehen. Die Resthaltbarkeit des Brokkolis betrug im Durchschnitt beim Erwerb durch den Konsumenten rund 50%.

Im nachfolgendem **Bild 17** ist zur Anschaulichkeit die Resthaltbarkeit in den einzelnen Abschnitten beispielhaft in einem Temperaturverlauf während der Nacherntekette von Brokkoli eingetragen. Auch hier ist erkennbar, dass die Resthaltbarkeit während der ersten vier Abschnitte annähernd gleich ist und erst ab der Regalbestückung stark abnimmt. Die Abnahme der Resthaltbarkeit nach der Regalbestückung ist auf die hohen Temperaturen während der Warenpräsentation (9 Stunden bei 28°C und 2,5 Stunden bei 26°C), trotz Zwischenkühlung in der Nichtpräsentationsphase, zurückzuführen.

Die Zeit bis zum Verderb des Brokkolis beim Verbraucher richtet sich nach der Aufbewahrungstemperatur. Ungekühlt, bei einer Temperatur von 20°C kann der Brokkoli ungefähr 1,5 Tage aufbewahrt werden. Wird der Brokkoli dagegen im Kühlschrank, bei durchschnittlich 5°C aufbewahrt, erhöht sich die Aufbewahrungszeit, wenn der Einfluss von Mikroorganismen ausgeschlossen werden kann, auf ca. 10 Tage.

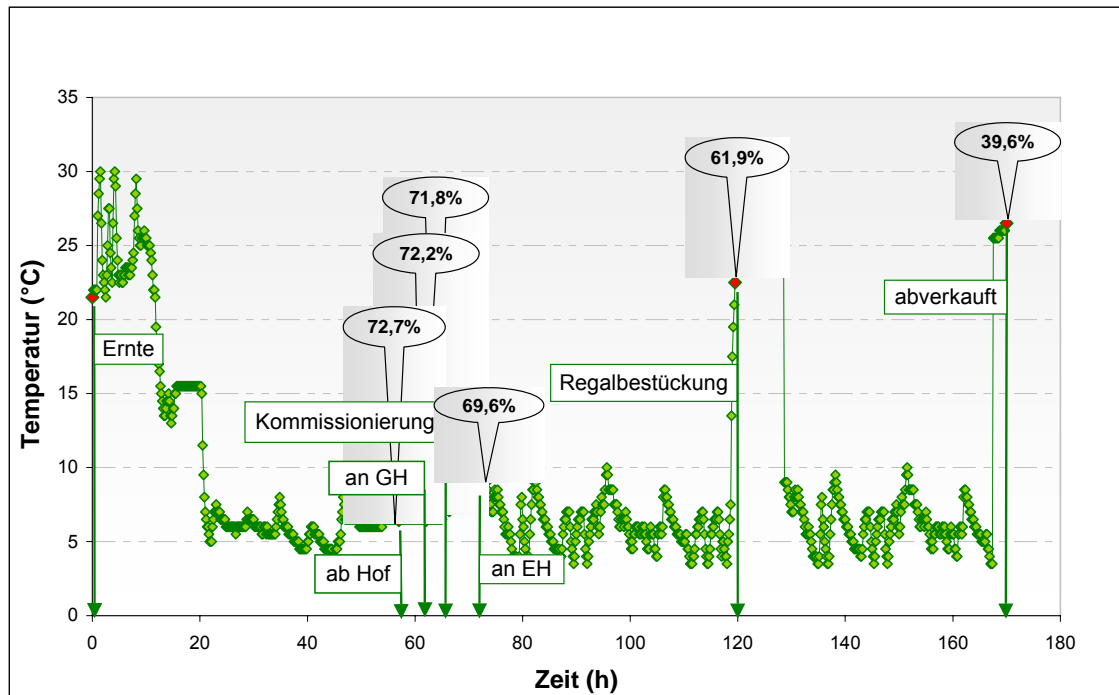


Bild 17: Prozentuale Resthaltbarkeit entlang der Nacherntekette von Brokkoli

4.4 Einfluss des Nachernteklimas auf die Transpiration von verpacktem Brokkoli

Die Transpirationsrate von Brokkoli in einer Verpackungseinheit wird, wie bei den anderen Produkten auch durch den resultierenden Gesamtwiderstand und die Parameter des umgebenden Klimas (Lufttemperatur, Luftfeuchte in ausreichender Entfernung von der Verpackungseinheit) bestimmt.

Sie ist sowohl von den Gewebedurchlässigkeiten als auch von den im Sinne einer Schutzhülle wirkenden Grenzschichten abhängig. Bei mehreren Brokkoli in einer Umverpackung, die zeitweilig mit Folienabdeckungen versehen sind, sind verschiedene natürliche und künstliche Widerstände im Wasserdampfpfad (parallel im Gewebe, überlagerte Grenzschichten, Abdeckungen, Umverpackungen) vorhanden.

Nachfolgend werden sowohl die Klimabedingungen als auch die Schutzwirkung der Umverpackungen anhand der gewichtsbezogenen Transpirationsrate (in $\text{mg}_{\text{Wasser}} / \text{kg}_{\text{Frischgewicht}} \text{ h}$) bewertet.

Mit einer Folienabdeckung (Lochfolie) versehener Brokkoli (ca. 5 kg) in einer 2er NAPF-Kiste zeigt im Temperaturbereich von 3°C bis 10°C keine auswertbaren Differenzen in Bezug auf die Transpirationsrate. Es ergaben sich im Mittel von 6 Versuchsserien Abgaberraten von etwas unter $600 \text{ mg} / \text{kg h} \pm 120 \text{ mg} / \text{kg h}$.

Der angegebene Wert ist gültig für alle Nacherntephase im Temperaturbereich von 3-10°C bei relativen Luftfeuchten im Bereich von 80-97%, in denen die Folienabdeckung durchgängig wirksam ist (mit Ausnahme der Präsentation). Luftbewegung am Produkt,

direkte Wärmestrahlung und photosynthetisch aktive Strahlung führen zu z.T. weitaus höheren Wasserverlusten.

Da die Transpiration am Anfang der Nacherntekette durch Zugabe von Eis noch weiter eingedämmt wird, sind Wasserverluste vorrangig in der Präsentationsphase (ohne Folienabdeckung) unter Raumklimabedingungen kritisch. Im **Bild 18** ist der in der Nacherntesimulation gemessene Zusammenhang zwischen der Transpirationsrate, der Wassergehaltsdifferenz zwischen Produktoberfläche und Umgebungsluft sowie der Frischmasse/Kiste dargestellt, bestimmt aus den einbezogenen Verpackungseinheiten der sechs Versuchsserien.

Die Beziehung bildet die Grundlage für ein Modell zur Vorausberechnung der Transpirationsverluste bei unterschiedlichen Präsentationsbedingungen. Lufttemperatur, relative Luftfeuchte, Frischmasse/Umverpackung und Zeit können eingegeben werden, Ausgabegrößen sind Transpirationsintensitäten und der daraus resultierende prozentuale Wasserverlust bezogen auf den Ausgangszustand. Damit besteht die Möglichkeit den Einfluss der Klimabedingungen (Lufttemperatur, relative Luftfeuchte) und den Einfluss des Füllungsgrades auf die Wasserverluste zu ermitteln. Für entsprechende Fallstudien (was wäre wenn ...?) steht damit ein Hilfsmittel bereit, um Auswirkungen von Veränderungen in der Präsentation abschätzen zu können.

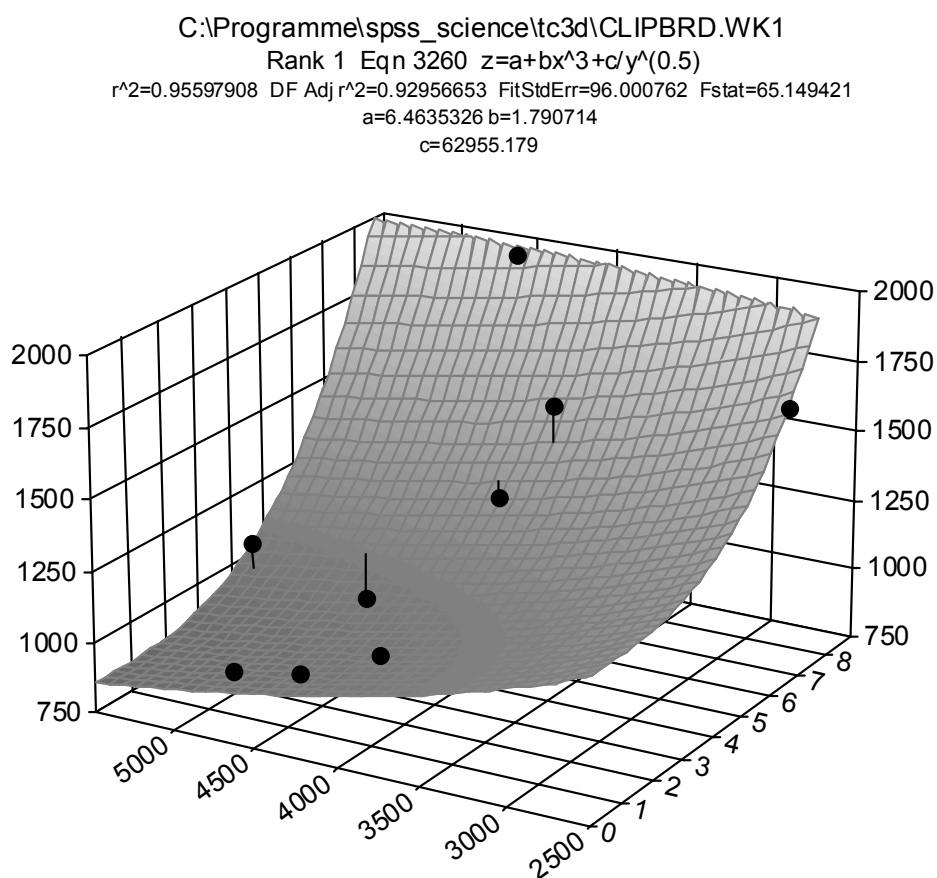


Bild 18: Zusammenhang zwischen Transpirationsrate, Wassergehaltsdifferenz und Frischmasse/Kiste bei Brokkoli in 2er NAPF-Kisten

Die ermittelte Beziehung ist allerdings ausschließlich für die untersuchte Verpackungsversion (2er NAPF-Kiste mit 2,5-5,5 kg Brokkoli) verwendbar. Sie gilt nur für den Klimabereich der Ausgangsdaten (freie Konvektion, Lufttemperatur 9°C bis 22°C, relative Luftfeuchte 50% bis 88%). Bei Zwangsluftströmung darf die Gleichung nicht verwendet werden, da schon kleine Anströmgeschwindigkeiten zu einem markanten Anstieg der Wasserverluste führten. Hierzu wären fortführende Untersuchungen erforderlich.

Im **Bild 19** sind Transpirationsraten in Abhängigkeit von der Lufttemperatur, von der relativen Luftfeuchte und von der Frischmasse/Kiste aus der Modellrechnung für die einbezogenen Raumklimabereiche und Füllungsgrade der Umverpackung dargestellt.

Aus den Ergebnissen der Transpirationsmessungen der für die Nacherntesimulation gewählten Präsentationsvarianten (siehe unter 2.1.3) lassen sich weitere Richtwerte in Bezug auf die Klimagestaltung während der Präsentation ableiten. Die nachfolgende **Tabelle 10** enthält eine Gegenüberstellung der beiden Klimavarianten (mit nächtlicher Folienabdeckung). Die Transpirationsraten können direkt zu den Werten aus der Modellrechnung (**Bild 19**) für durchgehend offene Präsentation in Beziehung gesetzt werden.

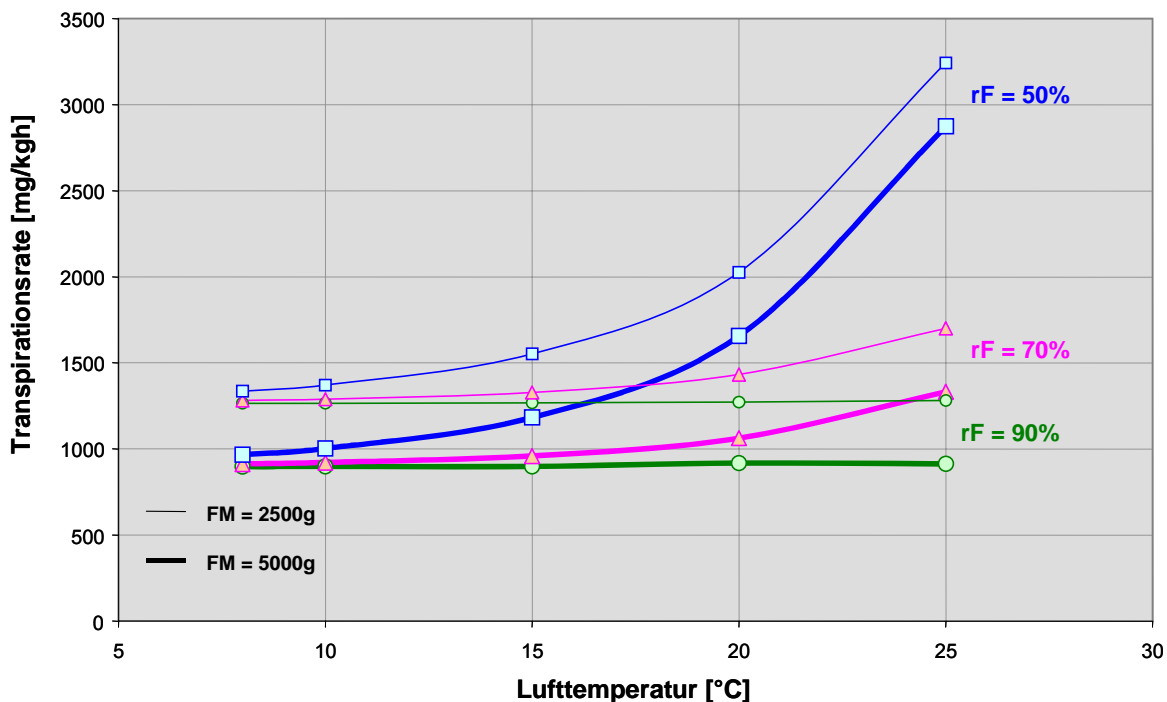


Bild 19: Transpirationsrate in Abhängigkeit von der Lufttemperatur und von der relativen Luftfeuchte (bei freier Konvektion) während der offenen Präsentation von Brokkoli in 2er NAPF-Kisten

Bei nächtlicher Folienabdeckung für beide Varianten führen durchgängig kühle Umgebungsbedingungen (10°C) zu keinen messbaren Differenzen im Transpirationsverhalten gegenüber wechselnden Bedingungen (20°C / 3°C) mit einer angenommenen nächtlichen Kühlung.

Tabelle 10: Transpirationsraten von Brokkoli in 2er NAPF-Kisten in Abhängigkeit vom Klimaregime in der Präsentationsphase

Variante	Transpirationsrate [mg/kg h]	Streuung [mg/kg h]
Wechselnde Bedingungen (20°C-3°C)	928	± 345
Durchgängig kühle Bedingungen (10°C)	879	± 45

In Abhängigkeit von der Luftfeuchte im Verkaufsraum ergeben sich erhebliche Unterschiede (>100%) im Transpirationsverhalten (bei freier Konvektion) mit Auswirkungen auf die Haltbarkeit. Mit abnehmender Luftfeuchte werden die Differenzen größer. Bei der Klimavariante mit durchgängig kühlen Bedingungen kann auf die gleiche Art und Weise der Effekt der nächtlichen Folienabdeckung bewertet werden. Es wird, wie erwartet deutlich, dass die Schutzwirkung der Folie mit abnehmender Luftfeuchte größer wird (siehe unter 4.5.).

4.5 Analyse der aktuellen Verpackungsformen bei Brokkoli

Im Rahmen der Nacherntesimulation unter Laborbedingungen wurde die Wirksamkeit der Folienabdeckung von 2er NAPF-Kisten unter verschiedenen wechselnden Klimabedingungen untersucht.

In der **Tabelle 11** sind die Ergebnisse bei den unterschiedlichen, klimatischen Belastungen in den Präsentationsphasen (mit und ohne zusätzliche Folienabdeckung) dargestellt.

Tabelle 11: Transpirationsraten von Brokkoli in 2er NAPF-Kisten mit und ohne nächtliche Folienabdeckung (in mg_{Wasser} / kg_{Frischmasse} h)

Klimaversion	NAPF2 (2,5-5,0 kg)
Durchgängig kühle Bedingungen (10°C)	879
mit Folienabdeckung	584 ± 119
ohne Folienabdeckung	966 ± 56
Wechselnde Bedingungen (20°C-3°C)	928
3°C mit Folienabdeckung	595 ± 133
20°C ohne Folienabdeckung	1447 ± 407

Bei gekühlten Präsentationsbedingungen werden (statistisch gesicherte) Effekte der Folienabdeckung in einer Größenordnung von 65% weniger Wasserverlusten deutlich. Bei wechselnden Bedingungen ist der Unterschied noch wesentlich größer (140%). Hier muss jedoch ein nicht quantifizierter Anteil der Temperaturdifferenz zugerechnet werden.

Bei der offenen Präsentation (ohne Folienabdeckung) führten 10 Grad Temperaturdifferenz (20°C vs. 10°C) zu 65% weniger Wasserverlusten bei der tieferen Temperatur

Im Gegensatz dazu konnte bei den Varianten mit Folienabdeckung (3°C vs. 10°C) kein Einfluss der Temperatur auf die Wasserverluste herausgearbeitet werden.

4.6 Zusammengefasste Empfehlungen zum Produkthandling bei Brokkoli

Die grundlegenden Aussagen zum Produkthandling in der Nachernte gelten uneingeschränkt auch für Brokkoli. Niedrige Temperaturen schränken die Stoffwechselaktivität ein und verringern den Transpirationsdruck. Niedrige relative Luftfeuchten verringern die Wasserdampfpartialdruckdifferenz und begrenzen aus diesem Grund Wasserverluste.

Die Intensität des Stoffwechsels nimmt mit steigender Temperatur meist exponentiell zu. Produkte wie Brokkoli mit vergleichsweise hohen Stoffwechselaktivitäten (siehe **Bild 1**) müssen daher in der Nachernte möglichst lange, möglichst kühl aufbewahrt werden.

Erhöhte Kohlendioxidkonzentrationen (bis 10%) und verringerte Sauerstoffkonzentrationen (bis 10%) können sich positiv auf die Haltbarkeit auswirken (UC DAVIS 2006/I).

Häufig wird Eis für die Kühlung eingesetzt, dessen Erzeugung energieaufwendig ist. Eigentlich ist der Einsatz von Eis sehr förderlich für die Haltbarkeit, da über weite Strecken gleichzeitig Atmung und Transpiration verringert werden. Eis kann sich auch nachteilig auf die Qualität auswirken, wenn das verbleibende Restwasser im Verlauf der Nacherntekette mikrobielle Aktivitäten fördert.

Wenn keine Folierung der einzelnen Produkte gewünscht wird, sind zumindest Folienabdeckungen der Umverpackungen zu empfehlen, die zu erheblichen Einschränkungen der Wasserverluste führen können. Die verwendete Folienabdeckung mit ca. 12% Öffnungsfläche (siehe unter 2.1.3.) ist gut geeignet für den Transpirationsschutz. In Anbetracht der relativ geringen Empfindlichkeit gegenüber erhöhten CO₂-Konzentrationen (und gegenüber verringerten O₂-Werten) in der Umgebungsluft von Brokkoli können auch dichtere Folien (etwa mit halbiertes Luftdurchlässigkeit) eingesetzt werden. Dies ist insbesondere dann zu empfehlen, wenn stärkere Luftbewegung nicht ausgeschlossen werden kann.

Transpirationsschutz auf dem Weg vom Erzeuger zum Großhandel (durch Folierung der Stapel), wie im zweiten Versuchsjahr praktiziert, stellt gleichfalls eine zweckmäßige Barriere gegen Wasserverluste dar (siehe unter 4.3).

Wie weiter oben angedeutet führt die relativ große Schnittstelle bei Brokkoli zu anfänglich hohen Wasserverlusten. Hier könnte eine partielle Abdeckung der Schnittstelle (mit Folien) eine Verringerung von Wasserverlusten bewirken. Da zu diesem Effekt keine speziellen Versuchsanstellungen vorgenommen werden konnten, wären im Bedarfsfall Tastversuche mit geringen Mengen zu empfehlen.

Aus logistischen Gründen ist es vielfach notwendig, verschiedene Obst- und Gemüsearten zur gleichen Zeit auf meist engstem Raum zu präsentieren. Die Ansprüche, die Produktarten an die Umgebungsbedingungen stellen, ergeben sich aus den produktspezifischen Temperatur- und Ethylenempfindlichkeiten.

Brokkoli produziert selbst nur ganz geringe Mengen an Ethylen ($0,01$ bis $0,1 \mu\text{l kg}^{-1} \text{h}^{-1}$). Die Empfindlichkeit gegenüber Ethylen ist jedoch sehr hoch einzustufen. Brokkoli reagiert auf zu hohe Ethylenmengen mit Vergilbungen der Blütenknospen (CANTWELL & SUSLOW 2005). Die Lagerfähigkeit von Brokkoli verringert sich bei einer Ethylenkonzentration von 2 ppm bei einer Temperatur von 10°C um 50% . Brokkoli sollte daher nicht gemeinsam mit starken Ethylenabscheidern des Obst- (z.B. Äpfel) und Gemüsesortiments (z.B. reifen Tomaten) aufbewahrt werden.

Hinsichtlich des niedrigen Temperaturanspruchs von Brokkoli sollte berücksichtigt werden, dass Brokkoli nicht mit kälteempfindlichen Produkten wie etwa Salatgurken präsentiert wird.

5 Berichtsteil Salatgurke (*Cucumis sativus* L.)

5.1 Allgemeine Informationen

Beim Gemüsekauf der deutschen Verbraucher befinden sich Salatgurken unter den „Top drei“ im Sortiment (BEHR & ILLERT 2004). Die Einkaufsmenge lag 2003 bei durchschnittlich 7,5 kg pro Haushalt. Biologisch als auch konventionell erzeugte Salatgurken werden überwiegend aus den Niederlanden und aus Spanien importiert. Deutschland steht hinsichtlich der Einfuhren von Salatgurken EU-weit an erster Stelle. Die eigene Produktion mit rund 50.000 t deckt nur wenig mehr als 10% des Verbrauchs ab. Die Produktion unter Glas – einen erwähnenswerten Freilandanbau für Salatgurken gibt es in Deutschland nicht – deckte 2003 eine Fläche von 229 ha ab. Einen nennenswerten Flächenanstieg ist in den letzten 10 Jahren nicht zu verzeichnen. Anbauswerpunkte liegen vor allem in Baden Württemberg (Insel Reichenau), im nordwestlichen Niedersachsen (um Papenburg) und in Ostthüringen.

Die Angebotssaison deutscher Erzeugermärkte ist nach wie vor stark auf die Monate von Juni bis August konzentriert, aber auch im Monat mit dem höchsten deutschen Angebot (Juli) stammen drei Viertel aller konventionell erzeugten Salatgurken aus Importen. Dagegen ist der Anteil deutscher Ware im Bio-Fachhandel in den Sommermonaten sehr hoch (KASBOHM 2005).

Im Vergleich zu anderen Fruchtgemüsearten lassen sich bei Salatgurken die größten saisonalen Verbrauchsunterschiede finden. Im Januar und Februar werden nur ein Viertel der im Sommer üblichen Mengen gekauft.

Bio-Salatgurken gehören zum Standardsortiment aller Absatzstrukturen. Im Handel werden sie auch unter dem Begriff Schlangengurken angeboten (BAYERISCHE LFL 2006). Sie sind in der Regel zwischen 25 und 30 cm lang und wiegen etwa 500 g. Die Einzelfrüchte werden unverpackt oder in Polyethylen-Schrumpffolie in Pappkartons mit Deckel oder Kunststoffkisten verkauft. Haupteinkaufsstätte ist der Discounter, 60% aller Salatgurken wurden 2003 dort eingekauft. Der hohe Marktanteil von Discountern führt zu extrem niedrigen Verbraucherpreisen. Die im Vergleich zu anderen Fruchtgemüsearten geringen Möglichkeiten der Produktdifferenzierung lassen bei Salatgurken nur den Preis als Verkaufsargument übrig.

Die Salatgurke (*Cucumis sativus* L.) gehört zur Familie der Kürbisgewächse (Cucurbitaceae). Sie ist einjährig und von krautigem Wuchs, kann aber mit geeigneten Gerüsten in die Höhe gezogen werden. Aus den gelben Blüten reifen die Früchte heran, welche botanisch gesehen zu den Beeren zählen. Die Salatgurke ist durch einen hohen Wassergehalt (96 bis 97%) gekennzeichnet (KRUG ET AL. 2002). Die Gehalte an Vitaminen und Mineralstoffen sind als gering einzustufen. Wegen ihres niedrigen energetischen Wertes von 40 kJ pro 100 g Frischgewicht besitzt sie ihre größte Bedeutung als erfrischende Beigabe zu den Mahlzeiten.

5.2 Nachernteverhalten von Salatgurke

Im Vergleich der in die Untersuchungen einbezogenen Produktarten zeigen Salatgurken relativ geringe Stoffwechselaktivitäten bei gleichzeitig kleineren Gewebedurchlässigkeiten im Wasserdampfpfad. Sie liegen somit eher im unteren Bereich der Empfindlichkeitsskala.

Zur Charakterisierung des Nachernteverhaltens werden, wie schon bei den vorher betrachteten Produktarten praktiziert, wiederum die beiden Verderbgrenzen betrachtet (siehe unter 2.3.1.).

Salatgurken besitzen eine große Kälteempfindlichkeit und sollten daher nicht längerfristig bei unter 10°C aufbewahrt werden. Kälteschäden zeichnen sich durch unregelmäßige, weiche, wässrige und oft eingesunkene Flecken auf der Fruchtschale aus. Gewebeflüssigkeit tritt dann aus und die subepidermalen Schichten lösen sich auf, sodass die Epidermis den Kontakt zum Fruchtfleisch verliert und der Genusswert stark gemindert wird. Auf den geschädigten Teilen siedeln sich sehr schnell Mikroorganismen an und bedingen einen raschen Verderb.

Die Kälteempfindlichkeit von Salatgurken ist sortenabhängig. Allgemein gilt, dass junge Früchte die Symptome zeitiger und intensiver zeigen als ältere Früchte. Bei neueren Sorten kann die Kälteempfindlichkeit weniger ausgeprägt sein und sich z.B. auf den Temperaturbereich unter 6°C begrenzen. Im Zusammenhang mit der Kälteempfindlichkeit spielt immer auch der Zeitfaktor eine wichtige Rolle. Kurzfristige Unterschreitungen der Temperatur sind häufig tolerierbar.

Bei Einhaltung von normalen Anforderungen an den Transpirationsschutz kann, ähnlich wie bei Brokkoli, davon ausgegangen werden, dass der temperaturabhängige Grenzwert für Inhaltsstoffverluste zu einem früheren Zeitpunkt erreicht wird. Die Tatsache, dass Farbveränderungen Inhaltsstoffabbau signalisieren, soll auch bei der Gurke als Verderbgrenze genutzt werden. Der einsetzende Grün-Gelb-Umschlag wird, wie bei Brokkoli, als Grenzwert angenommen. Allerdings führen auch hier zu hohe Ethylengehalte in der Nähe des Produkts zur Einschränkung der Gültigkeit der Verderbgrenzenbestimmung, da diese ebenfalls zum Gelbwerden der Früchte führen. Bei der Bestimmung der Verderbgrenze muss daher auf die Ethylenkonzentration in der Umgebung des Produktes geachtet werden

Zur Bestimmung der Resthaltbarkeit von Salatgurken wurden wie schon zuvor bei Brokkoli Untersuchungen der Universität UC Davis (CANTWELL 2006), gestützt durch eigene Messungen bei 2 mittleren Temperaturen genutzt (**Bild 20**). Eigene Untersuchungen über den gesamten möglichen Temperaturbereich in der Nachernte waren nicht vorherzusehen.

Die in der angeführten Literaturquelle angegebene relative Aufbewahrungszeit (in %) wird auf eine maximale Haltbarkeit von 10 Tagen bei 12°C bezogen (eigene Recherchen).

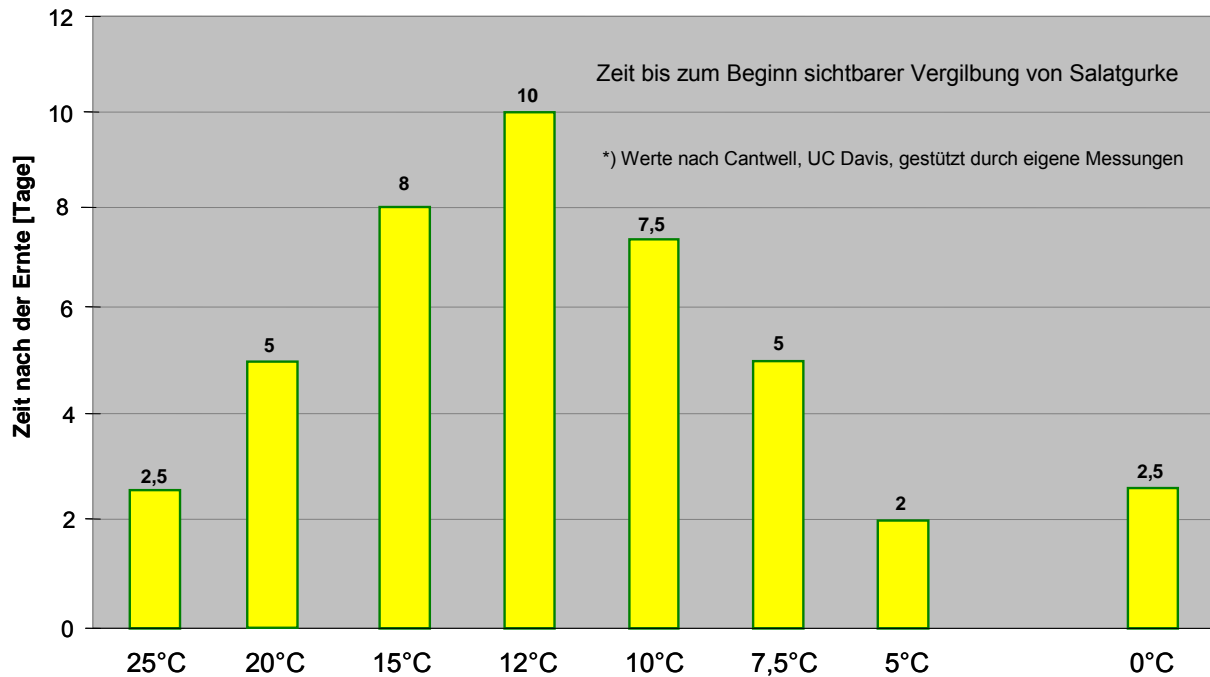


Bild 20: Zeit bis zum Beginn sichtbarer Vergilbung von Salatgurke

Die im **Bild 20** dargestellte Verteilung resultiert einerseits aus der bekannten Kälteempfindlichkeit von Salatgurken bei Temperaturen unter 10°C (siehe weiter oben) und zum anderen von den durch die thermische Belastung bedingten Stoffwechselaktivitäten. In Abhängigkeit von der mittleren Temperatur in der Nachernte wird die Haltbarkeit (bis zum Einsetzen des Gelbwerdens) aufgezeigt. Davon ausgehend wird das (mathematische) Produkt aus Temperatur und Zeit errechnet, das die thermische Belastung in Gradstunden darstellt.

Der Zusammenhang zwischen thermischer Belastung und Temperatur wird über eine Regressionsrechnung ermittelt, deren Beziehung zur Berechnung der Resthaltbarkeit von Salatgurken auf der Grundlage eines linearen Qualitätsänderungsansatzes in verschiedenen Abschnitten entlang der realen Nacherntekette herangezogen wird.

5.3 Schwachstellenanalyse im realen Prozess bei Salatgurke

Für die Schwachstellenanalyse im realen Prozess bei Salatgurke wurden zwei Erzeuger (E3, E4) und ein Großhändler einbezogen. Aus verschiedenen Gründen konnte die Schwachstellenanalyse beim Erzeuger E4 nur bis zur Kommissionierung durchgeführt werden. Die Ergebnisse beziehen sich nur auf geringes Datenmaterial und sind daher statistisch nicht gesichert.

Die Salatgurken wurden in Abhängigkeit von ihrer Größe entweder in 1,5er oder 3er NAPF-Kisten aufbewahrt (siehe **Tabelle 2**) und auf dem Weg vom Erzeuger zum Einzelhandel mit einer Lochfolie aus Kunststoff (siehe 2.1.3) abgedeckt.

Entsprechend den Abschnitten 3.3 und 4.3 wird für die Schwachstellenanalyse bei Salatgurke beispielhaft eine Graphik dargestellt (**Bild 21**). Aus dem abgebildeten Verlauf sind die temperatur- und wasserseitigen Schwachstellen in der Nacherntekette schnell zu identifizieren. Im dargestellten Beispiel ist der Einzelhandel sowohl als temperatur- als auch als wasserseitige Schwachstelle anzusehen.

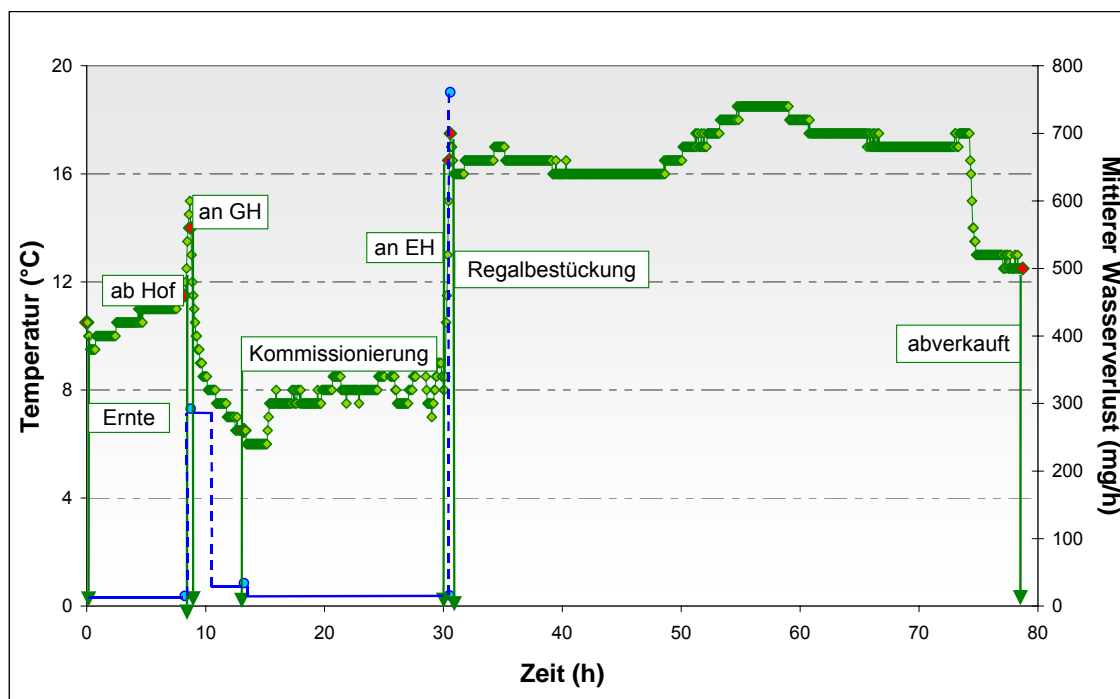


Bild 21: Temperaturverlauf und mittlere Wasserabgaberrate entlang der Nacherntekette von Salatgurke

Analog zu den Untersuchungen an Kopfsalat und Brokkoli sind in der nachfolgenden **Tabelle 12** die Mittelwerte der zeitlichen Aufenthalte, der mittleren Wasserverluste und der Temperatursumme der einzelnen Abschnitte aufgeteilt nach beiden Erzeugern wiedergegeben. Die detaillierten Ergebnisse pro Versuchsserie sind im Anhang beigefügt (**Anhang 5, 6**).

Die wasserseitige Belastung, gemessen an der Gesamtbelastung, war beim Erzeuger E3 (1,7%) am geringsten. Eine hohe Belastung trat während des Transportes zum Großhandel auf. 40% der wasserseitigen Gesamtbelastung entfielen auf diesen zeitlich relativ kurzen Abschnitt, sodass hier vermutlich unangepasste Luftströmungen vorherrschten. Der Großhandel wird hinsichtlich des Gesamtwasserverlust, mit knapp 50%, als größte Schwachstelle angesehen. Die Wasserverluste im Einzelhandel (10%) sind gemessen an der Gesamtbelastung vertretbar.

Tabelle 12: Zeitliche Einstufung und Angabe des mittleren Wasserverlusts sowie der Temperatursumme der einzelnen Abschnitte entlang der realen Nacherntekette von Salatgurke

Abschnitte	Zeit (h)		Mittlerer Wasserverlust des Prüfkörpers (mg/h)		Temperatursumme (Gradstunden)	
	MW 04/05	MW 04	MW 04/05	MW 04	MW 04/05	MW 04
	E3	E4	E3	E4	E3	E4
Aufenthalt beim Erzeuger	42	49	11	10	533	473
Transport zum Großhandel	1	28	278	18	13	295
Wareneingang Großhandel bis Kommissionierung	12	74	290	29	77	748
Kommissionierung bis Wareneingang Einzelhandel	14		45		121	
Wareneingang Einzelhandel bis Regalbestückung	15		70		135	
Abverkauf	37				149	
Summe	121	151	694	57	1128	1516

Die vom Produkt aufgenommene Temperatursumme beim Erzeuger E3 entspricht 47% der Gesamtsumme, sodass bereits am Anfang der Nacherntekette mit größeren Qualitätsverlusten zu rechnen ist. Die prozentuale thermische Belastung des Produkts während des Transports zum Großhandel (1%) sowie während des Aufenthalts beim Großhandel (17%) war gemessen an der Gesamtbelastung annehmbar. Der Einzelhandel kann hinsichtlich der thermischen Belastung als Schwachstelle angesehen werden, 34% der insgesamt aufgenommenen Temperatursumme entfielen auf diesen Abschnitt.

In der nachfolgenden **Tabelle 13** ist die prozentuale Resthaltbarkeit von Salatgurke beim Verlassen eines Abschnitts unterteilt nach den verschiedenen Versuchsserien aufgelistet.

Die Resthaltbarkeit von Salatgurke ist, ähnlich wie beim Brokkoli, in den unterschiedlichen Versuchsmonaten in allen Abschnitten der Nacherntekette z.T. starken Schwankungen unterworfen. Auch hier fällt besonders die niedrige Resthaltbarkeit (knapp 60%) beim Erzeuger E3 im Versuchsmonat August 2004 auf. Die Resthaltbarkeit der weiteren Abschnitten in diesem Monat sind z.T. ebenfalls sehr gering, was sicherlich auch auf die Saisonalität (Hochsommer) zurückzuführen ist.

Der Mittelwert über die gesamten Versuchsmonate der einzelnen Abschnitte zeigt, dass die Resthaltbarkeit in den Abschnitten Aufenthalt beim Erzeuger und Transport zum Großhandel jeweils bei ca. 80% liegt. In den Abschnitten Kommissionierung und Transport zum Einzelhandel nimmt die Resthaltbarkeit bereits ab und liegt nur noch zwischen 65 und 70%. Der Abverkauf ist auch bei Salatgurke als Schwachstelle hinsichtlich der Qualitätssicherung anzusehen. Die Resthaltbarkeit der Salatgurken betrug im Durchschnitt beim Erwerb durch den Konsumenten, ähnlich wie beim Brokkoli rund 50%.

Tabelle 13: Prozentuale Resthaltbarkeit von Salatgurke

Abschnitte	Resthaltbarkeit %					
	Mai 04	Juni 04	E1 August 05	Juni 05	MW 04/05	E2 August 05
ab Hof	96,4	84,4	59,8	75,1	78,9	77,7
an Großhandel	96,2	83,6	58,9	74,9	78,4	65,7
nach Kommissionierung	94,0	83,4	57,6	69,6	71,1	32,5
an Einzelhandel	85,2	79,4	53,7	45,5	65,9	
nach Regalbestückung	85,0	65,3		33,0	61,1	
nach Abverkauf	68,5	63		22,6	51,3	

Im nachfolgendem **Bild 22** ist zur Anschaulichkeit die Resthaltbarkeit der einzelnen Abschnitte beispielhaft in einen Temperaturverlauf während der Nacherntekette von Salatgurke eingetragen. Die Resthaltbarkeit beim Erzeuger und im Großhandel bis zur Kommissionierung lag jeweils bei über 80%. Nach der Kommissionierung bzw. während des Transports zum Einzelhandel wurden die Salatgurken stark heruntergekühlt, was bei einem kälteempfindlichen Produkt wie der Salatgurke nur kurzfristig erfolgen sollte (siehe unter 5.2). Da das Produkt nach der Regalbestückung innerhalb von drei Stunden abverkauft wurde, belief sich die Resthaltbarkeit auf über 75%.

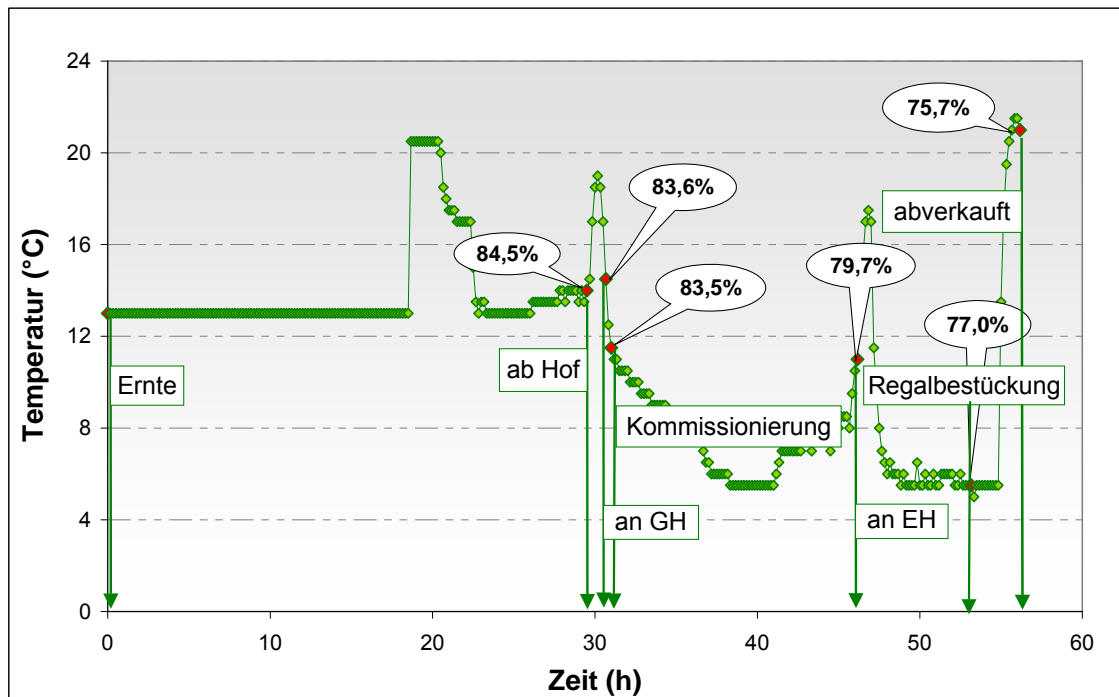


Bild 22: Prozentuale Resthaltbarkeit entlang der Nacherntekette von Salatgurke

Die Zeit bis zum Verderb der Salatgurke beim Verbraucher richtet sich nach der Aufbewahrungstemperatur. Im oben dargestellten Beispiel (**Bild 22**) kann die Salatgurke ungekühlt, bei einer Temperatur von 20°C ca. 3 Tage aufbewahrt werden. Wird die Salatgurke dagegen im Kühlschrank im Gemüsefach, bei durchschnittlich 10°C aufbewahrt, erhöht sich die Aufbewahrungszeit auf ca. 7 Tage.

5.4 Einfluss des Nachernteklimas auf die Transpiration von verpackten Salatgurken

Die Transpirationsrate von Salatgurken in einer Verpackungseinheit wird, wie bei den anderen Produkten auch durch den resultierenden Gesamtwiderstand und die Parameter des umgebenden Klimas (Lufttemperatur, Luftfeuchte in ausreichender Entfernung von der Verpackungseinheit) bestimmt.

Sie ist sowohl von den Gewebedurchlässigkeiten als auch von den im Sinne einer Schutzhülle wirkenden Grenzschichten abhängig. Bei mehreren Salatgurken in einer Umverpackung, die zeitweilig mit Folienabdeckungen versehen sind, sind verschiedene natürliche und künstliche Widerstände im Wasserdampfpfad (parallel im Gewebe, überlagerte Grenzschichten, Abdeckungen, Umverpackungen) vorhanden.

Nachfolgend werden sowohl die Klimabedingungen als auch die Schutzwirkung der Umverpackungen (siehe unter 5.5) anhand der gewichtsbezogenen Transpirationsrate (in mg Wasser / kg Frischgewicht h) bewertet.

Aufgrund der Kälteempfindlichkeit von Gurken wurden die Nachernteklimavarianten durchgängig kühle Bedingungen bei 10°C (mit und ohne Folienabdeckung) und wechselnde Bedingungen zwischen 10°C (mit Folienabdeckung) und 20°C (ohne Folienabdeckung) gewählt (siehe unter 5.2). Die Transpirationsintensität der abgedeckten Varianten bei 10°C lag im Mittel von 4 Versuchsserien bei $328 \text{ mg / kg h} \pm 101 \text{ mg / kg h}$.

Der angegebene Wert ist gültig im Temperaturbereich von 9-10°C bei relativen Luftfeuchten im Bereich von 85-90%, in denen die Folienabdeckung durchgängig wirksam ist (mit Ausnahme der Präsentation). Luftbewegung am Produkt, direkte Wärmestrahlung und photosynthetisch aktive Strahlung führen zu z.T. weitaus höheren Wasserverlusten

Bei nächtlicher Folienabdeckung für beide Varianten führen durchgängig kühle Umgebungsbedingungen (10°C) tendenziell zu ca. 25% geringeren Transpirationsverlusten gegenüber wechselnden Bedingungen (20°C / 10°C) mit einer angenommenen nächtlichen Kühlung.

Tabelle 14: Transpirationsraten von Salatgurken in 1,5 bzw. 3er NAPF-Kisten in Abhängigkeit vom Klimaregime in der Präsentationsphase

Variante	Transpirationsrate [mg/kg h]	Streuung [mg/kg h]
Wechselnde Bedingungen (20°C-10°C)	407	± 101
Durchgängig kühle Bedingungen (10°C)	310	± 77

Die Aussagen sind gültig für Temperaturen von 9-20°C und Luftfeuchten von ca. 50-90% bei freier Konvektion. Luftbewegung und Strahlungseinflüsse können zu anderen anteiligen Verlusten führen.

Eine Modellbildung für die Transpiration in Abhängigkeit von Temperatur und Luftfeuchte (bei freier Konvektion) in der offenen Präsentationsphase, wie bei Kopfsalat und Brokkoli vorgestellt (siehe unter 3.4 und 4.4), war bei Gurken wegen der geringen Anzahl der untersuchten Umverpackungen nicht möglich.

Die nachfolgende Tabelle enthält Messwerte aus der offenen Präsentation für zwei Nachernteszenarien (aus Mittelwerten über 4 Versuchsserien).

Tabelle 15: Transpirationsraten von Salatgurken in 1,5 bzw. 3er NAPF-Kisten während der offenen Präsentation

Nachernteklima	Transpirationsrate [mg/kg ^h]	Streuung [mg/kg ^h]
9,3°C, 87,3% rel. Feuchte, freie Konvektion	474	± 108
19,4°C, 59,8% rel Feuchte, freie Konvektion	567	± 99

Nach den bekannten thermodynamischen Beziehungen für feuchte Luft (BERLINER 1979) ergeben sich daraus Potenzialdifferenzen für die Transpiration zwischen Umgebungsluft und Luftzustand an der Produktoberfläche von 1,1 bzw. 6,6g_{Wasser}/m³_{Luft}. Für identische Potenzialdifferenzen (bei anderen Lufttemperaturen/Luftfeuchten) ergeben sich gleiche Transpirationsverluste.

Die Werte aus den **Tabellen 14** und **15** gelten für jeweils 12 Salatgurken mit einer Gesamtfrischmasse zwischen 4 und 6 kg in 1,5 bzw. 3er NAPF-Kisten. Luftbewegung und Strahlungseinflüsse können zu anderen Ergebnisse führen.

5.5 Analyse der aktuellen Verpackungsformen bei Salatgurken

In Bezug auf die Verpackungsformen wurden zwei unterschiedlich große NAPF-Kisten jeweils mit und ohne Folienabdeckung im Rahmen der Nacherntesimulationen untersucht.

Innerhalb der beiden untersuchten Nachernteklimaszenarien (mit und ohne Folienabdeckung) waren zwischen den Kistengrößen keine Unterschiede in Bezug auf Transpirationsverluste nachweisbar. In diesem Zusammenhang sind offensichtlich Einflüsse durch den Füllungsgrad, die nicht gesondert untersucht wurden, dominierend.

Effekte der Folienabdeckung konnten bei durchgängig kühlen Bedingungen herausgearbeitet werden. Sie sind in **Tabelle 16** dargestellt.

Tabelle 16: Transpirationsraten von Salatgurken in 1,5 bzw. 3er NAPF-Kisten mit und ohne Folienabdeckung bei durchgängig kühlen Bedingungen

Nachernteklima	Transpirationsrate [mg/kg ^h]	Streuung [mg/kg ^h]
NAPF 1,5 ohne Folienabdeckung	450	± 144
NAPF 1,5 mit Folienabdeckung	261	± 95
NAPF 3 ohne Folienabdeckung	511	± 32
NAPF 3 mit Folienabdeckung	307	± 32

Obwohl die Streuung relativ groß ist, sind tendenziell deutliche Effekte der Folienabdeckung mit bis zu ca. 60% geringeren Transpirationsraten sichtbar. Die Angaben besitzen eingeschränkte Gültigkeit (freie Konvektion, keine Strahlungseinflüsse).

5.6 Zusammengefasste Empfehlungen zum Produkthandling bei Salatgurken

Die grundlegenden Aussagen zum Produkthandling in der Nachernte gelten uneingeschränkt auch für Salatgurken. Niedrige Temperaturen schränken die Stoffwechselaktivität ein und verringern den Transpirationsdruck. Niedrige relative Luftfeuchten verringern die Wasserdampfpartialdruckdifferenz und begrenzen aus diesem Grund Wasserverluste.

Die Intensität des Stoffwechsels nimmt mit steigender Temperatur meist exponentiell zu. Auch Produkte wie Salatgurken mit vergleichsweise geringeren Stoffwechselaktivitäten (siehe **Bild 1**) müssen daher in der Nachernte möglichst lange, kühl aufbewahrt werden.

Da Gurken zu den kälteempfindlichen Produktarten zählen, sollten Umgebungstemperaturen unter 10°C vermieden werden. Wenn kurzzeitige Unterschreitungen der Temperaturgrenze im Nachernteprozess einkalkuliert werden, sollte ein Test mit kleinen Produktmengen auf Verträglichkeit vorgenommen werden. Insbesondere neuere Sorten halten sich für bestimmte Zeitintervalle auch bei etwas tieferen Temperaturen. Der für die Haltbarkeit günstigste Temperaturbereich liegt zwischen 10 und 13°C.

Erhöhte Kohlendioxidkonzentrationen (bis 10%) und verringerte Sauerstoffkonzentrationen (bis 5%) werden von Gurken toleriert, haben aber keine oder nur geringe positive Effekte auf die Haltbarkeit (UC Davis 2006/II). Für den Fall zu großer Transpirationsverluste in der Nacherntekette, kann daraus abgeleitet werden, dass die Verpackung (Umverpackung + Folienabdeckung) durchaus noch etwas luftdichter gestaltet werden kann. Folienabdeckungen außerhalb der Präsentationszeiten sind ein wirksames Instrument zur Begrenzung von Transpirationsverlusten.

Bei der Aufbewahrung von Salatgurken mit anderen Produkten muss auf die bereits erwähnten Ethylenempfindlichkeiten geachtet werden. Salatgurken scheiden nur geringe Mengen an Ethylen ($0,1$ bis $1,0 \mu\text{l kg}^{-1} \text{h}^{-1}$) aus, sind jedoch höchst ethylenempfindlich. Bei schon geringen Ethylenkonzentrationen reagieren Salatgurken mit einer Beschleunigung der Alterung und des Chlorophyllabbaus (BÖTTCHER 1996).

6 Berichtsteil Möhre (*Daucus carota* L. ssp. *sativus* [Hoffm.]

6.1 Allgemeine Informationen

Der Anbau von Möhren im Ökologischen Landbau ist von hoher wirtschaftlicher Bedeutung. Obwohl Möhren schon seit Jahrzehnten zum Standardprodukt im Gemüsesortiment zählen, konnten Anbau – für den Frischmarkt als auch für die Verarbeitungsindustrie – und Pro-Kopf-Verbrauch in den letzten Jahren deutliche Steigerungsraten verbuchen. Der Anbauumfang für ökologisch erzeugte Möhren lag 2004 bei 800 ha und hatte einen Anteil von knapp 23% an der Gesamtanbaufläche für Frischgemüse (3500 ha) (ZMP 2006). Im Vergleich dazu lag die Anbaufläche 2005 für konventionelle Möhren bei 9800 ha mit einem Verbrauch von 7,5 kg pro Haushalt (ILLERT 2006). Während im konventionellen Handel zunehmend verpackte Ware angeboten wird – 2002 wurden 57% der Möhren in Schalen und 29% in Beuteln verpackt –, werden ökologisch erzeugte Möhren hauptsächlich lose vermarktet (ILLERT 2003). Gut 60% der Möhren werden in 1-kg-Verpackungen verkauft. Möhren werden verstärkt über den LEH abgesetzt (KASBOHM 2005). Die Ergebnisse eines Sonderpanels ergaben, dass 57% der 2003 verkauften Bio-Möhren über den LEH und nur 15% über den Bio-Fachhandel abgesetzt wurden.

Deutschland ist trotz seiner steigenden Produktion größter Nettoimporteur in der EU.

Möhren sind Doldenblütler (*Daucus carota* L. ssp. *sativus* [Hoffm.]), die nur in Kultur bekannt sind. Die heute bekannte orangefarbene Möhre entstand im 17. Jahrhundert in den Niederlanden und wurde von dort weltweit verbreitet.

Als zweijährige Pflanze bildet die Möhre im ersten Jahr eine Blattrosette und eine Pfahlwurzel aus, die im Wachstumsverlauf verdickt und sich in ein Reserveorgan (Wurzel) umwandelt (VOGEL 1996). Die Wurzel (Rübe) besteht aus Krone, Rinde, Korkschicht, Adventivwurzel und Mark. Die Rinde als wertvollster Teil der Wurzel enthält die meisten Inhaltsstoffe und besitzt daher den höheren ernährungsphysiologischen und geschmacklichen Wert. Die Möhre wächst bevorzugt in maritimen Klimaten, bei mittleren, ausgeglichenen Temperaturen und gleichmäßigem Wasserangebot. In den letzten 100 Jahren wurde die Möhre züchterisch sehr intensiv bearbeitet. Die in Deutschland zugelassenen Sorten variieren in der Rübenform, der Wachstumsdauer bis zur Erntereife, in den Inhaltsstoffen und in der Lagerfähigkeit.

Möhren lassen sich sehr vielfältig zubereiten: roh, gekocht, als Saft und konserviert (Nass-, Gefrier-, Sauerkonserven, Trockenprodukte) und gehören aus ernährungsphysiologischer Sicht zu den bedeutungsvollsten Gemüsearten.

Der Geschmack der Möhre wird hauptsächlich durch den Zuckergehalt (°Brix) bestimmt. Bei frühen Sorten liegt der Zuckergehalt höher als bei späten und gelagerten Möhren.

Möhren bestehen zu ca. 90% aus Wasser und besitzen einen verhältnismäßig geringen Energiewert von 117kJ pro 100g essbaren Anteil (DÄBLER 1991). Von allen Gemüsearten weisen Möhren den höchsten Gehalt an Carotin, insbesondere β - und α -Carotin auf. Beachtenswert ist auch der Gehalt an Vitamin C, Kalium und Eisen sowie geschmacks-

bildenden ätherischen Ölen und Fruchtsäuren (u.a. Äpfelsäure). Besondere Bedeutung haben Möhren für die gesunde Ernährung von Säuglingen und Kleinkindern sowie für Diätküchen.

6.2 Nachernteverhalten von Möhre

Möhren werden in Deutschland üblicherweise mit und ohne Laub vermarktet. Die überwiegende Menge wird als Lagermöhren ohne Laub (Waschmöhren) auch über die Wintermonate angeboten, während Möhren mit Laub (Bundmöhren) ausschließlich als Frischmarktprodukte meist direkt nach der Ernte zum Verkauf kommen. Nachernteverhalten, Haltbarkeit und Verpackungsformen sind dementsprechend unterschiedlich.

Waschmöhren werden über mehrere Monate kalt (nahe 0°C), meist mit einem hohen Erdanteil zur Eingrenzung von Wasserverlusten, gelagert. Da Möhren zweijährige Pflanzen sind (siehe weiter oben), setzen nach einer bestimmten Zeit in Abhängigkeit vom Lagerregime physiologische Aktivitäten ein (Treiben), die sich auch in der Intensität des Stoffwechsels bemerkbar machen. Frisch geerntete Möhren zeigen andere Reaktionen auf identische Umgebungsbedingungen im Vergleich zu gelagerten Produkten.

Erheblichen Einfluss auf das Nachernteverhalten hat auch der Erntezeitpunkt. Eigene Untersuchungen mit konventionell aufgezogenen Möhren in den zurückliegenden Jahren haben gezeigt, dass sich z.B. der Gewebewiderstand im Wasserdampfpfad zwischen 1 und 7 s/cm unterscheiden kann, wobei junge Möhren die kleineren Widerstände zeigten. Solche Differenzen können sich auch auf das Nachernteverhalten auswirken (siehe LINKE *et al.* 2005).

Andere Einflüsse aus der Vorernte (Boden, Witterung, Düngung, ...), die differenzierte Reaktionen in der Nachernte nach sich ziehen, können nicht ausgeschlossen werden

Waschmöhren sind im Vergleich zu den anderen Produkten relativ empfindlich gegen Wasserverluste, d.h. es müssen entsprechende Maßnahmen hinsichtlich Transpirationsschutz getroffen werden (Folieneinlagen, -abdeckungen,...). Bei Nacherntebedingungen im Raumtemperaturbereich sind thermische Einflüsse auf Stoffabbauprozesse eher von geringerer Bedeutung. Bei Möhren ist es generell problematisch eine Verderbgrenze auf der Grundlage der Veränderung einfach zu erfassender Produkteigenschaften zu bestimmen. In früheren Arbeiten wurde die Konsistenz (Elastizität des äußeren Abschlussgewebes) dafür herangezogen, die in der realen Kette jedoch schwierig zu überwachen ist. Hier sind weitere grundlegende Untersuchungen erforderlich, so dass zunächst auf die Berechnung der Resthaltbarkeit (bis zum Farbwechsel), wie bei Brokkoli und Gurke praktiziert, verzichtet werden muss.

Bei der Anwesenheit von Ethylen in der Umgebungsluft produzieren Möhren sortenabhängig mehr oder weniger Bitterstoffe (Isocumarine). Solche Bitterstoffe können bei einigen Sorten auch im Vorerntebereich durch Fehler in der Kulturführung (Wasserversorgung) erzeugt werden.

6.3 Schwachstellenanalyse im realen Prozess bei Wasch- und Bundmöhre

Für die Schwachstellenanalyse im realen Prozess bei Waschmöhren und Bundmöhren wurden drei Erzeuger (E1, E5, E6) und zwei Großhändler (G1, G2) einbezogen. Die Ergebnisse beziehen sich z. T. nur auf einen Durchgang mit zwei Kisten und sind daher nur als grobe Richtwerte anzusehen. Die Möhren wurden in Abhängigkeit der Erzeuger-Großhändler-Konstellation entweder in 2er und 3er NAPF-Kisten oder in Steco-Kisten (Typ 3415) aufbewahrt.

Entsprechend den Abschnitten 3.3, 4.3 und 5.3 wird für die Schwachstellenanalyse bei Wasch- und Bundmöhren beispielhaft je eine Graphik dargestellt.

Aus dem abgebildeten Verläufen sind sowohl die temperatur- als auch die wasserseitigen Schwachstellen in der Nacherntekette schnell zu identifizieren (**Bild 23** und **Bild 24**). In beiden Fällen ist der mittlere Wasserverlust auf dem Weg vom Erzeuger zum Großhandel, bei einer Transportdauer von ca. 1,5 Stunden, am höchsten. Auf der thermischen Seite fällt sowohl bei den Waschmöhren als auch bei den Bundmöhren die lange Abverkaufszeit ins Auge.

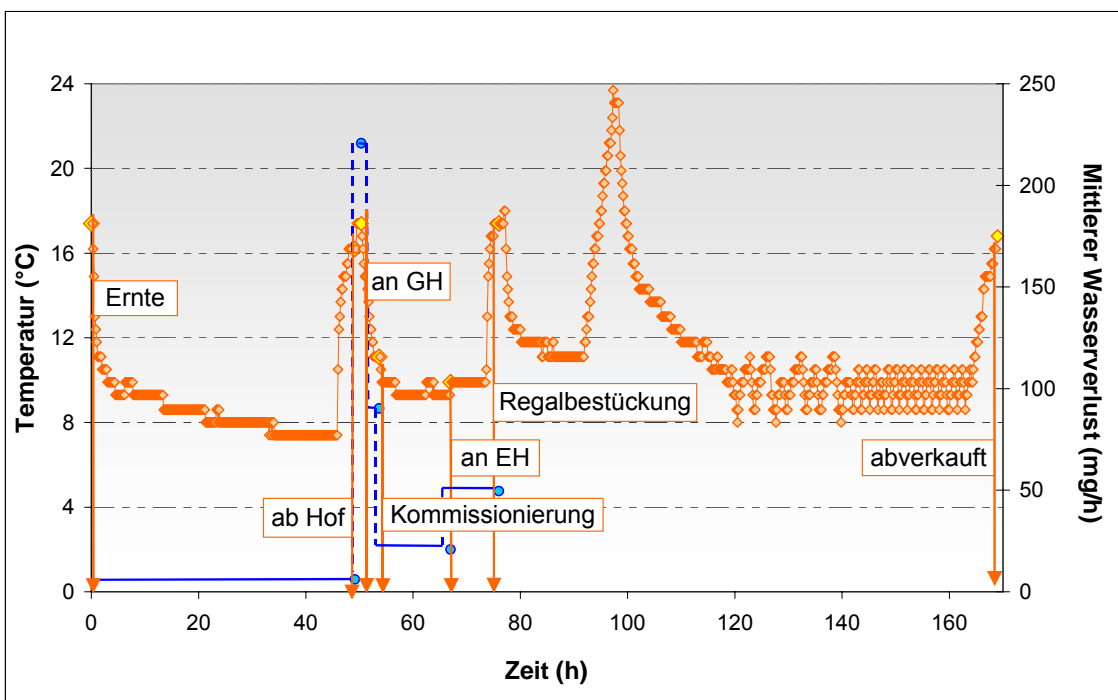


Bild 23: Temperaturverlauf und mittlere Wasserabgaberrate entlang der Nacherntekette von Waschmöhren

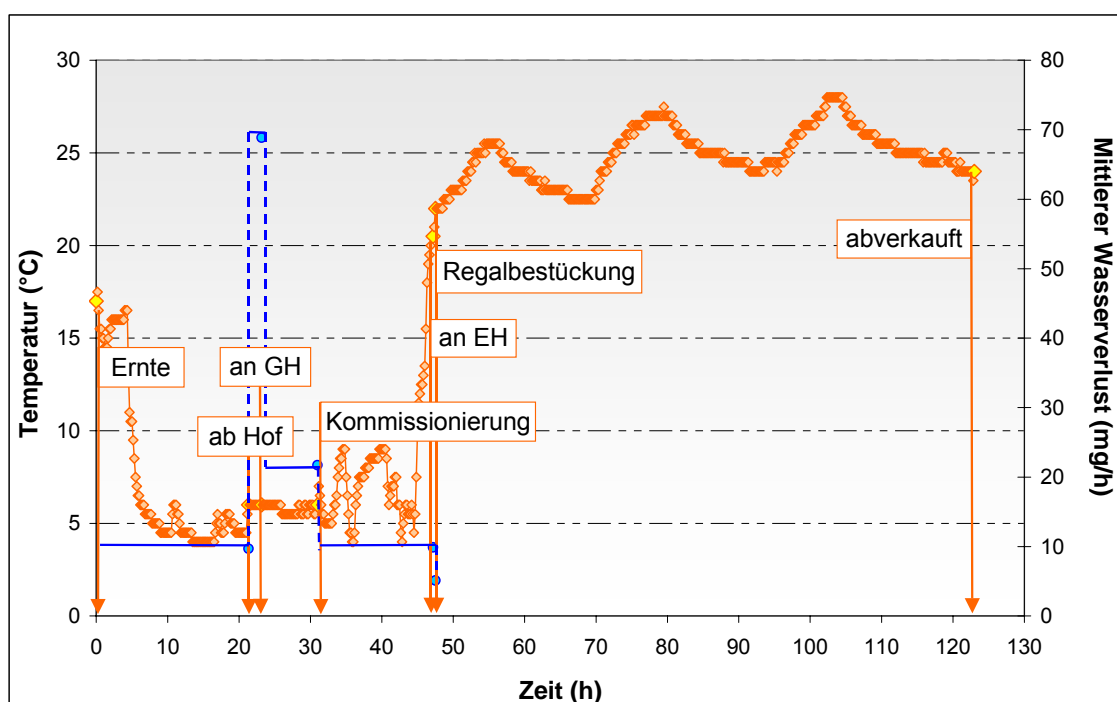


Bild 24: Temperaturverlauf und mittlere Wasserabgaberrate entlang der Nacherntekette von Bundmöhren

Analog zu den Untersuchungen an Kopfsalat, Brokkoli und Salatgurke sind in der nachfolgenden **Tabelle 17** die Mittelwerte der zeitlichen Aufenthalte, der mittleren Wasserverluste und der Temperatursumme der einzelnen Abschnitte aufgeteilt nach beiden Erzeugern und Großhändlern für Wasch- und Bundmöhren wiedergegeben. Die detaillierten Ergebnisse pro Versuchsserie sind im Anhang beigefügt (**Anhang 7, 8, 9, 10**).

Sowohl bei Wasch- als auch bei Bundmöhren war die wasserseitige Belastung in der vertikalen und der horizontalen Betrachtung der Ketten während des Transports zum Großhandel am höchsten. Eine Ausnahme bildet die E5G2-Konstellation, aber auch hier lag die wasserseitige Belastung, gemessen an der Gesamtbelastung bei 37%. Die geringsten Wasserverluste erfuhren die Produkte, mit einer Ausnahme (E1G1), sowohl in der vertikalen als auch horizontalen Betrachtung der Kette im Einzelhandel. Die wasserseitige Belastung im Einzelhandel lag immer unter 10% an der Gesamtbelastung.

Beim Vergleich der untersuchten Ketten fällt auf, dass sich die mittleren Wasserverluste in den einzelnen Abschnitten der Nacherntekette stark voneinander unterscheiden, was daraufhin deuten könnte, dass hier z.T. stark unterschiedliche Luftbewegungen während der einzelnen Nacherntephase vorherrschen.

Tabelle 17: Zeitliche Einstufung und Angabe des mittleren Wasserverlusts sowie der Temperatursumme der einzelnen Abschnitte entlang der realen Nacherntekette von Möhren

Abschnitte	Zeit (h)				Mittlerer Wasserverlust des Prüfkörpers (mg/h)				Temperatursumme (Gradstunden)			
	WM E1G1	WM E5G2	WM E6G2	BM	WM E1G1	WM E5G2	WM E3G2	BM	WM E1G1	WM E5G2	WM E6G2	BM
Aufenthalt beim Erzeuger	49	13	0,5	21	5	16	296	10	423	75	6	187
Transport zum Großhandel	1	3	0,5	2	264	52	395	69	17	19	4	12
Wareneingang Großhandel bis Wareneingang Einzelhandel	21	13	42	24	87	58	20	32	226	120	241	163
Wareneingang Einzelhandel bis Regalbestückung	13	16	37	0	38	16	9	5	112	202	373	7
Abverkauf	48	66	23	76					563	1005	363	1891
Summe	132	101	103	123	394	136	720	115	1341	1421	987	2259

(WM = Waschmöhre, BM = Bundmöhre)

Bei der Betrachtung der thermischen Belastung zeigt sich das genau umgekehrte Bild. Die höchste thermische Belastung erfuhren die Produkte, sowohl vertikal als auch horizontal betrachtet, im Einzelhandel. Die Belastung lag hier, unabhängig von der Einzelhandelsstruktur, zwischen 51% und 85% an der Gesamtbelastung. Die niedrigste Temperatursumme wurde bei den Möhren durchweg während des Transports zum Großhandel gemessen. Die thermische Belastung der Möhren im Großhandel lag gemessen an der Gesamtbelastung zwischen 8 und 25%, sodass der Großhandel nach dem Einzelhandel als Schwachstelle hinsichtlich der temperaturseitigen Belastung angesehen werden kann.

6.4 Einfluss des Nachernteklimas auf die Transpiration von verpackten Möhren

Die Transpirationsrate von Waschmöhren in einer Verpackungseinheit wird, wie bei den anderen Produkten auch durch den resultierenden Gesamtwiderstand und die Parameter des umgebenden Klimas (Lufttemperatur, Luftfeuchte in ausreichender Entfernung von der Verpackungseinheit) bestimmt.

Sie ist sowohl von den Gewebedurchlässigkeiten als auch von den im Sinne einer Schutzhülle wirkenden Grenzschichten abhängig. Bei mehreren Möhren (10 kg bzw.

7 kg, mit Lochfolie bzw. Seidenfaltbeutel ausgeschlagen) in einer Umverpackung, die zeitweilig mit Folienabdeckungen versehen sind, sind verschiedene natürliche und künstliche Widerstände im Wasserdampfpfad (parallel im Gewebe, überlagerte Grenzschichten, Abdeckungen, Umverpackungen) vorhanden.

Nachfolgend werden sowohl die Klimabedingungen als auch die Schutzwirkung der Umverpackungen (siehe unter 6.5) anhand der gewichtsbezogenen Transpirationsrate (in mg Wasser / kg Frischgewicht h) bewertet.

Die Nachernteklimavarianten wurden ausgewählt als durchgängig kühle Bedingungen bei 10°C (mit und ohne Folienabdeckung) und wechselnde Bedingungen zwischen 3°C (mit Folienabdeckung) und 20°C (ohne Folienabdeckung) (siehe unter 2.1.3).

Unterschiede in der Transpirationsrate von mit Folien abgedeckten Möhren (Lochfolie) in 2er NAPF-Kisten bzw. Steco-Kisten (Typ 3415) im Temperaturbereich von 3°C bis 10°C waren nicht nachweisbar. Es ergaben sich im Mittel von 3 Versuchsserien (und zwei Kistentypen mit entsprechenden Einlagen) Abgaberraten von 140 mg / kg h \pm 50 mg / kg h.

Der angegebene Wert ist gültig für alle Nacherntephase im Temperaturbereich von 3-10°C bei relativen Luftfeuchten im Bereich von 80-95%, in denen die Folienabdeckung durchgängig wirksam ist (mit Ausnahme der Präsentation). Luftbewegung am Produkt, direkte Wärmestrahlung können zu z.T. weitaus höheren Wasserverlusten führen.

Unterschiede in den Wasserverlusten über die gesamte Präsentationsphase (beide Kistentypen mit nächtlicher Folienabdeckung) waren nicht nachweisbar. Die Mittelwerte über den Zeitraum der Nacherntesimulation (3-4 Wochen) sind in **Tabelle 18** aufgeführt.

Tabelle 18: Transpirationsraten von Waschmöhren in Steco- (Typ 3415) bzw. 2er NAPF-Kisten in Abhängigkeit vom Klimaregime in der Präsentationsphase

Variante	Transpirationsrate [mg/kg h]	Streuung [mg/kg h]
Wechselnde Bedingungen (20°C-3°C)	186	\pm 62
Durchgängig kühle Bedingungen (10°C)	175	\pm 86

Die Aussagen sind gültig für Temperaturen von 3-20°C und Luftfeuchten von ca. 50-95% bei freier Konvektion. Luftbewegung und Strahlungseinflüsse können zu anderen Verlusten führen.

Eine Modellbildung für die Transpiration in Abhängigkeit von Temperatur und Luftfeuchte (bei freier Konvektion) in der offenen Präsentationsphase, wie bei Kopfsalat und Brokkoli

vorgestellt (siehe unter 3.4 und 4.4), war bei Möhren wegen der geringen Anzahl der untersuchten Umverpackungen nicht möglich.

Die nachfolgende Tabelle enthält Messwerte aus der offenen Präsentation für zwei Nachernteszenarien (aus Mittelwerten über 3 Versuchsserien).

Tabelle 19: Transpirationsraten von Waschmöhren in Steco- (Typ 3415) bzw. 2er NAPF-Kisten während der offenen Präsentation

Nachernteklima	Transpirationsrate [mg/kg/h]	Streuung [mg/kg/h]
9,3°C, 87,8% rel. Feuchte, freie Konvektion	271	*) nur 1 Versuchsserie
14,8°C, 63,1% rel. Feuchte, freie Konvektion	348	± 152

Die Werte aus **Tabelle 19** sind als grobe Richtwerte anzusehen, weil die Ausgangswerte insbesondere der höheren Temperatur wegen der Kompaktheit der Möhren in der Umverpackung (hohe Schüttdichte) größere instationäre Anteile aus den Tag-/Nachtwechseln enthalten. Die Werte aus **Tabelle 19** gelten für jeweils 10 bzw. 7 kg Waschmöhren in Steco-Kisten (Typ 3415) bzw. 2er NAPF-Kisten. Luftbewegung und Strahlungseinflüsse können zu anderen Ergebnissen führen.

6.5 Analyse der aktuellen Verpackungsformen bei Möhren

Sowohl im praktischen Einsatz als auch im Rahmen der Nacherntesimulation unter Laborbedingungen wurden Waschmöhren in zwei verschiedenen Umverpackungen (Steco Typ 3415, 2er NAPF) mit zusätzlichem Transpirationsschutz (siehe unter 2.1.3) einbezogen.

Aufgrund der insgesamt geringen Anzahl der Versuchsserien und Kisten pro Serie sind keine Unterschiede hinsichtlich Transpirationsverluste zwischen den Verpackungsformen innerhalb der beiden gewählten Nachernteklimaszenarien nachweisbar.

Effekte der Folienabdeckung wurden bei durchgängig kühlen Bedingungen nur in einer Versuchsserie für 10 kg Möhren in 2er NAPF-Kisten herausgearbeitet. Die mit Lochfolie ausgeschlagenen Kisten hatten bei der offenen Präsentation eine Transpirationsrate von 271 mg/kg/h und in geschlossenem Zustand von 103 mg/kg/h.

Wegen der kompakten Verpackungsform bei Möhren können Effekte von zusätzlichem Transpirationsschutz für wechselnde Temperaturen (hoher Anteil instationärer Verhältnisse) nicht angegeben werden.

Ergänzende Aussagen zu Schutzwirkungen bei Verpackungen von ökologisch erzeugten Wascmöhren können dem im Rahmen eines Vorläuferprojektes erarbeiteten Leitfaden (LINKE *et al.* 2005) entnommen werden.

6.6 Zusammengefasste Empfehlungen zum Produkthandling bei Möhren

Die grundlegenden Aussagen zum Produkthandling in der Nachernte gelten uneingeschränkt auch für Wascmöhren. Niedrige Temperaturen schränken die Stoffwechselaktivität ein und verringern den Transpirationsdruck. Niedrige relative Luftfeuchten verringern die Wasserdampfpartialdruckdifferenz und begrenzen aus diesem Grund Wasserverluste.

Die Intensität des Stoffwechsels nimmt mit steigender Temperatur exponentiell zu. Auch Produkte wie Wascmöhren mit vergleichsweise geringeren Stoffwechselaktivitäten (siehe **Bild 1**) müssen daher in der Nachernte möglichst lange, kühl aufbewahrt werden.

Da Möhren zum Erntezeitpunkt nur über relativ kleine Gewebewiderstände verfügen, kommt dem zusätzlichen Transpirationsschutz besondere Bedeutung zu. Die verwendeten Lochfolien/Seidenfaltbeutel erfüllen diese Funktion in ausreichendem Maße.

Insbesondere für die Zeit der offenen Präsentation stellt die Kompaktheit der Schüttung in der Umverpackung einen zusätzlichen Widerstand (Überlagerung der einzelnen Grenzschichtwiderstände) dar. Es sollten daher immer hohe Umverpackungen mit kleiner Grundfläche Verwendung finden.

Im selben Zusammenhang ist auch der Füllungsgrad der Kiste mit Möhren zu sehen. Zu möglichen Auswirkungen auf die Transpirationsverluste wird auf den Leitfaden (LINKE *et al.* 2005) verwiesen.

Erhöhte Kohlendioxidkonzentrationen (bis 5%) und verringerte Sauerstoffkonzentrationen (bis 3%) in der Umgebungsluft werden von Möhren toleriert, haben aber keine positiven Effekte auf die Haltbarkeit (UC DAVIS 2006/III). Für die Materialauswahl und den Einsatz des zusätzlichen Transpirationsschutzes (Folien, Gewebe, ...) ist daraus zu schlussfolgern, dass keine zu luftdichten Materialien über zu lange Zeiträume verwendet werden sollten. Im Zweifelsfall sollte ein Tastversuch mit einer kleinen Menge durchgeführt werden. Vorsicht, da viele Einflüsse aus der Vorernte bzw. aus der vorgelegerten Nachernte das Ergebnis beeinflussen können.

Für den Fall, dass verschiedene Produktarten zur gleichen Zeit auf begrenztem Raum aufbewahrt (Präsentation, Zwischenlagerung, ...) werden müssen, sind die bekannten Produktverträglichkeiten zu beachten.

Jede einzelne Produktart stellt eigene Ansprüche an die Umgebungsbedingungen. Solche Ansprüche resultieren hauptsächlich aus Temperatur- und Ethylenempfindlichkeiten. Bei Möhren muss daher berücksichtigt werden, dass sie nur verhältnismäßig geringe Ethylenmengen produzieren, d.h. sie können gemeinsam vorzugsweise mit anderen

Gemüsearten, die möglichst die gleichen niedrigen Temperaturanforderungen haben sollten (Wurzel-, Blatt-, Kohlgemüse, ...), aufbewahrt bzw. präsentiert werden.

Möhren reagieren jedoch in der Nachernte sehr empfindlich auf das Vorhandensein von Ethylen in der Umgebungsluft (Bildung von Bitterstoffen) und sollten dementsprechend von starken Ethylenproduzenten (viele Obstarten, reife Tomaten, ...) getrennt aufbewahrt bzw. präsentiert werden.

7 Berichtsteil Speisekartoffel (*Solanum tuberosum*)

7.1 Allgemeine Informationen

Der Einkauf von Frühkartoffeln ist 2005 in Deutschland erneut zurückgegangen, obwohl die Ladenpreise günstiger als im Vorjahr waren (ZMP 2006). Insgesamt wurden 66,5 kg Kartoffeln pro Haushalt in Deutschland verbraucht, davon 37,5 kg als Frischware. Der Verbrauch in den östlichen Bundesländern lag bis zu 26% über dem Bundesmittel, in Baden-Württemberg und Bayern wurden die wenigsten Kartoffeln verzehrt

Der Flächenanteil von Bio-Kartoffeln ist relativ niedrig, weil Kartoffel für die Verarbeitung zu Püree, Pommes Frites oder Chips sowie andere vorgefertigte Produkte für die Gemeinschaftsverpflegung im Öko-Bereich im Gegensatz zu Kartoffeln aus dem konventionellen Anbau eine deutlich geringere Rolle spielen. Die Anbaufläche für ökologisch erzeugte Kartoffeln betrug 2004 insgesamt 6500 ha, davon entfielen 5700 ha auf Kartoffeln, die für den Frischmarkt angebaut wurden. Insgesamt wurden 2004 153.443 t Bio-Kartoffeln geerntet.

Die Bedeutung der Discounter als bevorzugte Einkaufsstätte für Frischkartoffeln hat 2005 noch etwas zugenommen. Bezogen auf die gesamten Frischkartoffeleinkäufe entfiel auf die Discounterschiene ein Anteil von 42%. Der Einkauf beim Erzeuger oder auf dem Wochenmarkt nutzten zwar erneut etwas weniger Haushalte, der Anteil an den Einkaufsmengen blieb mit 16% aber beachtlich.

International wird die Zahl der unterschiedlichen Kartoffelsorten auf über 4500 geschätzt (www.kartoffel.leitfaden.net). Entsprechend mannigfaltig sind die Größen und Typen der Knollen und reichen von rundlich über oval bis länglich. Die Schalenfarbe variiert von hellem Gelb über rosa bis hin zu dunkelbraun. Auch das bei den weitaus meisten Sorten hellbeige Fruchtfleisch ist bei einzelnen Gattungen bis hin zu blau oder hellbeige mit roten Ringen gefärbt. Das Kartoffelsortiment wird in vier verschiedenen Reife- und zwei Eigenschaftsgruppen unterteilt (AID 1996). Es gibt Speisesorten und Wirtschaftssorten, in den Reifegruppen sehr früh, früh, mittelfrüh und mittelspät bis sehr spät – das entspricht Kartoffelernten von Ende Mai bis Mitte Oktober.

Kartoffeln sind Nachschattengewächse (*Solanaceae*), die aus den südamerikanischen Anden stammen. In Deutschland wurde die Kartoffel zunächst als Zierpflanze angebaut. Erst in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts erkannte man den Wert der Kartoffel als Nahrungsmittel.

Botanisch ist die Kartoffelknolle keine Frucht, sondern eine stark entwickelte unterirdische Sprossverdickung. Sie dient der Reservestoffspeicherung und als vegetatives (ungeschlechtliches) Vermehrungsorgan.

7.2 Nachernteverhalten von Speisekartoffeln

Kartoffeln werden zu einem geringen Teil (direkt nach der Ernte) frischvermarktet. Der überwiegende Anteil wird als Lagerware auch über die Winter- und Frühjahrsmonate verkauft.

Nach der Ernte vermarktete Frühkartoffeln unterscheiden sich in ihrem Nachernteverhalten von gelagerten Kartoffeln. Die Art und die Länge der Lagerung haben in der Regel auch Einfluss auf Stoffwechselaktivitäten und natürliche Schutzmechanismen.

Die meisten Kartoffelsorten werden bei 4-8°C gelagert. Tiefere Temperaturen erzeugen häufig einen unerwünschten süßlichen Geschmack (Stärke wandelt sich in Zucker um), höhere Temperaturen fördern die Keimbildung und erhöhen gleichzeitig die Potentialdifferenz für Transpirationsverluste. Aufgrund der großen Abmessungen der Lagereinheiten treten unter praktischen Bedingungen oft Beeinträchtigungen der Qualität durch ungleichmäßige Beaufschlagung der Produkte auf (Temperaturverteilung, Luftgeschwindigkeitsprofile).

Andere Einflüsse aus der Vorernte (Boden, Witterung, Düngung, ...), die differenzierte Reaktionen in der Nachernte nach sich ziehen, können nicht ausgeschlossen werden

7.3 Schwachstellenanalyse im realen Prozess bei Speisekartoffeln

Für die Schwachstellenanalyse im realen Prozess bei Speisekartoffeln wurden zwei Erzeuger (E5, E7) und zwei Großhändler (G1, G2) einbezogen. Die Speisekartoffeln wurden in Abhängigkeit der Erzeuger-Großhändler-Konstellation entweder in 3er NAPF-Kisten oder in Steco-Kisten aufbewahrt.

Entsprechend den Abschnitten 3.3, 4.3, 5.3 und 6.3 wird für die Schwachstellenanalyse beider untersuchten Ketten beispielhaft je eine Graphik dargestellt.

Aus dem abgebildeten Verläufen sind sowohl die temperatur- als auch die wasserseitigen Schwachstellen in der Nacherntekette schnell zu identifizieren (**Bild 25** und **Bild 26**). In beiden dargestellten Verläufen stellt der Transport zum Großhandel die größte wasserseitige Belastung dar und dem Einzelhandel ist die höchste thermische Belastung zuzuordnen.

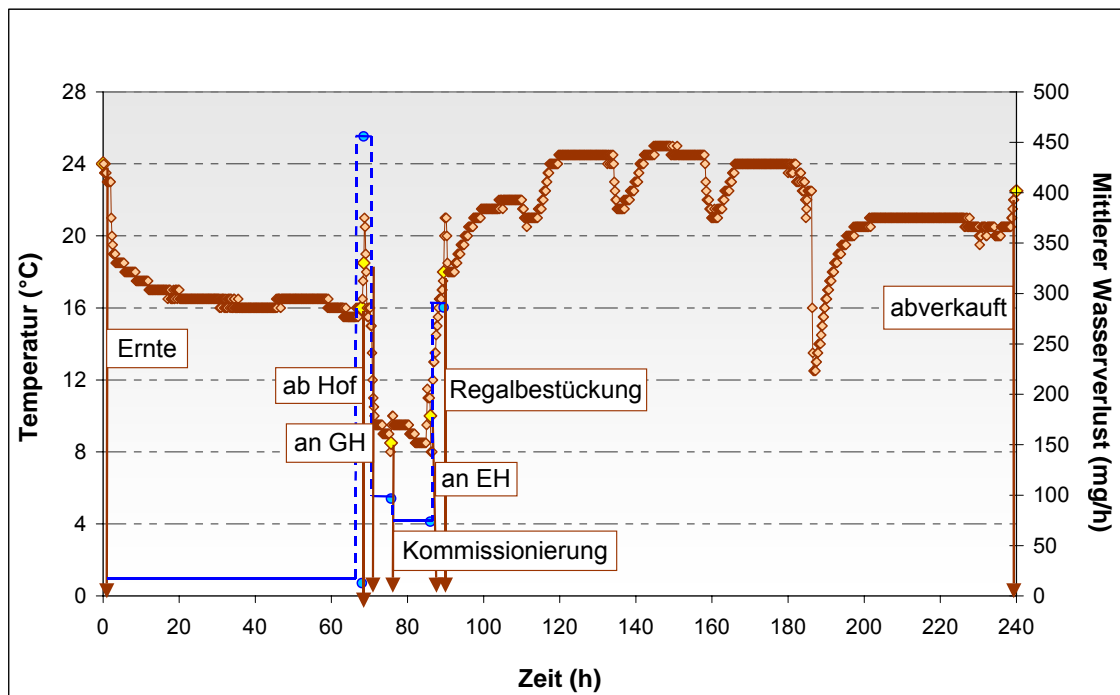


Bild 25: Temperaturverlauf und mittlere Wasserabgaberate entlang der Nacherntekette von Speisekartoffeln

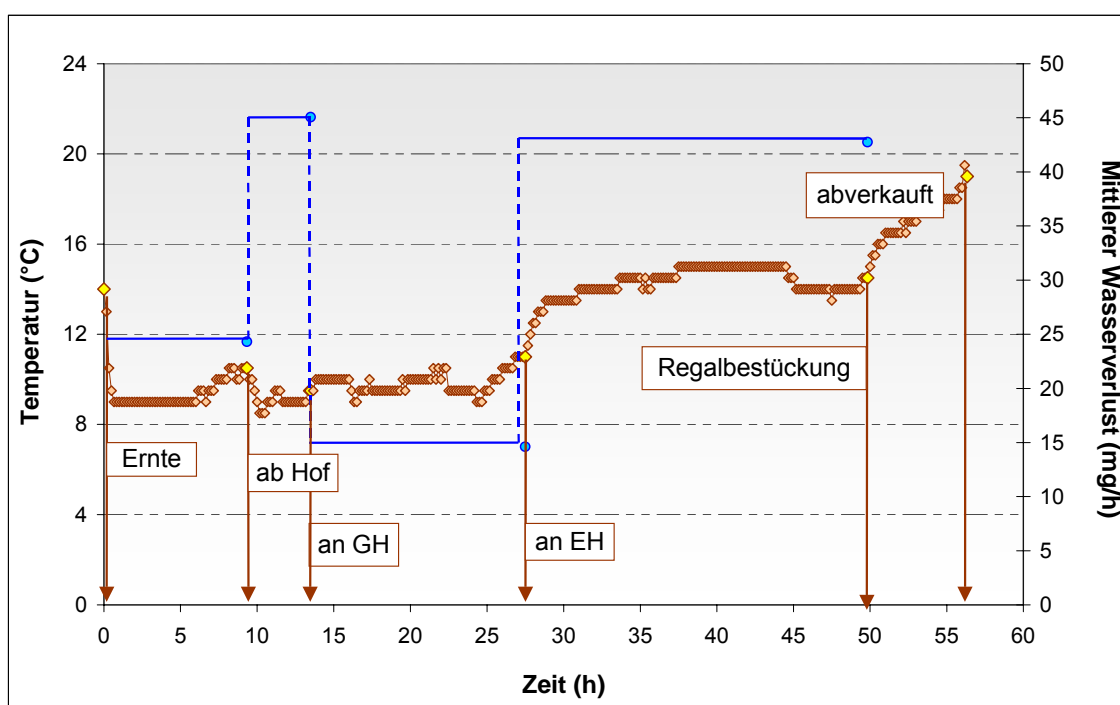


Bild 26: Temperaturverlauf und mittlere Wasserabgaberate entlang der Nacherntekette von Speisekartoffeln

Analog zu den Untersuchungen an Kopfsalat, Brokkoli, Salatgurke und Möhren sind in der nachfolgenden **Tabelle 20** die Mittelwerte der zeitlichen Aufenthalte, der mittleren Wasserverluste und der Temperatursumme der einzelnen Abschnitte aufgeteilt nach

beiden Erzeugern und Großhändlern für Speisekartoffeln wiedergegeben. Die detaillierten Ergebnisse pro Versuchsserie sind im Anhang beigefügt (**Anhang 11, 12**).

Tabelle 20: Zeitliche Einstufung und Angabe des mittleren Wasserverlusts sowie der Temperatursumme der einzelnen Abschnitte entlang der realen Nacherntekette von Speisekartoffeln

Abschnitte	Zeit (h)		Mittlerer Wasserverlust des Prüfkörpers (mg/h)		Temperatursumme (Gradstunden)	
	E7G1	E5G2	E7G1	E5G2	E7G1	E5G2
Aufenthalt beim Erzeuger	36	12	47	25	583	73
Transport zum Großhandel	1	3	726	80	10	18
Wareneingang Großhandel bis Wareneingang Einzelhandel	186	16	95	21	1274	142
Wareneingang Einzelhandel bis Regalbestückung	54	25	118	315	355	305
Abverkauf	88	64			1861	905
Summe	365	120	986	441	4083	1443

Die Mittelwertbildung der Wasserverluste über den gesamten Versuchszeitraum zeigt im Gegensatz zu den dargestellten Verläufen unterschiedliche Schwachstellen der beiden betrachteten Ketten. Während bei der ersten Kette (E7G1) die höchsten Wasserverluste während des Transports zum Großhandel gemessen wurden, zeigten sich bei der zweiten Kette (E5G2) die höchsten Verluste nach dem Wareneingang in den Einzelhandel. In beiden Fällen liegen die Wasserverluste bei über 70% bezogen auf den Gesamtverlust. Die wasserseitige Belastung beim Erzeuger sowie im Großhandel liegt in beiden Ketten jeweils unter 10% bezogen auf die Gesamtbelastung und ist daher tolerierbar.

Bei der Betrachtung der thermischen Belastung zeigt sich, dass in beiden Ketten der Einzelhandel als Schwachstelle herauskristallisiert. In beiden betrachteten Ketten werden über 50% der gesamten Temperatursumme im Einzelhandel aufgenommen. Betrachtet man die thermische Belastungen beim Erzeuger und im Großhandel so ist eine sehr heterogene Verteilung in den beiden Ketten erkennbar, welche auf ungünstige Temperatur-Zeit-Regime deuten könnte. Die niedrigste Temperatursumme wurde bei

den Speisekartoffeln beider Ketten durchweg während des Transports zum Großhandel aufgenommen.

7.4 Einfluss des Nachernteklimas auf die Transpiration von verpackten Speisekartoffeln

Temperatureinflüsse bei Speisekartoffeln wurden nicht analysiert (nur Präsentationsbedingungen bei Raumklimazustand).

7.5 Analyse der aktuellen Verpackungsformen bei Speisekartoffeln

Sowohl in der realen Kette als auch im Rahmen der Nacherntesimulation unter Laborbedingungen (nur Präsentation bei ca. 20°C) wurden (gelagerte) Speisekartoffeln in zwei verschiedenen Umverpackungen (12x1,5kg in Netzbeuteln in Steco-Kisten (Typ 6418), 5x2kg in Papiertüten in 3 er NAPF-Kisten) (siehe unter 2.1.3) einbezogen.

Es wurden jeweils nur zwei Verpackungseinheiten untersucht, so dass Angaben über die Streuung der Werte entfallen. In der nachfolgenden Tabelle sind die Transpirationsverluste aufgeführt.

Tabelle 21: Wasserverluste und Transpirationsraten von gelagerten Speisekartoffeln in Steco-(Typ 6418) bzw. 3er NAPF-Kisten während der Präsentation bei Raumklimabedingungen

Verpackungseinheit	Wasserverlust [%]	Transpirationsrate [mg/kg/h]
Steco(Typ 6418) (12x1,5kg in Netzbeuteln)	7,4	97
dto.	8,6	104
3er NAPF (5x2kg in Papiertüten)	6,1	89
dto.	6,1	90

Im Versuchszeitraum (1 Monat) hatten die Kartoffeln in den Papiertüten (in 3er NAPF) nur etwa 10% geringere Transpirationsverluste im Vergleich zu den Kartoffeln in den Netzbeuteln.

Die prozentualen Wasserverluste, bezogen auf den Zustand zu Beginn der simulierten Präsentation zeigen die gleichen Tendenzen. Offensichtlich wird die höhere Schutzwirkung der Tüte teilweise durch die größere Menge in den Steco-Kisten (höhere Eigenschutzwirkung, höherer mittlerer Grenzschichtwiderstand) kompensiert. Wie schon bei anderen Produktarten zeigt sich auch hier der große Einfluss des Füllungsgrades der Umverpackung.

7.6 Zusammengefasste Empfehlungen zum Produkthandling bei Speisekartoffeln

Obwohl Speisekartoffeln in der Nachernte als relativ unempfindlich einzustufen sind, sollen einige Grundregeln eingehalten werden, um Qualitätsverluste zu vermeiden.

Unterhalb eines Temperaturbereiches von 3-4°C treten Kälteschäden auf, oberhalb eines Bereiches von 8-10°C ist mit beschleunigter Entwicklung (z.B. Keimbildung) zu rechnen. Bei den höheren Temperaturen steigt gleichzeitig das Risiko von Transpirationsverlusten.

Die grundlegenden Aussagen zum Produkthandling in der Nachernte gelten uneingeschränkt auch für Kartoffeln. Niedrige Temperaturen schränken die Stoffwechselaktivität ein und verringern den Transpirationsdruck. Niedrige relative Luftfeuchten verringern die Wasserdampfpartialdruckdifferenz und begrenzen aus diesem Grund Wasserverluste. Stärkere Luftbewegung und Strahlungseinflüsse können den Prozess überproportional beschleunigen.

Die Eigenschutzwirkung durch viele Produkte pro Volumeneinheit ist in diesem Zusammenhang nicht zu unterschätzen. Es sollten daher immer möglichst viele Produkte in der Umverpackung vorhanden sein.

Im Zusammenhang mit der Produktverträglichkeit muss bei der Speisekartoffel erwähnt werden, dass diese sehr empfindlich auf das Vorhandensein von Ethylen reagiert. Der Einfluss des Ethylens bewirkt das vorzeitige Einsetzen des Keimprozesses der Speisekartoffel. So können starke Ethylenproduzenten (z.B. Äpfel) die vorzeitige Keimung von Speisekartoffeln bewirken. Ein gemeinsames Aufbewahren mit starken Ethylenproduzenten, wie z.B. Zitrusfrüchte oder Kernobst, ist aus diesem Grund zu vermeiden, da es zum Totalverlust der Ware führen kann.

8 Zusammenfassung für die Erzeuger

Die im Projekt durchgeführte Erfassung und Bewertung realer Klimabelastungen (Temperatursummen und Wasserabgaberraten) von ausgewählten Produkten (Kopfsalat, Brokkoli, Salatgurke, Wasch- und Bundmöhre sowie Speisekartoffel) in handelsüblichen Verpackungen ermöglicht eine Analyse der Schwachstellen hinsichtlich der Qualitätssicherung innerhalb der Nacherntekette vom Erzeuger bis zum Verkauf und zeigt mögliche Ansätze zur Verbesserung auf. Die Ergebnisse aus den zusätzlich durchgeführten Klimasimulationen unter Laborbedingungen stellen Entscheidungshilfen für alltägliche Situationen in der Nacherntekette dar. Sowohl durch Empfehlungen zum Nachernteklima (Temperatur, Luftfeuchte) als auch durch die Auswahl von zweckmäßigen Verpackungen und Angaben zu Produktverträglichkeiten soll ein Beitrag zur Verbesserung der Produkthandlings von ökologisch erzeugtem Gemüse in der Nachernte geliefert werden, dessen Zielrichtung darin besteht, die Absatzchancen von Bioprodukten weiter zu erhöhen.

8.1 Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse

Die erarbeiteten Ergebnisse für die fünf ausgewählten Produktarten zeigen einerseits Schwachstellen hinsichtlich der Qualitätssicherung innerhalb der Nacherntekette vom Erzeuger bis zum Abverkauf auf und stellen andererseits Entscheidungshilfen für alltägliche Situationen in der Nacherntekette dar. Sowohl durch die Gestaltung der Umgebungsbedingungen als auch durch die Auswahl von zweckmäßigen Verpackungen und dergleichen sind Effekte zu erreichen, die insgesamt die Attraktivität von ökologisch erzeugten Produkten verbessern.

Es ist vorgesehen, den bereits vorhandenen Leitfaden (aus einem vorherigen Forschungsprojekt 02OE556), ergänzt durch die zusätzlich bearbeiteten Produkte, auf den Internetseiten des Leibniz-Institutes für Agrartechnik (ATB) unter www.atb-potsdam.de zu veröffentlichen. Die Ergebnisse der Untersuchungen werden auch vom Bioland Erzeugerring Bayern e.V. zur Weitergabe an interessierte Erzeuger, Großhändler und Einzelhändler zur Verfügung gestellt.

Der Umfang an Informationen, die auf dem Internetportal des ökologischen Landbaus veröffentlicht werden sollen, ist noch festzulegen.

Es ist außerdem zu entscheiden, ob der Leitfaden (in vollem Umfang oder auszugsweise) auch in gedruckter Form z.B. für Messen und Ausstellungen erstellt werden soll. Die dazu erforderlichen finanziellen Mittel waren nicht eingeplant.

8.2 Gegenüberstellung geplanter und erreichter Ziele, weiterführende Fragestellung

Die geplanten Ergebnisse konnten in den wesentlichen Punkten erreicht werden. Einschränkungen der erarbeiteten Aussagen sind hauptsächlich auf Grund der räumlichen

Distanz (Berlin – Bayern) und der dadurch eingeschränkten, spontanen Kommunikation und Handlungsspanne sowie wegen der Vielfalt möglicher Nachernteszenarien zustande gekommen.

Dies hatte zur Folge, dass bei der Schwachstellenanalyse unter realen Bedingungen nicht für alle Produkte aussagekräftige, gesicherte Ergebnisse erzielt werden konnten

Auch zum Nachernteverhalten der fünf ausgewählten Produktarten unter kontrollierten Laborbedingungen müssen daher Fragen offen bleiben. Insbesondere der Einfluss von Vorerntebedingungen konnte nicht berücksichtigt werden. Aufgrund des vorgegebenen Zeitrahmens und wegen der begrenzten personellen Kapazitäten war es nicht möglich, saisonale (Vorernteklima) Unterschiede einzubeziehen, die erheblichen Einfluss auf die Haltbarkeit haben können.

9 Abstract

For various reasons fruits and vegetables are particularly susceptible to quality losses after harvest and do not satisfy the quality demands of the consumers at purchase. The aim of the project is the optimisation of freshness-preserving provisions along the supply chain such that organic vegetables of regional cultivation (Lettuce, broccoli, cucumber, carrots and potatoes) reach for the consumer a surplus value through the perceived freshness. Therefore, measurement series were planned which enables the examination of the temperature of selected products along the distribution chain considering spatial and time aspects of the processing steps. In addition, water losses are also controlled. Investigation of the overall temperature load and transpiration rates described the degree of quality reduction. This analysis of weak points within the distribution chain leads to improvements with respect to quality enhancement.

10 Literaturverzeichnis

- AUSWERTUNGS- UND INFORMATIONSDIENST FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN (AID) E.V. (1996):** Kartoffeln und Kartoffelerzeugnisse. 13. überarbeitete Auflage
- BAYRERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (LFL) (2006):** Die Gurke – knackiger Durstlöscher – Internet: <http://www.LfL.bayern.de>.
- BEHR H.-C., ILLERT S. (2004):** Die kleine Marktstudie: Salatgurken. Gemüse, 40 (7), S. 46-48
- BERLINER P. (1979):** Psychrometrie – Die Thermodynamik der lufttechnischen Prozesse. Mutter Verlag. 1979. Karlsruhe
- BÖTTCHER H. (1996):** Frischhaltung und Lagerung von Gemüse. Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart
- CANTWELL M., SUSLOW T. (2005):** Broccoli. Recommendations for Maintaining Post-harvest Quality. Univ. California, Davis, CA 95616. <http://postharvest.uc.davis.edu>
- CANTWELL M. (2006):** Postharvest Handling for Specialty Crops. Univ. California, Davis, CA 95616. <http://postharvest.uc.davis.edu>
- DAßLER E., HEITMANN, G. (1991):** Obst und Gemüse – Eine Warenkunde. 4. Aufl., Paul Parey Verlag, Berlin und Hamburg
- HAMM U. (2002):** Wie geht es weiter mit Öko? DLG-Mitteilungen 4/2002: 76-79
- GEYER M., MÜLLER K., BOKELMANN W. (2003):** Möglichkeiten zur Qualitätssicherung öko-logisch erzeugter Gartenbauprodukte durch Koordinierung der Wertschöpfungsketten. Abschlussbericht für das BMVEL
- GRONWALD F., HAMM U. (2003):** Wie die Ökomärkte in Europa ausweiten? Ökologie und Landbau, Jahrbuch Öko-Landbau 2003
- ILLERT S. (2003):** Die kleine Marktstudie: Kopfsalat. Gemüse, 39 (12), S. 56-58
- ILLERT S. (2006):** Die kleine Marktstudie: Möhren. Gemüse, 42 (1), S. 56-58
- KADER A.A (2000):** Mündliche Mitteilung auf der POSTHARVEST 2000, 4th International Conference on Postharvest Science, 26.-31.03.2000, Jerusalem, Israel
- KASBOHM A. (2004):** Die kleine Marktstudie: Blattsalate aus dem Öko-Anbau. Gemüse, 40 (5), S. 46-47
- KASBOHM A. (2005):** Die kleine Marktstudie: Bio-Gemüse. Gemüse, 14 (11), S. 48-50
- KAYS S.J. (1991):** Postharvest Physiology Of Perishable Plant Products. An AVI Book, New York
- KRUG H. (1991):** Gemüseproduktion: Ein Lehr- und Nachschlagewerk für Studium und Praxis. 2. Auflage, Paul Parey Verlag, Berlin und Hamburg
- KRUG H. (2002):** Gemüseproduktion: Ein Lehr- und Nachschlagewerk für Studium und Praxis. Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart
- KRUMBEIN A., SCHONHOF I. (2000):** Variabilität der Carotinoide, Chlorophylle und Vitamin C in Brokkoli in Abhängigkeit vom Brokkolityp, von der Kopfentwicklung und vom Anbauzeitraum. 35. Vortragstagung der deutschen Gesellschaft für Qualitätsforschung (Pflanzliche Nahrungsmittel) Karlsruhe, Deutschland, S. 261-265
- LINKE M., GEYER M. (2001):** Postharvest Transpiration Behaviour of Vegetables – A New Approach. In: BEN-ARIE R., PHILOSOPH-HADAS S. (Eds): Proceedings of the Fourth International Conference on Postharvest Science, Acta-Horticulturae, No. 553, S. 487-490
- LINKE M., GEYER M. (2002):** Postharvest Behaviour of Tomatoes in Different Transport Packaging Units. In: Postharvest-Unlimited, Book of Abstracts, Leuven, Belgium, Acta-Horticulturae, S. 115-122

- LINKE M., MÜLLER K., BUTENUTH K., GEYER M., BOKELMANN W. (2005):** Qualitätserhaltung und Qualitätssicherung von Bioobst und Biogemüse in der Nachernte. Bornimer Agrartechnische Berichte (ISSN 0947-7314), Heft 48, Potsdam-Bornim, S. 1-107
- MÜLLER K., LINKE M. (2002):** Modellkonzept zur Frischeproggnose empfindlicher garten-baulicher Produkte. Landtechnik (57), 2/2002, S. 102-103
- OSTERLOH A., EBERT G., HELD W.H., SCHULZ H., URBAN E. (1996):** Lagerung von Obst und Südfrüchten. Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart
- RAMPOLD C. (2003):** Die kleine Marktstudie: Brokkoli. Gemüse, 39 (6), S. 40-41
- SCHONHOF I., BRÜCKNER B. (1997):** Qualität von Brokkoli – Ergebnisse. Verbraucherbefragung. Gärtnerpost. S. 17
- USDA-HANDBOOK (2004):** The Commercial Storage of Fruits, Vegetables, and Florist and Nursery Stocks. Agriculture Handbook Number 66
- VERBAND DER LANDWIRTSCHAFTSKAMMERN E.V. (STAND APRIL 2003):** Qualitätsnormen und Handelsklassen für Gartenbauerzeugnisse und Kartoffeln – Gesetze, Verordnungen, Kommentare - Lose-Blatt-Sammlung, Heft Nr. 61, Band II
- VOGEL G. (1996):** Handbuch des speziellen Gemüsebaus. Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart
- ZMP MATERIALIEN ZUR MARKTBERICHTERSTATTUNG (2006):** 6.Strukturdaten ökologischer Betriebe. Ökomarkt Jahrbuch. Band 60, S. 228-237
- www.kartoffel.leitfaden.net (2006)
- <http://postharvest.ucdavis.edu/Produce/ProduceFacts/Veg/broccoli.shtml> (2006/I)
- <http://postharvest.ucdavis.edu/Produce/ProduceFacts/Veg/cucumber.shtml> (2006/II)
- <http://postharvest.ucdavis.edu/Produce/ProduceFacts/Veg/carrot.shtml> (2006/III)

Bildverzeichnis

Bild 1: Atmungsintensitäten der untersuchten Produktarten	6
Bild 2: Transpirationsraten der untersuchten Produktarten	7
Bild 3: Für den Transport vorbereiteter Brokkoli	11
Bild 4: Schematischer Aufbau einer Verdunstungsmesszelle	13
Bild 5: Messung von Atmungsaktivitäten	14
Bild 6: Grenzwerte für die Verkaufsfähigkeit von frischen Produkten	16
Bild 7: Messung von Transpirationswiderständen	19
Bild 8: Frischer Kopfsalat (links) und Kopfsalat nach achttägiger Klimasimulation (rechts)	22
Bild 9: Temperaturverlauf und mittlere Wasserabgaberate entlang der Nachernte- kette von Kopfsalat (E1G1)	23
Bild 10: Temperaturverlauf und mittlere Wasserabgaberate entlang der Nachern- tekette von Kopfsalat (E1G2)	24
Bild 11: Temperaturverlauf und mittlere Wasserabgaberate entlang der Nachern- tekette von Kopfsalat (E2G2)	24
Bild 12: Zusammenhang zwischen Transpirationsrate und Wassergehaltsdiffe- renz der untersuchten Verpackungseinheiten	27
Bild 13: Transpirationsrate in Abhängigkeit von der Lufttemperatur und von der relativen Luftfeuchte (bei freier Konvektion) während der offenen Präsentation	28
Bild 14: Zeit bis zum Beginn sichtbarer Vergilbung von Brokkoli	35
Bild 15: Temperaturverlauf und mittlere Wasserabgaberate entlang der Nachern- tekette von Brokkoli I.	36
Bild 16: Temperaturverlauf und mittlere Wasserabgaberate entlang der Nachern- tekette von Brokkoli II.	36
Bild 17: Prozentuale Resthaltbarkeit entlang der Nacherntekette von Brokkoli	40
Bild 18: Zusammenhang zwischen Transpirationsrate, Wassergehaltsdifferenz und Frischmasse/Kiste bei Brokkoli in 2er NAPF-Kisten	41
Bild 19: Transpirationsrate in Abhängigkeit von der Lufttemperatur und von der relativen Luftfeuchte (bei freier Konvektion) während der offenen Präsen- tation von Brokkoli in 2er NAPF-Kisten	42
Bild 20: Zeit bis zum Beginn sichtbarer Vergilbung von Salatgurke	48
Bild 21: Temperaturverlauf und mittlere Wasserabgaberate entlang der Nachern- tekette von Salatgurke	49
Bild 22: Prozentuale Resthaltbarkeit entlang der Nacherntekette von Salatgurke	52
Bild 23: Temperaturverlauf und mittlere Wasserabgaberate entlang der Nachern- tekette von Waschmöhren	58

Bild 24: Temperaturverlauf und mittlere Wasserabgaberrate entlang der Nachertekette von Bundmöhren.....	59
Bild 25: Temperaturverlauf und mittlere Wasserabgaberrate entlang der Nachertekette von Speisekartoffeln.....	67
Bild 26: Temperaturverlauf und mittlere Wasserabgaberrate entlang der Nachertekette von Speisekartoffeln.....	67

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht zur Verteilung der Produkte und Produktmengen während der Versuchsserien	9
Tabelle 2: Herstellerangaben und Produktzuordnung zu den verwendeten Transport- und Verkaufsverpackungen	12
Tabelle 3: Zeitliche Einstufung und Angabe des mittleren Wasserverlusts sowie der Temperatursumme der einzelnen Abschnitte entlang der realen Nachertekette von Kopfsalat.....	25
Tabelle 4: Mittelwerte der gewichtsbezogene Transpirationsraten von abgedecktem Kopfsalat in Umverpackungen bei verschiedenen Temperaturen.....	26
Tabelle 5: Transpirationsraten und Wasserverluste während der offenen Präsentation bei verschiedenen Raumklimabedingungen	28
Tabelle 6: Transpirationsraten in Abhängigkeit vom Klimaregime in der Präsentationsphase	29
Tabelle 7: Transpirationsraten von Kopfsalaten in unterschiedlichen, in der Praxis üblichen Verpackungsformen (in mg Wasser / kg Frischmasse h)	30
Tabelle 8: Zeitliche Einstufung und Angabe des mittleren Wasserverlusts sowie der Temperatursumme der einzelnen Abschnitte entlang der realen Nachertekette von Brokkoli	37
Tabelle 9: Prozentuale Resthaltbarkeit von Brokkoli	39
Tabelle 10: Transpirationsraten von Brokkoli in 2er NAPF-Kisten in Abhängigkeit vom Klimaregime in der Präsentationsphase	43
Tabelle 11: Transpirationsraten von Brokkoli in 2er NAPF-Kisten mit und ohne nächtliche Folienabdeckung (in mg Wasser / kg Frischmasse h)	43
Tabelle 12: Zeitliche Einstufung und Angabe des mittleren Wasserverlusts sowie der Temperatursumme der einzelnen Abschnitte entlang der realen Nachertekette von Salatgurke	50
Tabelle 13: Prozentuale Resthaltbarkeit von Salatgurke	51
Tabelle 14: Transpirationsraten von Salatgurken in 1,5 bzw. 3er NAPF-Kisten in Abhängigkeit vom Klimaregime in der Präsentationsphase.....	53

Tabelle 15: Transpirationsraten von Salatgurken in 1,5 bzw. 3er NAPF-Kisten während der offenen Präsentation	54
Tabelle 16: Transpirationsraten von Salatgurken in 1,5 bzw. 3er NAPF-Kisten mit und ohne Folienabdeckung bei durchgängig kühlen Bedingungen	54
Tabelle 17: Zeitliche Einstufung und Angabe des mittleren Wasserverlusts sowie der Temperatursumme der einzelnen Abschnitte entlang der realen Nacherntekette von Möhren	60
Tabelle 18: Transpirationsraten von Waschmöhren in Steco- (Typ 3415) bzw. 2er NAPF-Kisten in Abhängigkeit vom Klimaregime in der Präsentationsphase	61
Tabelle 19: Transpirationsraten von Waschmöhren in Steco- (Typ 3415) bzw. 2er NAPF-Kisten während der offenen Präsentation	62
Tabelle 20: Zeitliche Einstufung und Angabe des mittleren Wasserverlusts sowie der Temperatursumme der einzelnen Abschnitte entlang der realen Nacherntekette von Speisekartoffeln	68
Tabelle 21: Wasserverluste und Transpirationsraten von gelagerten Speisekartoffeln in Steco- (Typ 6418) bzw. 3er NAPF-Kisten während der Präsentation bei Raumklimabedingungen	69

Anhang 1: Zeitliche Einstufung, Angabe des mittleren Wasserverlusts, der mittleren Temperatur und der Temperatursumme der einzelnen Abschnitte entlang der realen Nacherntekette

Abschnitte	Mai	Juni	Aug	Juni	MW	Mai	Juni	Aug	Juni	MW	Mai	Juni	Aug	Juni	MW	Mai	Juni	Aug	Juni	MW
	04	04	04	05		04	04	04	05		04	04	04	05		04	04	04	05	
	Zeit (h)					Mittlerer Wasserverlust des Prüfkörpers (mg/h)					Mittlere Temperatur (°C)					Temperatursumme (Gradstunden)				
Aufenthalt beim Erzeuger	2	3	4	3	3	38	36	45	82	50	9	8	13	17	12	19	27	56	43	36
Transport zum Großhandel	1	3	1	2	2	25	37	166	163	98	10	16	16	19	15	12	47	56	37	38
Wareneingang Großhandel bis Kommissionierung	5	8	9	43	27	12	17	29	7	41	8	8	11	7	17	38	56	17	293	188
Kommissionierung bis Wareneingang Einzelhandel	15	15	11	3		3	20	15	62		8	7	11	8		129	104	92	19	
Wareneingang Einzelhandel bis Regalbestückung	2	3	0	16	5	49	293	1351	53	437	9	14	18	8	12	14	39	128	94	69
Abverkauf	14	66	8	14	25						8	16	21	13	15	73	1079	3	171	331
Summe	39	97	33	79	62	127	402	1605	368	625						286	1353	353	658	662

Anhang 2: Zeitliche Einstufung, Angabe des mittleren Wasserverlusts, der mittleren Temperatur und der Temperatursumme der einzelnen Abschnitte entlang der Nacherntekette von Kopfsalat (E1G2)

Abschnitte	Mai 04	Aug 04	Juli 05		Mai 04	Aug 04	Juli 05		Mai 04	Aug 04	Juli 05		Mai 04	Aug 04	Juli 05	
	Zeit (h)			MW	Mittlerer Wasserverlust des Prüfkörpers (mg/h)			MW	Mittlere Temperatur (°C)			MW	Temperatursumme (Gradstunden)			MW
Aufenthalt beim Erzeuger	7	8	7	7	21	30	34	28	7	6	12	9	51	51	83	62
Transport zum Großhandel	7	6	6	6	18	25	55	33	8	10	10	9	51	60	55	55
Wareneingang Großhandel bis Wareneingang Einzelhandel	31	17	33	27	7	47	13	23	12	13	10	12	364	212	341	306
Wareneingang Einzelhandel bis Regalbestückung	1	21	1	7	282	11	43	112	16	16	17	16	9	322	14	115
Abverkauf	11	14	9	11					18	21	23	20	189	296	203	229
Summe	56	66	55	59	329	112	146	196					664	941	696	767

Anhang 3: Zeitliche Einstufung, Angabe des mittleren Wasserverlusts, der mittleren Temperatur und der Temperatursumme der einzelnen Abschnitte entlang der realen Nacherntekette

Abschnitte	Mai	Juni	Aug	Juli		Mai	Juni	Aug	Juli		Mai	Juni	Aug	Juli		Mai	Juni	Aug	Juli	
	04	04	04	05		04	04	04	05		04	04	04	05		04	04	04	05	
	Zeit (h)				MW	Mittlerer Wasserverlust des Prüfkörpers (mg/h)				MW	Mittlere Temperatur (°C)				MW	Temperatursumme (Gradstunden)				MW
Aufenthalt beim Erzeuger	5	8	4	5	6	39	28	55	49	43	6	3	10	19	9	27	27	37	101	48
Transport zum Großhandel	10	7	10	9	9	17	34	26	34	28	7	8	9	9	8	70	52	96	84	75
Wareneingang Großhandel bis Wareneingang Einzelhandel	18	23	32	33	26	88	7	24	10	32	11	12	13	10	12	197	286	409	342	308
Wareneingang Einzelhandel bis Regalbestückung	14	0	3	15	8	10	569	30	44	163	14	16	18	21	17	194	6	58	320	144
Abverkauf	58	18	36	8	30						18	19	23	26	22	1063	356	824	196	610
Summe	105	56	85	69	79	155	638	134	137	266						1551	727	1424	1043	1186

Anhang 4: Zeitliche Einstufung, Angabe des mittleren Wasserverlusts, der mittleren Temperatur und der Temperatursumme der einzelnen Abschnitte entlang der realen Nacherntekette von Brokkoli

Abschnitte	06/ 04	08/ 04	06/ 05	07/ 05	09/ 05		06/0 4	08/ 04	06/ 05	07/ 05	09/ 05		06/ 04	08/ 04	06/ 05	07/ 05	09/ 05		06/ 04	08/ 04	06/0 5	07/0 5	09/0 5	
	Zeit (h)					MW	Mittlerer Wasserverlust des Prüfkörpers (mg/h)					MW	Mittlere Temperatur (°C)					MW	Temperatursumme (Gradstunden)					MW
Aufenthalt beim Er- zeuger	10	20	57	25	8	24	29	13	16	1	43	20	2	22	11	6	7	10	21	444	641	152	52	262
Transport zum Groß- handel	4	5	5	17	16	9	1039	32	111	5	10	239	3	8	6	11	3	6	11	42	32	181	50	63
Warenein- gang Groß- handel bis Kommissi- onierung	1	4	5	7	33	20	475	77	149	23	8	206	1	6	6	7	7	14	7	30	32	49	242	154
Kommissi- onierung bis Ware- eingang Einzelhan- del	8	9	4	11	19		13	66	192	11	16		8	10	9	7	7		65	91	37	83	133	
Warenein- gang Ein- zelhandel bis Regal- bestückung		45	31	6	14	24		11	62	109	55	59		6	12	15	10	11		252	236	76	115	169
Abverkauf		6	78	43	33	40								6	20	13	16	14		38	1600	517	671	706
Summe	22	90	181	109	122	118	1556	199	529	149	132	525							103	897	2577	1057	1261	1354

Anhang 5: Zeitliche Einstufung, Angabe des mittleren Wasserverlusts, der mittleren Temperatur und der Temperatursumme der einzelnen Abschnitte entlang der realen Nacherntekette von Salatgurke (E3G1)

Abschnitte	05/ 04	06/ 04	08/ 04	06/ 05		05/ 04	06/ 04	08/ 04	06/ 05		05/ 04	06/ 04	08/ 04	06/ 05		05/ 04	06/ 04	08/ 04	06/ 05	
	Zeit (h)				MW	Mittlerer Wasserverlust des Prüfkörpers (mg/h)				MW	Mittlere Temperatur (°C)				MW	Temperatursumme (Gradstunden)				MW
Aufenthalt beim Erzeuger	8	30	74	58	42	15	8	17	5	11	10	13	14	11	12	86	384	1041	622	533
Transport zum Großhandel	1	1	1	1	1	281	174	346	309	278	13	17	18	15	16	6	19	18	10	13
Wareneingang Großhandel bis Kommissionierung	5	0	3	40	12	29	1026	97	8	290	7	13	13	6	10	33	4	41	230	77
Kommissionierung bis Wareneingang Einzelhandel	17	15	13	11	14	12	14	45	108	45	8	9	10	7	9	142	128	139	75	121
Wareneingang Einzelhandel bis Regalbestückung	0	29	9	21	15	761	13	128	13	70	14	10		7	7	1	369		135	135
Abverkauf	36	4	93	16	37						16	14		14	15	570	60		118	249
Summe	66	78	193	146	121	1098	1234	633	444	694						838	963	1239	1189	1128

Anhang 6: Zeitliche Einstufung, Angabe des mittleren Wasserverlusts, der mittleren Temperatur und der Temperatursumme der einzelnen Abschnitte entlang der realen Nacherntekette von Salatgurke (E4G1)

Abschnitte	Aug 04		Aug 04		Aug 04		Aug 04	
	Zeit (h)	MW	Mittlerer Wasserverlust des Prüfkörpers (mg/h)	MW	Mittlere Temperatur (°C)	MW	Temperatursumme (Gradstunden)	MW
Aufenthalt beim Erzeuger	49	49	10	10	10	10	473	473
Transport zum Großhandel	28	28	18	18	11	11	295	295
Wareneingang Großhandel bis Kommissionierung	74	74	29	29	10	10	748	748
Kommissionierung bis Wareneingang Einzelhandel								
Wareneingang Einzelhandel bis Regalbestückung								
Abverkauf								
Summe	151	151	57	57	31	30	1516	1516

Anhang 7: Zeitliche Einstufung, Angabe des mittleren Wasserverlusts, der mittleren Temperatur und der Temperatursumme der einzelnen Abschnitte

Abschnitte	Aug 04		Aug 04		Aug 04		Aug 04	
	Zeit (h)	MW	Mittlerer Wasserverlust des Prüfkörpers (mg/h)	MW	Mittlere Temperatur (°C)	MW	Temperatursumme (Gradstunden)	MW
Aufenthalt beim Erzeuger	49	49	5	5	9	9	423	423
Transport zum Großhandel	1	1	264	264	16	16	17	17
Wareneingang Großhandel bis Kommissionierung	6	6	68	68	12	12	72	72
Kommissionierung bis Wareneingang Einzelhandel	15	15	19	19	10	10	154	154
Wareneingang Einzelhandel bis Regalbestückung	13	13	38	38	9	9	112	112
Abverkauf	48	48			14	14	563	563
Summe	132	132	394	394			1341	1341

Anhang 8: Zeitliche Einstufung, Angabe des mittleren Wasserverlusts, der mittleren Temperatur und der Temperatursumme der einzelnen Abschnitte

Abschnitte	Okt 04	Jan 05		Okt 04	Jan 05		Okt 04	Jan 05		Okt 04	Jan 05	
	Zeit (h)		MW	Mittlerer Wasserverlust des Prüfkörpers (mg/h)		MW	Mittlere Temperatur (°C)		MW	Temperatursumme (Gradstunden)		MW
Aufenthalt beim Erzeuger	11	14	13	16	17	16	7	5	6	75	74	75
Transport zum Großhandel	3	3	3	48	57	52	8	5	6	27	11	19
Wareneingang Großhandel bis Wareneingang Einzelhandel	11	14	13	20	96	58	10	9	9	105	135	120
Wareneingang Einzelhandel bis Regalbestückung	19	14	16	27	5	16	12	11	12	248	157	202
Abverkauf	4	128	66				19	15	17	69	1941	1005
Summe	48	172	110	110	175	143				524	2318	1421

Anhang 9: Zeitliche Einstufung, Angabe des mittleren Wasserverlusts, der mittleren Temperatur und der Temperatursumme der einzelnen Abschnitte

Abschnitte	Jan 05		Jan 05		Jan 05		Jan 05	
	Zeit (h)	MW	Mittlerer Wasserverlust des Prüfkörpers (mg/h)	MW	Mittlere Temperatur (°C)	MW	Temperatursumme (Gradstunden)	MW
Aufenthalt beim Erzeuger	0,5	1	296	296	11	11	6	6
Transport zum Großhandel	0,5	1	395	395	8	8	4	4
Wareneingang Großhandel bis Kommissionierung	25	25	7	7	5	5	129	129
Kommissionierung bis Wareneingang Einzelhandel	17	17	13	13	6	6	112	112
Wareneingang Einzelhandel bis Regalbestückung	37	37	9	9	10	10	373	373
Abverkauf	23	23			16		363	363
Summe	103	103	721	721			986	986

Anhang 10: Zeitliche Einstufung, Angabe des mittleren Wasserverlusts, der mittleren Temperatur und der Temperatursumme der einzelnen Abschnitte

Abschnitte	Jul 05		Jul 05		Jul 05		Jul 05	
	Zeit (h)	MW	Mittlerer Wasserverlust des Prüfkörpers (mg/h)	MW	Mittlere Temperatur (°C)	MW	Temperatursumme (Gradstunden)	MW
Aufenthalt beim Erzeuger	21	21	10	10	7	7	158	158
Transport zum Großhandel	2	2	69	69	6	6	12	12
Wareneingang Großhandel bis Kommissionierung	8	8	22	22	6	14	45	45
Kommissionierung bis Wareneingang Einzelhandel	16	16	10	10	8		129	129
Wareneingang Einzelhandel bis Regalbestückung	0	0	5	5	21	21	7	7
Abverkauf	76	76			25	25	1880	1880
Summe	123	123	115	115			2231	2231

Anhang 11: Zeitliche Einstufung, Angabe des mittleren Wasserverlusts, der mittleren Temperatur und der Temperatursumme der einzelnen Abschnitte

Abschnitte	Aug 04	Jan 05		Aug 04	Jan 05		Aug 04	Jan 05		Aug 04	Jan 05	
	Zeit (h)		MW	Mittlerer Wasserverlust des Prüfkörpers (mg/h)		MW	Mittlere Temperatur (°C)		MW	Temperatursumme (Gradstunden)		MW
Aufenthalt beim Erzeuger	68	3	36	11	83	47	17	5	11	1150	15	583
Transport zum Großhandel	1	2	1	716	737	726	17	7	12	10	10	10
Wareneingang Großhandel bis Kommissionierung	7	308	158	81	3	42	13	7	10	89	2149	1119
Kommissionierung bis Wareneingang Einzelhandel	10	47	29	74	31	52	9	5	7	96	214	155
Wareneingang Einzelhandel bis Regalbestückung	4	47	25	231	4	118	11	14	12	38	672	355
Abverkauf	153	23	88				22	17	19	3346	376	1861
Summe	242	430	336	1113	859	986				4728	3437	4083

Anhang 12: Zeitliche Einstufung, Angabe des mittleren Wasserverlusts, der mittleren Temperatur und der Temperatursumme der einzelnen Abschnitte

Abschnitte	Okt 04	Jan 05		Okt 04	Jan 05		Okt 04	Jan 05		Okt 04	Jan 05	
	Zeit (h)		MW	Mittlerer Wasserverlust des Prüfkörpers (mg/h)		MW	Mittlere Temperatur (°C)		MW	Temperatursumme (Gradstunden)		MW
Aufenthalt beim Erzeuger	10	14	12	26	24	25	10	3	7	98	48	73
Transport zum Großhandel	3	3	3	53	107	80	9	3	6	30	6	18
Wareneingang Großhandel bis Wareneingang Einzelhandel	11	21	16	24	18	21	10	8	9	106	178	142
Wareneingang Einzelhandel bis Regalbestückung	14	36	25	46	584	315	13	12	12	186	424	305
Abverkauf	4	125	64				19	16	17	65	1745	905
Summe	42	198	120	149	733	441				485	2401	1443

**In der Reihe
Bornimer Agrartechnische Berichte**

sind bisher erschienen:

Heft 1	Technik und Verfahren der Landschaftspflege	1992
Heft 2	Beiträge zur Lagerung und Verarbeitung pflanzenbaulicher Produkte	1993
Heft 3	Technik und Verfahren in der Tierhaltung	1993
Heft 4	Technik und Verfahren der Landschaftspflege und für die Verwendung der anfallenden Materialien	1994
Heft 5	Verfahrenstechnik der Aufbereitung, Lagerung und Qualitätserhaltung pflanzlicher Produkte	1994
Heft 6	Biokonversion nachwachsender Rohstoffe und Verfahren für Reststoffbehandlung	1994
Heft 7	Preußische Versuchs- und Forschungsanstalt für Landarbeit und Schlepperprüffeld in Bornim 1927 bis 1945	1995
Heft 8	Qualitätssicherung und Direktvermarktung	1996
Heft 9	Konservierende Bodenbearbeitung auf Sandböden	1996
Heft 10	Anwendung wärme- und strömungstechnischer Grundlagen in der Landwirtschaft	1996
Heft 11	Computer-Bildanalyse in der Landwirtschaft Workshop 1996	1996
Heft 12	Aufbereitung und Verwertung organischer Reststoffe im ländlichen Raum	1996
Heft 13	Wege zur Verbesserung der Kartoffelqualität durch Verminderung der mechanischen Beanspruchung	1997
Heft 14	Computer-Bildanalyse in der Landwirtschaft Workshop 1997	1997
Heft 15	Technische und ökonomische Aspekte der Nutztierhaltung in großen Beständen	1997
Heft 16	11. Arbeitswissenschaftliches Seminar	1997
Heft 17	Nachwachsende Rohstoffe im Land Brandenburg Stand Aktivitäten und Perspektiven einer zukunftsfähigen und umweltgerechten Entwicklung	1998
Heft 18	Qualität von Agrarprodukten	1998
Heft 19	Computer-Bildanalyse in der Landwirtschaft Workshop 1998	1998
Heft 20	Beiträge zur teilflächenspezifischen Bewirtschaftung	1998
Heft 21	Landnutzung im Spiegel der Technikbewertung – Methoden Indikatoren, Fallbeispiele	1998

Heft 22	Kriterien der Nachhaltigkeit in der Verfahrensentwicklung für die Nutztierhaltung	1999
Heft 23	Situation und Trends in der Landtechnik / Erneuerbare Energien in der Landwirtschaft	1999
Heft 24	Institut für Landtechnik der Deutschen Akademie der Landwirtschaftswissenschaften zu Berlin 1951 bis 1965	1999
Heft 25	Computer-Bildanalyse in der Landwirtschaft Workshop 1999 / 2000	2000
Heft 26	Computer-Bildanalyse in der Landwirtschaft Workshop 2001	2001
Heft 27	Approaching Agricultural technology and Economic Development of Central and Eastern Europe	2001
Heft 28	6 th International Symposium on Fruit, Nut, and Vegetable Production Engineering	2001
Heft 29	Measurement Systems for Animal Data and their Importance for Herd Management on Dairy Cow Farms	2002
Heft 30	Produktion, Verarbeitung und Anwendung von Naturfasern	2002
Heft 31	Computer-Bildanalyse in der Landwirtschaft Workshop 2002	2002
Heft 32	Biogas und Energielandwirtschaft - Potenzial, Nutzung, Grünes Gas TM , Ökologie und Ökonomie	2003
Heft 33	Sozioökonomische Aspekte zu Perspektiven des Offenlandmanagements	2003
Heft 34	Computer-Bildanalyse in der Landwirtschaft Workshop 2003	2003
Heft 35	Energieholzproduktion in der Landwirtschaft Potenzial, Anbau, Technologie, Ökologie und Ökonomie	2004
Heft 36	High-Tech Innovationen für Verfahrensketten der Agrarproduktion. Statusseminar 2003	2004
Heft 37	Computer-Bildanalyse in der Landwirtschaft Workshop 2004	2004
Heft 38	Die Landmaschinenprüfung in der DDR 1951-1991 und ihre Vorgeschichte	2004
Heft 39	Energieverlust und Schimmelpilzentwicklung bei der Lagerung von Feldholz-Hackgut	2005
Heft 40	Computer-Bildanalyse in der Landwirtschaft Workshop 2005	2005
Heft 41	Demonstration der Langzeitwirkung bedarfsorientierter Fungizidbehandlung mit dem CROP-Meter	2005
Heft 42	Biochemicals and Energy from Sustainable Utilization of herbaceous Biomass (BESUB)	2005

Heft 43	Ozontes Waschwasser zur Qualitätssicherung leichtverderblicher Produkte - Entwicklung einer <i>Fuzzy-Logic</i> -Steuerung des Waschprozesses	2005
Heft 44	Messsystem zur Bewertung des Unkrautvorkommens	2005
Heft 45	Anwendung der Thermographie zur Optimierung der Belüftungssteuerung bei der Lagerhaltung landwirtschaftlicher Produkte	2005
Heft 46	Membranbioreaktor zur Aufbereitung von Schlachthofabwässern	
	Prozesssteuerung von Biogasanlagen mit Kofermentation	2005
Heft 47	Verschleißeinfluss auf das Förderverhalten von Drehkolbenpumpen	2005
Heft 48	Qualitätserhaltung und Qualitätssicherung von Bioobst und Biogemüse in der Nachernte	2005
Heft 49	Miniaturisiertes Datenerfassungs-System zum Implantieren in Früchte und zur Messung ihrer mechanischen Belastung durch Ernte- und Nachernteverfahren	2005
Heft 50	Prozesskontrolle der Qualität von frischem Obst und Gemüse mit Hilfe eines Multigas-Sensors	2005
Heft 51	Entwicklung eines Echtzeitsensors für die Stärkebestimmung bei Kartoffeln als funktionaler Bestandteil eines optoelektronischen Verleseautomaten	2005
Heft 52	Optimierte Steuerung von Getreide-Schachttrocknern	2005
Heft 53	Möglichkeiten und Grenzen der energetischen Nutzung von Rizinusöl	2005
Heft 54	Non-Destructive Methods for Detecting Health-Promoting Compounds COST Action 924 Working Group Meeting	2005
Heft 55	4 th IFAC / CIGR Workshop Control Applications in Post - Harvest and Processing Technology (CAPPT 2006) 26th - 29th March 2006, Potsdam, GERMANY	2006
Heft 56	Computer-Bildanalyse in der Landwirtschaft Workshop 2006	2006
Heft 57	Kontrolle der Frische in der Nacherntekette von Ökogemüse	2006

Interessenten wenden sich an:

Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V.
Max-Eyth-Allee 100
14469 Potsdam

Tel.: (0331) 5699-820
Fax.: (0331) 5699-849
E-Mail: atb@atb-potsdam.de

Schutzgebühr: 13,- €