

ZÜRCHER HOCHSCHULE FÜR ANGEWANDTE WISSENSCHAFTEN
DEPARTEMENT LIFE SCIENCES UND FACILITY MANAGEMENT
INSTITUT FÜR UMWELT UND NACHHALTIGE ENTWICKLUNG

Mehrwert von Karotten aus regenerativer Landwirtschaft



Bachelorarbeit
von
Natalie Bieri

Umweltingenieurswesen
Vertiefung Biologische Landwirtschaft und Hortikultur
Bachelorstudiengang 2019
Abgabedatum 11.01.2024

Fachkorrektor:innen:

Mathis Alex

Dozent für Biologische Landwirtschaft und Hortikultur

ZHAW, Institut für Umwelt und natürliche Ressourcen, Grüentalstrasse 14, 8820 Wädenswil

Bongartz Annette

Dozentin für Lebensmittel-Sensorik

ZHAW, Institut für Lebensmittel- und Getränkeinnovation, Einsiedlerstrasse 35, 8820 Wädenswil

Impressum

Schlagworte (Keywords)

Regenerative Landwirtschaft, Biologische Landwirtschaft, Qualität von Karotten, Lebensmittel-Sensorik

Zitiervorschlag

Bieri, N. (2024). Mehrwert von Gemüse aus regenerativer Landwirtschaft. Bachelorarbeit. Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften, unveröffentlicht.

Adresse

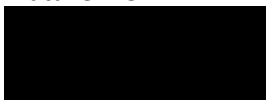
ZHAW Zürcher Hochschule für angewandte Wissenschaften
Institut für Umwelt und natürliche Ressourcen
Grüental
8820 Wädenswil

Titelbild

Eigene Fotos von Natalie Bieri, zusammengestellt aus den Analysen.

Verfasserin

Natalie Bieri



Zusammenfassung

Die Qualität ist ein entscheidender Faktor bei der Vermarktung und Preisfindung von Lebensmitteln. Deshalb ist die Kommunikation des Mehrwertes gegenüber der Kundschaft sehr wichtig. Die wichtigsten Bewertungskriterien für die Qualität stellen sensorische und inhaltsstoffliche Produkteigenschaften dar. Diese Eigenschaften werden durch verschiedene Faktoren, unter anderem durch die Bodenbeschaffenheit beeinflusst.

Lebensmittel der Regenerativen Landwirtschaft werden von Landwirt:innen wegen ihres reichen Nährstoffgehalts beworben und wegen ihres besonderen Geschmacks von Konsument:innen sehr geschätzt. Durch regenerierende Landwirtschaftspraktiken gelingt es Landwirt:innen verbesserte Bodeneigenschaften zu erzielen, was wiederum Einfluss auf verschiedene Aspekte wie die Bodenbiologie, Pflanzenernährung und Qualität der Kulturen hat. Inwieweit die Anbaumethode den Gehalt an schmackhaften und gesundheitsfördernden Inhaltsstoffen von regenerativ produzierten Lebensmitteln beeinflusst, ist jedoch nur ansatzweise bekannt.

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist es zu untersuchen, ob und auf welche Weise die Anwendung regenerativer Landwirtschaftspraktiken einen Einfluss auf die Qualität von Lagerkarotten haben.

Hierzu wurden insgesamt 8 Karottenproben aus der gleichen Region (Ostschweiz) und dem gleichen Jahr (Sommer 2022) geprüft. Davon stammten drei Proben aus regenerativer, vier aus biologischer und eine aus konventioneller Anbaumethode. Es wurden chemische Analysen zum Brix-Wert, der Trockensubstanz, dem Vitamin-C- und Beta-Carotin-Gehalt sowie eine physikalische Analyse zur Karottentextur durchgeführt. Zudem ermittelte ein fünfköpfiges Panel anhand einer sensorischen Beurteilung in Anlehnung an die Methodik der Konsensprofilierung die Intensität von Optik, Flavour und Textur der Karotten.

Aus den statistischen Ergebnissen geht hervor, dass Karotten aus biologischen und regenerativen Anbausystemen keine signifikante Unterschiede bei Vitamin-C-, Brix- und Trockensubstanzgehalt sowie der Textanalyse aufweisen. Auch bei der sensorischen Analyse konnten keine klaren Differenzen zwischen diesen beiden Anbaumethoden gefunden werden. Aus der externen Laboranalyse ergaben sich für die regenerativ kultivierten Karotten im Vergleich zu den biologisch angebauten Karotten höhere Werte beim Beta-Carotin-Gehalt. Abschliessend lässt sich somit sagen, dass die Unterschiede der beiden Anbaumethoden die Resultate in diesem Versuch nicht oder im Fall Beta-Carotin nur gering beeinflussten.

Abstract

Quality is a crucial factor in the marketing and pricing of food products. Therefore, communicating the added value to customers is very important. The key criteria for evaluating quality are sensory and compositional product characteristics. These characteristics are influenced by various factors, including soil conditions.

Food from regenerative agriculture is promoted by farmers for its rich nutrient content and is highly appreciated by consumers for its distinctive taste. Through regenerative farming practices, farmers achieve improved soil properties, which in turn affect various aspects such as soil biology, plant nutrition, and crop quality. However, the extent to which the cultivation of regeneratively produced food affects the content of flavorful and health-promoting ingredients is only partially known.

The aim of this study is to investigate whether and how the application of regenerative farming practices influences the quality of stored carrots. For this purpose, a total of 8 carrot samples from the same region (Eastern Switzerland) and the same year (summer 2022) were examined. One sample came from conventional farming, and three each from organic and regenerative cultivation methods. Chemical analyses were conducted for Brix content, dry matter, vitamin C and beta-carotene content, as well as a physical analysis for carrot texture. In addition, a five-member panel determined the intensity of appearance, flavor, and texture of the carrots through sensory evaluation following the methodology of consensus profiling.

The statistical results indicate that carrots from organic and regenerative farming systems show no significant differences in vitamin C, Brix, and dry matter content, as well as texture analysis. Even in the sensory analysis, no clear differences were found between these two cultivation methods. External laboratory analysis revealed higher beta-carotene content in regeneratively cultivated carrots compared to organically grown carrots. In conclusion, it can be said that the differences between the two cultivation methods did not or only slightly influenced the results in this experiment, particularly in the case of beta-carotene.

Dank

Ein herzlicher Dank gilt Annette Bongartz und Alex Mathis, die massgeblich zur Realisierung dieses Projekts beigetragen haben und mir mit ihrer fachlichen Unterstützung zur Seite standen. Danke für die ausgezeichnete Betreuung und Beratung. Ein grosses Dankeschön geht an das engagierte Team im Labor, bestehend aus Reinhard Schneller und Katrin Jedrys, für ihre tatkräftige Unterstützung bei der Durchführung der Vitamin-C-Analyse. Weiter bedanke ich mich bei Stefanie Steinegger, welche mir bei der Texturanalyse half.

Meiner Familie danke ich für ihre emotionale Unterstützung während des Studiums und in all meinen Lebensabschnitten. Ein ganz besonderen Dank möchte ich meinem Lebensgefährten Nando zusprechen, der während dem ganzen Studium für mich da war und mir mit zahlreichen ermutigenden Worten beistand.

Danke für eure Unterstützung!

Inhaltsverzeichnis

1. EINLEITUNG	1
2. THEORIETEIL	4
2.1 Regenerative Landwirtschaft	4
2.1.1 Definition Regenerative Landwirtschaft	4
2.1.2 Gegenüberstellung biologische und regenerative Landwirtschaft	5
2.1.3 Auswirkung regenerativer Landwirtschaft auf die Bodeneigenschaften	8
2.1.4 Einfluss von Bodeneigenschaften auf die Qualität von Kulturen	10
2.2 Karotten	13
2.2.1 Anbautechnik und Lagerung	13
2.2.2 Qualität von Karotten	14
2.2.3 Einflussfaktoren auf chemische, physikalische und sensorische Qualitätsparameter bei Karotten	15
2.3 Qualitätsvergleich von Lebensmitteln	19
2.3.1 Chemische und physikalische Qualitätsparameter für Lebensmittel	20
2.3.2 Lebensmittelsensorik	23
2.3.3 Vergleichsstudien von regenerativen, biologischen und konventionellen Lebensmitteln	25
3. MATERIAL & METHODEN	29
3.1 Hintergrund zum Versuch	29
3.1.1 Lagerung	30
3.1.2 Datenauswertung	30
3.2 Chemische und physikalische Analysen	30
3.2.1 Vitamin C	31
3.2.2 Beta-Carotin	33
3.2.3 Brix-Wert	33
3.2.4 Trockensubstanz	33
3.2.5 Texturanalyse	34
3.3 Sensorische Analyse	35
3.3.1 Versuchsanordnung	35
3.3.2 Probenzubereitung	35
3.3.3 Profilierung	36
4. RESULTATE	38
4.1 Chemische und physikalische Analysen	38
4.1.1 Vitamin C	38
4.1.2 Beta-Carotin	38
4.1.3 Brix-Wert	39
4.1.4 Trockensubstanz	40
4.1.5 Texturanalyse	40
4.1.6 Korrelationen	41
4.2 Sensorische Analysen	42
4.2.1 Gedämpfte Karotten	42
4.2.2 Rohe Karotten	44
4.2.3 Texturanalyse und Konsistenz	46

5. DISKUSSION	47
5.1 Chemische und physikalische Analysen	47
5.1.1 Vitamin C	47
5.1.2 Beta-Carotin	47
5.1.3 Brix-Werte	48
5.1.4 Texturanalyse	48
5.1.5 Korrelationen	49
5.2 Sensorische Analyse	49
5.2.1 Optik	49
5.2.2 Flavour	50
5.2.3 Konsistenz	50
5.2.4 Zusammenfassung	51
5.3 Vergleiche zwischen sensorischen, physikalischen und chemischen Eigenschaften	51
5.3.1 Beta-Carotin und Farbintensität	51
5.3.2 Brix, Süsse und Bitterkeit	52
5.3.3 Konsistenz, Texturanalyse und Trockensubstanz	52
5.4 Erklärungen für Unterschiede aufgrund von Produktionsvorgängen	52
6. SCHLUSSFOLGERUNG UND AUSBLICK	54
7. LITERATURVERZEICHNIS	56
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	62
TABELLENVERZEICHNIS	63
ANHANGSVERZEICHNIS	64

1. Einleitung

Die Produktqualität ist ein bedeutendes Argument bei der Preisfindung und Vermarktung von Lebensmitteln. Die Kommunikation des Mehrwertes gegenüber den Käufern ist deshalb zentral. Zur klassischen Beschreibung der produktbezogenen Qualität werden psychobiologische Faktoren (Sensorik) und physiologische Faktoren (Nährwert) beigezogen. Sensorische Produkteigenschaften sind wichtige, durch den Konsumenten wahrnehmbare Qualitätskriterien und bestimmen, ob ein Produkt gekauft wird. Der Geschmack stellt dabei ein zentrales Bewertungskriterium für die Qualität dar (Kreutzmann et al. 2007) und ist für viele Verbraucher:innen ein entscheidendes Kriterium für den Wiederkauf (Beck et al. 2012). Nebst dem Geschmack ist bei der Vermarktung auch der Gehalt an gesunden Inhaltsstoffen ausschlaggebend und beeinflusst, ob Kund:innen die Ware bevorzugen. Produkteigenschaften werden durch verschiedene Faktoren wie Sorte, Standort, Anbaujahr, Umweltfaktoren, Anbaumethoden, Nachernte, Lagerung, verfügbare Nährstoffe sowie Düngung beeinflusst (Seljasen et al. 2001; Höhn et al. 2003; Rembialkowska 2003; Varming et al. 2004; Stracke et al. 2010; Roose et al. 2010; Geier 2014; Scheidiger 2015; Mditshwa et al. 2017).

Weltweit bauen Landwirte ihre Lebensmittel immer öfters nach den Prinzipien der Regenerativen Landwirtschaft an. Regenerative Methoden werden von biologisch wie auch konventionell wirtschaftenden Landwirt:innen praktiziert und sind bisher an keine Richtlinien gebunden (Niggli 2020).

Folgende vier Prinzipien stehen im Mittelpunkt der regenerativen Landwirtschaft (Newton et al. 2020): (1) Beständige Bodenbedeckung durch Untersaaten und Zwischenfrüchte, (2) Bodenbearbeitung reduzieren oder abschaffen, (3) gezielte Fruchtfolge anwenden, (4) externe Inputs reduzieren, dafür interne Inputs maximieren.

Weil keine klare Definition für den Begriff «Regenerative Landwirtschaft» existiert (Merfield 2019; Newton et al. 2020; Schreefel et al. 2020), ist es wichtig, den Begriff für den eigenen Zweck und Kontext umfassend zu definieren (Newton et al. 2020). In der vorliegenden Arbeit wird der Ausdruck als viehloser, biologischer und regenerativer Gemüsebau verwendet.

Lebensmittel der Regenerativen Landwirtschaft werden wegen ihres besonderen Geschmackes im Vergleich zu konventionell oder biologisch produzierten Lebensmitteln von Abnehmer:innen, insbesondere der Gastronomie, sehr geschätzt. Ausserdem werden sie von Landwirtschaft betreibenden Personen aufgrund ihres erhöhten Nährstoffgehalts beworben. Aus der amerikanischen Studie Montgomery et al. (2022) geht hervor, dass Nahrungsmittel aus

regenerativem Anbau im Vergleich zur konventionellen Landwirtschaft einen höheren Gehalt an sekundären Pflanzenstoffen, Vitaminen und Mineralien aufweisen.

Nebst dem Einfluss auf die Qualität der Ernte erbringen regenerative Anbaumethoden weitere Vorteile für Mensch und Natur. Zum einen fördern sie die Bodenfruchtbarkeit und unterstützen die Funktionen des Bodens, indem sie seine Biodiversität schützen und nähren (Kurth et al. 2023). Die Massnahmen konzentrieren sich auf die Gesundheit von Böden und Pflanzen, um die Ertragsstabilität zu steigern und gleichzeitig positive Auswirkungen auf Kohlenstoff- und Wasserkreisläufe sowie die Biodiversität zu schaffen (Jones 2007; Näser 2021; Kurth et al. 2023).

Grundlegende Unterschiede zwischen Biologisch und Regenerativ sind die längere Dauer der Fruchtfolge in der Regenerativen Landwirtschaft, welche zudem Untersaaten und Zwischenfrüchte beinhaltet und somit den Boden bedeckt hält, die reduzierte Bodenbearbeitungstiefe sowie eine geringere Inputmenge an Düngemittel.

Es gibt zahlreiche Untersuchungen, die Lebensmittel von biologischen und konventionellen Betrieben auf ihre sensorische und inhaltsstoffliche Unterschiede prüften. Teils sind die Aussagen gegensätzlich, doch im Wesentlichen weisen biologische Ernteprodukte im Vergleich zu Konventionellen höhere Gehalte an wertgebenden Inhaltsstoffen wie Trockenmasse, Vitamin C, Phenolverbindungen, essenzielle Aminosäuren, Gesamtzucker und gewissen Mineralstoffen auf sowie insbesondere geringere Qualitätsmindernde Inhaltsstoffe wie Nitrat, Pestizide oder Schwermetalle (Rembiałkowska 2007; Seljasen et al. 2012; Mditshwa et al. 2017; Kretzschmar et al. 2021). Für die Sensorik wurden oft widersprüchliche Resultate erzielt (Velimirov 2003; Beck et al. 2012; Wrzodak et al. 2012; Mditshwa et al. 2017). Vergleiche zwischen Biologisch und Regenerativ fehlen. Betreffend sensorischen Unterschieden zwischen Biologisch und Regenerativ konnte keine Studie gefunden werden. Die Mechanismen und Zusammenhänge regenerativer Anbaumethoden, welche sensorische Merkmale sowie die Nährstoffdichte von Lebensmitteln beeinflussen, verdienen deshalb mehr Aufmerksamkeit.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde untersucht, ob und wodurch sich ein Mehrwert im Endprodukt durch regenerative Anbaumethoden nachweisen lässt. Dazu wurde innerhalb der Bachelorarbeit im Frühling 2023 eine sensorische Analyse (Konsensprofilierung) im Sensorik Labor der ZHAW durchgeführt. Das Panel bestand aus 5 trainierten Personen, darunter 3 grundgeschulte Sensoriker:innen aus der Forschungsgruppe Lebensmittelsensorik der ZHAW und zwei sachkundige Personen der Fachgruppe Hortikultur der ZHAW.

Im Labor wurden zudem Beta-Carotin und Vitamin-C-Gehalte der Lagerkarotten analysiert. Weitere Analysen waren die Messung des Brix-Wertes, der Trockenmasse sowie der Textur. Untersucht wurden insgesamt 8 Karottenproben, welche jeweils aus einer der Anbaumethoden Regenerativ, Biologisch Konventionell stammten und im Sommer 2022 im Raum Ostschweiz angebaut wurden.

Ziel der vorliegenden Arbeit war es zu untersuchen, ob sich die 8 Karottenproben hinsichtlich verschiedener sensorischer und/ oder inhaltsstofflicher Qualitätskriterien unterscheiden. Es sollen Unterschiede bezüglich der Inhaltsstoffe zwischen Karotten aus regenerativer, biologischer und konventioneller Bewirtschaftung überprüft, sensorische Unterschiede belegt sowie Erklärungen aufgrund von unterschiedlichen Produktionsvorgängen gefunden werden.

Die dem Versuch zugrundeliegenden Hypothesen lauten:

Hypothese 0: Es besteht kein Unterschied in den untersuchten chemischen, physikalischen und sensorischen Parametern zwischen Karotten, welche

- a) nach den Anbaumethoden der Boden belebenden regenerativen Landwirtschaft angebaut wurden
- b) nach Bio Suisse Standards angebaut wurden

Hypothese 1: Es besteht ein Unterschied in den untersuchten chemischen, physikalischen und sensorischen Parametern zwischen Karotten, welche

- a) nach den Anbaumethoden der Boden belebenden regenerativen Landwirtschaft angebaut wurden
- b) nach Bio Suisse Standards angebaut wurden

2. Theorieteil

«Düngen heisst nicht die Pflanzen füttern, sondern den Boden beleben».

Dr. Fritz Caspari

2.1 Regenerative Landwirtschaft

Der Begriff Regenerative Landwirtschaft (RL) entstand ursprünglich in den USA, wo er von Robert Rodale, dem Sohn des amerikanischen Bio-Pioniers J.I. Rodale, in den 1970ern geprägt wurde. In den letzten Jahren gewann die RL in vielen Regionen der Welt zunehmend an Popularität (Giller et al. 2021). Auch in der Schweiz bauen Landwirt:innen ihre Lebensmittel immer öfters nach den Prinzipien der RL an. Regenerative Methoden werden von biologisch wie auch konventionell wirtschaftenden Landwirt:innen praktiziert und sind bisher an keine Richtlinien gebunden (Niggli 2020). Der Schweizer Verein für regenerative Land- und Ernährungswirtschaft «agricultura regeneratio» bietet jedoch seit dem Jahr 2022 eine Marke für regenerativ produzierte Lebensmittel von Landwirtschaftsbetrieben aller Produktionsrichtungen mit Schweizer Herkunft an.

2.1.1 Definition Regenerative Landwirtschaft

Trotz des zunehmenden Interesses an der RL existiert aktuell keine allgemeingültige Definition für das Anbausystem. Sie kann als ein Konzept betrachtet werden, das sich derzeit noch in der Entwicklung befindet, wofür es deshalb keine formell vereinbarte Definition gibt (Merfield 2019). Die Studie Schreefel et al. (2020) schlägt als vorläufige Definition vor, dass die RL ein landwirtschaftlicher Ansatz ist, der den Bodenschutz als Ausgangspunkt für die Regeneration und den Beitrag zu mehreren Ökosystemleistungen nutzt. Newton et al. (2020) gingen der Frage nach, wie verschiedene Wissenschaftler:innen und Praktiker:innen die RL definiert haben und arbeiteten Gemeinsamkeiten aus. Dabei kristallisierten sich einerseits Anwendungspraktiken, andererseits die durch die Anwendungen erzielten Ergebnisse heraus, welche in Tabelle 1 zusammengefasst sind. Die Studie schlägt zudem vor, dass es für die einzelnen Nutzer des Begriffs "regenerative Landwirtschaft" hilfreich sein kann, ihn für ihren eigenen Zweck und Kontext umfassend zu definieren. In der vorliegenden Arbeit wird von einer viehlosen, biologischen und regenerativen Anbauweise ausgegangen. Aus diesem Grund wird auf Punkt 5 (Keine synthetische Pestizide und Dünger verwenden) und 6 (Integration von Tierhaltung) aus der Tabelle 1 nicht näher eingegangen.

Tabelle 1: Zusammenfassung der gefundenen Verfahrensanwendungen und Ergebnisse aus der Literatur, die in Definitionen oder Beschreibungen der Regenerativen Landwirtschaft vorkommen (Newton et al. 2020).

Anwendungspraktiken	Erzielte Ergebnisse durch die Anwendungen
1. Beständige Bodenbedeckung durch Untersaaten und Zwischenfrüchte	1. Bodengesundheit wird verbessert
2. Bodenbearbeitung reduzieren oder abschaffen	2. Biodiversität/Artenvielfalt wird gefördert
3. Gezielte Fruchtfolge anwenden	3. Ökosysteme werden wiederhergestellt
4. Externe Inputs reduzieren, dafür interne Inputs maximieren	4. Wasserhygiene wird verbessert
5. Keine synthetische Pestizide und Dünger verwenden	5. Bindung von Kohlenstoff
6. Integration von Tierhaltung	6. Steigerung der Rentabilität

2.1.2 Gegenüberstellung biologische und regenerative Landwirtschaft

Der biologische Gemüsebau und der biologisch regenerative Gemüsebau liegen in der Praxis nahe beieinander und haben grossenteils gemeinsame Ziele, Akteure und Akteurinnen (Koerber 2018). Trotzdem bestehen gewisse Unterschiede, welche in diesem Kapitel aufgezeigt werden.

Bio Suisse

Die biologische Landwirtschaft (BL) ist je nach Land klar definiert und basiert auf schriftlich festgehaltenen Richtlinien. In der Schweiz werden die Richtlinien vom Verein Bio Suisse fortlaufend weiterentwickelt. Felder der BL der Schweiz werden gemäss Bio Suisse Richtlinien (Bio Suisse 2023) nicht unter Verwendung von chemischen oder synthetischen Pflanzenschutzmitteln sowie mineralischem Dünger bewirtschaftet. Stattdessen erfolgt der Schutz der Pflanzen durch den Einsatz von nützlichen Organismen und der mechanischen Entfernung von Unkraut. Die Nährstoffversorgung wird mithilfe von organischen Materialien wie Mist und Kompost oder durch die Einsaat von Gründüngungspflanzen durchgeführt. Zusätzlich wird im biologischen Landbau auf eine abwechslungsreiche Fruchtfolge, einschliesslich Zwischenfrüchten, gesetzt.

Regenerativ biologisch

Wie bereits erwähnt, sind die Ideen und Prinzipien der RL im Vergleich zum biologischen Ansatz neu, daher existieren noch keine fest etablierten Definitionen oder verbindliche Vorschriften. Die Prinzipien der RL lassen sich aber von den Grundregeln der BL ableiten. Ein wesentlicher Grundsatz ist der Erhalt der Bodenfruchtbarkeit (Niggli 2020). Um dies zu erreichen, liegt der Fokus auf der

Steigerung des organischen Kohlenstoffs im Boden, welcher als wichtigster Indikator für die Bodenqualität zählt (Reeves 1997). Ein grosser Teil der regenerativen Landwirtschaftspraktiken konzentriert sich deshalb auf die Bodenbewirtschaftung. Eine schonende Bodenbearbeitung fördert den organischen Kohlenstoff im Boden und schont das Bodenleben (Hegglin et al. 2014). Eine möglichst ganzjährige Bodenbedeckung durch den Einsatz von Zwischenfrüchten und Untersaaten unterstützen dieses Ziel, indem lebende Wurzelteile erhalten und Pflanzenreste auf dem Feld belassen werden. In Abbildung 1 ist ein Beispiel einer regenerativen Fruchtfolge mit einer dauerhaften Bodenbedeckung durch Untersaaten und Zwischenfrüchten dargestellt. In der Regenerativen Landwirtschaft werden zudem weitere Praktiken wie beispielsweise die Flächenrotte oder die Anwendung von effektiven Mikroorganismen angewendet.

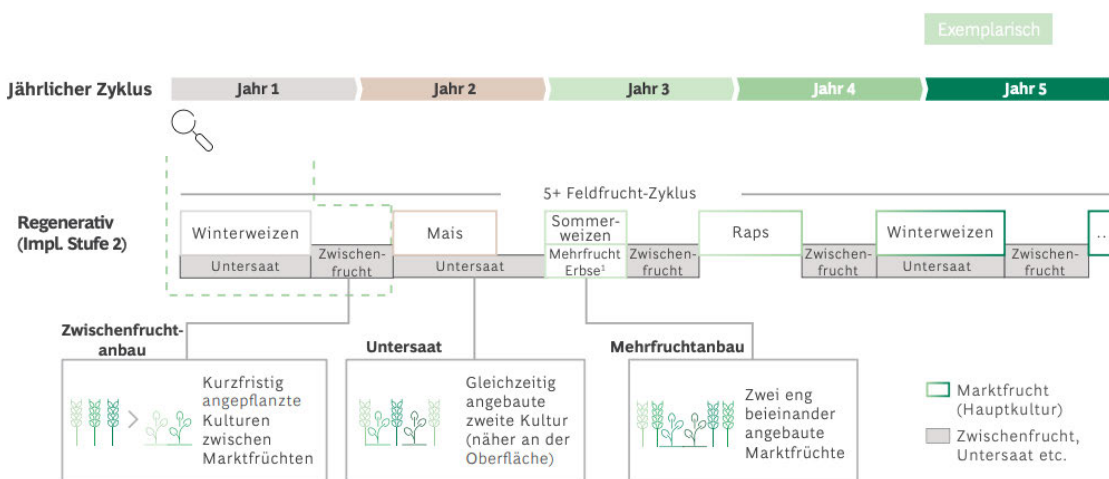


Abbildung 1: Gezielte Bodenbedeckung durch Untersaat, Zwischenfrüchte und Mehrfruchtanbau in der Regenerativen Landwirtschaft. Quelle: (Kurth et al. 2023).

Die Unterschiede zwischen biologischer und regenerativer Landwirtschaft werden in Tabelle 2 anhand der vier meistgenannten Anwendungspraktiken aus der Literatur sowie aufgrund von mündlichen und schriftlichen Informationen der Schweizer Karottenproduzenten bezüglich ihren Anbaumethoden aufgezeigt. Dazu wurden die Kulturblätter der biologisch angebauten Karotten von Rathgeb (aus Siegershausen, Uesslingen/ Stuede, Homburg im Kanton Thurgau, Unterstammheim in Zürich) sowie ein geführtes Interview mit Herrn Stucki aus Dägerlen in Oberwil im Kanton Zürich zur Kulturführung vom 17.8.2023 beigezogen. Das schriftlich festgehaltene Interview befindet sich im Anhangsverzeichnis unter Anhang 1. Die Kulturblätter sind sehr umfangreich und werden deshalb in einem externen Anhang aufgeführt.

Tabelle 2: Unterschiede in Anbautechniken von biologischer und regenerativer Landwirtschaft.

	Biologischer Karottenanbau nach Bio Suisse Richtlinien (Rathgeb)	Regenerativ biologisch produzierte Karotten (Stucki)
Beständige Bodenbedeckung	20 % der Fläche müssen ganzjährig begrünt sein und 50 % Bodendeckung vom 15. November bis 15. Februar sind obligatorisch.	Durch Untersaat und Zwischenfrüchte wird der Boden dauerhaft bedeckt gehalten. Auf dem Hof Stucki wird beispielsweise Hafer mit einer Untersaat angebaut. Zudem werden die Flächenrotte und effektive Mikroorganismen eingesetzt.
Bodenbearbeitung reduzieren oder abschaffen	Bio Suisse Richtlinie: Jegliche Art der Bodenverdichtung ist nicht zulässig. Bodenbearbeitung soll schonend und zurückhaltend ausgeführt werden. Bodenbearbeitung erfolgt mit Pflug, Fräse, Kreiselegge. Mechanisches Hacken wird gegen Unkräuter eingesetzt.	So wenig Bodenbearbeitung wie möglich z.B. wird Pflug nur verwendet, wenn es sehr nass ist. Auf dem Hof Stucki wird lediglich 8 cm tief gefräst.
Gezielte Fruchtfolge anwenden	24 Monate Abstand zwischen Hauptkulturen der gleichen Pflanzenfamilie im Gemüsebau.	Möglichst lange Fruchtfolge 7 bis 8 Jahre, im schlechten Fall 5 Jahre.
Externe Inputs reduzieren, dafür interne Inputs maximieren	Erlaubt sind organische Düngemittel gemäss Betriebsmittelliste vom FiBL. Zusätzlich wird mit Mist, Kompost, Gründüngung, Zwischenfrüchte etc. gedüngt.	Gründüngung, Zwischenfrüchte, Kompost, Hackholz, Champignonmist, Laufstallmist Ziel: Düngen mit hofeigenen Erzeugnissen.

2.1.3 Auswirkung regenerativer Landwirtschaft auf die Bodeneigenschaften

Im Folgenden wird auf die hauptsächlichen Unterschiede der biologischen und regenerativen Landwirtschaft und deren Einfluss auf die Bodeneigenschaften eingegangen.

Beständige Bodenbedeckung durch Untersaaten und Zwischenfrüchte

Durch eine beständige Bodenbedeckung kann von den wachsenden Pflanzen dauerhaft Photosynthese betrieben werden. Dabei wird organischer Kohlenstoff aus der Luft mithilfe von Licht und Wasser über die Pflanzenwurzeln in den Boden geleitet. Die Menge an organischem Kohlenstoff, welcher in den Boden gelangt, hängt von der Wurzelmasse pro Flächeneinheit der Pflanzen und ihrem Wachstumstempo ab. Anhand der Abbildung 2 wird deutlich, dass mit einer zunehmenden Anzahl grüner Blätter über dem Boden auch die Menge an Wurzeln steigt, die Kohlenstoff in den Boden einbringen (Jones 2007). Wenn das Wurzelwachstum im Boden zunimmt, befindet sich mehr Wasser und mikrobiotisches Leben im Boden (Jones 2007; White 2020). Je vielfältiger die Pflanzenmischung, desto besser arbeiten die Bodenorganismen. Um dies zu erreichen, ist eine dauerhaft begrünte Anbaufläche wichtig (Näser 2021).



Abbildung 2: Das Wurzelvolumen steht in engem Kontakt mit der Menge und Dauer der Oberflächenbegrünung, der Kohlenstoffausscheidung in den Boden, der mikrobiellen Aktivität im Boden, der Humifizierung und der Bodenbildung (Jones 2007).

Der Kohlenstoff und das Leben im Boden können somit wiederhergestellt werden.

Dies bringt zahlreiche Vorteile im Hinblick auf die strukturelle Integrität und die Wasserspeicherfähigkeit des Bodens, den Nährstoffkreislauf und die Unterdrückung von Krankheiten mit sich (Jones 2007). Eine dauerhafte Bodenbedeckung schützt den Boden zudem vor Erosion durch Wind und Wasser (Chervet et al. 2005).

Bodenbearbeitung reduzieren oder abschaffen

Die Anwendung der reduzierten Bodenbearbeitung spielt eine bedeutende Rolle bei der Aufrechterhaltung der Bodenfruchtbarkeit und bringt verschiedene Vorteile für die Bodeneigenschaften.

Bodenstruktur und Tragfähigkeit

Eine reduzierte Bodenbearbeitung verbessert die Bodenstruktur. Der Boden verfügt über eine bessere Tragfähigkeit, ist weniger verdichtet und hat keine Pflugsohle (Chervet et al. 2005; Hegglin et al. 2014).

Humus und Bodenlebewesen

Die Anwendung der Bodenbearbeitung ist ein wichtiger Einflussfaktor auf den Humusgehalt. (Richner and Sinaj 2017). Eine konservierende Bodenbearbeitung kann den organischen Kohlenstoff im Boden erhalten, welcher ein wichtiger Indikator für die Bodengesundheit ist (Reeves 1997). Humusverluste im Oberboden werden durch eine reduzierte Bodenbearbeitungsintensität verringert, weil die organische Bodensubstanz für die Bodenorganismen weniger leicht zugänglich ist und somit weniger intensiv abgebaut wird. Ein weiteres Argument für eine reduzierte Bodenbearbeitung ist die Erhaltung der Bodenlebewesen. Eine reduzierte Arbeitstiefe schont die Regenwürmer sowie bestehende Pflanzenreste, welche ihnen an der Bodenoberfläche als Nahrung dienen. Durch diese Pflanzenresten werden auch die Bodenmikroorganismen gefördert (Heggin et al. 2014). Durch die kontinuierliche Versorgung der Bodenmikroben mit «Nahrung» kann die Humifizierung stattfinden. Der über die Pflanzenwurzeln, Pflanzenreste oder Dünger zugeführte Kohlenstoff wird in stabiler Form im Boden gespeichert anstatt wieder zu oxidieren und als Kohlendioxid in die Atmosphäre zurückgeführt zu werden (Jones 2007). Die Vielfalt der Wurzelsysteme jeder Pflanze trägt zudem zu einer Fülle an Bodenlebewesen bei. Unterschiedliche Pflanzenarten haben verschiedene Arten von Wurzeln, darunter flache, tiefe, faserige, pfahlförmige, kohlenstoffreiche oder -arme Wurzeln. Einige Pflanzen, wie Leguminosen, bringen Stickstoff in den Boden ein (White 2020). Eine dauerhafte Pflanzenvielfalt erreicht man durch Mischkulturen sowie vielsortige Gründüngungen und Untersaaten (Regenerativ Schweiz 2019).

Erosionsschutz und Wasserhaushalt

Eine verbesserte Bodenstruktur mildert Überschwemmungen dank besserer Wasserinfiltration und verhindert Staunässe (Heggin et al. 2014; Brown 2018). Bei Trockenheit ist durch die Kapillarität eine bessere Wassernachlieferung aus tieferen Bodenschichten gewährleistet (Heggin et al. 2014).

Gezielte Fruchtfolge anwenden

Eine vielseitige Fruchtfolge fördert die Bodenfruchtbarkeit und vermindert Pflanzenkrankheiten, Schädlinge und Unkräuter. Ausserdem baut eine sinnvolle Fruchtfolge Dauerhumus auf oder hält den Humusgehalt zumindest ausgeglichen. Eine mehrjährige Klee-graskultur beispielsweise, ermöglicht es dem Boden, sich zu regenerieren. Gleichzeitig werden Unkrautsamen am Keimen gehindert und Krankheiten sowie Schädlinge werden unterdrückt und durch die erhöhte Aktivität der Bodenlebewesen abgebaut (Berner et al. 2008, S.15). Für einen möglichst geschickten Fruchtwechsel werden in der RL auch Zwischenfrüchte und Untersaaten eingesetzt. Zu Beginn des Kapitels 2.1.3 Auswirkung regenerativer Landwirtschaft auf die Bodeneigenschaften wird bereits auf deren Auswirkungen auf die Bodengesundheit eingegangen. Die Untersaat spielt eine entscheidende Rolle

bei der Maximierung der Photosynthese und dem Schließen von Ernährungslücken für Bodenorganismen. Dies geschieht insbesondere in der Zeitspanne zwischen der Abreife der Hauptkultur und der vollen Entwicklung einer Folgekultur oder Zwischenfrucht. Die Wahl von artenreichen Zwischenfrüchten führt zu einer hohen Artenvielfalt und damit zu einer höheren Nährstoffwirkung in der Folgefrucht (Näser 2021). Allgemein verbessert eine geschickte Fruchtfolge die Wassernutzungseffizienz, weil die Pflanzen wegen ihren verschiedenen Wurzelsystemen das Wasser aus unterschiedlichen Bodentiefen nutzen. Diese vielschichtige Bodennutzung ermöglicht es den Pflanzen zudem Nährstoffe aus verschiedenen Tiefen des Bodens aufzunehmen. Daher tragen Fruchtfolgen dazu bei, die Nährstoffe aus dem Boden effizienter zu nutzen. Darüber hinaus reichern Leguminosen in Symbiose mit stickstoffbindenden Bakterien Stickstoff im Boden an, der wichtig für den Anbau von Folgekulturen ist (FAO 2022).

Externe Inputs reduzieren, dafür interne Inputs maximieren

Um Kulturen effizient zu nähren, benötigen sie entweder zusätzliche Düngemittel oder es werden gezielt Techniken eingesetzt zur aktiven Förderung des Bodenstoffwechsels. Die RL nutzt statt Düngemittel natürliche Lebensprozesse in vielfältigen, produktiven Ökosystemen, um teure externe Inputs zu ersetzen. Dieses naturgetreue Systeme braucht lediglich einen minimalen externen Input sowie Fachkenntnisse, um diesen Überschuss anzuregen und ihn für nutzbare Ressourcen wie Nahrung, Bodenaufbau und Biodiversität umzuwandeln (Koerber 2018).

2.1.4 Einfluss von Bodeneigenschaften auf die Qualität von Kulturen

Die Bodeneigenschaften haben einen bedeutenden Einfluss auf die Qualität der angebauten Kulturen. Ein gesunder und fruchtbarer Boden bietet die optimalen Bedingungen für das Wachstum von Pflanzen und beeinflusst direkt ihre Nährstoffaufnahme, Gesundheit und Entwicklung. Bodeneigenschaften können die Qualität der Kulturen wie folgt beeinflussen:

Physikalische Eigenschaften des Bodens wie durchwurzelbare Bodentiefe, Steinanteil, Bodenstruktur und Strukturstabilität

Die physikalischen Eigenschaften beeinflussen den Wasser- und Lufthaushalt im Boden und haben indirekt Einfluss auf das Wurzelwachstum. Strukturschwache und verdichtete Böden hemmen das Wurzelwachstum aufgrund von Sauerstoffmangel, während zeitweilige Bodenvernässung den Befallsdruck von Wurzelkrankheiten erhöhen kann. Dadurch wird das Nährstoffaneignungsvermögen des Wurzelwerks geschwächt und selbst eine erhöhte Düngung kann dies nicht ausgleichen (Richner and Sinaj 2017).

Humusgehalt (organische Substanz)

Neben den oben erwähnten physikalischen Bodeneigenschaften haben Menge und Qualität der organischen Substanz im Boden einen grossen Einfluss auf die meisten Bodenfunktionen und somit auf die Qualität der heranwachsenden Kulturen. Der Humusgehalt im Boden beeinflusst einerseits die Speicherfähigkeit für Nährstoffe und den Stoffumsatz, andererseits stellt er selbst einen Pool an Nährstoffen, insbesondere Stickstoff dar, welcher durch die Mineralisierung der Mikroorganismen pflanzenverfügbar wird (Richner and Sinaj 2017). Durch einen höheren Humusgehalt stehen den Pflanzen somit mehr Nährstoffe für ein gesundes Wachstum zur Verfügung.

Huminstoffe, die beständige Form von Humus, spielen nicht nur bei der langfristigen Bindung von Kohlenstoff eine zentrale Rolle, sondern sind auch für verschiedene andere Aspekte von grosser Bedeutung. Dazu gehören die Regulation des pH-Werts im Boden, die Inaktivierung von Pestiziden und anderen Schadstoffen, die Verbesserung der Nährstoffversorgung von Pflanzen sowie die Erhöhung der Bodenkapazität zur Wasserspeicherung. Darüber hinaus können Huminstoffe durch die Bindung von Salzen dazu beitragen, die Auswirkungen von Bodenversalzung in trockenen Regionen zu mildern. Die Steigerung der Humifizierungsrate hat somit signifikante Auswirkungen auf die Nährstoff- und Wasseraufnahme und die Gesundheit und Produktivität landwirtschaftlicher Flächen (Jones 2007). Dem Abstract von Johnston et al. (2009) ist zu entnehmen, dass Die Tendenzen bei den langfristigen Ernteerträgen zeigen, wie Erträge auf Böden mit mehr organischer Substanz häufig höher sind als jene auf Böden mit weniger organischer Substanz. Wenn der Humusgehalt 5 bis 6% übersteigt, tritt eine natürliche Dynamik ein, wo Bodenorganismen kontinuierlich die chemische sowie physische Beschaffenheit des Bodens regulieren und optimieren. In diesem Stadium kann sich der Landwirt oder die Landwirtin darauf konzentrieren, die Symbiose zwischen Pflanzen und Bodenorganismen zu fördern (Regenerativ Schweiz 2019).

Biodiversität im Boden (mikrobielle Aktivität)

Pflanzen, Boden und Bodenorganismen gehen eine enge wechselseitige Beziehung miteinander ein. Helfen genügend Bodenmikroben an den Wurzeln mit, können die Pflanzen Wasser und Nährstoffe besser aufnehmen, bringen gute Erträge und wehren sich dabei gegen Krankheiten, Schädlinge und Unkräuter (Näser 2021, S.6). Eine Schlüsselfunktion zur Humusbildung übernehmen Mykorrhizapilze, welche flüssigen Kohlenstoff direkt von aktiv wachsenden Pflanzenwurzeln aufnehmen und ihn dadurch in den Boden leiten und als Humus verbauen. Sie erleichtern dadurch den Transport von wichtigen Nährstoffen in die Pflanzenwurzeln (Jones 2007). Ein aktiver Austausch zwischen Bodenleben und Pflanzen fördert die Gesundheit und Vitalität der Kulturen (Näser 2021, S.6).

Bodenzusammensetzung

Gemäss der Studie Seljasen et al. (2012) kann sich die Bodenzusammensetzung auf die sensorische Qualität von Karotten auswirken. Bei ihren Untersuchungen ergaben sich keine sensorische Unterschiede für Karotten, welche in Lehm- und Sandböden kultiviert wurden. Dem gegenüber zeigten aber Karotten aus Torfböden eine höhere Bewertungen für den süssen Geschmack und die Saftigkeit. Der bittere Geschmack war bei Torfböden niedriger als bei Lehm- und Sandböden. Für den erdigen Geschmack und den Terpengeschmack zeigten sich hingegen keine Unterschiede aufgrund der Bodenzusammensetzung. Die Beeinflussung des süssen Geschmacks durch Torf lässt sich teilweise durch die niedrigere Bodentemperatur erklären, die in Torfböden gemessen wurde, weil dies den Zuckergehalt erhöhen kann (Rosenfeld et al. 1998).

Bodenoberfläche

Eine permanente Bodenbedeckung, bessere Bodenstruktur und weniger Überfahrten wirken sich langfristig positiv auf Erträge und Qualität der Kulturen aus. Dies bestätigt eine 10-jährige Studie aus der Schweiz. Nach siebenjähriger Bodenumstellung wurden dank kontinuierlicherer Stickstoffumsetzung mindestens gleich hohe Erträge und Qualitäten der Kulturen erzielt, wie mit konventioneller Landwirtschaft (Chervet et al. 2005). Konservierende Landwirtschaft ermöglicht Erträge, die durchaus mit denen der modernen intensiven Landwirtschaft vergleichbar sind, jedoch auf nachhaltige Weise. In der Regel steigen die Erträge im Laufe der Zeit, und die Schwankungen in den Erträgen nehmen ab (FAO 2022).

2.2 Karotten

Die Karotte (*Daucus carota L.*) ist das beliebteste Gemüse in der Schweiz (Légumes Suisse 2023) und mengenmässig bei weitem das wichtigste Produkt des schweizerischen Gemüsebaus (Höhn et al. 2003). Damit sie gesund gedeihen und ihre Qualität auch nach der Ernte erhalten bleibt, sind bestimmte Bedingungen einzuhalten.

2.2.1 Anbautechnik und Lagerung

Für die erfolgreiche Kultivierung von Karotten bieten tiefgründige und steinfreie Sand- bis sandige Lehmböden und Lössstandorte mit durchlässigem Untergrund gute Voraussetzungen. Auch mittelschwere Moorböden eignen sich. Vernässte Böden mit Unterbodenverdichtungen sind hingegen nicht geeignet. Bei schweren oder steinigen Böden oder jenen mit unverrottbaren Pflanzen- oder Mistrückständen der Vorkultur entwickeln sich verzweigte Wurzeln (Lichtenhahn 1998).

Karotten haben einen hohen Nährstoffbedarf und sind besonders auf Kalium angewiesen, da dieses Element sich positiv auf den Zuckergehalt, die Haltbarkeit, den Geschmack und die Ernteerträge auswirkt. Eine zu späte Stickstoffdüngung fördert das übermässige Wachstum der Blätter, verzögert die Ausbildung der orangenen Farbe der Karotten und kann sich negativ auf ihre Haltbarkeit auswirken. Um die Qualität und den Ertrag zu verbessern, ist eine konstante Bodenfeuchtigkeit entscheidend, weshalb oft eine Bewässerung notwendig ist. Wenn die Bewässerung erst nach der Trockenperiode erfolgt, kann dies dazu führen, dass die Karotten platzen. Im Oktober werden Lagerkarotten geerntet, idealerweise bei trockenem Wetter. Es ist wichtig, die geernteten Karotten schonend zu behandeln und Verletzungen unbedingt zu vermeiden.

Eine spätere Ernte von Lagerkarotten kann sich positiv auf ihre Haltbarkeit auswirken. Karotten ertragen leichte Fröste im Boden gut. Bei der Einlagerung in Lagerbehältern wie Harassen oder Paloxen wird eine Polyethylenfolie verwendet, um das Lagergut vor übermässiger Verdunstung zu schützen. Wurzelgemüse kann rasch an Qualität verlieren, wenn durch falsche Lagerbedingungen Wasserverluste entstehen. Aus diesem Grund ist während der Lagerung eine relative Luftfeuchtigkeit von 90 bis 92% und minimale Luftumwälzung wichtig. Zudem empfiehlt sich eine sofortige Abkühlung auf eine Temperatur von 0 bis 1 °C. Kisten oder Paloxen sind mit Plastikfolien auszulegen damit das Austrocknen verhindert wird. Zwischen den Kisten ist eine Luftzirkulation erwünscht. Bei Karotten sollte der CO² Gehalt in Räumen nicht über 3 % ansteigen. Bei korrekten Lagerkonditionen ist eine Lagerdauer von 4 bis 7 Monaten möglich (Scheidiger 2015).

2.2.2 Qualität von Karotten

Gemäss Duden ist die Qualität von Lebensmitteln «die Gesamtheit der charakteristischen Eigenschaften eines Produktes» (Dudenredaktion o.J.). Die Qualität von Karotten setzt sich demnach aus verschiedenen Parametern zusammen. Die äussere und innere Qualität von Karotten ist für die Vermarktung entscheidend. Zur klassischen Beschreibung der produktbezogenen Qualität werden psychobiologische (Sensorik) und physiologische Faktoren (Nährwert) beigezogen. Die Ergebnisse verschiedener Studien weisen darauf hin, dass es eine enge Verbindung zwischen den sensorischen Merkmalen von Gemüse, seinen physikalischen Eigenschaften und seinem Nährwert gibt (Wrzodak et al. 2012). Ein weiterer wesentlicher Bestandteil der inneren Qualität ist die Haltbarkeit (Kägi et al. 2007), auf welche in dieser Arbeit aber nicht weiter eingegangen wird.

Psychobiologische Faktoren (Sensorik)

Sensorische Eigenschaften sind zentrale Faktoren in der Qualitätsbeurteilung von Lebensmitteln. In Abbildung 3 sind die wichtigen Parameter zur sensorischen Bewertung von Lebensmitteln abgebildet.

Optik und gegebenenfalls **Geruch** werden beim Kauf von Verbrauchern als erstes wahrgenommen. Der Geschmack von Lebensmitteln ist für viele Konsumenten ein entscheidendes Kriterium beim Wiederkauf (Beck et al. 2012) und stellt einer der wichtigsten Faktoren bei der Bewertung der Karottenqualität dar (Kreutzmann et al. 2007). In Bezug auf den **Geschmack** stellt die Süsse die wichtigste

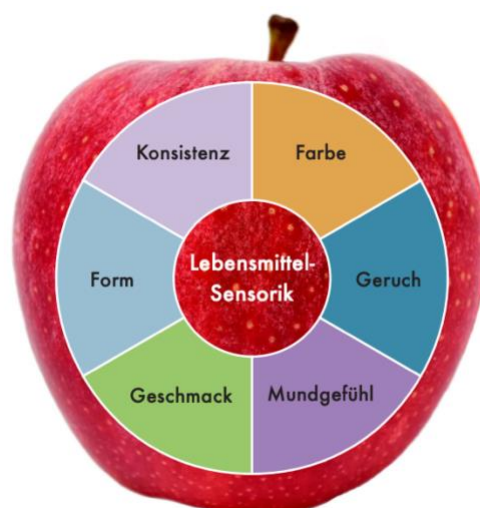


Abbildung 3: Parameter für die sensorische Bewertung von Lebensmittel (Bildquelle: Kretzschmar et al. 2021).

Anforderung dar. Die Karotten sollen aber auch frisch und aromatisch sein. Nicht erwünscht ist hingegen Bitterkeit. Die **Konsistenz und das Mundgefühl** sollen knackig und saftig, jedoch nicht gummig sein (Höhn et al. 2003). Generell ist der Marktwert von Früchten stark mit der **Pigment- oder Grundfarbe** verknüpft. Dies liegt daran, dass visuell nicht ausreichend gefärbte Früchte von den Verbrauchern oft nicht akzeptiert werden, was zu einer Preisminderung führen kann (Mditshwa et al. 2017).

Physiologische Faktoren (Nährwert)

Wissenschaftliche Studien zur Qualität von Lebensmitteln basieren meist auf dem Vergleich des Gehalts an einzelnen Inhaltsstoffen (Kretzschmar et al. 2021). Sie sind nicht nur

ernährungsphysiologisch von Bedeutung, sondern bestimmen auch den Geschmackseindruck mit. Die Inhaltsstoffe für 100g rohe Karotten sind in Tabelle 3 gemäss Herrmann (2001) zusammengestellt. Die ernährungsphysiologische Relevanz liegt bei der Karotte insbesondere im hohen Gehalt an Carotinen. Der Carotin-Gehalt liegt je nach Sorte und Witterung bei ungefähr 9mg/ 100 g Trockensubstanz. Die orangerote Farbe ist auf die Carotine im Produkt zurückzuführen (Scheidiger 2015). Erwähnenswert sind auch die Gehalte an Vitamin C (7 mg/ 100g Frischgewicht) sowie Zucker (4 bis 6%). Daneben ist die Karotte aber auch eine reichhaltige Quelle von anderen sekundären Pflanzenstoffen und Mineralstoffen. Wertmindernde Inhaltsstoffe in Karotten sind beispielsweise Nitrat, Pestizidrückstände und Schwermetalle (Kretzschmar et al. 2021).

Tabelle 3: Mittlerer Gehalt an ausgewählten Inhaltsstoffen (Nährwerte) von Karotten je 100g Frischsubstanz essbarer Anteile.

Hauptbestandteile		Mineralstoffe		Vitamine	
Wasser (g)	88	Kalium (mg)	290	Beta-Carotin (mg)	9
Kohlenhydrate (g)	5	Natrium (mg)	60	Vitamin B ₁ (µg)	69
Eiweiss (g)	1.0	Calcium (mg)	41	Vitamin B ₂ (µg)	53
Fett (g)	0.2	Phosphor (mg)	35	Vitamin C (mg)	7
Energie (kcal)	28	Magnesium (mg)	18	Vitamin E (µg)	465
		Eisen (mg)	2.1	Niacin (µg)	580

2.2.3 Einflussfaktoren auf chemische, physikalische und sensorische Qualitätsparameter bei Karotten

Die Faktoren, welche die Qualitätsaspekte beeinflussen, lassen sich in drei Abschnitte unterteilen: vor der Ernte, nach der Ernte und während der Verarbeitung. Massnahmen vor der Ernte tragen hauptsächlich zur Qualitätsbildung während des Pflanzenwachstums auf dem Feld bei. Nach der Ernte von Karotten sind die Handhabung, Lagerung und gelegentlich die Verarbeitung entscheidende Schritte. Es kann herausfordernd sein qualitätsbeeinträchtigende Handhabungen in der gesamten Produktionskette nachzuverfolgen (Seljasen et al. 2013). Im Folgenden werden die relevantesten Einflüsse für diese Arbeit aufgezeigt.

Sorte

Verschiedene Untersuchungen zeigen, dass die Sorte einen bedeutenden Einfluss auf die Qualität des Produkts hat und sich dementsprechend entscheidender als die Anbaumethode (z.B. biologischer Anbau) auf die Qualität auswirkt (Künsch et al. 2003; Rembiałkowska 2007; Maiani et al. 2009; Roose et al. 2010; Seljasen et al. 2013; Geier 2014). Gemäss Varming et al. (2004) beeinflusst die Sortenwahl auch die sensorischen und geschmacklichen Variablen. So sind je nach Sorte unterschiedliche Aromen und Geschmacksrichtungen bei der Karotte ausgeprägter. Dabei konnten

insbesondere für die Karottensorte Bolero grosse Unterschiede zu anderen Karottensorten festgestellt werden. Zudem liegt eine grosse Variabilität in den Inhaltsstoffen.

Standort, Anbaujahr, Umweltfaktoren

Der Standort beeinflusste die Karottenqualität (Varming et al. 2004). Zum Standort gehört auch der Einfluss des Bodens, auf welchen bereits in Kapitel 2.1.4 Einfluss von Bodeneigenschaften auf die Qualität von Kulturen eingegangen wurde. Durch Klimafaktoren kann die Qualität bezüglich Terpenegehalt, Gesamtzucker, Beta-Carotin, Phenolen, süßem und bitterem Geschmack sowie Trockenmasse erheblich in unvorhergesehene Richtungen beeinflusst werden (Seljasen et al. 2013). Dies bestätigt die Studie Davey et al. (2000), bei der verschiedene Umweltfaktoren wie Licht, Temperatur, Salz- und Trockenstress oder das Vorhandensein von Luftschadstoffen, Metallen und Herbiziden den Vitamin-C-Gehalt beeinflussten. Höhere Temperaturen führten bei der Studie Rosenfeld et al. (2002) zu einem höheren Gehalt an flüchtigen Terpenoiden in Karotten.

Anbaumethode

Auch die Anbaumethoden können sich auf Qualitätsmerkmale auswirken. Bezüglich dem Carotinhalt hat sich aber gezeigt, dass die Sorten- und Umweltfaktoren, wie Klima und Boden, einen grösseren Einfluss haben als anbaubedingte Faktoren wie Düngung und Unkrautbekämpfung (Roose et al. 2010). Auch beeinflusst das Anbaujahr den Gehalt an sekundären Pflanzenstoffen in Karotten stärker als die Anbauweise (Stracke et al. 2010). Pflanzen, die ohne den Einsatz von Pestiziden angebaut werden, müssen ihre eigene Abwehr gegen Krankheiten und Schädlinge entwickeln. Viele dieser natürlichen Schutzstoffe der Pflanzen gehören zu den sekundären Pflanzenstoffen. Da im biologischen Landbau auf chemisch-synthetische Pestizide verzichtet wird, weisen Bioprodukte häufig einen höheren Gehalt an sekundären Pflanzenstoffen auf (Mditshwa et al. 2017). Welche Unterschiede zwischen den verschiedenen Anbausystemen Regenerativ, Biologisch und Konventionell gefunden wurden, wird in Kapitel 2.3.3 Vergleichsstudien von regenerativen, biologischen und konventionellen Lebensmitteln erläutert.

Verfügbare Nährstoffe, Düngung und Pflanzenschutz

Ein erhöhter Stickstoffgehalt im Boden hat nachteilige Auswirkungen auf sensorische Qualitätsmerkmale bestimmter Früchte. Die Festigkeit von Früchten wird einerseits wesentlich vom Verhältnis von Stickstoff zu Kalzium beeinflusst. Bei einem erhöhten Verhältnis neigen die Früchte dazu, weniger fest zu sein. Bei Obst können höhere Stickstoffgaben das Wachstum der Blätter der Pflanzen fördern, was zu einer Reduzierung der Sonneneinstrahlung und Farbtintensität der Früchte führen kann (Mditshwa et al. 2017). Bei Karotten und Kartoffeln wurde in einer Studie von Velimirov

(2003) durch die Intensivierung der mineralischen Düngung ausserdem der Geschmack und Geruch weniger aromatisch und eintöniger. Daher bevorzugten die Probanden in Verkostungstests in der Regel Produkte mit moderater Düngung. Eine reduzierte Stickstoffdüngung bei Karotten kann zu einer Erhöhung des Terpenegehalts, Magnesiumgehalts und der Trockenmasse führen, während der Nitratgehalt und der Beta-Carotin-Gehalt abnehmen (Seljåsen et al. 2012). Pflanzen, die ohne den Einsatz von Pestiziden angebaut werden, entwickeln eigene Schutzmechanismen gegen Krankheiten und Schädlinge. Viele dieser natürlichen Schutzstoffe gehören zu den sekundären Pflanzenstoffen. Im Biolandbau, der auf den Einsatz chemisch-synthetischer Pestizide verzichtet, weisen Bioprodukte häufig einen höheren Gehalt an sekundären Pflanzenstoffen auf (Mditshwa et al. 2017).

Nachernte und Lagerung

Wie bereits in Kapitel 2.2.1 Anbautechnik und Lagerung erwähnt, kann Wurzelgemüse durch falsche Lagerbedingungen rasch an Qualität verlieren, wenn Wasserverluste entstehen (Scheidiger 2015). So kann sich Stress nach der Ernte negativ auf die Qualität auswirken (Seljåsen et al. 2001). Der unerwünschte bitterkeitsverleihende Isocumarin-Gehalt steigt durch Stressbedingungen wie Pilzkrankheiten an, ist jedoch sortenabhängig, da manche Sorten mehr Isocumarin bilden, wenn sie Stress ausgesetzt sind (Höhn et al. 2003). Aus der Studie Varming et al. (2004) ist zu entnehmen, dass die Lagerung von Karotten durch die Bildung von Aldehyden und einem Anstieg des Gehalts an einigen Terpenen gekennzeichnet war. Bei der sensorischen Analyse wurden jedoch keine entsprechenden Veränderungen bezüglich Qualität der Geschmacksstoffe festgestellt.

Ein weiterer Einflussfaktor während der Lagerung ist die Temperatur. Wenn sie steigt, verkürzt sich die Haltbarkeit. Zudem beeinflusst eine höhere Temperatur während der Lagerung ernährungsphysiologische und gesundheitliche Aspekte von Karotten, indem sie den Gehalt an Beta-Carotin, Gesamtzucker und Ascorbinsäure reduziert. Höhere Temperaturen begünstigen ausserdem eine Abnahme der sensorischen Qualität, da sie den bitteren Geschmack verstärken kann. Sauerstoffmangel oder die Exposition gegenüber Ethylen verursacht bei Karotten einen unangenehm süssen oder bitteren Geschmack und kann die sensorische Qualität dadurch mindern. Schädlinge können neben Ertragseinbussen und Produktschäden die sensorische Qualität beeinträchtigen, indem sie den Gehalt an Bitterstoffen erhöhen und dadurch den Bittergeschmack verstärken und den Süssgeschmack verringern (Seljåsen et al. 2013).

Verarbeitung

Die maschinelle Reinigung kann Stress verursachen und dadurch Qualitätsparameter beeinflussen (Seljåsen et al. 2004). Das Waschen und Schälen sollten möglichst nahe an der Verarbeitung erfolgen, um die Entwicklung von Fehleraromen in den Karotten zu vermeiden (Afek et al. 1999). De Belie et al.

(2002) untersuchten die Effekte des Kochens auf die Veränderung der Textur und des Geschmacks. Alle fünf sensorischen Eigenschaften (süßer Geruch, süßer Geschmack, Saftigkeit, Härte und Festigkeit) nahmen während des Kochens in ähnlicher Weise an Intensität ab. Am stärksten reduzierte der Kochvorgang die Festigkeit und machte die Textur weicher. Eine 5-minütige Kochzeit führt zu einer Verringerung der sensorischen Bewertung der Festigkeit um 44 bis 67 %. Thermische Behandlungen können weitere Einflüsse haben, worauf an dieser Stelle nicht weiter eingegangen wird.

Einfluss von Inhaltsstoffen auf sensorische Eigenschaften

Der Zuckeranteil bestimmt die Süße der Karotte und hat einen bedeutenden Einfluss auf den Geschmack und die Beliebtheit (Höhn et al. 2004). Zuckergehalt und Trockensubstanzgehalt hängen ausserdem positiv mit einem süßen und fruchtigen Karottengeschmack zusammen (Varming et al. 2004). Ein hoher Zuckergehalt kann die Wahrnehmung von bitterem Geschmack überdecken (Kreutzmann et al. 2008). Auch der in Karotten enthaltene Stoff Isocumarin verursacht Bitterkeit und beeinträchtigt dadurch die Essqualität. Für den typischen Karottengeschmack sind zusätzlich Terpene und Phenole verantwortlich (Höhn et al. 2003). Terpene geben der Karotte einen terpentinartigen Beigeschmack. Normalerweise verleihen sie ihr einen erwünschten Geschmack, in hohen Konzentrationen können sie jedoch das Gegenteil bewirken und Bitterkeit hervorrufen (Kleemann and Florkowski 2003; Kramer et al. 2012). Gemäss Rosenfeld et al. (2002) sind Terpene für den bitteren Geschmack verantwortlich und können die Wahrnehmung des süßen Geschmacks bei Karotten leicht unterdrücken. Weitere einflussnehmende Inhaltsstoffe sind sekundäre Pflanzenstoffe wie beispielsweise Beta-Carotin. Sie haben Einfluss auf den Geschmack, das Aroma und die Farbe von Karotten (Künsch et al. 2003). Bei Analysen ist ausserdem zu beachten, dass die Verteilung von aromagebenden Inhaltsstoffen mengenmässig innerhalb der Karotte variieren kann (Habegger and Schnitzler 1997). Aus diesem Grund ist eine homogene Probenmenge für die Untersuchung wichtig.

Zusammenfassung

Oft beeinflussen viele Faktoren ein Merkmal wie beispielsweise die Bildung unerwünschter Geschmacksbeeinflussung von Terpenen in der Karotte, welche sich durch die genetische Veranlagung, Anbauconditionen, Krankheits- und Insektenbefall, Nach-Ernte-Behandlungen sowie die Atmosphäre während der Lagerung verändern kann (Kleemann and Florkowski 2003). Beim Gehalt an Carotinoiden in Lebensmitteln beeinflussen Sorte, Genotyp, Jahreszeit, geografischer Standort/Klima, Reifegrad und Anbaubedingungen die Qualität (Maiani et al. 2009).

Die wissenschaftliche Bewertung der Lebensmittelqualität gestaltet sich herausfordernd, da die Qualität nicht allein von der Produktkategorie und dem Produktionsverfahren abhängt, sondern auch

von variablen Faktoren wie beispielsweise Anbausorten, Wetterbedingungen und Bodenverhältnissen beeinflusst wird (Rembiałkowska 2007; Stracke et al. 2010; Kretzschmar et al. 2021). Solche Einflussfaktoren können vom Karottenanbau über die Ernte und Lagerung bis zur Verkaufsstelle die Qualität von Karotten beeinflussen (Kägi et al. 2007). Es besteht somit die Schwierigkeit, die Versuchsanordnung so zu wählen, dass keine ungewünschten Einflussfaktoren das Resultat verfälschen (Beck et al. 2012).

2.3 Qualitätsvergleich von Lebensmitteln

Es gibt verschiedene Ansätze zur Qualitätsermittlung von Lebensmitteln. Gemäss Kretzschmar et al. (2021) erfolgt die wissenschaftliche Erforschung der Lebensmittelqualität einerseits durch den Vergleich von einzelnen Inhaltsstoffgehalten, andererseits durch die sensorische Wahrnehmung. Beim Vergleich von biologischen und konventionellen Lebensmitteln werden in verschiedenen Studien folgende Qualitätsparameter untersucht (Reganold et al. 2010; Mditshwa et al. 2017; Kretzschmar et al. 2021):

- Physikalisch-chemische Qualität: Pigment und Farbe, Festigkeit, Gehalt an löslichen Feststoffen und titrierbarer Säuregehalt, Trockenmasse, antioxidative Gesamtaktivität
- Ernährungsphysiologische Qualität: Vitamine, Proteine, Beta-Carotin, Mineralien, Zuckergehalt, Gesamtphenole und Anthocyane sowie spezifische Polyphenole
- Wertmindernde Inhaltsstoffe: Nitrat, Pestizidrückstände, Schwermetalle
- Frucht- und Blattproben auf N, P, K, Ca, Mg, B und Zn
- Lagerfähigkeit/ Haltbarkeit
- Sensorische Qualität

Um sensorische Faktoren zu untersuchen, die sich auf die Qualität der Karotten auswirken, wurden in der Studie Varming et al. (2004) und Kreuzmann et al. (2007) folgende Deskriptoren für die sensorische Analyse gewählt:

- Geruch (Terpen-Aroma, Karottenaroma, Silage Aroma, Grünes Aroma und Heu Aroma)
- Geschmack (fruchtig, nussig, süss, bitter, erdig, karottig)
- Flavour (terpenartig, karottig, grün, seifig, nussig)
- Nachgeschmack (karottig, bitter, scharf)

2.3.1 Chemische und physikalische Qualitätsparameter für Lebensmittel

In diesem Kapitel wird auf die vier chemischen Qualitätsparameter Beta-Carotin, Vitamin C, Brix- und Trockensubstanz, sowie auf den physikalischen Parameter Textur eingegangen. Dies sind jene Qualitätsparameter, die später im Methodenteil verwendet werden.

Beta-Carotin (Provitamin A)

Als Carotinoide wird eine Gruppe der sekundären Pflanzeninhaltsstoffe bezeichnet. Ein wertvolles Carotin ist das Beta-Carotin. Es kann vom menschlichen Körper in Vitamin A umgewandelt werden, weshalb man es auch Provitamin A nennt. Carotinoide spielen eine wichtige Rolle für die menschliche Gesundheit. So wirken sie als Antioxidantien, stärken das Immunsystems, schützen die Haut vor Sonnenbrand und hemmen die Entwicklung bestimmter Krebsarten (Maiani et al. 2009). Die Fähigkeit des menschlichen Körpers, Carotinoide zu nutzen, also ob sie aufgenommen, verwertet oder gespeichert werden können, hängt von der Art und Weise der Aufnahme ab. Mit zunehmender Kristallgrösse verringert sich die Verfügbarkeit im Allgemeinen und Fett in der Nahrung verbessert die Aufnahme (Nau and Stahl 2012). Carotinoide sind insbesondere in gelb-orangefarbenem Obst und Gemüse enthalten (Maiani et al. 2009). Die Karotte ist ein wichtiger Beta-Carotin Lieferant für den Menschen. Ihr Gehalt kann durch verschiedene Faktoren bereits vor sowie nach der Ernte beeinflusst werden. Die Untersuchungen von Künsch et al. (2003) ergaben einen starken Sorteneinfluss auf den Carotin Gehalt von Karotten. So kann sich der Gehalt an Beta-Carotin in Karotten je nach Sorte zwischen 7,19 und 13,84 mg unterscheiden (Schuphan 1942). Auch der Standort wies teilweise einen Einfluss auf, wobei innerhalb der Karotten des gleichen Standorts grosse Streuungen festgestellt werden konnten. Die Forscher stellten hingegen keinen signifikanten Unterschied zwischen Konventionellen und Biobetrieben fest. Auch während einer sechs monatigen Lagerung bei Temperaturen von 0 bis 0.5 ° C und 92 % relativer Luftfeuchtigkeit veränderte sich der Carotin Gehalt nicht bedeutsam.

Vitamin C (L-Ascorbinsäure)

Vitamin C, auch bekannt als Ascorbinsäure, ist eines der wichtigsten wasserlöslichen Vitamine für die menschliche Gesundheit mit antioxidativen Eigenschaften, die sowohl im Tier- als auch im Pflanzenreich vorkommt. Es handelt sich um einen essenziellen Nährstoff, der eine Schlüsselrolle in verschiedenen Stoffwechselprozessen im menschlichen Körper spielt. Es ist auch für seine selektiven krebsbekämpfenden Eigenschaften bekannt (Hamza 2017). Der menschliche Körper ist nicht in der Lage Vitamin C selbst zu produzieren und muss daher seinen Bedarf vollständig über Nahrungsquellen decken (Davey et al. 2000). Die Karotte verfügt über Vitamin C und ist somit eine Aufnahmequelle für den Menschen (Herrmann 2001). Obschon die Wurzel im Vergleich zu Früchten

oder anderen Gemüsearten wie Kohlrarten, Erbsen, grüne Bohnen oder Spinat eher wenig Vitamin C beinhaltet, spielt sie aufgrund des hohen Konsums pro Kopf aber trotzdem eine wichtige Rolle für die Aufnahme des Vitamins beim Menschen (Davey et al. 2000). Der Vitamin-C-Gehalt in Nahrungsmitteln kann auf verschiedene Arten beeinflusst werden, beginnend bei der Anbaumethode der Pflanzen bis hin zur Zubereitung in der Küche. Eine wichtige Rolle spielt Stress durch Umweltfaktoren wie Licht, Temperatur, Salz- und Trockenstress oder das Vorhandensein von Luftschadstoffen, Metallen und Herbiziden. Weitere Einflussfaktoren sind Anbau- und Lagerbedingungen sowie Verarbeitungsschritte wie Schneiden, Blanchieren oder Einfrieren (Davey et al. 2000). So wird die Vitamin-C-Stabilität durch das Zerkleinern vor dem Blanchieren verringert. Ansäuern ohne Erhitzen und Blanchieren vor dem Zerkleinern erhöht hingegen die Vitamin-C-Stabilität (Munyaka et al. 2010).

Brix-Wert

Brix Grade sind eine Masseinheit der relativen Dichte einer Flüssigkeit. In Abbildung 4 ist ersichtlich, wie sich der Wert berechnet. Der Brechungswinkel einer Lösung wird gemessen und daraus wird die Zuckerkonzentration in Prozent abgeleitet. Je höher der Wert, desto mehr gelöste Stoffe sind in der Flüssigkeit (Kleinhenz and Bumgarner 2012). Die Grad Brix Messung kann durch die einfache Messtechnik mit dem Refraktometer ein genaues, wiederholbares und leicht zu ermittelndes Mass für lösliche Feststoffe in Pflanzen sein (Kleinhenz and Bumgarner 2012).

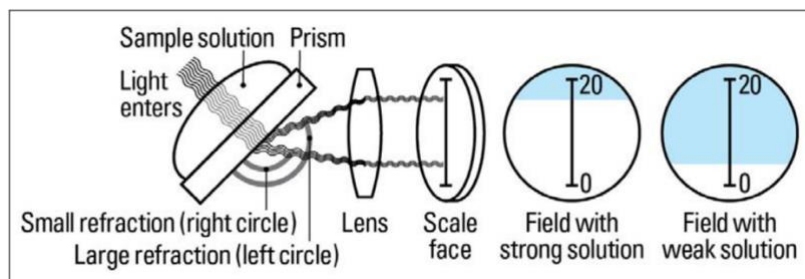


Abbildung 4 Vorgang der Grad Brix Messung mit einem Refraktometer.

Der Wert findet bei verschiedenen Mitgliedern der Lebensmittelindustrie wie beispielsweise Winzern oder Gemüseproduzenten Anwendung. Kleinherz und Bumgarner (2012) beschreiben den Brix-Wert als ein Faktor, der zwar zur Gesamtqualität von Früchten und Gemüse beiträgt, allerdings nicht unbedingt bei jeder Pflanze bewirkt, dass sie auch am süssesten und besten wahrgenommen wird. Denn wie süß eine Probe schmecken kann, bestimmen verschiedene Faktoren wie Zucker, viele andere Verbindungen und die Vorlieben der Esser. Der Zusammenhang von Brix-Wert und der menschlichen Geschmackswahrnehmung ist demnach bei einigen Kulturpflanzen direkter als bei anderen.

Aus der Studie Höhn et al. (2001) geht hervor, dass der Brix-Wert ein Indikator für den Zuckergehalt von Karotten ist. In der von ihnen durchgeführten Untersuchung, wobei 10 Karottensorten getestet wurden, wies die Sorte Bolero den höchsten Brixg-Wert auf. Die Lagerung hatte dabei keinen Einfluss. Aus der Studie Höhn et al. (2004) kann jedoch gefolgert werden, dass die Brix-Werte durchschnittlich um 30 % höher sind als der Gesamtzuckergehalt. Der Grund dafür ist die bereits erwähnte Lichtbrechung, welche mit steigender Konzentration zunimmt, denn neben Zucker beeinflussen noch andere Substanzen die Lichtbrechung. Das Refraktometer misst auch eine beträchtliche Menge an "Nicht-Zucker-Verbindungen" in Karotten. Daher bieten Brix-Werte nur begrenzte Informationen über den tatsächlichen Zuckergehalt. Sorten mit hohem Zuckergehalt wurden bei Verkostungen (Sensorik) oft aber nicht immer besser beurteilt. Zwar ist der Zuckergehalt von Karotten entscheidend für ihre Süsse, allerdings ist die Aussagekraft zur Geschmacksqualität durch den Brix-Wert wie auch durch den Gesamtzuckergehalt eingeschränkt (Höhn et al. 2001).

Auch in der regenerativen Landwirtschaft wird der Brix-Wert als Qualitätsmerkmal von Früchten und Gemüse beigezogen (Näser 2021). So schreibt Dietmar Näser in seinem Buch, dass Ernteprodukte mit einem höheren Brix-Wert ebenso gesteigerte Zucker-, Mineralstoff- und Proteingehalte und ein höheres Volumengewicht aufweisen. Die Früchte sind somit schmackhafter und haben einen maximalen Nährwert mit geringem Nitrat- und Wassergehalt. Zudem wirkt sich der erhöhte Brix-Wert auch auf die Lagereigenschaft aus, welche besser ist. Laut Kleinherz und Bumgarner (2012) korreliert der Brix-Wert jedoch viel stärker damit, wie süss ein Produkt schmecken mag, als damit, wie nahrhaft es sein mag. Gemäss Hörner (2020) können durch die gezielte Messung sogar Parameter wie Pflanzenschädlingsdruck, Ertragspotenzial, Qualität, Lagerfähigkeit, Kalzium-Versorgung und Unkrautprobleme im Voraus erkannt werden.

Im Verkauf gibt es die Vorgabe, dass der Brix-Wert für Karotten mindestens 7.5 betragen sollte (Höhn et al. 2001). Hörner (2020) und Näser (2021) umschreiben die Aussage der Brix-Werte für Karotten wie in Tabelle 4:

Tabelle 4: Empfohlene Brix-Werte bei Karotten nach Hörner 2020.

Brix-Werte bei Karotten			
Arm	Durchschnitt	Gut	Ausgezeichnet
4	6	12	18

Trockensubstanz

Hohe Trockensubstanzgehalte sind ein wichtiges Charakteristikum biologisch angebaute Produkte (Velimirov and Müller 2003). Gemüse mit einem höheren Trockensubstanzgehalt neigt dazu, länger

haltbar zu sein, da weniger Wasser vorhanden ist, das die Verderbnis fördern könnte. Ausserdem korreliert die Trockensubstanz eng mit dem Brix-Wert (Wellinger et al. 2006). Der Grund dafür ist, dass Saccharose einen Hauptbestandteil der Trockensubstanz darstellt (Hagel 1998).

Das Messen der Trockensubstanz bei Gemüse ist eine gängige Methode, um verschiedene Informationen über die Qualität des Gemüses zu erhalten, weil die Trockensubstanz den Anteil der festen Bestandteile im Gemüse darstellt. So kann die Menge an Trockensubstanz Aufschluss über die Festigkeit, Textur und Knackigkeit des Gemüses geben. Literatur, welche den Trockensubstanz Gehalt bei Gemüse und Früchten in Bezug zur Sensorik bringen, konnten nicht gefunden werden.

Texturanalyse

Die Textur, allen voran die Festigkeit und Knackigkeit spielen eine wesentliche Rolle für die Verbraucherakzeptanz von Lebensmitteln. Die Texturanalyse zählt zu der instrumentellen Sensorik und bietet in Teilbereichen der Sensorik wertvolle Unterstützung um Lebensmittel in ihrer Komplexität sensorisch zu erfassen. Mechanische Instrumente im Bereich der Texturanalyse imitieren Beiss- und Kauprozesse oder das Biegeverhalten. So erlaubt die Texturanalyse nebst der sensorischen Analyse Rückschlüsse auf die Festigkeit und den Biss der Karotten. Die humansensorischen Ergebnisse können somit abgesichert werden.

Das technische Gerät, das dafür verwendet wird, ist ein «Texture Analyser». Dies ist eine elektronisch gesteuerte Universalprüfmaschine, die mit Hilfe von Kraftsensoren die aufgebrachte Kraft erfasst, die benötigt wird, um innerhalb einer bestimmten Zeitspanne, mit einer festgelegten Geschwindigkeit einen festgelegten Abstand zu bewältigen oder um mit einer vorgegebenen Stärke in ein Material einzudringen (Winopal et al. 2015).

2.3.2 Lebensmittelsensorik

Während die instrumentelle Analytik spezifische Eigenschaften eines Objekts in isolierter Form misst, ermöglicht die Sensorik die Beschreibung und Quantifizierung der Wahrnehmung als Ergebnis eines umfassenden multisensorischen Prozesses. Diese Wahrnehmung spielt eine entscheidende Rolle bei Kaufentscheidungen und Konsumverhalten (Inderbitzin and Roth-Kahrom 2020). Die Sensorik wird deshalb zur Qualitätsbeurteilung und -sicherung eingesetzt. Produkteigenschaften können mit den Sinnen gemessen werden. Weiter wird die Sensorik zur Produktentwicklung und -forschung, Qualitätskontrolle sowie zunehmend in der Marktforschung und Beobachtung eingesetzt (Busch-Stockfisch 2010).

Das Gebiet der Lebensmittel Sensorik befasst sich mit der Beurteilung von Merkmalen mithilfe der Sinnesorgane (Sehen, Riechen, Schmecken, Fühlen). Bei der Einschätzung des sensorischen Wertes

von Lebensmitteln, wie ihres Geschmacks oder Aromas, fungiert der Mensch als das entscheidende Messinstrument, da er seine fünf Sinnesorgane einsetzt (Winopal et al. 2015). Durch die Erstellung von sensorischen Profilen zur Beschreibung von Produkten können Unterschiede zwischen denselben Merkmalen verschiedener Proben festgestellt und das Ausmass der Unterschiede gemessen werden (Haglund 1998).

Prüfmethoden/ Konsensprofil

Man unterscheidet zwischen zwei Arten von sensorischen Prüfmethoden. Zum einen gibt es analytische Methoden, die in erster Linie Produktunterschiede messen oder Produktcharakteristika darstellen. Um diese Methoden anzuwenden, müssen Prüfpersonen als Prüfmittel/Panel trainiert werden. Sie basieren auf Produktvergleichen und sind von Gedächtnis und Wahrnehmung abhängig. Zum anderen gibt es hedonische Tests, welche die Verbraucherakzeptanz und Präferenz bewerten. Hedonische Tests beziehen sich auf die subjektive Wahrnehmung der Verbraucher und können von individuellen Unterschieden und sozialen Einflüssen geprägt sein (Busch-Stockfisch 2010). Zu den analytischen Prüfungen zählen unter anderem die beschreibenden oder deskriptiven sensorischen Prüfungen. Es sind objektive Verfahren, bei denen Testpersonen Produkte mit Attributen beschreiben und die Intensität in jedem Attribut an einer Skala beurteilen. Anhand der daraus entstandenen Produktprofilen werden Vergleiche von Produkten ermöglicht (Dendorfer 2016). Zu den deskriptiven Prüfmethoden gehört die Konsensprofilierung, auf die an dieser Stelle weiter eingegangen wird. In einem ersten Schritt erfolgt beim Konsensprofil eine Sammlung von Begriffen. Im zweiten Schritt bewerten Prüfpersonen Intensitäten zuerst einzeln und führen anschliessend Diskussionen über deren Merkmale und/oder Intensitäten, um eine gemeinsame Beschreibung des betreffenden Prüfmaterials zu erarbeiten. Ein Konsens erfordert, dass die Gruppe zu einer Einigung gelangt, anstatt einfach einen Durchschnitt aus den Daten zu bilden.

Bei Konsensverfahren ist es notwendig, das Panel umfassend zu schulen, um die Merkmale zu identifizieren und fundierte Entscheidungen über die Eigenschaften und Intensitäten der getesteten Prüfmaterialien zu treffen (DIN EN ISO 13299). Für das Konsensprofil werden 4 bis 6 geschulte Prüfpersonen eingesetzt.

Einflüsse auf die sensorische Wahrnehmung

Die Einflüsse auf die Qualität von Karotten wurden in Kapitel 2.2.3 Einflussfaktoren auf chemische, physikalische und sensorische Qualitätsparameter bei Karotten bereits abgehandelt. In diesem Abschnitt soll nun auf mögliche Kontexteffekte eingegangen werden, also auf externe Einflüsse, die das Prüfergebnis während der sensorischen Analyse beeinflussen können. Das Ziel ist die

Sicherstellung, dass die Bewertung durch die Testpersonen möglichst unbeeinflusst von äusseren Einflüssen erfolgt. Folgende Punkte sind deshalb wichtig (Manthey-Karl 2010; Hanrieder 2012):

- Die Unterschiede innerhalb eines Prüfmusters müssen gering bzw. vergleichbar sein, damit sie einheitlich wirken. Alle Karottenstücke sollten deshalb einen gleich grossen Durchmesser haben.
- Das Aussehen eines Lebensmittels kann Einfluss auf die Intensitätswahrnehmung anderer sensorischen Eigenschaften wie beispielsweise Aroma oder Süsse haben. Intensiv farbige Karottenstücke könnten dadurch aromatischer beziehungsweise süsser bewertet werden als solche mit einer weniger intensiven Farbe.
- Texturunterschiede bei Naturprodukten wie Karotten können das Resultat von Geschmack oder Aroma beeinflussen. Die Proben können in solchen Fällen geraspelt, gerieben oder in Form von Saft beurteilt werden.
- Bei kleineren Produkten sind ausreichende Mengen anzubieten, damit Ausreisser erkannt werden und Rückverkostungen möglich sind.
- Um Temperatureinflüsse zu vermeiden, müssen alle zu verkostenden Proben die gleiche Temperatur aufweisen. Die Karotten sollen bei der Verkostung Zimmertemperatur haben.
- Getestet wird im Prüflabor, damit keine Ablenkung durch Geräusche, Licht, Fremdgerüche oder andere Personen entsteht. Die Testperson kann sich somit nur auf die Probe konzentrieren.
- Die Darreichung sollte in neutralen Behältnissen erfolgen. Alle Gefässe müssen in Farbe und Form identisch sein, um sicherzustellen, dass dem Prüfer keine vermeintlichen Unterschiede durch unterschiedliches Geschirr vorgespielt werden. Alle Materialien, die mit den Proben in Kontakt kommen, müssen geruchlich, geschmacklich und farblich neutral sein, um jegliche Beeinflussung auszuschliessen.
- Die Proben werden mit einem drei- bis fünfstelligen Code aus Zahlen oder Buchstaben versehen. Dieser ist lediglich der leitenden Person der sensorischen Prüfung bekannt.
- Die Ordnung der Proben bei sequentiell monadischen Tests folgt üblicherweise einer Randomisation, d.h. einer zufälligen Anordnung der Proben.

2.3.3 Vergleichsstudien von regenerativen, biologischen und konventionellen Lebensmitteln

Der Qualitätsvergleich von biologischen und konventionellen Lebensmitteln wurde bereits in zahlreichen Studien und seit einigen Jahren gut untersucht. Vergleichsstudien zwischen biologischen und regenerativen Lebensmitteln fehlen jedoch weitgehend. Im Folgenden werden die Resultate aus unterschiedlichen Studien zusammengefasst.

Vergleich von Inhaltsstoffen

Eine aktuelle Publikation vom Forschungsinstitut für biologische Landwirtschaft fasst bisherige Literaturstudien und Metaanalysen zusammen und kommt dabei zum Schluss, dass sich biologische Lebensmittel von konventionellen unterscheiden und beim direkten Vergleich meistens besser abschneiden. Biologische Produkte weisen in den Studien einen höheren Gehalt an sekundären Pflanzenstoffen auf. Auch bei Inhaltsstoffen, welche die Qualität mindern, wie Nitrat, Pestizidrückstände und Schwermetalle, erzielen Biolebensmittel durchgängig überlegene Ergebnisse. Die Ergebnisse zu Vitamingehalten waren jedoch in verschiedenen Studien sehr widersprüchlich (Kretzschmar et al. 2021). Gemäss Rembialkowska (2007) weisen biologisch angebaute Kulturen im Allgemeinen niedrigere Gehalte an Nitraten, Nitriten und Pestizidrückständen auf, verfügen jedoch in der Regel über höhere Trockenmasse, Vitamin C, Phenolverbindungen, essenzielle Aminosäuren und Gesamtzucker im Vergleich zu konventionellen Kulturen. Zudem zeigen biologische Kulturen statistisch gesehen höhere Mineralstoffgehalte und zeichnen sich üblicherweise durch verbesserte sensorische Eigenschaften sowie eine längere Lagerfähigkeit aus.

In der Rezension von Seliasen et al. (2012) zeigten Lebensmittel aus biologischem gegenüber konventionellem Anbau einen höheren Gehalt an Mineralstoffen wie Magnesium und Eisen, sowie einen tieferen Nitrit Gehalt und einen leicht verringerten Vitamin-C-Gehalt. Eine reduzierte Stickstoffdüngung bei Karotten, die Teil des biologischen Anbaukonzepts ist, kann zu einer Erhöhung des Terpenegehalts, Magnesiumgehalts und der Trockenmasse führen, während der Nitratgehalt und der Beta- Carotin-Gehalt abnehmen.

Die Untersuchung (Mditshwa et al. 2017) verdeutlicht, dass die physikalisch-chemischen und ernährungsphysiologischen Merkmale, insbesondere der Gehalt an Vitaminen, Phenolen und Antioxidantien, bei biologisch angebauten Früchten höher ausfallen als bei Konventionellen.

In der Literaturübersicht von Velimirov (2003) wurden verschiedene Studien zu Karotten zitiert. In biologischen Anbausystemen konnten um 12 % höhere Beta-Carotin-Gehalte nachgewiesen werden. Beim Vitamin-C-Gehalt erwähnte sie eine Studie, wo biologische Karotten höhere Werte anzeigten und eine Studie wo keine Unterschiede festgestellt wurden. Klarer war es beim Nitratgehalt, wo biologische Karotten einen drei- bis vierfach geringeren Nitratgehalt aufwiesen. Der Trockensubstanzgehalt war bei Bio-Karotten zudem deutlich höher.

In der Studie von Montgomery et al. (2022) führten regenerative Anbaumethoden wie Direktsaat, Bodenbedeckung und eine vielfältige Fruchtfolge in verschiedenen Lebensmitteln zu einem höherem Gehalt an sekundären Pflanzenstoffen, Vitaminen und Mineralien im Vergleich zu konventionellen Betrieben. Verglichen wurden Betriebe aus regenerativer, biologischer und konventioneller Bewirtschaftung, welche jeweils nebeneinander lagen. Der Gehalt an sekundären Pflanzenstoffen variierte von Betrieb zu Betrieb, denn vor allem die Gesundheit des Bodens schien den Gehalt in den Nutzpflanzen zu beeinflussen.

Sensorische Vergleiche

Bereits in den 1990er wurden viele Vergleichsstudien zur sensorischen Qualität zwischen biologischen und konventionellen Ernteprodukten durchgeführt. In der Literaturstudie von (Velimirov 2003) erhielten Proben mit organischer Düngung in Verkostungstests im Allgemeinen bessere Bewertungen, insbesondere wenn die Art und Menge der Düngung untersucht wurde. Bei Karotten führte eine Intensivierung der mineralischen Düngung zu einem weniger aromatischen und eintönigeren Geschmack und Geruch. Aufgrund dessen bevorzugten die Probanden im Verkostungstest in der Regel Produkte, die moderat gedüngt wurden. In der Literaturübersicht von Beck et al. (2012) wurden verschiedene sensorische Qualitätsuntersuchungen mit unterschiedlichen Lebensmitteln wie Äpfel, Tomaten, Kartoffeln, Karotten und Erdbeeren zusammengefasst. Während in einigen Untersuchungen signifikante Unterschiede in Geschmack, Geruch, Textur und Aussehen festgestellt wurden, waren in anderen keine Unterschiede nachweisbar. In der Studie Wrzodak et al. (2012) wiesen frische und gelagerte Karotten aus biologischem Anbau bei den Geschmacks- und Geruchsmerkmalen höhere Werte auf als die Wurzeln aus konventionellem Anbau. Mditshwa et al. (2017) hingegen zeigt auf, dass das Produktionssystem kaum Auswirkungen auf die sensorische Qualität hat. Der von den Verbrauchern wahrgenommene bessere Geschmack von Bioprodukten resultiert bei ihren Untersuchungen lediglich aus dem "Halo-Effekt" des Bio-Siegels. Das Pestizidverbot im biologischen Anbau verringert das Risiko von Pestizidrückständen, erhöht jedoch das Schädlingsrisiko. Neben Ertragseinbussen und Produktschäden können Schädlinge die sensorische Qualität beeinträchtigen, indem sie den Gehalt an den Bitterstoffen erhöhen, den Bittergeschmack verstärken sowie den Süßgeschmack und den Zuckergehalt verringern (Seljasen et al. 2012).

Herausforderung

Die wissenschaftliche Bewertung der Qualität von Lebensmitteln wird von verschiedenen Autoren kritisch betrachtet, denn die Produktqualität hängt nicht nur von der Art des Lebensmittels und dem Produktionsprozess ab, sondern wird auch von Faktoren wie der Anbausorte, den Wetterbedingungen und der Bodenqualität beeinflusst. Meist wirkt sich die Anbauweise geringer auf die Qualität aus als andere Faktoren (Stracke et al. 2010). Zudem wurden in den Originalstudien häufig nur Stichproben von Vitaminen, Mineralien und sekundären Pflanzeninhaltsstoffen untersucht (Kretzschmar et al. 2021). Biologische Systeme sind komplex und brauchen mehr als einzelne Faktoren zur Beurteilung. In vernetzten Systemen beeinflusst jede Veränderung die Gesamtsituation. Aus versuchstechnischer Sicht ist sowohl die Auswahl vergleichbarer Testprodukte als auch das Hintergrundzenarios schwierig. Der Qualitätsbegriffs ist also sehr vielschichtig. Eine kritische

Einstellung zu den Ergebnissen aller Vergleichsuntersuchungen ist deshalb sehr wichtig (Velimirov 2003).

3. Material & Methoden

Um die Zielsetzungen zu erreichen, wurden 8 Karottenproben mit verschiedenen Herkünften anhand von chemischen Analysen, einer physikalischen und einer sensorischen Analyse untersucht. Die nachfolgend beschriebenen Methoden wurden dazu angewandt. Zur Übersicht der Vorgehensweise befindet sich im Anhangsverzeichnis unter Anhang 5 ein Versuchsplan.

3.1 Hintergrund zum Versuch

In der Tabelle 5 sind detaillierte Angaben zu den 8 Proben mit Sorte, Anbaumethode und weiteren Informationen beschrieben. Die für die Messungen verwendeten Karotten stammen aus verschiedenen Standorten und Anbaumethoden. Dabei handelt es sich um Karotten aus drei regenerativen Betrieben sowie vier biologischen und einem konventionellen Betrieb.

Tabelle 5: Probenbeschreibung mit Probennamen, Sorte, Betrieb, Anbaumethode und weiteren Informationen.

Name	Sorte/ Ernte	Betrieb	Anbau- methode	Standort (Kanton)	Bodenart/ Humus	Fruchtfolge
Stucki_N (Ernte Nov.)	Bolero November 22	Stuckis Hofprodukte	Regenerativ seit 3 Jahren	Oberwil Dägerlen (ZH)	Lehm/ 2.71 schwach Humos	Im Besten Fall 7-8J., mind. 5J. Hafer (mind. Getreide)
Stucki_M (Ernte Mär.)	Bolero März 23	Stuckis Hofprodukte	Regenerativ seit 3 Jahren	Oberwil Dägerlen (ZH)	Lehm/2.71 schwach Humos	Im Besten Fall 7-8J., mind. 5J. Hafer (mind. Getreide)
Slow Grow	unbekannt	Hoflabor Slow Grow	Regenerativ seit 10 Jahren	Mönchaltorf (ZH)	Unbekannt	unbekannt
Bio Hahn	Bolero Oktober 22	Rathgeb Bio	Biologisch	Siegershausen (TG)	Lehm/ schwach Humos	4J., vorher Futterweizen dann Kunstwiese
Bio R. Rathgeb	Bolero Oktober 22	Rathgeb Bio	Biologisch	Unterstam- mheim (ZH)	Lehm/ 2-5 schwach Humos	4J., vorher Kunstwiese
Hasenfratz	Bolero August 22	Rathgeb Bio	Biologisch	Uesslingen/ Stuude (TG)	Sandiger Lehm/ humusarm	Vorfrucht Wintergerste/ Eiweisserbse
Bio R. Schiess	Bolero Oktober 22	Rathgeb Bio	Biologisch	Homburg (TG)	Lehm/ 2-5 schwach Humos	unbekannt
Konventionell	unbekannt	Huber Gemüse	Konventionell	Sünikon (ZH) aus Grossverteiler	unbekannt	unbekannt

3.1.1 Lagerung

Bevor die Karotten im Kühllager der ZHAW eingelagert wurden, unterschieden sich die Lagerbedingungen der verschiedenen Karottenherkünften. Die biologischen Karotten von Rathgeb hatten bessere Lagerkonditionen als die regenerativen Karotten von Stucki. Diejenigen von Slow Grow wurden in einem herkömmlichen Kühler gelagert. Die konventionellen Proben wurden nach der Ernte bei optimalen Lagerkonditionen aufbewahrt, befanden sich danach aber bereits im Grossverteiler für den Verkauf.

Im Kühllager der ZHAW wurden von jeder Probe ungefähr zwei kg Karotten in ungelochten Plastikfolien in Plastikboxen entweder ungewaschen oder gewaschen eingelagert. Die Temperatur im Kühllager betrug 2°C mit einer relativen Luftfeuchte von 80 %. Die Karotten wurden während einer Lagerdauer von 120 Tagen im Zeitraum Februar bis Juni 2022 aufbewahrt. Nach Auslagerung erfolgte jeweils gleich die Bestimmung der zu untersuchenden Parameter.

3.1.2 Datenauswertung

Die Daten wurden einerseits statistisch, andererseits anhand von Mittel- oder Konsenswerten dargestellt.

- Chemische und Physikalische Analysen

Die Ergebnisse der einzelnen Proben wurden anhand von Tabellen (Vitamin-C- und Beta-Carotin-Gehalt) oder Boxplots (Brix-Werte, Trockensubstanzgehalt, Texturanalyse) abgebildet. Mittelwertvergleiche der Brix-Werte, dem Trockensubstanzgehalt und der Texturanalyse wurden anhand einer einfaktoriellen ANOVA berechnet. Zudem wurden mit einem Korrelationstest Zusammenhänge zwischen diesen drei Untersuchungen gesucht. Zur Berechnung wurde die Statistiksoftware R Studio eingesetzt.

- Sensorische Analyse

Die Endauswertung der sensorischen Analyse erfolgte durch ein Konsensgespräch. Das Panel diskutierte in der Gruppe ihre Einzelbewertungen und einigte sich auf ein gemeinsames Resultat. Die Ergebnisse aus der Gruppendiskussion wurden anhand von Säulendiagrammen dargestellt.

3.2 Chemische und physikalische Analysen

Im internen Labor der ZHAW wurde das vorhandene Vitamin C gemessen, in einem externen Labor der Anteil an Beta-Carotin. Der Brix- und Trockensubstanzgehalt wurden in einem Aussenraum der ZHAW gemessen.

3.2.1 Vitamin C

Für die Analyse von Vitamin-C-Gehalten empfiehlt es sich möglichst frische Proben zu verwenden, da es bei der Lagerung im Kühlschrank zu Verlusten kommen kann (Spínola et al. 2014). Während der Lagerung sind insbesondere Enzymaktivität, Unversehrtheit und Lagertemperatur entscheidend für die Erhaltung von Vitamin C in Obst und Gemüse. Zum Beispiel sind empfindliche Sorten mit weicher Konsistenz, wie Erdbeeren oder Himbeeren, anfälliger für Qualitätsverluste (Davey et al. 2000).

Damit bei der Analyse genaue Messwerte erzielt werden, spielen bei der Extraktion von Vitamin C zudem weitere Faktoren eine zentrale Rolle. L-Ascorbinsäure bleibt in trockener, kristalliner Form stabil. In gelöster Form kann sie jedoch unter bestimmten Bedingungen, wie Schwankungen im pH-Wert, Temperatur, Lichteinwirkung oder in Gegenwart von Kupfer- oder Eisenionen, potenziell schnell oxidieren (Davey et al. 2000). Unmittelbar nach der Probenentnahme ist es deshalb von Bedeutung, ein saures und stabilisierendes Umfeld zu schaffen. Eine häufig verwendete Extraktionslösung zur Stabilisierung von Vitamin C besteht aus meta-Phosphorsäure. Diese Lösung unterdrückt die Enzymaktivität, verhindert die durch Metalle katalysierte Oxidation und bewirkt die Ausfällung von Proteinen zur Erzielung eines klaren Extrakts (Spínola et al. 2014). Neben der Auswahl des Extraktionsmittels spielt auch die Vorbereitung der Proben eine entscheidende Rolle, um Vitaminverluste zu vermeiden. Denn eine Verarbeitung von Lebensmitteln bringt natürlicherweise mindestens einen geringen Vitaminverlust mit sich (Scheuringer 2019). Karottenstücke sollten deshalb in etwa gleich grosse Teile geschnitten werden, da beim Zerkleinern Vitamin-C-Verluste auftreten können. Zudem ist die Homogenität der Probe sehr zentral, da die Gehaltaufteilung innerhalb eines Lebensmittels variieren kann (Munyaka et al. 2010). Um Verluste bei der Vorbereitung zu verhindern, kann durch eine kurze Hitzeschockbehandlung bei Temperaturen über 80 °C für 5 Minuten die enzymatische Aktivität der Ascorbat-Oxidase effektiv gehemmt werden. Dadurch wird die Oxidation von Ascorbinsäure weitgehend verhindert. Wenn die Ascorbat-Oxidase nicht inaktiviert wird, besteht die Gefahr einer deutlichen Verschiebung des Verhältnisses von Ascorbinsäure zu Dehydroascorbinsäure (Leong and Oey 2012), was sich in einem geringeren Vitamin-C-Resultat bei der Messung äussert, da nur die Ascorbinsäure gemessen wird.

Für die Bestimmung des Vitamin-C-Gehaltes wurde ein RQflex®-Gerät verwendet und die Bedienungsanleitung und Packungsbeilage des Reflectoquant® Ascorbic Acid Tests beachtet. In einem ersten Schritt wurde das Messgerät mit einer Standardlösung kontrolliert, wobei sich eine Abweichung von 5 mg/l ergab.

Die chemische Analyse der 8 Proben wurde folgenderweise durchgeführt:

1. Extraktionsmittel herstellen: In einem ersten Schritt wurde in einem 100 ml-Kolben in 20 ml dest. Wasser 3 % meta-Phosphorsäure (3 g) und 8 % Essigsäure (8 g) zugegeben und mit dest. Wasser auf 100 ml aufgefüllt.
2. Probenvorbereitung: Nicht essbare Anteile der Karotten wurden entfernt und die Proben anschliessend mit einem Messer in gleichmässige Scheiben von 2 cm geschnitten. Die zerkleinerten Karotten wurden kurz durchmischt und anschliessend wurde daraus eine Probe von 25 g entnommen.
3. Extraktion des Saftes: Die 25 g entnommene Probe wurde gravimetrisch auf 50 g mit dem sauren Extraktionsmittel (Schritt 1) aufgefüllt und eine Minute lang im Labormixer homogenisiert. Aus dem Homogenisat wurde 10 g Saft in 50 ml Falcons überführt, mit ca. 500 mg (0.5 g) Polyvinylpolypyrrolidon angereichert und für 10 min. bei 4'000 rpm zentrifugiert.
4. Messung mit Teststreifen: Reflektometertaste START drücken und gleichzeitig den Teststreifen für 2 Sekunden in die Probe (5 bis- 30 C) tauchen. Teststreifen in Messgerät einfügen und Messwert ablesen.
5. Messung der Trockensubstanz jeder Probe erfolgte mit einem SMART 6 Microwave + Infrared Moisture & Solids Analyzer. Dafür wurde der Rest der vorbereiteten Probe aus Punkt 2 mit einem Kutter zerkleinert und in der SMART 6 Maschine gewogen, getrocknet und wieder gewogen. Das Resultat wurde zur Berechnung des Messwerts auf Basis der Trockenmasse verwendet.
6. Messwert auf Trockenmasse berechnen: Analytischer Wert/ Trockenmasse x 100 = % auf Basis der Trockensubstanz.

Der Vitamin-C-Gehalt wurde anschliessend auf Trockenmassebasis berechnet. Dafür wird die gemessene Konzentration des Vitamin C durch das Trockengewicht der Probe geteilt und dann mit 100 multipliziert, um den Prozentsatz des Vitamin-C-Gehalts auf die Trockenmasse zu erhalten.

Die Formel lautet:

$$\text{Vitamin-C-Gehalt auf die Trockenmasse in \%} = \frac{\text{(Konzentration von Vitamin C (mg/100 g) / Trockengewicht der Probe (\%))} \times 100$$

Diese Berechnung ermöglicht einen besseren Vergleich zwischen Lebensmitteln unabhängig von ihrem Wassergehalt. Wenn der Wassergehalt eines Lebensmittels hoch ist, kann dies den Eindruck erwecken, dass es mehr Vitamin C enthält, als es tatsächlich auf trockener Basis enthält.

Unterschiede im Feuchtigkeitsgehalt zwischen Lebensmitteln werden also ausgeglichen, und die Angaben sind präziser und vergleichbarer. Laut Velimirov & Müller (2003) sind Inhaltsstoffangaben, welche auf den Trockensubstanzgehalt anstatt auf die Frischmasse bezogen sind, möglicherweise aber irreführend. Denn höhere Trockensubstanzgehalte sind ein wichtiges Charakteristikum biologisch angebaute Produkte und der Verdünnungseffekt bei höherem Wassergehalt in konventionellen Produkten wird dabei nicht beachtet. Aus diesem Grund seien Vergleiche auf Frischgewichtsbasis für den Konsumenten von grösserer Bedeutung, denn so kaufe er die Lebensmittel ein.

3.2.2 Beta-Carotin

Die Bestimmung des B-Carotin-Gehaltes erfolgte durch das externe Labor der Firma sqts (swiss quality testing service) in Dietikon. Die drei Proben «Regenerativ März», «Bio Hahn» und «Konventionell» wurden gekühlt ins Labor gebracht und von dort in ein Partnerlabor weitergesendet.

3.2.3 Brix-Wert

Der Brix-Wert wurde gemäss OECD-Schema für Obst und Gemüse (OECD 2018) mit einem digitalen Refraktometer gemessen. Gemäss Betriebsanleitung enthält das Gerät eine automatische Temperatur Kompensation, denn der Brechungskoeffizient ist temperaturabhängig. Das Vorgehen der Messung war:

1. Karotten vorbereiten: Ein 2 cm grosses Stück in der Mitte der Karotte wurde weggeschnitten. Die Scheibe wurden dann geraffelt und von der Umgebungsluft auf ungefähr 20° C erwärmt.
2. Saft gewinnen: Mittels Knoblauchpresse wurde Saft aus den geraffelten Karotten gewonnen und direkt auf das digitale Refraktometer geträufelt.
3. Wert entnehmen: Der Brix-Wert wurde abgelesen und notiert.

3.2.4 Trockensubstanz

Die Trockensubstanz wurde gemäss OECD-Schema für Obst und Gemüse durchgeführt (OECD 2018). Das Vorgehen war folgendermassen:

1. Ofen vorheizen: Trockenschrank auf 60 °C vorheizen.
2. Petrischale Wiegen: Petrischale (eine Schale je ausgewählte Frucht) wird gewogen und nummeriert und das Gewicht (A) notiert → Genauigkeit von mindestens 0,1 g.
3. Karottenscheiben vorbereiten: Die Karotte wird quer halbiert. Mit dem Messer wird eine Probe von 15 g Fruchtfleisch genommen. Die Probe wird durch Abschneiden dünner Scheiben des Fleisches (Dicke 2 bis 3 mm) rundherum von der Schnittfläche gewonnen. Die

Scheiben werden in Petrischalen gegeben und in kleinere Stücke geschnitten, um den Trocknungsprozess zu erleichtern.

4. Scheiben mit Schale wiegen: Gesamtgewicht der Probe + Petrischale (B) notieren.
5. Probe bei 60° C für ca. 5 h in den Ofen
Wenn das Gewicht konstant ist, dann ist das Material vollständig getrocknet.
6. Scheibe mit Schale wiegen: Gesamtgewicht der getrockneten Probe + Petrischale (C) notieren.
7. Berechnung: Trockensubstanz berechnen, indem das Gewicht des getrockneten Materials durch das Gewicht des frischen Materials geteilt und mit 100 multipliziert wird, um den Prozentsatz der Trockensubstanz zu erhalten.

3.2.5 Texturanalyse

Um vergleichbare Messergebnisse zu ermitteln, ist es bei der Anwendung der Texturanalyse wichtig, dass alle Karottenstücke einen einheitlichen Durchmesser haben (Winopal et al. 2015).

Die Texturanalyse wurde mit einem TA.XT Plus Texture Analyser durchgeführt (Abbildung 5). Die Messungen wurden an jeder Probevariante insgesamt sieben Mal durchgeführt. Jede Probe wurde mit einer Eindringkraft von 50 kg gemessen. Für die Analyse der Karotten wurde als Testvorrichtung eine Messerschneide («Knife Edge») ausgewählt.

1. Geräteeinstellung: Die Vorschubgeschwindigkeit betrug 2 mm/ s, der Vorschub wurde auf 10 mm festgesetzt. Die Eindringtiefe betrug 20 mm.
2. Karotten vorbereiten: Die Proben wurden gewaschen, geschält und aus der Karottenmitte wurde eine 1.5 cm dicke Scheibe quer zur Längsachse geschnitten. Aufgrund der konischen Form der Karotten waren nicht alle Scheiben einheitlich breit. Die Durchmesser der Stücke variierte zwischen 2 bis 3 cm.
3. Messung: Die Karottenscheiben wurde auf einer eingeschlitzten Schneidplatte so platziert, dass die herunterfahrende Klinge die Karotte in der Mitte durchschneidet.

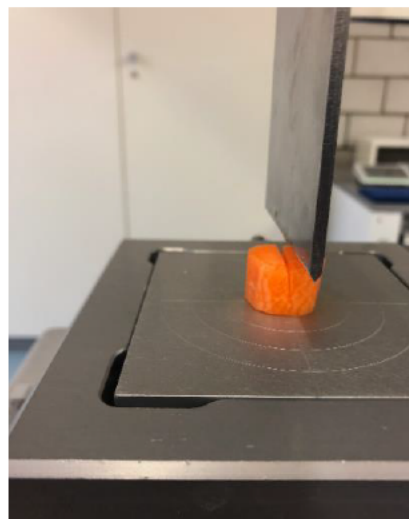


Abbildung 5: Texturmessung der Karotten. Links: Textur Analyser TA.XT Plus. Rechts: Karottenscheibe mit Durchmesser von 2 bis 3 cm und Schneidevorrichtung «Knife Edge».

3.3 Sensorische Analyse

Die sensorische Analyse wurde anhand des allgemeinen Leitfadens zur Erstellung eines sensorischen Profils gemäss Norm EN ISO 13299 durchgeführt. In diesem Kapitel wird die Methode der sensorischen Analyse anhand der Versuchsanordnung, Probenzubereitung und Durchführung genauer erläutert.

3.3.1 Versuchsanordnung

Für die sensorische Analyse wurden aus zeitlichen und finanziellen Gründen lediglich sechs der insgesamt acht Karottenproben untersucht. Sie sind in Tabelle 6 zur Übersicht aufgeführt. Drei Proben stammen aus regenerativer, zwei aus biologischer und eine aus konventioneller Landwirtschaft. Als Ziel galt es, sensorische Intensitätsunterschiede unter den verschiedenen Anbaumethoden festzustellen. Zur Überprüfung der Resultate wurden Doppelproben eingesetzt. Doppelproben tragen dazu bei, die Genauigkeit und Verlässlichkeit von sensorischen Tests zu verbessern und sicherzustellen, dass die gemessenen Unterschiede oder Wahrnehmungen nicht zufällig sind sondern tatsächlich auf die Eigenschaften des Probenmaterials zurückzuführen sind.

Tabelle 6: Auflistung der sechs Probemuster für die sensorische Profilierung.

Nummer	Name der Probe	Anbaumethode
1	Stucki 1	Regenerativ
2	Stucki 2	Regenerativ
3	Slow Grow	Regenerativ
4	Bio Schiess	Biologisch
5	Bio Hahn	Biologisch
6	Konventionell	Konventionell

3.3.2 Probenzubereitung

Die Karotten wurden für die sensorische Untersuchung roh und gedämpft zubereitet. Sie wurden gemäss der Quelle von Haglund et al. (1998) geschält und in 2 cm lange Stücke geschnitten.

- Roh: Die frischen Karotten wurden gewaschen, geschält und in 2 cm dicke Scheiben geschnitten, von denen jeweils drei Scheiben für die Verkostung auf einen Teller gelegt wurden.
- Gedämpft: Die frischen Karotten wurden gewaschen, geschält und in 2 cm dicke Scheiben geschnitten. Anschliessend wurden sie im Siebeinsatz mit ausreichend Platz gleichmässig 10

Minuten bei verschlossenem Topfdeckel gedämpft. Ausgekühlt wurden jeweils drei Scheiben für die Verkostung auf ein Teller gelegt.

3.3.3 Profilierung

Die Geschmacksuntersuchung der rohen und gedämpften Karotten wurden unter kontrollierten Bedingungen im Sensorik Labor der ZHAW in Wädenswil im April 2023 durchgeführt. Das Labor erfüllt die Anforderungen des ISO Standards und verfügt über zehn voneinander abgetrennte Kabinen (Abbildung 6), welche eine ungestörte Einzelverkostung ermöglichen. Zur Ermittlung der Intensitäten der einzelnen Attribute wurde das Konsensprofil eingesetzt. Das Prüfersteam bestand aus zwei Frauen und drei Männern im Alter von 20 bis 56 Jahren. Drei Prüfpersonen waren grundgeschulte Sensoriker:innen und zwei Prüfer waren sachkundige Personen. Die Prüfer:innen wurden in einem einmaligen Training auf die Attributenliste geschult, indem ausgewählte Referenzkarotten (Pfälzer, orange, hellgelbe, violette-orange), verschiedene Düfte wie Gewürznelken, Erde, frisches Gras, sowie Geschmacksproben für blumiges Flavour vorgängig getestet und analysiert wurden. Für die Einstufung der Karottenfarbe wurde eine Farbskala verwendet.

Die Attributliste wurde zu Beginn ähnlich wie jene aus den Studien Kreuzmann et al. (2007) und Wrzodak et al. (2012) zusammengestellt und anschliessend durch das Panel ergänzt, gekürzt und auf den Versuchszweck optimal angepasst. Die Prüfer einigten sich während eines Vorversuchs und dem Training gemeinsam auf eine Konsensliste von Attributen für die sensorische Profilierung und auf die Definition der einzelnen Attribute. Die verwendeten Prüfprotokolle und die Attributenliste zu den Merkmalen sind im Anhangsverzeichnis unter Anhang 4 abgelegt. Die 13 Attribute waren:

- Optik: Farbe Kern, Farbe aussen
- Flavour: Karottenaroma (blumig, fruchtig, würzig, erdig/muffig, süss, bitter)
- Konsistenz: Biss, Festigkeit, Mundgefühl (knackig, mürb, gummig, faserig), Saftigkeit

Die sensorische Profilierung war in drei Teile gegliedert (7):

Tabelle 7: Ablauf der sensorischen Profilierung mit Datum und Dauer.

Datum	Durchführung	Ablauf
17.04.2023 13:00 - 15:00	1. Teil: Training	1) Rangordnungsprobe von vier verschiedenen Karottentypen (Pfälzer, orange, violette-orange, hellgelbe Sorte) zur Erprobung der Intensitätswahrnehmung und Anwendung der Bewertungsskala. 2) Anhand von Referenzmaterialien wurden gemeinsam

		die Attributintensitäten gefestigt. 3) Trainingsversuch mit zwei Proben von grosser Variation (Bio Karotten aus dem Supermarkt und eine etwas ältere Probe von Slow Grow) getestet.
20.04.2023 13:00 - 15:00	2. Teil: Sensorische Profilierung	Drei sensorische Durchgänge mit den sechs gedämpften Karottenproben aus Tabelle 6.
24.04.2023 9:00 – 11:00	3. Teil: Sensorische Profilierung	Drei sensorische Durchgänge mit den sechs rohen Karottenproben aus Tabelle 6

Die Proben und Replikate wurden in einer zufälligen Reihenfolge serviert. Jeder Prüfer erhielt auf einem weissen Teller drei Scheiben rohe oder gedämpfte Karotten bei Raumtemperatur. Es wurden jeweils drei Proben auf separaten Tellern gleichzeitig gereicht, welche nacheinander zu testen waren. Alle Proben wurden mit drei zufälligen Ziffernummern versehen. Die Prüfer bewerteten die Proben in individueller Geschwindigkeit mittels Intensitätsskala, die von 0 (nicht wahrnehmbar) bis 6 (sehr intensiv) reichte.



Abbildung 6: Sensoriklabor der ZHAW in Wädenswil. Links: Prüfraum mit Einzelkabinen. Rechts: Runder Tisch für Konsensdiskussion.

4. Resultate

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse anhand von Tabellen und Grafiken zusammengefasst. Für einen Gesamtüberblick zu den Resultaten sind die Rohdaten mit allen Ergebnissen der Analysen im Anhangsverzeichnis unter Anhang 3 abgelegt.

4.1 Chemische und physikalische Analysen

4.1.1 Vitamin C

In der Tabelle 8 sind die jeweils drei erhobenen Laborwerte für den Vitamin-C-Gehalt der Proben zu sehen. Der höchste Durchschnittswert bei der Vitamin-C-Analyse erzielt die Probe «Bio Hahn», obwohl die Durchschnittswerte von allen Proben nahe beieinander liegen. Zum Teil streuen die Werte innerhalb der gleichen Karottenprobe stark. Bei der biologischen Variante «Rabenäcker Schiess», wurde mit 43 mg/1'000 ml und 25 mg/1'000 ml einmal der höchste und zweimal der tiefste Wert gemessen. Berechnet man die erhobenen Werte auf Basis der Trockensubstanz, fällt auf, dass die konventionellen Karotten deutlich mehr Vitamin C aufweisen als der Rest der Proben. Dies liegt am höheren Wassergehalt der konventionellen Proben. Die regenerative Probe «Stucki M» weist einen ähnlichen Trockensubstanzgehalt auf wie die konventionelle Probe und verfügt trotzdem über einen 25 % geringeren Vitamin-C-Gehalt. «Bio Hasenfratz» und «Stucki N» weisen im Vergleich zu den anderen Proben einen geringeren Vitamin-C-Gehalt auf Basis der Trockensubstanz auf.

Tabelle 8: Analysewerte des Vitamin-C-Gehaltes mit Berechnung auf Basis der Trockenmasse.

	Stucki N	Stucki M	Slow Grow	Bio Hahn	Bio Schiess	Bio Hasenfratz	Bio Rathgeb	Konventionell
1.Probe (mg/1000ml)	25	33	28	28	43	25	28	31
2.probe (mg/1000ml)	28	27	29	30	25	34	25	31
3.Probe (mg/1000ml)	26	26	33	38	25	26	31	32
Durchschnitt Laborwert (mg/1000ml)	26	29	30	32	31	28	28	31
Vitamin C in untersuchter Probemenge (mg/100g)	5.3	5.7	6.0	6.4	6.2	5.7	5.6	6.3
Trockensubstanz Wert in %	17.5	12.2	15.0	15.1	15.7	19.4	15.9	10.1
Vitamin C auf Basis der Trockensubstanz (mg/ 100% Trockensubstanz)	30.1	47.0	40.1	42.4	39.4	29.1	35.2	62.0

4.1.2 Beta-Carotin

Die regenerativ produzierten Karotten schneiden mit einem Wert von 4 mg/ 100 g an Beta-Carotin ab. Die biologische und konventionelle Variante weisen jeweils einen gleich hohen Wert von 3.3 mg/ 100g auf, wie in der Tabelle 9 ersichtlich. Alle drei Laborberichte sind im Anhangsverzeichnis unter Anhang 2 abgelegt.

Tabelle 9: Resultate der Laboranalysen des SQTs für Beta-Carotin.

Prüfmuster	Resultat/ Einheit
Regenerativ März	4.0 mg/ 100 g
Bio Han	3.3 mg/ 100 g
Konventionell	3.3 mg/ 100 g

4.1.3 Brix-Wert

Insgesamt liegen die Mediane der Brix-Werte der acht Karottenproben zwischen 6.4 bis 9.4 Brix Graden. Der höchste Median zeigen die Karotten «Bio Hasenfratz» mit 9.4 Öchslegraden, den tiefsten Wert die konventionelle Probe mit 6.4. Eine grafische Darstellung mit Boxplots zu den Resultaten der Brix-Werte ist in Abbildung 7 dargestellt. Darauf ist ersichtlich, dass sich die konventionelle Probe mit den tiefsten Brix-Werten signifikant von allen anderen Proben, ausser «Slow Grow» unterscheidet. Die regenerative Probe «Stucki_N» sowie die zwei Bio Varianten «Bio Rathgeb» und «Bio Hasenfratz» unterscheiden sich zudem mit einem signifikant höheren Brix-Wert von der regenerativen Probe «Slow Grow». Werte innerhalb einer Probe streuen insgesamt bei allen Proben stark. Die grössten Unterschiede innerhalb der gleichen Probe zeigten die Karotten von «Bio Hasenfratz» mit Ergebnissen von 6.4 bis von 12.1 Brix Graden.

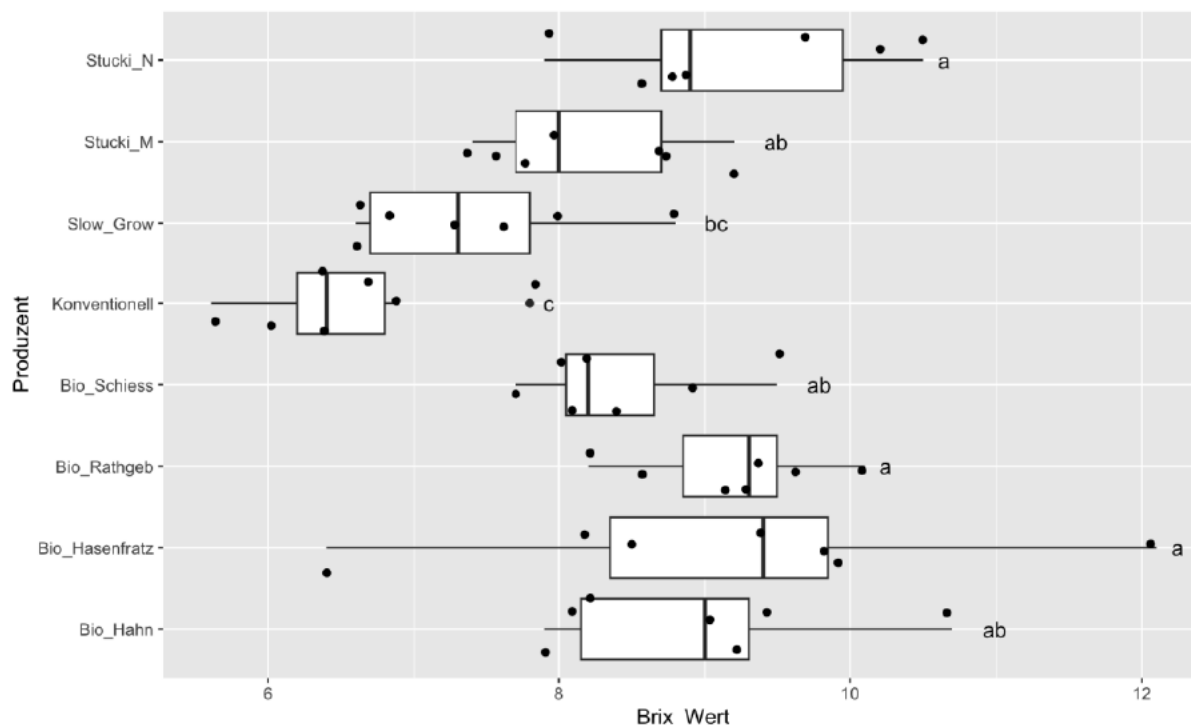


Abbildung 7: Boxplots zu den Resultaten der Brix-Werte mit Auswertung zur Signifikants.

4.1.4 Trockensubstanz

Die Mediane der Trockensubstanz variieren zwischen 12.2 % und 8.9 %. Den höchsten Durchschnittswert erzielen die Karotten «Bio Hasenfratz» und «Stucki N» mit jeweils 12.2 % Trockenmassenanteil. Die konventionellen Karotten weisen im Vergleich zu allen anderen einen auffallend niedrigeren Median auf mit 8.9 %. Bei der Auswertung mit der einfaktoriellen ANOVA ergeben sich keine signifikante Unterschiede zwischen den acht Proben (Abbildung 8). Die konventionellen Varianten unterscheiden sich jedoch mit einem p-Wert von 0.059 stark von «Bio Hasenfratz», «Bio Rathgeb», «Bio Schiess» und «Stucki N». Bei der Auswertung mit dem Post-Hoc-Test von Dwass, Steel, and Critchlow-Fligner ergeben sich hingegen signifikante Unterschiede zwischen der konventionellen Probe und allen anderen, ausser «Slow Grow».

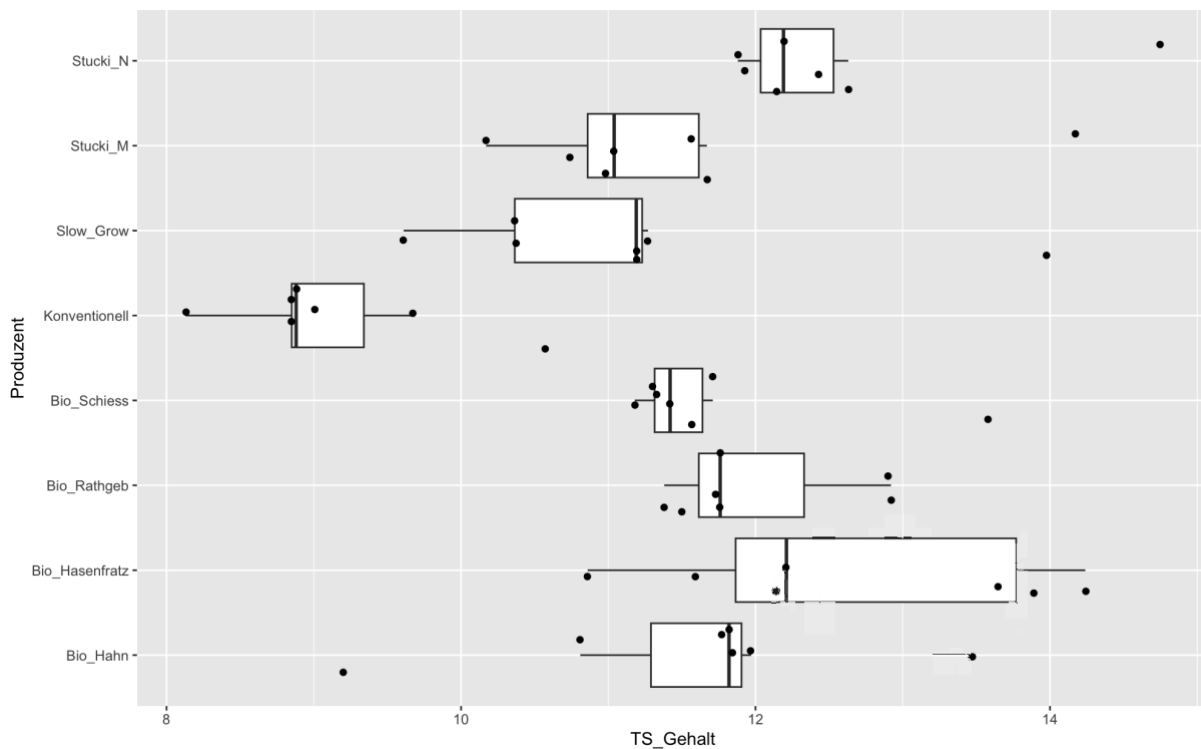


Abbildung 8: Broxplot zu den Resultaten der Trockensubstanzgehalte in Prozent.

4.1.5 Texturanalyse

Abbildung 9 zeigt den Kraftaufwand des Textur Analysers in kg, um die Karottenscheiben auf 20 mm einzuschneiden. Für die Proben «Konventionell» und «Hasenfratz» liegen die Medianwerte mit 6.19 und 7.06 kg signifikant tiefer als die Werte für die Probe «Bio Rathgeb», welche den höchsten Median mit 9.52 kg aufweisen. Bei den drei regenerativen Varianten fallen die grossen Streuungen innerhalb der Proben auf. Innerhalb der Biovarianten zeigen sich zudem grosse Unterschiede.

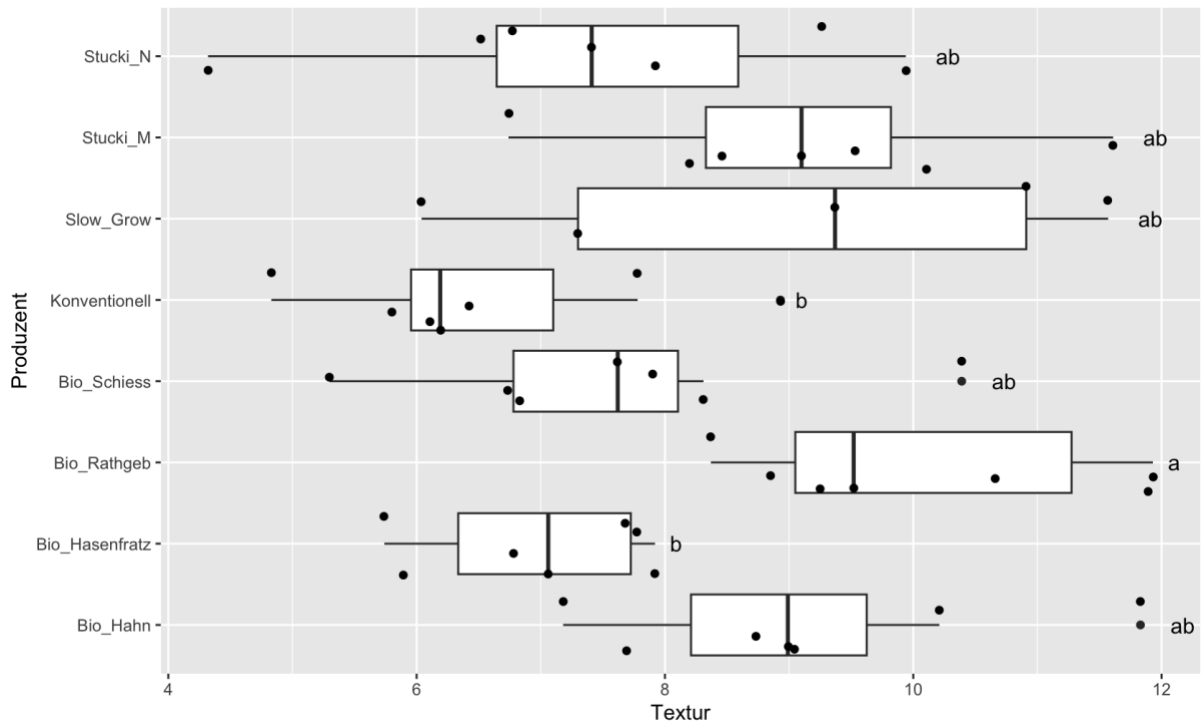


Abbildung 9: Boxplot der Resultate zur Texturanalyse (in kg Kraftaufwand) mit Auswertung zur Signifikants.

4.1.6 Korrelationen

In der Abbildung 10 sind die Korrelationen zwischen den Brix-Werten, der Trockensubstanz und der Texturanalyse abgebildet. Die Trockensubstanz und der Brix-Wert korrelierten mit einem Korrelationskoeffizient (r) von 0.48 schwach miteinander. Die Werte der Textur korrelierten hingegen weder mit den Brix-Werten mit 0.05 r noch mit jener der Trockensubstanz mit 0.18 r.

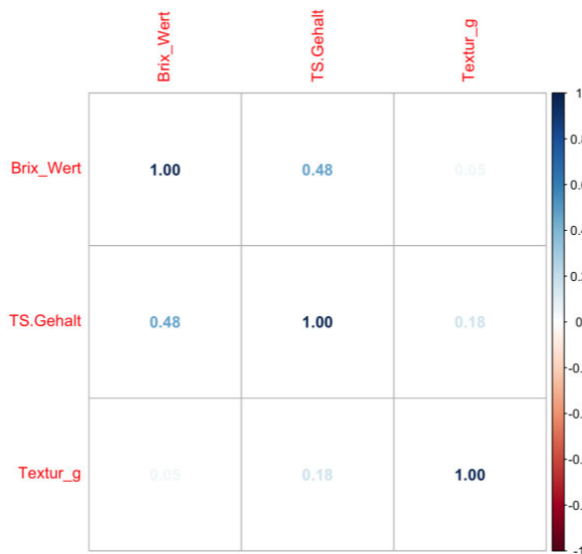


Abbildung 10: Korrelationsstärke zwischen den Brix-Werten, der Trockensubstanz und der Texturanalyse.

4.2 Sensorische Analysen

Die Einzelresultate der Testpersonen aus der sensorischen Analyse wurden im Panel diskutiert, woraus Konsenswerte erfolgten, welche im Anhangsverzeichnis unter Anhang 3 als Rohdaten abgelegt sind. Die Konsenswerte wurden für die Resultate anhand von Säulendiagrammen dargestellt. Da Doppelproben eingesetzt wurden, stammen bei den Resultaten jeweils zwei Proben vom gleichen Produzenten und sind in den Säulendiagrammen durch die gleiche Farbe gekennzeichnet. Bei den gedämpften Karotten war die Kontrollgruppe die konventionelle Probe, bei den Rohen war es die regenerative, im März geerntete Probe von Stucki. Die Prüfprotokolle und Attributenliste sind im Anhangsverzeichnis unter Anhang 4 zu finden.

4.2.1 Gedämpfte Karotten

Die Konsenswerte zu der Farbe der gedämpften Karotten sind in Abbildung 11 abzulesen. Bei der Variante «Regenerativ März» waren die farblichen Unterschiede innerhalb der Probe sehr gross, sodass sich das Panel auf keinen Konsenswert einigen konnte. Die Säule fehlt deshalb auf der Grafik. Allgemein variierten die Farben der einzelnen Stücke innerhalb der gleichen Probe teils sehr stark, sodass das Panel oft auf unterschiedliche Resultate kam. Für die Farbe des Kerns erhielten die Karotten verschiedene Intensitätsstufen. Am kräftigsten wurde das Orange des Kerns bei der Variante «Bio Schiess» wahrgenommen, gefolgt von «Slow Grow» und der Konventionellen Probe. Für die Aussenfarbe ergaben sich hingegen nur geringe Unterschiede zwischen den Proben. Die zwei biologischen Proben «Bio Schiess» und «Bio Hahn» wurden etwas dunkler bewertet. Auffallend ist, dass der Kern von «Bio Hahn» ein deutlich helleres Orange aufwies als die Aussenfarbe.

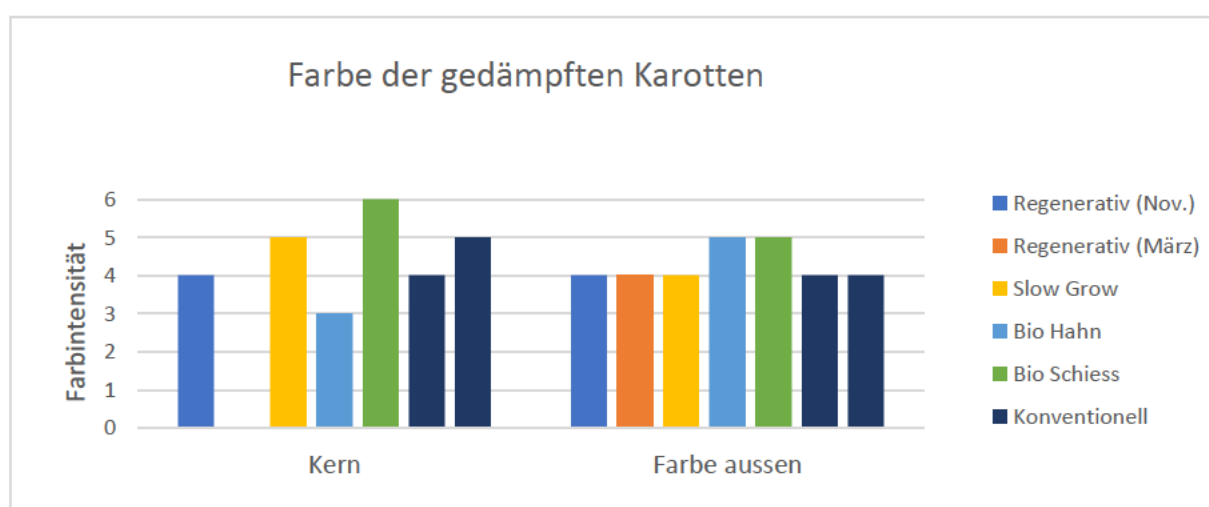


Abbildung 11: Säulendiagramm zu den sensorischen Analysen für die Farbe der gedämpften Karotten (6 = dunkelorange, 0 = hellorange). Säule Regenerativ (März) fehlt beim Kern, da die Streuung innerhalb der Probe sehr gross war und deshalb kein Konsens gefunden wurde.

Die Bewertungen für das Aroma, die Süsse und Bitterkeit der gedämpften Karotten sind auf Abbildung 12 dargestellt. Das Aroma der konventionellen Karotten erhielt mit drei Punkten die geringste Bewertung, jene von Bio Schiess mit fünf die höchste. Am süssesten wurden hingegen die Probe «Bio Hahn» und «Regenerativ März» wahrgenommen. Die Bitterkeit empfand das Panel bei der regenerativen Probe «Slow Grow» am ausgeprägtesten.

Das Aroma der Proben wurde bei den Proben «Slow Grow», «Konventionell» und «Bio Schiess» als grasig/grün wahrgenommen.

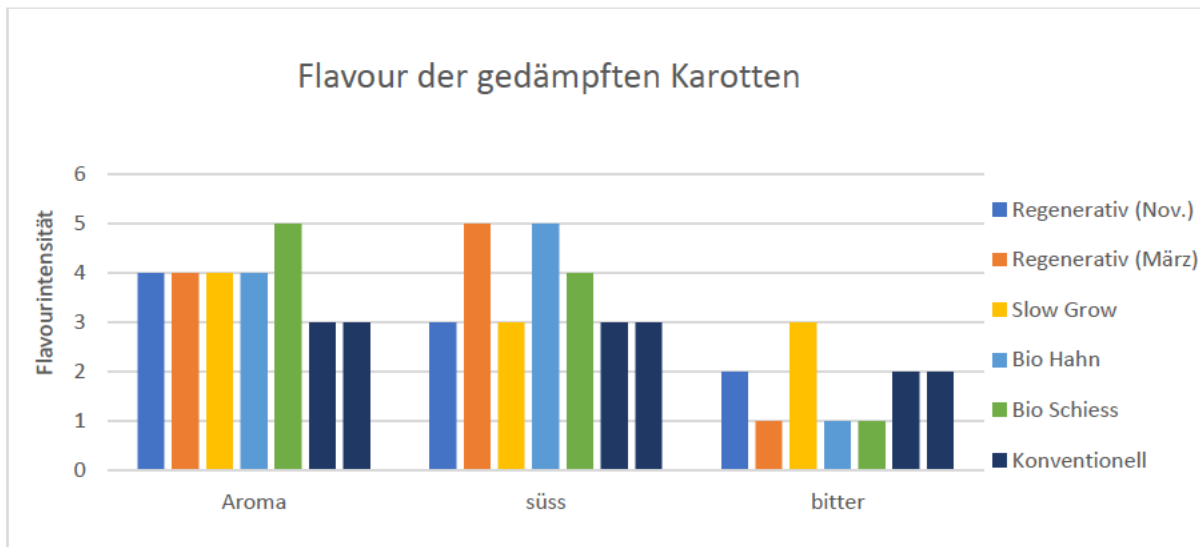


Abbildung 12: Säulendiagramm zu den sensorischen Analysen für das Flavour der gedämpften Karotten (6 = Merkmal sehr intensiv wahrnehmbar, 0 = nicht wahrnehmbar).

Für die Konsistenz wurde bei den gedämpften Karotten, wie auf Abbildung 13 dargestellt, der Biss und die Festigkeit bewertet. Oft wurden die Karotten bei beiden Merkmalen mit einer 4 eingeschätzt. Das Mundgefühl wurde für alle Proben, ausser «Regenerativ Nov», als «knackig» eingestuft.

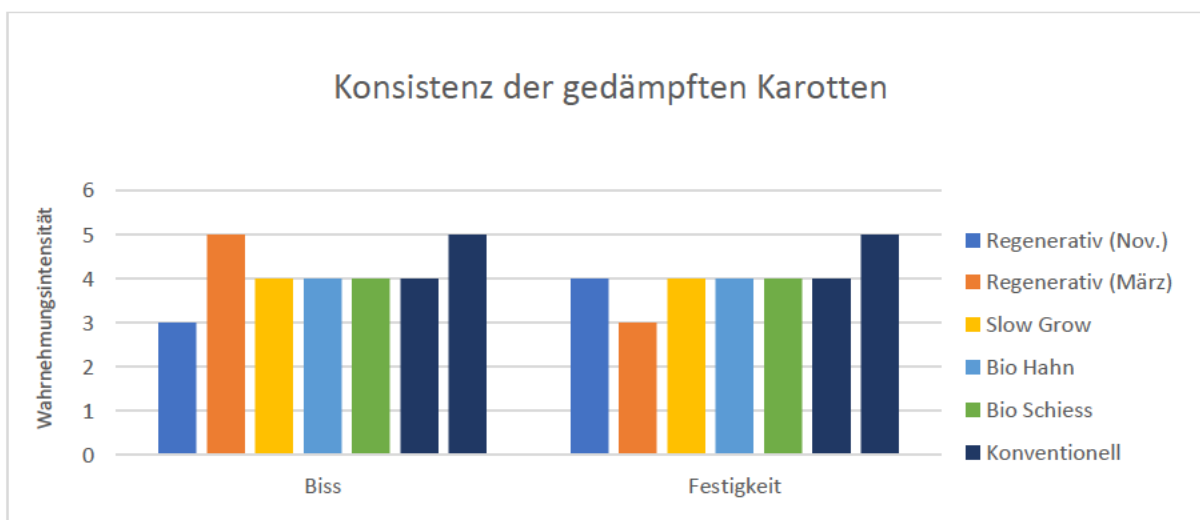


Abbildung 13: Säulendiagramm zu den sensorischen Analysen für die Konsistenz der gedämpften Karotten (6 = Merkmal sehr intensiv wahrnehmbar, 0 = nicht wahrnehmbar)

4.2.2 Rohe Karotten

Auf Abbildung 14 sind die Ausprägung der inneren und äusseren Karottenfarben abzulesen. Bei der Probe «Bio Schiess» wurde der Kern mit 6 Punkten am dunkelsten wahrgenommen. Die Probe «Konventionell» war auch relativ dunkel mit 5 Punkten. Die anderen vier Varianten wurden mit 4 Punkten gleich hell eingestuft. Die Farbe ausserhalb des Kerns war mit 3 Punkten bei der Probe «Konventionell», «Slow Grow» und «Bio Hahn» etwas heller als bei den anderen. Somit kann gesagt werden, dass der Kern bei allen Proben entweder dunkler oder eine gleiche Farbe aufwies, wie der äussere Teil, nicht aber heller war.

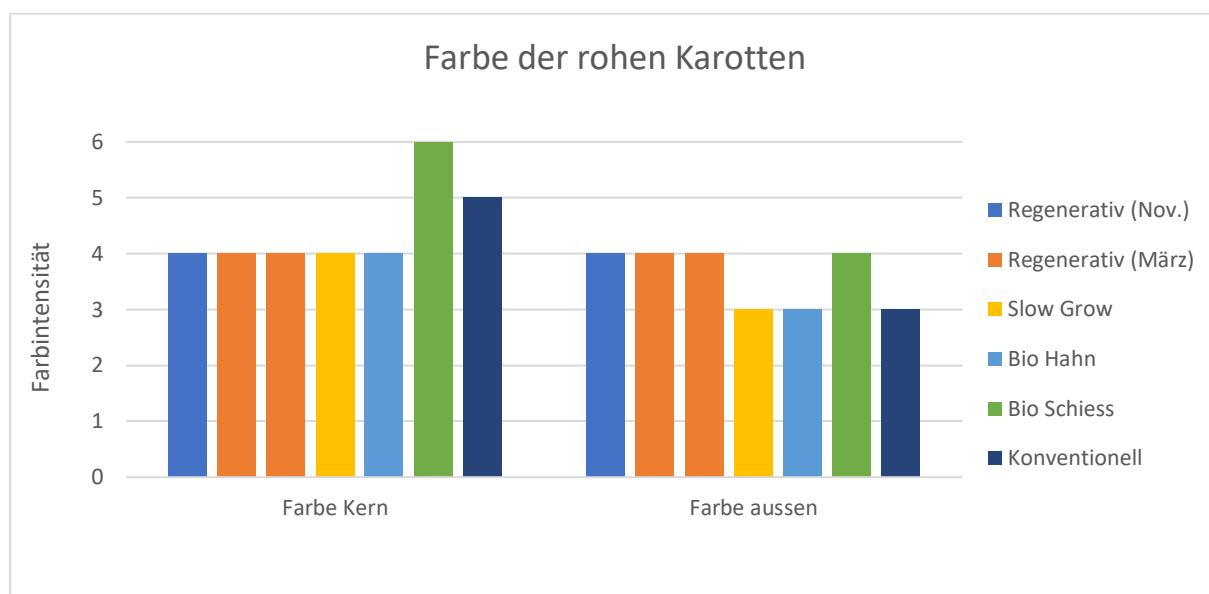


Abbildung 14: Säulendiagramm zu den sensorischen Analysen für die Farbe der rohen Karotten (6 = dunkelorange, 0 = hellorange).

Das Aroma der Proben «Bio Hahn», «Konventionell» und «Slow Grow» wurde vom Panel als grasig/grün empfunden. Wie in Abbildung 15 zu sehen ist, erlangt «Bio Schiess» mit einem blumig fruchtigen Aroma die stärkste Intensität mit 5 Punkten. Die zwei regenerativen Proben von Stucki mit einem Aroma von 4 Punkten weisen fruchtige und etwas grasige Noten auf. Die drei Proben mit dem kräftigeren Aroma erweisen sich interessanterweise auch als etwas süsser. Bei der Süsse fällt auf, dass «Slow Grow» und «Konventionell» tiefere Werte aufzeigen als die biologischen und die regenerativen Varianten von Stucki. Gleich wie bei den gedämpften Karotten wurde auch die rohe Variante «Slow Grow» als am bittersten bewertet, gefolgt von «Regenerativ Nov». Obschon die konventionelle Probe weniger Süsse wahrgenommen wurde, zeigte sie bei der Bitterkeit keine hohe Bewertung.

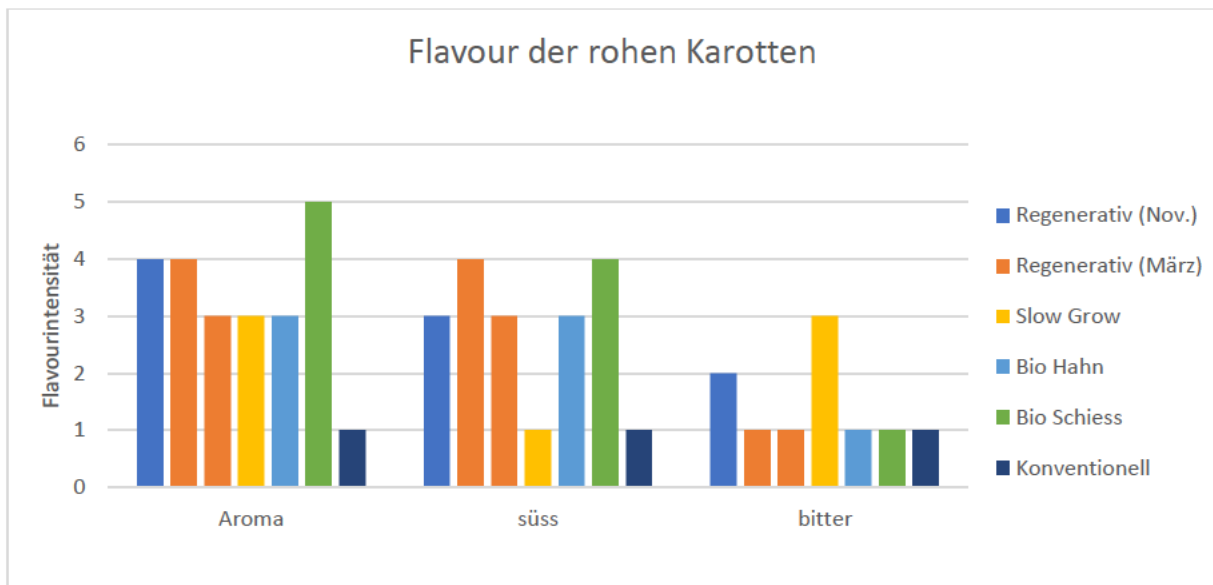


Abbildung 15: Säulendiagramm zu den sensorischen Analysen für das Flavour der rohen Karotten (6 = Merkmal sehr intensiv wahrnehmbar, 0 = nicht wahrnehmbar).

Die Intensität für die Konsistenz der rohen Karotten wird in Abbildung 16 dargestellt.

«Regenerativ Nov», «Bio Schiess» und «Bio Hahn» wurden als knackig eingestuft und erhielten beim Biss die höchste Punktzahl. «Slow Grow» und «Regenerativ März» wurden im Mundgefühl leicht faserig eingeordnet und «Konventionell» erhielt die Konsistenz knackig und mürb. Für die Festigkeit erhielten alle Proben eine gleiche Einstufung von 4 Punkten, mit Ausnahme der konventionellen Probe, welche 3 Punkte erhielt. «Konventionell» wurde hingegen mit 6 Punkten am saftigsten wahrgenommen.

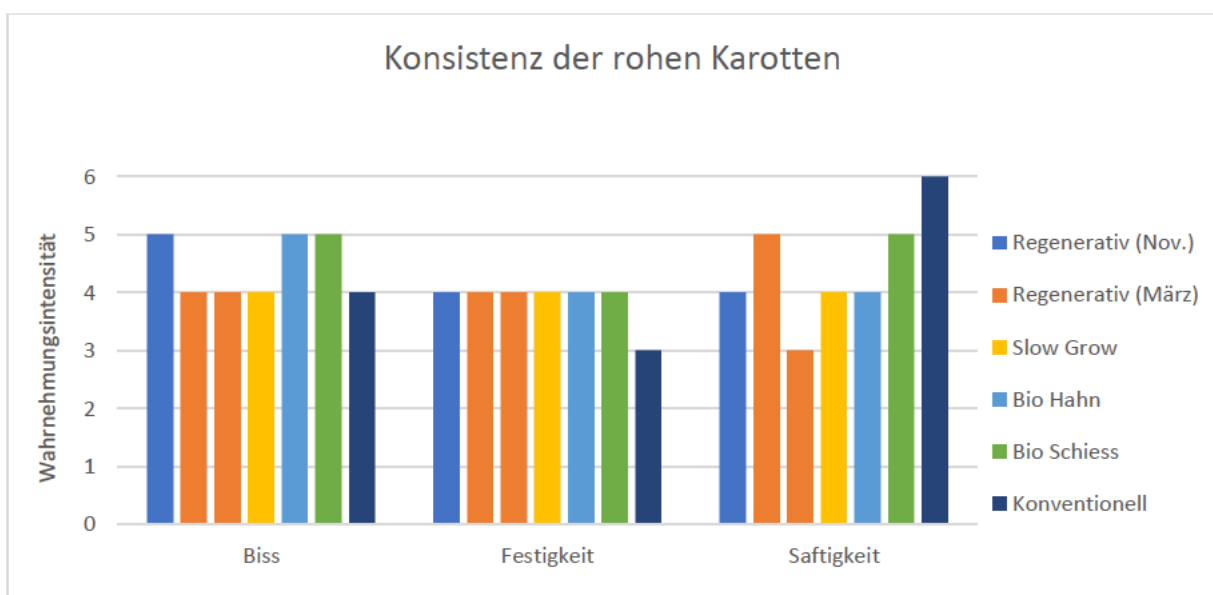


Abbildung 16: Säulendiagramm zu den sensorischen Analysen für die Konsistenz der rohen Karotten (6 = Merkmal sehr intensiv wahrnehmbar, 0 = nicht wahrnehmbar).

4.2.3 Texturanalyse und Konsistenz

Die Texturanalyse erlaubt nebst der sensorischen Analyse Rückschlüsse auf die Festigkeit und den Biss der Karotten, da das mechanische Instrument Beiss- und Kauprozesse imitiert. Die humansensorischen Ergebnisse können somit verglichen werden. Abbildung 17 zeigt die Mittelwerte der Ergebnisse der Texturanalyse. Der Textur Analyser wendete beim Durchschneiden der Scheiben am meisten Kraft für die Probe «Slow Grow» auf. Vergleicht man diese mit den Werten der Konsistenz der rohen Karotten in Abbildung 16, sind einzig beim Kraftaufwand um die Probe im Mund zu zerkleinern, gemeinsame Tendenzen zwischen den beiden Analysen zu sehen. Hier weist die konventionelle Probe mit 3 Punkten bei der Festigkeit und 6.58 kg bei der Texturanalyse jeweils die geringsten Werte auf.

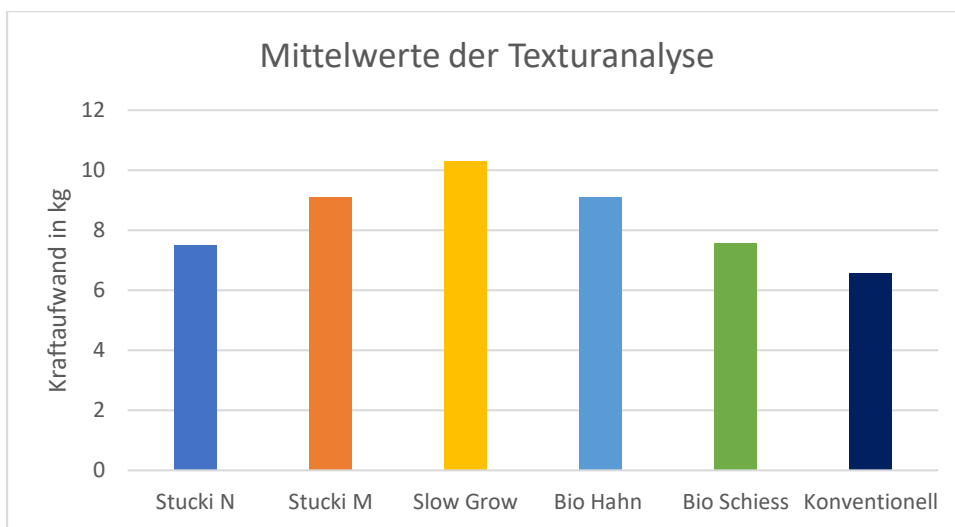


Abbildung 17: Mittelwerte des Kraftaufwandes in kg beim Durchschneiden der Karottenscheiben durch das Messer des Textur Analysers.

5. Diskussion

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Analysen zusammenfassend diskutiert. In einem weiteren Schritt werden Erklärungen der gefundenen Unterschiede aufgrund von verschiedenen Produktionsvorgängen aufgezeigt. Dabei werden Aspekte der Literaturrecherche in die Diskussion miteinbezogen. Auf die Diskussion von Ergebnissen wird verzichtet, wenn keine Literatur verfügbar ist.

5.1 Chemische und physikalische Analysen

5.1.1 Vitamin C

Alle acht Proben liegen unter dem mittleren Gehalt von 7 mg/ 100 g bei Karotten (Herrmann 2001) und weisen somit insgesamt eher tiefe Vitamin-C-Gehalte auf. Der Vitamin-C-Gehalt in Karotten kann bereits während der Lagerung abnehmen (Davey et al. 2000). Die verwendeten Proben wurden nach der Ernte bis zum Eintreffen im Kühlageraum der ZHAW unterschiedlichen Lagerbedingungen ausgesetzt. Dies könnte möglicherweise Auswirkungen auf die Ergebnisse gehabt haben. Zudem verflüchtigt der Inhaltsstoff bei der Verarbeitung sehr schnell (Scheuringer 2019), was das Ergebnis der Analyse möglicherweise verfälschen konnte. Obwohl die Proben, um Verluste zu verhindern (Spínola et al. 2014), unmittelbar nach der Verarbeitung in ein stabil saures Milieu gebracht wurden, könnte in der Zeit zwischen dem Schneiden und dem Ansäuern bei jeder Probe unterschiedlich viel Vitamin C verloren gegangen sein. Solch unerwünschte Verluste könnten durch eine kurze Hitzeschockbehandlung verhindert oder zumindest reduziert werden, da durch den Kochvorgang Enzyme inaktiviert werden (Munyaka et al. 2010; Leong and Oey 2012). Die Resultate der Vitamin-C-Analyse sind daher mit Vorbehalt zu betrachten. Die Konventionelle Probe weist in Bezug auf die Trockenmasse den höchsten Gehalt auf. Gemäss Velimirov & Müller (2003) kann der Bezug auf die Trockenmasse irreführend sein, da der Verdünnungseffekt durch den hohen Wassergehalt nicht miteinbezogen wird. Sinnvoller wäre hier eventuell der Bezug auf die Frischmasse, denn so kauft der Konsument die Lebensmittel ein. Die höheren Werte für die konventionelle Probe stimmen jedoch mit den Resultaten von Seliasen et al. (2012) überein, wo Lebensmittel aus biologischem gegenüber konventionellem Anbau einen leicht verringerten Vitamin-C-Gehalt aufwiesen.

5.1.2 Beta-Carotin

Der Beta-Carotin-Gehalt der regenerativen Probe ist mit 4 mg/ 100g etwas höher als jener der biologischen und konventionellen Probe mit 3.3 mg/ 100g. Dies bestätigt die Ergebnisse der Studie

Montgomery et al. (2022), in der die regenerativen Proben im Vergleich zu den Konventionellen ebenfalls einen höheren Beta-Carotin-Gehalt aufweisen. Von der Sorte abgesehen, stimmen die Ergebnisse mit jenen von Künsch et al. (2003) überein, welche keinen signifikanten Unterschied im Beta-Carotin-Gehalt zwischen Konventionellen und Biobetrieben feststellten. Der Vergleich zwischen der biologischen und der regenerativen Probe ist in dieser Arbeit jedoch aussagekräftiger, weil beide Karottenproben der Sorte Bolero entstammen und die Sorten einen erheblichen Einfluss auf den Beta-Carotin-Gehalt haben können (Künsch et al. 2003; Maiani et al. 2009). Weiter ist auffällig, dass alle drei Messwerte mit 3.3 – 4 mg/ 100g unter dem Normwert von 9 mg/ 100g lagen, was darauf hinweist, dass vor der Messung bereits Verluste auftraten. Obschon sich gemäss Künsch et al. (2003) während einer 6 monatigen Lagerung bei Temperaturen von 0 - 0.5°C und 92 % relativer Luftfeuchtigkeit der Carotin Gehalt nicht bedeutsam verändert.

5.1.3 Brix-Werte

Für den Brix-Wert können zwischen den biologischen und den regenerativen Karotten von Stucki keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden. Zwischen den biologischen und den regenerativ kultivierten Karotten lassen sich jedoch signifikante Unterschiede gegenüber den Proben «Konventionell» und «Slow Grow» feststellen. Die Frage, welchen Einfluss die Lagerung vor dem Eintreffen bei uns auf den Brix-Wert hatte, bleibt offen. Gemäss Höhn et al. (2003) hat die Lagerung aber wenig bis keinen Einfluss auf den Brix-Wert. Dies deutet darauf hin, dass der Zuckergehalt nicht direkt durch das Anbausystem beeinflusst wird und die regenerativen Praktiken keinen grossen Einfluss auf den Brix-Wert haben. Bei den Untersuchungen von Höhn et al (2001), wies die Sorte Bolero den höchsten Brix-Wert auf. Die Resultate stimmen somit mit der Aussage von Höhn et al. (2001) überein, die Proben der Sorte Bolero weisen bei den Untersuchungen einen höheren Brix-Wert auf. Insgesamt liegen die Mediane der Brix-Werte der acht Karottenproben zwischen 6.4 bis 9.4° Brix. Gemäss den Verkaufsvorgaben sollte der Brix-Wert für Karotten mindestens 7.5 betragen (Höhn et al. 2001). Somit liegt die Probe «Konventionell» mit einem Median von 6.4 unter dem vorgeschriebenen Verkaufswert. Gemäss Hörner (2020) und Näser (2021) liegt der Wert 6 noch im Durchschnitt, Werte bis 12 sind gut. Das höchste Ergebnis erreicht eine Karotte von «Hasenfratz» mit 12.1 Brix Graden. Alle Untersuchungswerte befinden sich somit zwischen Durchschnitt und Gut.

5.1.4 Texturanalyse

Die Texturanalyse wurde nebst der Sensorik als Zweittest für den Biss durchgeführt. Bei der sensorischen Verkostung biss das Panel die Karottenscheiben von aussen ab. Leider war es aufgrund der konischen Form der Karotten nicht möglich, den Messvorgang auch von der Aussenseite der Scheibe auszuführen, da die Probe oben flach sein muss. Aus diesem Grund ist ein direkter Vergleich

mit der sensorischen Bewertung des Bisses nicht möglich. Die Scheiben hatten ausserdem nicht alle genau den gleichen Durchmesser und variierten von 2.5 bis 3.5 cm. Gleich grosse Durchmesser wären jedoch für genaue Resultate wichtig gewesen. Die Analyseergebnisse werden dadurch beeinflusst und können somit verfälscht sein (Winopal et al. 2015). Aus diesen Gründen zeigen sich möglicherweise nur wenige Übereinstimmungen zwischen den Ergebnissen der Sensorik und der Texturanalyse. Lediglich die Werte der konventionellen Karotten stimmen mit den Resultaten beider Analysenmethoden überein. Dies könnte darauf zurückzuführen sein, dass die Scheiben der konventionellen Proben im Durchschnitt einen etwas kleineren Durchmesser aufweisen, als die der anderen Proben. Die Durchmesser der Probe «Stucki N» sind zwar ähnlich wie jene der Probe «Konventionell», weisen jedoch trotzdem eine festere Textur auf. Dies könnte die etwas niedrigeren Resultate bei der Texturanalyse für «Stucki N» erklären, die im Widerspruch zu den hohen Werten bei der Sensorik stehen.

5.1.5 Korrelationen

In einer Untersuchung von Wellinger et al. (2006) korrelierte die Trockensubstanz eng mit dem Brix-Wert von Karotten. Dies stimmt mit den Resultaten dieser Arbeit überein, obwohl die beiden Analysewerte nur schwach mit einer Korrelationsstärke von 0.48 miteinander korrelieren. Aus den Ergebnissen geht hervor, dass die biologischen und regenerativen Proben von Stucki insgesamt höhere Trockensubstanz- und Brix-Werte erreichten als jene der Proben «Konventionell» und «Slow Grow». Dass die Textur nicht mit den beiden Werten korreliert, könnte an den verschiedenen Durchmessern der Scheiben liegen. Wären alle Scheiben genau gleich gross gewesen, hätten möglicherweise genauere Messwerte erzielt werden können und weitere Zusammenhänge gefunden werden können.

5.2 Sensorische Analyse

Die Diskussion zu der sensorischen Analyse ist in die drei Merkmalseigenschaften Optik, Flavour und Konsistenz eingeteilt, um eine effektivere Literaturvergleichbarkeit zu ermöglichen und Wiederholungen zwischen den Resultaten von den rohen und gedämpften Karotten zu vermeiden.

5.2.1 Optik

Der Marktwert eines Produkts steht in enger Verbindung mit seinen Pigmenten und der Grundfarbe (Mditshwa et al. 2017). Eine ausgeprägte orange Farbintensität gilt daher als wünschenswert. Die Probe "Bio Schiess" zeigt bei den gedämpften Karotten eine hohe orange Farbintensität. Im rohen Zustand weisen die beiden regenerativen Varianten von Stucki sowie "Bio Schiess" eine etwas dunklere Aussenfarbe auf als die anderen Proben. Dies könnte auf einen höheren Carotin-Gehalt

hindeuten, da Carotine die orangefarbene Pigmentierung verursacht (Maiani et al. 2009). Auch der Kern von "Bio Schiess " wurde sowohl bei den gedämpften als auch den rohen Proben als sehr dunkel wahrgenommen. Die beträchtliche Variationsbreite innerhalb einer Probe erschwerte es dem Panel teilweise einen Konsens in Bezug auf die Farbtintensität zu erzielen. Dennoch wurden in der Regel Konsenswerte gefunden.

5.2.2 Flavour

Beim wichtigsten Faktor für die Bewertung der Karottenqualität, dem Geschmack (Kreutzmann et al. 2007), zeigen sich bei den rohen Varianten klare Unterschiede zwischen den Proben. Für Aroma und Süsse weist die Probe «Bio Schiess», ähnlich wie auch bei der Farbtintensität, einen hohen Wert bei der rohen und gedämpften Zubereitungsart. Geschmack und Farbe könnten demzufolge einen Zusammenhang haben. Für die Süsse zeigen die Proben «Konventionell» und «Slow Grow» bedeutsam geringere Werte, wobei die biologischen und regenerativen Bolerosorten mit höheren Werten jeweils nahe beieinander liegen. In der Studie Wrzodak et al. (2012) wiesen Karotten aus biologischem Anbau bei den Geschmacksmerkmalen höhere Werte auf als aus konventionellem Anbau, was mit den Resultaten dieser Arbeit übereinstimmt. Da die Süssigkeit auf den Geschmack bezogen die wichtigste Anforderung der Karottenqualität darstellt (Höhn et al. 2003), weist das Ergebnis ebenfalls darauf hin, dass die regenerativen Proben von Stucki und die biologischen Varianten im Geschmack besser abschneiden. Karotten mit einem bitteren Beigeschmack sind nicht erwünscht (Höhn et al. 2003). Gleich wie bei den gedämpften Karotten weist auch die rohe Variante «Slow Grow» die bitterste Bewertung auf, gefolgt von «Regenerativ Nov». Gründe für die Bitterkeit könnten die höheren Temperaturen während der Lagerung der regenerativen Kulturen sein, welche den bitteren Geschmack begünstigen und die sensorische Qualität dadurch mindern (Seljasen et al. 2013). Für Bitterkeit ist ausserdem der Stoff Isocumarin oder Terpene und Phenole verantwortlich (Höhn et al. 2003).

5.2.3 Konsistenz

Die gedämpften Karottenscheiben waren in ihrer Konsistenz schwierig zu bewerten, weil sie durch den Kochvorgang weicher und saftiger wurden. Dies bestätigt auch die Studie De Belie et al. (2002), in der eine fünf-minütige Kochzeit zu einer Verringerung der sensorischen Bewertung der Knackigkeit um 44 bis 67 % führte. Aus diesem Grund wurde die Intensitäten für den Biss und die Festigkeit vom Panel relativ ausgeglichen bewertet. Die Festigkeit bei den rohen Proben fällt jedoch auch relativ ausgeglichen aus. Bei dem Biss erreichten die Proben «Regenerativ Nov», «Bio Schiess» und «Bio Hahn» aber eine etwas höhere Bewertung.

5.2.4 Zusammenfassung

Die Ergebnisse der Konsensprofilierung roher und gedämpfter Karotten deuten auf keine klaren Unterschiede in den sensorischen Eigenschaften der geprüften Proben im biologischen und regenerativen Anbau hin. Dieses Ergebnis stimmt mit der Aussage von Mditshwa et al. (2017) überein, dass das Produktionssystem kaum Auswirkungen auf die sensorische Qualität hat. Die Beurteilung der Intensität war bei allen Proben oft grossen Streuungen unterworfen und wurde zum Teil für einzelne Karotten sowohl in der Kategorie «intensiv wahrnehmbar» als auch in die Kategorie «nicht wahrnehmbar» eingestuft. Wiederholungen und ein intensiv trainiertes Panel auf exakt definierte Attribute sowie die Verfügbarkeit möglichst gleichartiger Muster ist bei Naturprodukten von grosser Wichtigkeit.

5.3 Vergleiche zwischen sensorischen, physikalischen und chemischen Eigenschaften

Die Ergebnisse verschiedener Studien weisen darauf hin, dass es eine enge Verbindung zwischen den sensorischen Merkmalen von Gemüse, seinen physikalischen Eigenschaften und seinem Nährwert gibt (Wrzodak et al. 2012).

5.3.1 Beta-Carotin und Farbintensität

Beta-Carotin hat Einfluss auf das Aroma und die Farbe von Karotten (Künsch et al. 2003). Vergleicht man die Aromaintensität beim Sensorik Test, erzielt die Probe «Regenerativ März» die höchste Punktzahl 4, gefolgt von «Bio Hahn» mit 3 Punkten und «Konventionell» mit einem Punkt. Auch bei der Farbe zeigt sich bei den rohen Karotten einen Zusammenhang, wie in Tabelle 10 zu sehen ist. Somit würden die Resultate der vorliegenden Arbeit die Aussage des Beta-Carotin Einflusses teilweise bestätigen.

Tabelle 10: Vergleich zwischen den Resultaten zum Beta-Carotin-Gehalt und der sensorischen Aroma- und Farbintensität (6 = Merkmal sehr intensiv wahrnehmbar, 0 = nicht wahrnehmbar).

Prüfmuster	Beta-Carotin-Gehalt (mg/100 g)	Aroma gedämpfte Karotten (Intensität 0 - 6)	Aroma rohe Karotten (Intensität 0 - 6)	Farbe gedämpfte Karotten (Intensität 0 - 6)	Farbe rohe Karotten (Intensität 0 - 6)
Regenerativ März	4.0 mg/100 g	4	3 und 4	4	4
Bio Han	3.3 mg/100 g	4	3	5	3
Konventionell	3.3 mg/100 g	3	1	4	3

5.3.2 Brix, Süsse und Bitterkeit

Da der Brix-Wert ein Indikator für den Zuckergehalt ist (Höhn et al. 2001), sollte dieser Wert mit der wahrgenommenen Süsse bei der sensorischen Verkostung übereinstimmen. «Stucki N» und «Bio Hahn» weisen den höchsten Brix-Wert auf, «Slow Grow» und «Konventionell» den niedrigsten. Im Sensoriktest stimmt dies bei den rohen Karotten überein. Bei den gedämpften Karotten wurden «Stucki N», «Slow Grow» und «Konventionell» mit drei Punkten gleich süss wahrgenommen, «Bio Hahn» mit fünf Punkten als süsser. In der Studie (Höhn et al. 2001) wird auch erwähnt, dass die Aussagekraft zur Geschmacksqualität durch den Brix-Wert eingeschränkt ist, was die verschiedenen Resultate erklären könnte. Zum Beispiel beeinflusst nebst dem Zuckergehalt der Bitterstoff Isocumarin die Süsskraft und vermindert bei einer Verkostung die wahrgenommene Süsse (Höhn et al. 2004).

5.3.3 Konsistenz, Texturanalyse und Trockensubstanz

Gemeinsamkeiten zwischen Texturanalyse und Konsistenz sind lediglich beim Kraftaufwand, um die Probe im Mund zu zerkleinern, zu sehen. Hier weist die konventionelle Probe jeweils die geringsten Werte auf. Auch bei der Trockensubstanz weist die konventionelle Probe die geringsten Werte auf, was eine gemeinsame Tendenz aufzeigt.

5.4 Erklärungen für Unterschiede aufgrund von Produktionsvorgängen

Düngemanagement

Die Ergebnisse der Analysen deuten abgesehen von der Sorte darauf hin, dass die Karotten der konventionellen Probe weniger Trockenmasse, dafür höhere Wassergehalte enthielten. Die Textur ist weniger hart und die Saftigkeit intensiver. Ein Grund dafür könnte der Einfluss von Düngemittel (Stickstoff) auf das Pflanzenwachstum sein. Die Festigkeit von Früchten wird wesentlich vom Verhältnis von Stickstoff zu Kalzium im Boden beeinflusst. Bei einem erhöhten Verhältnis neigen Früchte dazu, weniger fest zu sein. (Mditshwa et al. 2017). Ob dieses Verhältnis im Boden, in dem die konventionellen Proben gewachsen sind, erhöht war und inwiefern dadurch das Wachstum beeinflusst wurde, bleibt offen.

Bei der sensorischen Analyse schnitt die konventionelle Probe bei beiden Zubereitungsarten (roh/gedämpft) ebenso mit einer deutlich geringer ausgeprägten Geschmacksintensität ab. Dieses Resultat stimmt mit der Studie von Wrzodak et al. (2012) überein, bei welcher frische und gelagerte Karotten aus biologischem Anbau bei den Geschmacks- und Geruchsmerkmalen höhere Werte aufzeigten als jene aus konventionellem Anbau. Dies könnte auch hier auf die intensivere

mineralische Düngung zurückzuführen sein, welche laut Velimirov (2003) zu einem weniger aromatischen und eintönigeren Geschmack und Geruch führt. Ein Sorteneinfluss kann aber auch hier nicht ausgeschlossen werden.

Pflanzenschutz

Der Gehalt an Beta-Carotin war in der regenerativen Probe etwas höher als in der biologischen und konventionellen Probe. Pflanzen, die ohne den Einsatz von Pestiziden angebaut werden, müssen ihre eigene Abwehr gegen Krankheiten und Schädlinge entwickeln. Viele dieser natürlichen Schutzstoffe der Pflanzen, darunter auch Beta-Carotin, gehören zu den sekundären Pflanzenstoffen (Mditshwa et al. 2017). Da im konventionellen Anbau chemisch-synthetische Pestizide verwendet werden, könnte dies ein Grund für den niedrigeren Gehalt an Beta-Carotin in der konventionellen Probe im Vergleich zur regenerativen Probe sein. Allerdings steht dies im Widerspruch dazu, dass die biologischen und die konventionelle Karotten vergleichbare Werte aufweisen.

Bodengesundheit

Die Tatsache, dass die regenerativen Proben von Stucki insgesamt ähnliche Werte wie die biologischen Proben aufweisen, kann auf verschiedene Ursachen zurückgeführt werden. Ein möglicher Grund könnte der Humusgehalt im Boden sein, der in der RL eine entscheidende Rolle spielt. Ein höherer Humusgehalt stellt den Pflanzen mehr Nährstoffe für ein gesundes Wachstum zur Verfügung (Richner and Sinaj 2017). Ein Vergleich der Bodenproben zwischen den biologischen Betrieben und dem regenerativen Hof Stucki zeigt, dass alle Betriebe einen schwach humosen Boden aufweisen. Der regenerative Boden von Stucki hat einen Wert von 2,71 %, während die Biohöfe Werte zwischen 1,9 bis 5 % aufweisen. Die Webseite von Regenerativ Schweiz (2019) gibt einen optimalen Humuswert von 5 bis 6 % an. Die aktive Humusbildung ist ein langsamer Prozess, daher spielt auch die Dauer, seit welcher die Betriebe auf RL umgestellt haben, eine Rolle. Bei der Studie Montgomery et al. (2022) schien vor allem die Gesundheit des Bodens Einfluss auf sekundäre Pflanzenstoffe in Nutzpflanzen zu haben. Die organische Bodensubstanz ist zwar ein gängiges Mass für die Bodengesundheit, berücksichtigt jedoch die mikrobielle Fülle und Aktivität nicht, welche den Nährstoffkreislauf auch beeinflusst. Um eine genauere Einschätzung der Bodengesundheit und mikrobiellen Aktivität zu erhalten, wäre die Durchführung einer Bodenanalyse von den Biobetrieben als auch von den regenerativen Böden interessant. Weiter könnte man die Nährstoffanalysen des Bodens mit den Resultaten vergleichen und Zusammenhänge suchen oder die erzielten Erträge miteinander vergleichen.

6. Schlussfolgerung und Ausblick

Schlussfolgerung

Zwischen regenerativer und biologischer Anbaumethode wurde anhand der Ergebnissen kein wesentlicher Unterschied bezüglich Sensorik und den untersuchten Inhaltsstoffen festgestellt. Die Hypothese 0 aus der Einleitung kann somit angenommen werden. Unabhängig von der Anbauweise wurden bei allen Proben erhebliche Schwankungen sowohl in der sensorischen Wahrnehmung als auch in den chemischen Analysen beobachtet. Beispielsweise wurden innerhalb derselben Probe Karotten mit viel und solche mit kaum nachweisbarer Menge gefunden. Karotten sind ein Naturprodukt und daher unterscheidet sich jedes Exemplar von dem anderen, selbst wenn alle am gleichen Ort unter gleichen Bedingungen angebaut wurden. Eine möglichst grosse Stichprobe ist deshalb entscheidend, um genaue Ergebnisse zu erzielen.

Zusammenfassend kann gesagt werden:

1. Karotten aus regenerativem Anbau weisen bei den Untersuchungen höhere Beta-Carotin-Werte auf als jene aus biologischem und konventionellem Anbau.
2. Die chemischen und physikalischen Parameter Brix-Wert, Trockensubstanzgehalt und Texturanalyse unterscheiden sich zwischen den biologischen und regenerativen Anbaumethode nicht.
3. Die sensorische Qualität von frischen und gedämpften Karotten unterscheidet sich zwischen biologisch und regenerativen Anbaumethode nicht.
4. Karotten aus biologischem und regenerativem Anbau weisen bei den meisten Qualitätsmerkmalen, ausser bei dem Vitamin-C-Gehalt, höhere Werte auf als jene aus konventionellem Anbau, wobei es sich bei den Karotten um unterschiedliche Sorten handelt.

Der Anbaufaktor Düngung beeinflusst das Pflanzenwachstum und hat somit einen Einfluss auf die Qualität der Produkte. Insbesondere eine intensive mineralische Düngung durch Stickstoff verringert laut verschiedenen Studien und den Resultaten dieser Arbeit die Festigkeit von Kulturen und führt zu einem weniger aromatischen und eintönigeren Geschmack. Eine zu späte Stickstoffdüngung fördert hingegen das übermässige Wachstum der Blätter und verzögert die Ausbildung der orangen Farbe in der Karotte und dadurch auch den Gehalt an Beta-Carotin. Pflanzen, die Krankheiten selber abwehren, also ohne den Einsatz von Pestiziden angebaut werden, produzieren natürliche Schutzstoffe, darunter auch Beta-Carotin. Auch die Bodenzusammensetzung, also ob die kultivierten Karotten in einem Lehm-, Sand- oder Torfboden wachsen, kann Einfluss auf sensorischen Eigenschaften ausüben.

Ein wichtiger Einflussfaktor ist sicherlich auch die Dauer der Umstellung auf regenerativen Anbau, denn der Aufbau von Humus ist ein langsamer Prozess.

Regenerative Anbausysteme konzentrieren sich im Vergleich zu biologischen Anbausystemen noch stärker auf die Bodengesundheit. Durch die reduzierte Bodenbearbeitung und eine beständige Bodenbedeckung wird der Boden geschont und das Bodenleben gefüttert. Daraus resultiert ein belebter, fruchtbarer Boden mit einem erhöhten Humusanteil. Gemäss aktueller Literatur bleibt dadurch die Bodenfruchtbarkeit erhalten, die Nährstoffverfügbarkeit und -aufnahme verbessert sich und die gedeihenden Pflanzen sind gesund. Grundsätzlich können Nährstoffe dem Boden auch über Düngemittel zugeführt werden und Krankheiten können durch Pestizide oder organischen Pflanzenschutz bekämpft werden. Diese Mittel kosten aber Geld, machen Landwirt:innen abhängig und schaden der Bodengesundheit sowie den darin lebenden Organismen. Ob regenerative Systeme die Qualität von Produkten positiv steigern und insbesondere jene des biologischen Anbaus übertreffen, lässt sich anhand dieses kleinen Versuchs nicht bestätigen.

Ausblick

In Zukunft sollten weitere Experimente zwischen regenerativen und biologischen Anbaumethoden durchgeführt werden. Dafür sind grosse Stichproben sinnvoll und die Auswahl von Betrieben, welche bereits über längere Zeit regenerative Anbaumethoden praktizieren. Mögliche Einflussfaktoren sollten bei der Versuchsplanung eliminiert werden, denn die Qualität von Karotten wird durch zahlreiche Faktoren beeinflusst, was die Planung eines sinnvollen Versuchsaufbaus erschwert. Um eine objektive Beurteilung der Produktqualität zu gewährleisten, ist es erforderlich, Karottenproben zu vergleichen, die unter gleichen klimatischen Bedingungen, an demselben Standort, im selben Jahr angebaut, gleich geerntet und unter identischen Lagerbedingungen aufbewahrt wurden. Der einzige zulässige Unterschied sollte in der Anbaumethode liegen, sei es konventionell, biologisch oder regenerativ. Ein Vergleich verschiedener Sorten hat wenig Sinn, da der Sorteneinfluss auf die Qualitätsparameter sehr gross sein kann. Weil aber in der konventionellen Landwirtschaft andere Karottensorten verwendet werden als in der Biologischen, stellt diese Anforderung bereits eine Herausforderung bei der Versuchsplanung dar.

Die Arbeit fokussiert klar auf rein intrinsische Produkteigenschaften. Für den Marktwert einer Karotte sind jedoch auch extrinsische Eigenschaften, wie beispielsweise die Information zur Anbaumethode, von hoher Relevanz. Aus diesem Grund wäre eine Folgestudie in Richtung Konsumentenerwartung/ Konsumentenakzeptanz interessant, wobei die Information zur Anbaumethodik (Bio/ Regenerativ) in einem ersten Schritt unbekannt (blind) und in einem zweiten Schritt bekannt (branded) wäre.

7. Literaturverzeichnis

- Afek U, Orenstein J, Nuriel E (1999). Steam treatment to prevent carrot decay during storage. *Crop Prot* 18:639–642. [https://doi.org/10.1016/S0261-2194\(99\)00065-4](https://doi.org/10.1016/S0261-2194(99)00065-4)
- Beck A, Kahl J, Liebl B (2012). Wissensstandsanalyse zu Qualität, Verbraucherschutz und Verarbeitung ökologischer Lebensmittel. FiBL Deutschland.
- Berner A, Hildermann I, Fliessbach A, et al (2008). Crop yield and soil fertility response to reduced tillage under organic management. In: *Soil & Tillage Research*. <https://orgprints.org/id/eprint/14426/>.
- Bio Suisse (2023). Bio Suisse Richtlinien 2023. <https://www.bio-suisse.ch/dam/jcr:11397826-6067-40d4-b8b8-d4e210900f7f/Bio%20Suisse%20Richtlinien%202023%20DE.pdf>
- Brown G (2018). *Dirt to Soil: One Family's Journey into Regenerative Agriculture*. Chelsea Green Publishing, London, UK.
- Busch-Stockfisch M (2010). Sensorische Lebensmitteluntersuchung und Prüfmethode. In: Frede W (ed) *Handbuch für Lebensmittelchemiker: Lebensmittel – Bedarfsgegenstände – Kosmetika – Futtermittel*. Springer, Berlin, Heidelberg, pp 291–310.
- Chervet A, Ramseier L, Sturny W (2005). Direktsaat und Pflug im 10-jährigen Systemvergleich. *Agrarforschung* 12 (5), 184-189.
- Davey MW, Montagu MV, Inzé D, et al (2000). Plant L-ascorbic acid: chemistry, function, metabolism, bioavailability and effects of processing. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80, 825–860. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0010\(20000515\)80:7<825::AID-JSFA598>3.0.CO;2-6](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0010(20000515)80:7<825::AID-JSFA598>3.0.CO;2-6)
- De Belie N, Laustsen AM, Martens M, et al (2002). Use of physico-chemical methods for assessment of sensory changes in carrot texture and sweetness during cooking. *J Texture Stud*, 33, 367–388. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4603.2002.tb01354.x>
- Dendorfer E (2016). *Lebensmittelsensorik*, 5. Auflage. facultas Universitätsverlag, Wien, Österreich.
- Dudenredaktion (o.J.). Was bedeutet „Qualität“? Rechtschreibung. Duden. <https://www.duden.de/rechtschreibung/Qualitaet>. Abgerufen 30 Dezember 2023.
- FAO (2022). Why we do it? Conservation Agriculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/conservation-agriculture/overview/why-we-do-it/en/>. Abgerufen 2. Oktober 2023.
- Geier DU (2014). Bio-Möhren und Geschmack: Auf die Sorte kommt es an. *Lebendige Erde*, 5, 36–39. <https://orgprints.org/id/eprint/30382/>
- Giller KE, Hijbeek R, Andersson JA, Sumberg J (2021). Regenerative Agriculture: An agronomic perspective. *Outlook Agric* 50:13–25. <https://doi.org/10.1177/0030727021998063>
- Habegger R, Schnitzler W (1997). Die Verteilung von aromagebender Inhaltsstoffe in der Möhre. Die

- industrielle Obst- und Gemüseverwertung 82, 39-42.
- Hagel I (1998). Lagerfähigkeit und Inhaltsstoffe von Möhren aus der biologisch-dynamischen und konventionellen Praxis. Deutsche Gesellschaft für Qualitätsforschung, Dresden.
- Haglund Å, Johansson L, Berglund L, Dahlstedt L (1998). Sensory evaluation of carrots from ecological and conventional growing systems. *Food Quality and Preference* 10:23–29.
[https://doi.org/10.1016/S0950-3293\(98\)00034-2](https://doi.org/10.1016/S0950-3293(98)00034-2)
- Hamza AH (2017). Vitamin C. Verlag IntechOpen, Rijeka, Croatia.
<https://directory.doabooks.org/handle/20.500.12854/62301>
- Hanrieder D (2012). DLG-Expertenwissen 3. Effiziente Planung, Vorbereitung, Durchführung und Auswertung sensorischer Prüfungen (Teil1).
- Hegglin D, Clerc M, Dierauer H (2014). Reduzierte Bodenbearbeitung. Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL). <https://www.bioaktuell.ch/pflanzenbau/ackerbau/-bodenbearbeitung/mb-red-bodenbearb>
- Herrmann K (2001). Inhaltsstoffe von Obst und Gemüse. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart (Hohenheim)
- Höhn E, Heller W, Hesford F, et al (2001). Karotten von der Saat bis zum Teller. Entwicklung eines Qualitätssicherungssystems an der FAW. Agroscope, CH.
- Höhn E, Schärer H, Künsch U (2004). Karotten von der Saat bis zum Teller Zuckergehalt: Bedeutung und Einflussfaktoren. *Der Gemüsebauer/ Le Maraîcher*, 1, 4-8. <https://ira.agroscope.ch/de-CH/publication/1012>
- Höhn E, Schärer H, Künsch U (2003). Karottengeschmack- Beliebtheit, Süssigkeit und Bitterkeit. *Agrarforschung* 10 (4), 144-149. https://www.agrarforschungschweiz.ch/wp-content/uploads/2019/12/2003_04_797.pdf
- Hörner I (2020). Brix-Messungen - Vorteile, die Sie kennen sollten. <https://steinkraft-naturerocks.com/content/Brix-Messungen%20und%20seine%20Vorteile%209.pdf>
- Inderbitzin J, Roth-Kahrom L (2020). Grundlagen der Sensorik. Schweizer Zeitschrift für Obst- und Weinbau, Wädenswil. 339, 1-51. <https://doi.org/10.34776/at339g>
- Johnston AE, Poulton PR, Coleman K (2009). Chapter 1 Soil Organic Matter: Its Importance in Sustainable Agriculture and Carbon Dioxide Fluxes. In: Sparks DL (ed) *Advances in Agronomy*. Academic Press, pp 1–57.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0065211308008018>
- Jones C (2007). Building soil carbon with Yearlong Green Farming.
[https://www.amazingcarbon.com/PDF/Jones-EvergreenFarming\(Sept07\).pdf](https://www.amazingcarbon.com/PDF/Jones-EvergreenFarming(Sept07).pdf)
- Kägi A, Crespo P, Baur R, et al (2007). Qualitätssicherung in der Karotten-Produktionskette: Projektbericht. Forschungsanstalt Agroscope, Changins-Wädenswil. <https://ira.agroscope.ch/de-CH/publication/31457>

- Kleemann M, Florkowski W (2003). BITTERNESS IN CARROTS AS QUALITY INDICATOR, 604,525–530.
<https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2003.604.60>
- Kleinhenz MD, Bumgarner N (2012). Using °Brix as an Indicator of Vegetable Quality: An Overview of the Practice. The Ohio State University. https://bpb-us-w2.wpucdn.com/u.osu.edu/dist/9/24091/files/2015/10/HYG_1650_12_0-1evpds.pdf
- Koerber H (2018). Definition Regenerative Landwirtschaft Ansätze, Verfahren, Initiativen.
http://www.flexinfo.ch/Regeneration/Definition_RL.pdf
- Kramer M, Bufler G, Ulrich D, et al (2012). Effect of ethylene and 1-methylcyclopropene on bitter compounds in carrots (*Daucus carota* L.). *Postharvest Biology and Technology*, 73, 28–36.
<https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2012.05.009>
- Kretzschmar U, Schleiffer M, Curran M, Dierauer H (2021). Nachhaltigkeit und Qualität biologischer Lebensmittel. 3.Auflage. <https://www.fibl.org/fileadmin/documents/shop/1405-lebensmittelqualitaet.pdf>
- Kreutzmann S, Christensen LP, Edelenbos M (2008). Investigation of bitterness in carrots (*Daucus carota* L.) based on quantitative chemical and sensory analyses. *LWT - Food Science and Technology*, 41, 193–205. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2007.02.024>
- Kreutzmann S, Thybo AK, Bredie WLP (2007). Training of a sensory panel and profiling of winter hardy and coloured carrot genotypes. *Food Quality and Preference*, 18, 482–489.
<https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2006.05.009>
- Künsch U, Höhn E, Schärer H, et al (2003). Einfluss von Sorte, Standort, Jahr, Anbauweise und Lagerung auf den Carotingehalt. *FIBL Der Gemüsebau/Le Maraîcher* 1, 4-7.
<https://orgprints.org/id/eprint/2827/>
- Kurth T, Subei B, Plötner P, et al (2023). Der Weg zu regenerativer Landwirtschaft in Deutschland – und darüber hinaus. NABU, Birdlife.
<https://www.nabu.de/imperia/md/content/nabude/landwirtschaft/230526-bcg-nabu-studie-der-weg-zu-regenerativer-landwirtschaft-langversion.pdf>
- Leong SY, Oey I (2012). Effect of endogenous ascorbic acid oxidase activity and stability on vitamin C in carrots (*Daucus carota* subsp. *sativus*) during thermal treatment. *Food Chem*, 134, 2075–2085.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.04.002>
- Lichtenhahn M (1998). Merkblatt Karotten. Forschungsinstitution für biologischen Landbau, FIBL, Frick. <https://www.fibl.org/fileadmin/documents/shop/1014-karotten.pdf>
- Maiani G, Periago Castón MJ, Catasta G, Toti E, Cambro I (2009). Carotenoids: Actual knowledge on food sources, intakes, stability and bioavailability and their protective role in humans. *Molecular Nutrition & Food Research*, 53, 194–218. <https://doi.org/10.1002/mnfr.200800053>
- Manthey-Karl M (2010). Sensorische Analyse: Methodenüberblick und Einsatzbereiche Teil 3:

- Unterschiedsprüfungen über einzelne Prüfmerkmale oder Merkmalseigenschaften.
https://www.openagrar.de/receive/import_mods_00000622
- Mditshwa A, Magwaza LS, Tesfay SZ, Mbili N (2017). Postharvest quality and composition of organically and conventionally produced fruits: A review. *Scientia Horticulturae*, 216, 148–159.
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.12.033>
- Merfield (2019). An analysis and overview of regenerative agriculture. Report number 2-2019. Lincoln, NZ: The BHU Future Farming Centre. <https://www.bhu.org.nz/wp-content/uploads/sites/155/ffc-files/misc/an-analysis-and-overview-of-regenerative-agriculture-2019-ffc-merfield.pdf>
- Montgomery DR, Biklé A, Archuleta R, Brown P, Jordan J (2022). Soil health and nutrient density: preliminary comparison of regenerative and conventional farming.
<https://doi.org/10.7717/peerj.12848>
- Munyaka AW, Oey I, Van Loey A, Hendrickx M (2010). Application of thermal inactivation of enzymes during vitamin C analysis to study the influence of acidification, crushing and blanching on vitamin C stability in Broccoli (*Brassica oleracea* L var. *italica*). *Food Chem* 120:591–598.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.10.029>
- Näser D (2021). *Regenerative Landwirtschaft, 2., erweiterte Auflage*. ulmer, Neustadt/Sa.
- Nau H, Stahl W (2012). Vitamin A und Carotinoide. In: *Vitamine und Spurenelemente*.
<https://doi.org/10.1002/9783527653058.ch1>
- Newton P, Civita N, Frankel-Goldwater L, et al (2020). What Is Regenerative Agriculture? A Review of Scholar and Practitioner Definitions Based on Processes and Outcomes. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4, 194. doi: 10.3389/fsufs.2020.577723
- Niggli U (2020). Den Boden regenerieren. Abgerufen 8. August 2023, von <https://www.bioaktuell.ch/pflanzenbau/pflanzenbau-allgemein/boden/allgemein/boden-regenerieren>.
- OECD (2018). OECD-SCHEMA FÜR OBST UND GEMÜSE. <https://www.oecd.org/agriculture/fruit-vegetables/publications/OECD-ObjectiveTests-DEU.pdf>
- Reeves DW (1997). The role of soil organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems. *Soil Tillage Res*, 43, 131–167. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(97\)00038-X](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(97)00038-X)
- Reganold JP, Andrews PK, Reeve JR, Carpenter-Boggs L, Schadt C (2010). Fruit and Soil Quality of Organic and Conventional Strawberry Agroecosystems. *PLOS ONE*, 5, 10.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0012346>
- Regenerativ Schweiz (2019). *Regenerative Landwirtschaft*. In: *Regenerativ Schweiz*. Abgerufen 26. November 2023, von <https://www.regenerativ.ch/regenerative-landwirtschaft>
- Rembialkowska E (2003). Organic farming as a system to provide better vegetable quality. *International Society Horticultural Science*, 473–479. doi: 10.17660/ActaHortic.2003.604.52

- Rembiałkowska E (2007). Quality of plant products from organic agriculture. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 87, 2757–2762. <https://doi.org/10.1002/jsfa.3000>
- Richner W, Sinaj S (2017). Grundlagen für die Düngung landwirtschaftlicher Kulturen in der Schweiz (GRUD 2017). *Spezialpublikation Agrarforschung Schweiz*, 8 (6), 276.
- Roose M, Kahl J, Koerner K, Ploeger A (2010). Can the Authenticity of Organic Products be Proved by Secondary Plant Substances? *Biological Agriculture and Horticulture*, 27, 129–138. <https://doi.org/10.1080/01448765.2010.10510434>
- Rosenfeld HJ, Aaby K, Lea P (2002). Influence of temperature and plant density on sensory quality and volatile terpenoids of carrot (*Daucus carota* L.) root. *J Sci Food Agric*, 82, 1384–1390. <https://doi.org/10.1002/jsfa.1200>
- Rosenfeld HJ, Samuelsen RT, Lea P (1998). The effect of temperature on sensory quality, chemical composition and growth of carrots (*Daucus carota* L.) I.: Constant diurnal temperature. *J Horticult Sci Biotechnol*, 73, 275–288. <https://doi.org/10.1080/14620316.1998.11510975>
- Scheidiger M (2015). Kulturblatt Karotte. Bildungs- und Beratungszentrum Arenenberg. <https://arenenberg.tg.ch/public/upload/assets/14899/2015%20Kulturblatt%20Karotte.pdf?fp=1>
- Scheuringer K (2019). Entwicklung und Validierung einer HPLC-Methode zur quantitativen Bestimmung von Vitamin C in Obst und Gemüse (Masterarbeit). Universität für Bodenkultur Wien
- Schreefel L, Schulte RPO, de Boer IJM, et al (2020). Regenerative agriculture – the soil is the base. *Global Food Security*, 26, 100- 404. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2020.100404>
- Schuphan W (1942). Biochemische Sortenprüfung an Gartenmöhren als neuzeitliche Grundlage für planvolle Züchtungsarbeit. *Der Züchter*, 14, 25–43. <https://doi.org/10.1007/BF01813111>
- Seljasen R, Bengtsson GB, Hoftun H, Vogt G (2001). Sensory and chemical changes in five varieties of carrot (*Daucus carota* L) in response to mechanical stress at harvest and post-harvest. *J Sci Food Agric*, 81, 436–447. [https://doi.org/10.1002/1097-0010\(200103\)81:4<436::AID-JSFA837>3.0.CO;2-R](https://doi.org/10.1002/1097-0010(200103)81:4<436::AID-JSFA837>3.0.CO;2-R)
- Seljåsen R, Hoftun H, Selliseth J, Bengtsson GB (2004). Effects of washing and packing on sensory and chemical parameters in carrots (*Daucus carota* L). *J Sci Food Agric*, 84, 955–965. <https://doi.org/10.1002/jsfa.1739>
- Seljasen R, Kristensen HL, Lauridsen C, et al (2013). Quality of carrots as affected by pre- and postharvest factors and processing. *J Sci Food Agric*, 93, 2611–2626. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6189>
- Seljasen R, Lea P, Torp T, et al (2012). Effects of genotype, soil type, year and fertilisation on sensory and morphological attributes of carrots (*Daucus carota* L.). *J Sci Food Agric*, 92, 1786–1799. <https://doi.org/10.1002/jsfa.5548>

- Spínola V, Llorent-Martínez EJ, Castilho PC (2014). Determination of vitamin C in foods: Current state of method validation. *Journal of Chromatography A*, 1369, 2–17.
<https://doi.org/10.1016/j.chroma.2014.09.087>
- Stracke B, Rüfer C, Watzl B (2010). Polyphenol- und Carotinoidgehalt in Äpfeln und Karotten aus ökologischem und konventionellem Anbau. *Max Rubner-Institut Ernährungs Umschau*, 10, 526–531. https://www.ernaehrungs-umschau.de/fileadmin/Ernaehrungs-Umschau/pdfs/pdf_2010/10_10/EU10_526_531.pdf
- Varming C, Jensen K, Møller S, et al (2004). Eating quality of raw carrots—correlations between flavour compounds, sensory profiling analysis and consumer liking test. *Food Quality and Preference*, 15, 531–540. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2003.11.004>
- Velimirov A (2003). Nahrungsmittelqualität von Produkten aus biologischer und konventioneller Landwirtschaft im Vergleich. <https://www.researchgate.net/publication/277733752>
- Velimirov A, Müller W (2003). DIE QUALITÄT BIOLOGISCH ERZEUGTER LEBENSMITTEL. BIO ERNTE AUSTRIA, Wien, Österreich. <https://orgprints.org/id/eprint/2246/1/velimirov-2003-qualitaet.pdf>
- Wellinger R, Buser H, Krauss J, et al (2006). Pflanzen Karotten: Anbau, Erntezeitpunkt und Lagerung. *Agrarforschung*, 13 (10), 412-417. https://www.agrarforschungschweiz.ch/wp-content/uploads/2019/12/2006_10_1212.pdf
- White C (2020) Why Regenerative Agriculture? *The American Journal of Economics and Sociology*, 79, 799–812. <https://doi.org/10.1111/ajes.12334>
- Winopal R-A, Drobny L, Schneider-Häder B (2015). Instrumentelle Sensorik in der Ernährungswirtschaft.
https://www.dlg.org/fileadmin/downloads/lebensmittel/themen/publikationen/expertenwissen/lebensmittelsensorik/2015_3_Expertenwissen_Texturanalyse.pdf
- Wrzodak A, Kapusta E, Szwejda-Grzybowska J, Woszczyk K (2012). Sensory Quality of Carrots from Organic and Conventional Cultivation. *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research*, 77, 75–88. <https://doi.org/10.2478/v10032-012-0017-y>

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Gezielte Bodenbedeckung durch Untersaat, Zwischenfrüchte und Mehrfruchtanbau in der Regenerativen Landwirtschaft. Quelle: (Kurth et al. 2023).	6
Abbildung 2: Das Wurzelvolumen steht in engem Kontakt mit der Menge und Dauer der Oberflächenbegrünung, der Kohlenstoffausscheidung in den Boden, der mikrobiellen Aktivität im Boden, der Humifizierung und der Bodenbildung (Jones 2007).	8
Abbildung 3: Parameter für die sensorische Bewertung von Lebensmittel (Bildquelle: Kretzschmar et al. 2021).	14
Abbildung 4 Vorgang der Grad Brix Messung mit einem Refraktometer.....	21
Abbildung 5: Texturmessung der Karotten. Links: Textur Analyser TA.XT Plus. Rechts: Karottenscheibe mit Durchmesser von 2 bis 3 cm und Schneidevorrichtung «Knife Edge»...	34
Abbildung 6: Sensoriklabor der ZHAW in Wädenswil. Links: Prüfraum mit Einzelkabinen. Rechts: Runder Tisch für Konsensdiskussion.	37
Abbildung 7: Boxplots zu den Resultaten der Brix-Werte mit Auswertung zur Signifikants... 39	
Abbildung 8: Broxplot zu den Resultaten der Trockensubstanzgehalte in Prozent.	40
Abbildung 9: Boxplot der Resultate zur Texturanalyse (in kg Kraftaufwand) mit Auswertung zur Signifikants.	41
Abbildung 10: Korrelationsstärke zwischen den Brix-Werten, der Trockensubstanz und der Texturanalyse.	41
Abbildung 12: Säulendiagramm zu den sensorischen Analysen für das Flavour der gedämpften Karotten.....	43
Abbildung 13: Säulendiagramm zu den sensorischen Analysen für die Konsistenz der gedämpften	43
Abbildung 14: Säulendiagramm zu den sensorischen Analysen für die Farbe der rohen Karotten (6 = dunkelorange, 0 = hellorange).	44
Abbildung 15: Säulendiagramm zu den sensorischen Analysen für das Flavour der rohen Karotten.....	45
Abbildung 16: Säulendiagramm zu den sensorischen Analysen für die Konsistenz der rohen Karotten.....	45
Abbildung 17: Mittelwerte des Kraftaufwandes in kg beim Durchschneiden der Karottenscheiben	46

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Zusammenfassung der gefundenen Verfahrensanwendungen und Ergebnisse aus der Literatur, die in Definitionen oder Beschreibungen der Regenerativen Landwirtschaft vorkommen (Newton et al. 2020).....	5
Tabelle 2: Unterschiede in Anbautechniken von biologischer und regenerativer Landwirtschaft.....	7
Tabelle 3: Mittlerer Gehalt an ausgewählten Inhaltsstoffen (Nährwerte) von Karotten je 100g Frischsubstanz essbarer Anteile.....	15
Tabelle 4: Empfohlene Brix-Werte bei Karotten nach Hörner 2020.....	22
Tabelle 5: Probenbeschreibung mit Probenamen, Sorte, Betrieb, Anbaumethode und weiteren Informationen.	29
Tabelle 6: Auflistung der sechs Probemuster für die sensorische Profilierung.	35
Tabelle 7: Ablauf der sensorischen Profilierung mit Datum und Dauer.	36
Tabelle 8: Analysewerte des Vitamin-C-Gehaltes mit Berechnung auf Basis der Trockenmasse.....	38
Tabelle 9: Resultate der Laboranalysen des SQTS für Beta-Carotin.	39
Tabelle 10: Vergleich zwischen den Resultaten zum Beta-Carotin-Gehalt und der sensorischen Aroma- und Farbtintensität (6 = Merkmal sehr intensiv wahrnehmbar, 0 = nicht wahrnehmbar).....	51

Anhangsverzeichnis

ANHANG 1 INTERVIEW MIT HERR STUCKI

ANHANG 2 BETA-CAROTIN PROBEAUSWERTUNGEN AUS DEM LABOR

Anhang 2.1 Probe Regenerativ März

Anhang 2.2 Probe Bio Hahn

Anhang 2.3 Probe Konventionell

ANHANG 3 ROHDATEN DER ANALYSEN

ANHANG 4 SENSORIK

Anhang 4.1 Prüfformular

Anhang 4.2 Attributtabelle

ANHANG 5 VERSUCHSPLAN

Anhang 1 Interview mit Herr Stucki

Ralph Stucki

Karotten (tel. Auskunft Stucki am 17.8.2023)

Fruchtfolge	Nicht immer gleich, je nach Wetter und sonstiger betrieblicher Situation. Die Karotten kommen nach Möglichkeit immer nach Hafer in normalem Jahr oder mindestens nach Getreide. Nur wenn es sehr nass, wird Pflug verwendet, damit gesät werden kann. Karotten kommen auf dem gleichen Feld im schlechten Fall nach 5 Jahren, im besten nach 7-8 Jahren.
Vorkultur	Hafer mit Untersaat, 3 Sorten Klee, Schotenklee und Weissklee. Ernte Hafer am 1. Juli 2022. Zu diesem Zeitpunkt stand die Untersaat etwa kniehoch. Das Stroh aus dem Drescher wurde abgeführt. Der Rest in den Boden als Flächenrotte ohne spritzen mit EM eingearbeitet. Es hatte durch den Klee genügend Biologie, da brauchte es keine mikrobielle Unterstützung mehr. Gefräst in zwei Durchgängen mit einer angepassten Cellifräse, wie Geohobel, aber besserem Schnittergebnis. Zuerst 3cm tieffräsen, beim zweiten Durchgang ein paar Tage später 8cm und gleichzeitiger Formung der Dämme. dann direkt Dämme.
Düngung / Bodenanalyse	22m ³ MC Kompost. Nach Haferernte. Eigener. 1/3 Hackholz Laufstallmist 1/3 Champingnonmist und Ökoheu. 200m. 5 mal wenden. Mit Linsen und Phcelia und Getreide auf Walm. Bei Kartoffeln Patentkali. Gülle auf Futterbaufläche.
Bodenvorbereitung und Aussaat	Fläche war 110 Aren, 1/3 mit frühen, 1/3 mit mittelfrühen und 1/3 mit späten Karotten, alle Sorte Bolero. Früh, mittelfrüh und spät bezieht sich auf den Saat- und Erntezeitpunkt. 75cm Dammanstand, Karotten in Bandsaat gesät. Frühe Karotten anfangs Juli (120 Korn/m ²), mittelfrühe ca. 25. Juli (140 Korn/m ²) und späte ca. 10. August mit 160 Korn je m ² . Begrünter Fahrstreifen (3m) und dann Karottendämme über 18m.
Pflege	Jäten, Dammkrone von Hand einmal. Drei Tage nach der Saat Dämme abflammen. Anschliessend mit tropfschläuchen Karotten zum Keimen bringen. 7-8 Tage später sind diese gekeimt. Striegeleinsatz, wenn es die Karotten erlauben, bspw. nach Abdammen (aber fein, je nach Situation). Anschliessend «Abdammen» (Dammflanken leicht abschneiden, um Unkräuter zu entfernen) und wenn sauber wieder «aufdammen» (anhäufeln). Diese Arbeit alle 14 Tage. Auch alle 14 Tage Anwendung von Biolyt und Sulfic (abwechslungsweise), sowie Komposttee. Bor je nach Bedarf und nach Blattsaftanalyse (optischer Test, wenn das Grün auf dem Feld «nicht passt»). In der Regel kein Einsatz von Kupfer notwendig (gegen Alternaria). Fahrstreifen mit Buchweizen, Phacelia, und Guizotia (wie Sudangras) eingesät.
Erntemenge	Ernte des mittleren Satzes: Mitte Oktober. 420kg/Are, trocken, Ernte in Kleinpalloxe. Verkauf auf Markt. Faule werden aussortiert. Ganz kleine fallen durch. Ernte Frühjahr 23: 290kg/Are. Haben bis Ende Juli gehalten (ohne high tech Kühlanlage), Festigkeit, geschmacklich gut. Etwas Probleme mit der Haut. Lagerung: 1.5°C (Einstellung! 2.2 bis 2.3C) in Lochplastik und Kleinpalloxe.
Nachkultur	Bodenbearbeitung nach Karotten mit einfachem Tiefenlockerer und Fräse (3-4cm). Mischung «Wintergrün» mit Winterroggen, Wintererbse, Inkarnatklee Wintertriticale, Winterrapsdirekt und it. Raygras direkt nach den Karotten. Dieses wird ab Kalenderwoche 16 als Transfermulch geerntet.

Anhang 2 Beta-Carotin Probeauswertungen aus dem Labor

Anhang 2.1 Probe Regenerativ März



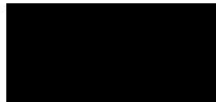
CH-8953 Dietikon
Lerzenstrasse 16
T +41 (0) 58 577 10 00

CH-1784 Courtepin
Rte de l'industrie 61
T +41 (0) 58 577 11 11

www.sqts.ch

info@sqts.ch

ZHAW Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften



Prüfbericht

2023L30089 / 1

Berichtsdatum 13. Juli 2023 / 17:34
 Auftragstyp Allg. Untersuchungen
 Auftraggeber ZHAW Zürcher Hochschule für Angewandte
 Wissenschaften, Frau Natalie Bieri
 Einsender ZHAW Zürcher Hochschule für
 Angewandte Wissenschaften

Bericht	Prüfmuster		
2023L30089 / 1	Regenerativ März Probe 1		
Menge	1.3 Kg	Eingangsdatum	30.06.2023

Vitamine	
Parameter	Resultat Einheit
<i>Methode (Standort)</i>	
B-Carotin	4.0 mg/100g
CAS 7235-40-7	
<i>Extern LC-UV (extern)</i>	

Bericht freigegeben durch: Dr. Thomas Gude, Prüfleiter
 Dieser Bericht wurde elektronisch signiert und ist somit rechtsgültig.

Dr. Thomas Gude Telefon

Anhang 2.2 Probe Bio Hahn



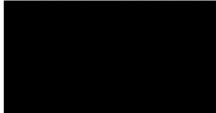
CH-8953 Dietikon
 Lerzenstrasse 16
 T +41 (0) 58 577 10 00

CH-1784 Courtepin
 Rte de l'Industrie 61
 T +41 (0) 58 577 11 11

www.sqts.ch

info@sqts.ch

ZHAW Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften



Prüfbericht

2023L30089 / 2

Berichtsdatum: 13. Juli 2023 / 17:35
 Auftragstyp: Allg. Untersuchungen
 Auftraggeber: ZHAW Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften, Frau Natalie Bieri
 Einsender: ZHAW Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften

Bericht	Prüfmuster		
2023L30089 / 2	Bio Hahn Probe 2		
Menge	800 g	Eingangsdatum	30.06.2023

Vitamine	
Parameter <i>Methode (Standort)</i>	Resultat Einheit
B-Carotin CAS 7235-40-7 <i>Extern LC-UV (extern)</i>	3.3 mg/100g

Bericht freigegeben durch: Dr. Thomas Gude, Prüfleiter
 Dieser Bericht wurde elektronisch signiert und ist somit rechtsgültig.

Dr. Thomas Gude Telefon

Anhang 2.3 Probe Konventionell



CH-8953 Dietikon
 Lerzenstrasse 16
 T +41 (0) 58 577 10 00

CH-1784 Courtepin
 Rte de l'industrie 61
 T +41 (0) 58 577 11 11

www.sqts.ch

info@sqts.ch

ZHAW Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften



Prüfbericht

2023L30089 / 3

Berichtsdatum 13. Juli 2023 / 17:35
 Auftragstyp Allg. Untersuchungen
 Auftraggeber ZHAW Zürcher Hochschule für Angewandte
 Wissenschaften, Frau Natalie Bieri
 Einsender ZHAW Zürcher Hochschule für
 Angewandte Wissenschaften

Bericht	Prüfmuster		
2023L30089 / 3	Konventionell Probe 3		
Menge	650 g	Eingangsdatum	30.06.2023

Vitamine	
Parameter <i>Methode (Standort)</i>	Resultat Einheit
B-Carotin CAS 7235-40-7 <i>Extern LC-UV (extern)</i>	3.3 mg/100g

Bericht freigegeben durch: Dr. Thomas Gude, Prüfleiter
 Dieser Bericht wurde elektronisch signiert und ist somit rechtsgültig.

Dr. Thomas Gude Telefon

Anhang 3 Rohdaten der Analysen

Brix Gehalt	Regenerativ_N	Regenerativ_M	Slow Grow	Bio Hahn	Bio Schiess	Bio Hasenfratz	Bio Rathgeb	Konventionell
1.Probe	10.5	7.8	6.6	8.1	7.7	6.4	8.2	6
2.probe	8.6	8	7.3	8.2	8.2	9.4	9.4	7.8
3.Probe	8.9	9.2	6.8	7.9	9.5	9.9	9.1	6.4
4.Probe	9.7	8.7	8	9.2	8.1	8.2	8.6	5.6
5.Probe	8.8	7.4	6.6	9	8.9	8.5	9.3	6.4
6.Probe	7.9	7.6	7.6	10.7	8.4	12.1	10.1	6.7
7.Probe	10.2	8.7	8.8	9.4	8	9.8	9.6	6.9
Durchschnitt	9.23	8.20	7.39	8.93	8.40	10.8	9.19	6.54

TS-Gehalt	Stucki_N	Stucki_M	Slow Grow	Bio Hahn	Bio Schiess	Bio Hasenfratz	Bio Rathgeb	Konventionell
1.Probe	12.43	10.98	11.27	13.47	11.71	13.89	12.92	9.01
2.probe	12.14	10.17	10.37	11.97	11.30	12.21	11.76	8.85
3.Probe	12.19	11.04	9.61	11.77	11.18	12.14	11.38	8.85
4.Probe	11.88	14.17	10.36	10.36	13.58	11.59	11.50	8.88
5.Probe	14.75	11.67	11.19	10.81	11.42	13.65	12.90	9.67
6.Probe	11.93	11.56	11.19	11.84	11.33	14.24	11.73	10.57
7.Probe	12.63	10.74	13.98	11.82	11.57	10.86	11.76	8.13
Durchschnitt	12.56	11.48	11.14	11.72	11.73	12.65	11.99	9.14

Textur Analyse in kg	Stucki N	Stucki M	Slow Grow	Bio Hahn	Bio Schiess	Bio Rathgeb	Bio Hasenfratz	Konventionell
1.Probe	6.77	9.10	9.37	9.04	6.73	8.37	5.74	5.80
2.probe	9.26	6.74		7.69	7.62	8.85	7.68	7.78
3.Probe	7.92	8.20	10.91	10.21	5.30	10.66	7.06	6.11
4.Probe	9.94	10.11	6.04	11.83	10.39	11.93	7.92	6.19
5.Probe	7.41	8.46	7.30	8.73	6.83	11.89	5.89	8.93
6.Probe	4.32	11.61		7.18	8.31	9.52	7.77	6.42
7.Probe	6.52	9.53	11.57	8.99	7.90	9.25	6.78	4.83
Mittelwert	7.45	9.11	10.29	9.09	7.58	10.07	6.98	6.58

Sensorische Analyse mit Intensitätsstufe von 0= nicht wahrnehmbar bis 6= sehr intensiv								
Gedämpfte Karotten	Regenerativ (Nov.)	Regenerativ (März)	Slow Grow	Bio Hahn	Bio Schiess	Konventionell	Konventionell	
Farbe Kern	4	grosse V.	5	3	6	4	5	
Farbe aussen	4		4	5	5	4	4	
Aroma	4	4	4	4	5	3	3	
	b	b	b, g	b	b, f, g	b, f, g	b	
süss	3	5	3	5	4	3	3	
bitter	2	1	3	1	1	2	2	
Biss	3	5	4	4	4	4	5	
Festigkeit	4	3	4	4	4	4	5	
Mundgefühl	nichts	k	k	k	k	k	k	
Rohe Karotten	Regenerativ (Nov.)	Regenerativ (März)	Regenerativ (März)	Slow Grow	Bio Hahn	Bio Schiess	Konventionell	
Farbe Kern	4	4	4	4	4	6	5	
Farbe aussen	4	4	4	3	3	4	3	
Aroma	4	4	3	3	3	5	1	
	f, g	f	f, g, wü	g	g	b, f	g	
süss	3	4	3	1	3	4	1	
bitter	2	1	1	3	1	1	1	
Biss	5	4	4	4	5	5	4	
Mundgefühl	k	k	fa	leicht fa	k	k	k, m	
Festigkeit	4	4	4	4	4	4	3	
Saftigkeit	4	5	3	4	4	5	6	
				wä, s			wä	

Legende: b = blumig, g = grasig/grün, fr = fruchtig, wü= würzig, k = knackig, m = mürb, fa = fasrig, wä = wässrig, s = saftig

Anhang 4 Sensorik

Anhang 4.1 Prüfformular

Sensorische Beschreibung roher Karotten

Prüfer: _____
 Probe: _____

Datum: _____

Bitte beschreiben Sie die Merkmalseigenschaften der vorliegenden Prüfprobe.

Merkmalskategorie	Intensität (Skalenwert)	0	1	2	3	4	5	6	
1. Optik									
1a) Farbe Kern	hell orange	----- ----- ----- ----- ----- -----							dunkel orange
1b) Farbe aussen	hell orange	----- ----- ----- ----- ----- -----							dunkel orange
2. Flavour		0	1	2	3	4	5	6	
2a) Karottenaroma	nicht wahrnehmbar	----- ----- ----- ----- ----- -----							sehr intensiv
<input type="checkbox"/> blumig	Bemerkung:								
<input type="checkbox"/> würzig	Bemerkung:								
<input type="checkbox"/> fruchtig	Bemerkung:								
<input type="checkbox"/> erdig/muffig	Bemerkung:								
<input type="checkbox"/> grasig/grün	Bemerkung:								
<input type="checkbox"/> weiteres	Bemerkung:								
2b) süss	nicht wahrnehmbar	----- ----- ----- ----- ----- -----							sehr intensiv
2c) bitter	nicht wahrnehmbar	----- ----- ----- ----- ----- -----							sehr intensiv
3. Konsistenz		0	1	2	3	4	5	6	
3a) Biss	gering	----- ----- ----- ----- ----- -----							hoch
3b) Festigkeit	gering	----- ----- ----- ----- ----- -----							hoch
3c) Mundgefühl	bitte ankreuzen wenn wahrgenommen								
<input type="checkbox"/> knackig	Bemerkung:								
<input type="checkbox"/> mürb	Bemerkung:								
<input type="checkbox"/> gummig	Bemerkung:								
<input type="checkbox"/> faserig	Bemerkung:								
<input type="checkbox"/> weiteres	Bemerkung:								
3d) Saftigkeit	Trocken/nicht saftig	----- ----- ----- ----- ----- -----							sehr saftig

Bemerkung:	Intensitätsskala: 0 nicht wahrnehmbar 1 sehr schwach wahrnehmbar (Erkennungsschwelle) 2 schwach wahrnehmbar 3 wahrnehmbar 4 deutlich wahrnehmbar 5 intensiv 6 sehr intensiv
------------	--

Sensorische Beschreibung gedämpfter Karotten

Prüfer: _____

Datum: _____

Probe: _____

Bitte beschreiben Sie die Merkmalseigenschaften der vorliegenden Prüfprobe.

Merkmal	Intensität (Skalenwert)						
1. Optik	0	1	2	3	4	5	6
1a) Farbe Kern	hel orange	----- ----- ----- ----- -----					dunkel orange
1b) Farbe aussen	hell orange	----- ----- ----- ----- -----					dunkel orange
2. Flavour	0	1	2	3	4	5	6
2a) Karottenaroma	nicht wahrnehmbar	----- ----- ----- ----- -----					sehr intensiv
<input type="checkbox"/> blumig	Bemerkung:						
<input type="checkbox"/> würzig	Bemerkung:						
<input type="checkbox"/> fruchtig	Bemerkung:						
<input type="checkbox"/> erdig/muffig	Bemerkung:						
<input type="checkbox"/> grasig/grün	Bemerkung:						
<input type="checkbox"/> weiteres	Bemerkung:						
2b) süss	nicht wahrnehmbar	----- ----- ----- ----- -----					sehr intensiv
2c) bitter	nicht wahrnehmbar	----- ----- ----- ----- -----					sehr intensiv
3. Konsistenz	0	1	2	3	4	5	6
3a) Biss	gering	----- ----- ----- ----- -----					hoch
3b) Festigkeit	gering	----- ----- ----- ----- -----					hoch
3c) Mundgefühl	bitte ankreuzen wenn wahrgenommen						
<input type="checkbox"/> knackig	Bemerkung:						
<input type="checkbox"/> mürb	Bemerkung:						
<input type="checkbox"/> gummig	Bemerkung:						
<input type="checkbox"/> faserig	Bemerkung:						
<input type="checkbox"/> weiteres	Bemerkung:						

Bemerkung:	Intensitätsskala: 0 nicht wahrnehmbar 1 sehr schwach wahrnehmbar (Erkennungsschwelle) 2 schwach wahrnehmbar 3 wahrnehmbar 4 deutlich wahrnehmbar 5 intensiv 6 sehr intensiv
------------	--

Anhang 4.2 Attributtabelle

Nummer	Merkmal	Merkmalseigenschaften für rohe und gedämpfte Karotten	Skala
1.Optik			
1a	Farbe Kern	Visuelle Bewertung der Farbintensität des inneren Kerns	hellorange – dunkelorange
1b	Farbe aussen	Visuelle Bewertung der Farbintensität ausserhalb des Kerns	hellorange – dunkelorange
2.Flavour			
2a	Karottenaroma	Gesamtintensität des wahrgenommenen Aromas (ortho- und retronasal), das charakteristisch für Karotten ist.	nicht wahrnehmbar – sehr intensiv
	blumig	Aroma, assoziiert mit blumigen Noten (erinnert z.B. an Blütenhonig, Rosen)	Anmerkungen möglich (Präzisierung, Intensitäts-einschätzung, ...)
	fruchtig	Aroma, assoziiert mit Früchten (erinnert z.B. an Apfel, Ananas, Pfirsich, Banane)	Anmerkungen möglich (Präzisierung, Intensitäts-einschätzung, ...)
	würzig	Aroma, assoziiert mit Gewürzen (erinnert z.B. an Gewürznelken, Vanille)	Anmerkungen möglich (Präzisierung, Intensitäts-einschätzung, ...)
	erdig/muffig	Aroma, assoziiert mit Erde (dumpf, kellerartig. <u>Erinnert z.B. an Randen, Tahin</u>)	Anmerkungen möglich (Präzisierung, Intensitäts-einschätzung, ...)
	grasig/grün	Aroma, assoziiert mit frisch geschnittenem Gras	Anmerkungen möglich (Präzisierung, Intensitäts-einschätzung, ...)
2b	süss	Grundgeschmack, assoziiert mit <u>Saccharoselösung</u>	nicht wahrnehmbar – sehr intensiv
2c	bitter	Grundgeschmack, assoziiert mit Koffeinlösungen	nicht wahrnehmbar – sehr intensiv
3.Konsistenz			
3a	Biss	Kraftaufwand beim ersten Durchbeissen der Scheibe mit den Schneidezähnen (Karottenscheibe von aussen her abbeissen)	gering- hoch
3b	Festigkeit	Kraftaufwand, um die Probe beim Kauen im Mund mit den Zähnen zu zerkleinern	gering - hoch
3c	Mundgefühl	Textur-Wahrnehmung beim Kauen im Mund	wenn wahrgenommen ankreuzen
	knackig	festes Fruchtfleisch, dass sich «glatt» durchbeissen lässt	Anmerkungen möglich (Präzisierung, Intensitäts-einschätzung, ...)
	mürb	Fruchtfleisch, dass sich beim Zerkauen in kleine Bruchstücke zerteilt lässt.	Anmerkungen möglich (Präzisierung, Intensitäts-einschätzung, ...)
	gummig	Fruchtfleisch, dass sich beim Durchbeissen zäh / elastisch verhält	Anmerkungen möglich (Präzisierung, Intensitäts-einschätzung, ...)
	faserig	Fruchtfleisch, dass sich beim Zerkauen in faserige Bestandteile zerteilt	Anmerkungen möglich (Präzisierung, Intensitäts-einschätzung, ...)
3d	Saftigkeit	Eindruck der Trockenheit / Feuchtigkeit der Probe beim Zerkauen, gemessen an der Menge austretenden Safts	trocken / nicht saftig – sehr saftig

