





Institut für Gartenbau  
Department für Nutzpflanzenwissenschaften  
Universität für Bodenkultur Wien

## Masterarbeit

Der Einfluss unterschiedlicher Mineralstoffernährung auf Geschmack und weitere Qualitätseigenschaften von Microgreens

gestellt von:

Keutgen Norbert, Priv.-Doz. Dr.

Keutgen Anna, Uni.-Prof. Dipl.-Ing. sc. agr. Dr. sc. agr.

von:

Michael Hausknecht BSc.

Wien, Juni 2021

## **Zusammenfassung**

Der Anbau von Microgreens hat in den letzten Jahren immer mehr an Bedeutung gewonnen, da diese eine immer größer werdender Beliebtheit bei Konsumenten gewinnen. Durch ihre einzigartigen Farben und Geschmack sind Microgreens ein immer wichtig werdender Bestandteil für die Zubereitung von gesunden und frischen Mahlzeiten. Ziel dieser Forschungsarbeit war die Untersuchung der Einflüsse von unterschiedlichen Nährlösungen im hydroponischen Anbau auf die Qualität bei Garten- und Radieskresse-Microgreens. Die Ergebnisse in der vorliegenden Masterarbeit zeigten Unterschiede im Hinblick auf optische und sensorische Parameter zwischen den Mineralstoffernährungen. Es zeigte sich, dass die gedüngten Varianten gegenüber den Varianten ohne Düngung bevorzugt wurden. In den Untersuchungen zum Gehalt an sekundären Pflanzeninhaltsstoffen zeigte sich, dass durch erhöhten Stress die Microgreens einen höheren Gehalt an Anthocyanen und Flavonoiden aufwiesen. Der Chlorophyll- und Carotinoidgehalt war hingegen bei den stärker gedüngten Varianten erhöht. Um genauere Empfehlungen für die Zusammensetzung einer hydroponischen Nährlösung geben zu können sind allerdings weitere Nachforschungen nötig.

## **Abstract**

The cultivation of microgreens has become more and more important in recent years, as these are becoming increasingly popular for consumers. Due to their unique colours and taste, microgreens are becoming an increasingly important component in the preparation of healthy and fresh meals. The aim of this research work was to investigate the influence of different nutrient solutions in hydroponic cultivation on the quality of garden and radish cress microgreens. The results in the present master's thesis showed differences in the assessment regarding the optical and sensory parameter between the different nutrient solutions. In general, it was found that the fertilized variants were preferred over the variants without fertilization. The studies on the content of secondary plant constituents showed that the microgreens had a higher content of anthocyanins and flavonoids due to increased stress. The chlorophyll and carotenoid values were increased in the variants with higher fertilization. However, further research is necessary to be able to give more precise recommendations for the composition of a hydroponic nutrient solution.

## **Danksagung**

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen bedanken, die es mir möglich gemacht haben, diese Masterarbeit zu erstellen und mich währenddessen begleitet und unterstützt haben.

Ein besonderer Dank gilt meinen Eltern sowie meiner Familie und meinen Freunden.

Vielen Dank an Prof. Anna Keutgen und Doz. Norbert Keutgen für die hervorragende Betreuung und die Bereitstellung dieses interessanten Forschungsthemas. Besonders möchte ich Doz. Norbert Keutgen dafür danken, dass er stets bei Fragen oder Unklarheiten für mich da war. Weiters möchte ich mich bei allen MitarbeiterInnen des Instituts für Gartenbau bedanken die mir bei Fragen stets weitergeholfen haben. Ein Dank auch an alle Personen und StudentInnen die an den Sensorik Test teilgenommen.

# Inhaltsverzeichnis

<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>I</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>I</b>
<b>Danksagung</b> .....	<b>II</b>
<b>Inhaltsverzeichnis</b> .....	<b>III</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	<b>IV</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>V</b>
<b>1 Einleitung</b> .....	<b>1</b>
1.1 Literaturübersicht Microgreens .....	4
1.1.1 Definition .....	4
1.1.2 Pflanzenaufbau .....	5
1.1.3 Anbau .....	6
1.1.4 Microgreens als Functional Food .....	7
1.1.5 Sekundäre Pflanzeninhaltsstoffe .....	10
<b>2 Material und Methoden</b> .....	<b>14</b>
2.1 Laborversuch .....	14
2.1.1 Material .....	14
2.1.2 Versuchsaufbau .....	15
2.1.3 Anbau .....	16
2.1.4 Extraktion .....	17
2.1.5 Laboranalysen .....	17
2.1.6 Statistische Auswertung .....	19
2.2 Sensorische Auswertung .....	20
2.2.1 Sensorik-Testraum .....	20
2.2.2 Versuchsaufbau .....	20
2.2.3 Fragebogen .....	20
2.2.4 Statistische Auswertung .....	21
<b>3 Ergebnisse</b> .....	<b>22</b>
3.1 Labor .....	22
3.1.1 Pflanzenwachstum .....	22
3.1.2 Pflanzenlänge bei der Ernte .....	23
3.1.3 Trockenmasse .....	27
3.1.4 Chlorophyll <i>a</i> .....	29
3.1.5 Chlorophyll <i>b</i> .....	31
3.1.6 Gesamtchlorophyll .....	32
3.1.7 Carotinoide .....	35
3.1.8 Flavonoide .....	37

3.1.9	Anthocyane.....	39
3.1.10	Gesamtphenole .....	41
3.1.11	Nitrat.....	43
3.1.12	Antioxidative Kapazität.....	45
3.1.13	pH und EC-Wert Messung .....	47
3.2	Sensorik.....	49
3.2.1	Gesamtwahrnehmung .....	49
3.2.2	Geschmack .....	50
3.2.2.1	Schärfe.....	50
3.2.2.2	Knackigkeit .....	52
3.2.2.3	Typischer Geschmack .....	53
3.2.2.4	Fehlaroma.....	55
3.2.3	Gesamtgeschmack.....	56
3.2.4	Optisches Erscheinungsbild.....	58
3.2.4.1	Stiellänge .....	58
3.2.4.2	Blattgröße .....	59
3.2.4.3	Sortentypische Farbe .....	60
3.2.5	Gesamtbewertung des äußeren Erscheinungsbildes .....	62
4	<b>Diskussion</b> .....	64
4.1	Laborversuch.....	64
4.2	Sensorik.....	67
5	<b>Schlussfolgerung</b> .....	71
6	<b>Literaturverzeichnis</b> .....	72
7	<b>Anhang</b> .....	77

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Taxonomie von <i>Raphanus sativus</i> (EPPO Global Database 2002). .....	5
Tabelle 2:	Taxonomie von <i>Lepidium sativum</i> (EPPO Global Database 2004). .....	5
Tabelle 3:	Pflanzenfamilien und Arten von häufig angebauten Microgreens (Turner et al. 2020).....	5
Tabelle 4:	Gehalt an Inhaltsstoffen Gartenkresse (U.S.D.A 2019). .....	9
Tabelle 5:	Gehalt an Inhaltsstoffen Radieschen Sprossen, roh (U.S.D.A 2019).....	9
Tabelle 6:	Mineralstoffgehalt der modifizierten Hoagland-Lösungen in mg/L.....	15
Tabelle 7:	Sensorik Fragebogen .....	20
Tabelle 8:	Statistik zur Pflanzenlänge von Radieskresse bei der Ernte (Mittelwert und Standardabweichung; Signifikanz bei $P \leq 0,05$ ). .....	25
Tabelle 9:	Statistik zur Pflanzenlänge von Gartenkresse bei der Ernte. (Mittelwert und Standardabweichung; Signifikanz bei $P \leq 0,05$ ) .....	26
Tabelle 10:	Statistik zum Trockenmassegehalt der Blätter und Stiele der untersuchten Radieskresse und Gartenkresse (Mittelwert und Standardabweichung; Signifikanz bei $P \leq 0,05$ ) .....	28

<i>Tabelle 11: Statistik zu den Gehalten an Chlorophyll a der Blätter und Stiele der untersuchten Radieskresse und Gartenkresse (Mittelwert und Standardabweichung; Signifikanz bei <math>P \leq 0,05</math>).</i>	30
<i>Tabelle 12: Statistik zu den Gehalten an Chlorophyll b der Blätter und Stiele der untersuchten Radieskresse und Gartenkresse (Mittelwert und Standardabweichung; Signifikanz bei <math>P \leq 0,05</math>).</i>	32
<i>Tabelle 13: Statistik zu den Gesamtchlorophyllgehalten der Blätter und Stiele der untersuchten Radieskresse und Gartenkresse (Mittelwert und Standardabweichung; Signifikanz bei <math>P \leq 0,05</math>).</i>	34
<i>Tabelle 14: Statistik zu den Carotinoidgehalten der Blätter und Stiele der untersuchten Radieskresse und Gartenkresse (Mittelwert und Standardabweichung; Signifikanz bei <math>P \leq 0,05</math>) Für Radieskresse Stiel wurde ein Kruskal-Wallis Test angewandt.</i>	36
<i>Tabelle 15: Statistik zu den Flavonoidgehalten der Blätter und Stiele der untersuchten Radieskresse und Gartenkresse (Mittelwert und Standardabweichung; Signifikanz bei <math>P \leq 0,05</math>; RE: Rutinäquivalente). Für Radieskresse- Stiele wurde ein Kruskal-Wallis Test angewandt.</i>	38
<i>Tabelle 16: Statistik zu den Anthocyangehalten der Blätter und Stiele der untersuchten Radieskresse und Gartenkresse (Mittelwert und Standardabweichung; Signifikanz bei <math>P \leq 0,05</math>). Für Radieskresse-Blätter wurde ein Kruskal-Wallis Test angewandt.</i>	40
<i>Tabelle 17: Statistik zu den Phenolgehalten der Blätter und Stiele der untersuchten Radieskresse und Gartenkresse (Mittelwert und Standardabweichung; Signifikanz bei <math>P \leq 0,05</math>; GAE: Gallussäureäquivalente) Für Gartenkresse wurde ein Dunnet T3 Test angewandt.</i>	42
<i>Tabelle 18: Statistik zu den Nitratgehalten der Blätter und Stiele der untersuchten Radieskresse und Gartenkresse (Mittelwert und Standardabweichung; Signifikanz bei <math>P \leq 0,05</math>).</i>	44
<i>Tabelle 19: Statistik zur antioxidativen Kapazität der Blätter und Stiele der untersuchten Radieskresse und Gartenkresse (Mittelwert und Standardabweichung; Signifikanz bei <math>P \leq 0,05</math>) Für Radieskresse -Stiele wurde ein Kruskal-Wallis Test angewandt.</i>	46
<i>Tabelle 20: Gehalte des verwendeten Leitungswassers [eigene Analyse? Literaturquelle?]</i>	77

## **Abbildungsverzeichnis**

<i>Abbildung 1: Einteilung der Pflanzenteile von Radieskresse (eigene Aufnahme)</i>	4
<i>Abbildung 2: Anzuchtgefäße der Firma Cressbar® (eigene Aufnahme)</i>	15
<i>Abbildung 3: Längenwachstums Verlauf von Radieskresse über 6 Tage. Die Daten in der Abb. der Publikation stimmen nicht mit denen Ihrer Abb. überein. Bitte Messwerte in Ihrer Abb. ändern (siehe mitgeschickter File [nicht meine Abb. verwenden, das wäre dann ein Plagiat, da schon in der Publikation genutzt!])</i>	22
<i>Abbildung 4: Längenwachstums Verlauf von Gartenkresse über 6 Tage. Die Daten in der Abb. der Publikation stimmen nicht mit denen Ihrer Abb. überein. Bitte Messwerte in Ihrer Abb. ändern (siehe mitgeschickter File [nicht meine Abb. verwenden, das wäre dann ein Plagiat, da schon in der Publikation genutzt!])</i>	23
<i>Abbildung 5: Mittlere Stiellänge (cm) von Radiesresse bei der Ernte (Mittelwert und Standardabweichung ; Signifikanz nach dem Tukey Test bei <math>P \leq 0,05</math>).</i>	23
<i>Abbildung 6: Mittlere Blattstiellänge (cm) von Radieskresse bei der Ernte (Mittelwert und Standardabweichung; Signifikanz nach dem Tukey Test bei <math>P \leq 0,05</math>).</i>	24
<i>Abbildung 7: Mittlere Blattbreite (cm) von Radieskresse bei der Ernte (Mittelwert und Standardabweichung; Signifikanz nach dem Tukey Test bei <math>P \leq 0,05</math>).</i>	24
<i>Abbildung 8: Mittlere Blattlänge (cm) von Radieskresse bei der Ernte (Mittelwert und Standardabweichung; Signifikanz nach dem Tukey Test bei <math>P \leq 0,05</math>).</i>	25
<i>Abbildung 9: Mittlere Pflanzenlänge (cm) von Gartenkresse bei der Ernte (Mittelwert und Standardabweichung; Signifikanz nach Tukey Test bei <math>P \leq 0,05</math>).</i>	26
<i>Abbildung 10: Mittlere Trockenmassegehalte in % der Radieskresse-Blätter (Mittelwert und Standardabweichung; Signifikanz nach Tukey Test bei <math>P \leq 0,05</math>).</i>	27
<i>Abbildung 11: Mittlere Trockenmassegehalte in % der Stiele von Radieskresse (Mittelwert und Standardabweichung; Signifikanz nach Tukey Test bei <math>P \leq 0,05</math>).</i>	27
<i>Abbildung 12: Mittlere Trockenmassegehalte in % der Gartenkresse (Mittelwert und Standardabweichung; Signifikanz nach Tukey Test bei <math>P \leq 0,05</math>).</i>	28
<i>Abbildung 13: Mittlere Gehalte an Chlorophyll a der untersuchten Radieskresse-Blätter in <math>\text{mg g}^{-1} \text{ TM}</math> (Mittelwert und Standardabweichung; Signifikanz nach Tukey Test bei <math>P \leq 0,05</math>).</i>	29
<i>Abbildung 14: Mittlere Gehalte an Chlorophyll a der Radieskresse-Stiele in <math>\text{mg g}^{-1} \text{ TM}</math> (Mittelwert und Standardabweichung; Signifikanz nach Tukey Test bei <math>P \leq 0,05</math>).</i>	29

Abbildung 15: Mittlere Gehalte an Chlorophyll a der Gartenkresse in mg g <sup>-1</sup> TM (Mittelwert und Standardabweichung; Signifikanz nach Tukey Test bei P ≤ 0,05). .....	30
Abbildung 16: Mittlere Gehalte an Chlorophyll b der Radieskresse-Blätter in mg g <sup>-1</sup> TM (Mittelwert und Standardabweichung; Signifikanz nach Tukey Test bei P ≤ 0,05). .....	31
Abbildung 17: Mittlere Gehalte an Chlorophyll b der Radieskresse-Stiele in mg g <sup>-1</sup> TM (Mittelwert und Standardabweichung; Signifikanz nach Tukey Test bei P ≤ 0,05). .....	31
Abbildung 18: Mittlere Gehalte an Chlorophyll b der Gartenkresse in mg g <sup>-1</sup> TM (Mittelwert und Standardabweichung; Signifikanz nach Tukey Test bei P ≤ 0,05) .....	32
Abbildung 19: Mittlere Gesamtchlorophyllgehalte der Radieskresse-Blätter in mg g <sup>-1</sup> TM (Mittelwert und Standardabweichung; Signifikanz nach Tukey Test bei P ≤ 0,05). .....	33
Abbildung 20: Mittlere Gesamtchlorophyllgehalte der Radieskresse-Stiele in mg g <sup>-1</sup> TM (Mittelwert und Standardabweichung; Signifikanz nach Tukey Test bei P ≤ 0,05). .....	33
Abbildung 21: Mittlere Gesamtchlorophyllgehalte der Gartenkresse in mg g <sup>-1</sup> TM (Mittelwert und Standardabweichung; Signifikanz nach Tukey Test bei P ≤ 0,05). .....	34
Abbildung 22: Mittlere Carotinoidgehalte der untersuchten Radieskresse-Blätter in mg g <sup>-1</sup> TM (Mittelwert und Standardabweichung; Signifikanz nach Tukey Test bei P ≤ 0,05). .....	35
Abbildung 23: Mittlere Carotinoidgehalte der untersuchten Radieskresse-Stiele in mg g <sup>-1</sup> TM (Mittelwert und Standardabweichung; Signifikanz nach Tukey Test bei P ≤ 0,05). .....	35
Abbildung 24: Mittlere Carotinoidgehalte der untersuchten Gartenkresse in mg g <sup>-1</sup> TM (Mittelwert und Standardabweichung; Signifikanz nach Tukey Test bei P ≤ 0,05). .....	36
Abbildung 25: Mittlere Flavonoidgehalte der Radieskresse-Blätter in mg kg <sup>-1</sup> RE TM (Mittelwert und Standardabweichung; Signifikanz nach Tukey Test bei P ≤ 0,05; RE: Rutinäquivalente).....	37
Abbildung 26: Mittlere Flavonoidgehalte der untersuchten Radieskresse Stiele in mg kg <sup>-1</sup> RE TM (Mittelwert und Standardabweichung; Signifikanz nach Kruskal-Wallis Test bei P ≤ 0,05; RE: Rutinäquivalente). .....	37
Abbildung 27: Mittlere Flavonoidgehalte der Gartenkresse in mg kg <sup>-1</sup> RE TM (Mittelwert und Standardabweichung; Signifikanz nach Tukey Test bei P ≤ 0,05; RE: Rutinäquivalente).....	38
Abbildung 28: Mittlere Anthocyangehalte der Radieskresse-Blätter in mg g <sup>-1</sup> TM (Mittelwert und Standardabweichung; Signifikanz nach Tukey Test bei P ≤ 0,05) .....	39
Abbildung 29: Mittlere Anthocyangehalte der Radieskresse-Stiele in mg g <sup>-1</sup> TM (Mittelwert und Standardabweichung; Signifikanz nach Tukey Test bei P ≤ 0,05). .....	39
Abbildung 30: Mittlere Anthocyangehalte der Gartenkresse in mg g <sup>-1</sup> TM (Mittelwert und Standardabweichung; Signifikanz nach Tukey Test bei P ≤ 0,05). .....	40
Abbildung 31: Mittlere Gesamtphenolgehalte der Radieskresse-Blätter in mg g <sup>-1</sup> GAE TM (Mittelwert und Standardabweichung; Signifikanz nach Tukey Test bei P ≤ 0,05; GAE: Gallussäureäquivalente). .....	41
Abbildung 32: Mittlere Gesamtphenolgehalte der Radieskresse-Stiele in mg g <sup>-1</sup> GAE TM (Mittelwert und Standardabweichung; Signifikanz nach Tukey Test bei P ≤ 0,05; GAE: Gallussäureäquivalente). .....	41
Abbildung 33: Mittlere Gesamtphenolgehalte der Gartenkresse in mg g <sup>-1</sup> GAE TM (Mittelwert und Standardabweichung; Signifikanz nach Tukey Test bei P ≤ 0,05; GAE: Gallussäureäquivalente). .....	42
Abbildung 34: Mittlere Nitratgehalte der Radieskresse-Blätter in mg g <sup>-1</sup> TM (Mittelwert und Standardabweichung; Signifikanz nach Tukey Test bei P ≤ 0,05). .....	43
Abbildung 35: Mittlere Nitratgehalte der Radieskresse-Stiele in mg g <sup>-1</sup> TM (Mittelwert und Standardabweichung; Signifikanz nach Tukey Test bei P ≤ 0,05). .....	43
Abbildung 36: Mittlere Nitratgehalte der Gartenkresse in mg g <sup>-1</sup> TM (Mittelwert und Standardabweichung; Signifikanz nach Tukey Test bei P ≤ 0,05). .....	44
Abbildung 37: Mittlere antioxidative Kapazität (mmol g <sup>-1</sup> TM) der Radieskresse-Blätter (Mittelwert und Standardabweichung; Signifikanz nach Tukey Test bei P ≤ 0,05). .....	45
Abbildung 38: Mittlere antioxidative Kapazität (mmol g <sup>-1</sup> TM) der untersuchten Radieskresse-Stiele (Mittelwert und Standardabweichung; Signifikanz nach Kruskal-Wallis Test bei P ≤ 0,05). .....	45
Abbildung 39: Mittlere antioxidative Kapazität (mmol g <sup>-1</sup> TM) der Gartenkresse (Mittelwert und Standardabweichung; Signifikanz nach ANOVA bei P ≤ 0,05). .....	46
Abbildung 40: Messergebnisse des pH-Wert bei Radieskresse vor und nach dem Anbau. ....	47
Abbildung 41: Messergebnisse des EC-Wert bei Radieskresse vor und nach dem Anbau. ....	47
Abbildung 42: pH-Wert von Gartenkresse vor und nach dem Anbau der Microgreens. ....	48
Abbildung 43: EC-Wert von Gartenkresse vor und nach dem Anbau der Microgreens. ....	48
Abbildung 44: Reihung der Radieskresse in Bezug auf Aussehen und Geschmack (Anzahl der Bewertungen in %). Unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede der Varianten an .....	49

<i>Abbildung 45: Reihung Gartenkresse in Bezug auf Aussehen und Geschmack (Anzahl der Bewertungen in %). Unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede der Varianten an.....</i>	<i>50</i>
<i>Abbildung 46: Bewertung der Schärfe bei Radieskresse (Anzahl der Bewertungen in %). Unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede der Varianten an.....</i>	<i>51</i>
<i>Abbildung 47: Bewertung der Schärfe bei Gartenkresse (Anzahl der Bewertungen in %). Unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede der Varianten an.....</i>	<i>51</i>
<i>Abbildung 48: Bewertung der Knackigkeit bei Radieskresse (Anzahl der Bewertungen in %). Unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede der Varianten an.....</i>	<i>52</i>
<i>Abbildung 49: Bewertung der Knackigkeit bei Gartenkresse (Anzahl der Bewertungen in %). Unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede der Varianten an.....</i>	<i>53</i>
<i>Abbildung 50: Bewertung des typischen Geschmacks bei Radieskresse (Anzahl der Bewertungen in %). Unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede der Varianten an.....</i>	<i>54</i>
<i>Abbildung 51: Bewertung des typischen Geschmacks bei Gartenkresse (Anzahl der Bewertungen in %). Unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede der Varianten an.....</i>	<i>54</i>
<i>Abbildung 52: Bewertung des Fehl aromas bei Radieskresse (Anzahl der Bewertungen in %). Unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede der Varianten an.....</i>	<i>55</i>
<i>Abbildung 53: Bewertung des Fehl aromas bei Gartenkresse (Anzahl der Bewertungen in %). Unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede der Varianten an.....</i>	<i>56</i>
<i>Abbildung 54: Bewertung des Gesamtgeschmacks bei Radieskresse (Anzahl der Bewertungen in %). Unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede der Varianten an.....</i>	<i>57</i>
<i>Abbildung 55: Bewertung des Gesamtgeschmacks bei Gartenkresse (Anzahl der Bewertungen in %). Unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede der Varianten an.....</i>	<i>57</i>
<i>Abbildung 56: Bewertung der Stiellänge bei Radieskresse (Anzahl der Bewertungen in %). Unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede der Varianten an.....</i>	<i>58</i>
<i>Abbildung 57: Bewertungen der Stiellänge bei Gartenkresse (Anzahl der Bewertungen in %). Unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede der Varianten an.....</i>	<i>59</i>
<i>Abbildung 58: Bewertung der Blattgröße bei Radieskresse (Anzahl der Bewertungen in %). Unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede der Varianten an.....</i>	<i>60</i>
<i>Abbildung 59: Bewertung der Blattgröße bei Gartenkresse (Anzahl der Bewertungen in %). Unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede der Varianten an.....</i>	<i>60</i>
<i>Abbildung 60: Bewertung der sortentypischen Blattfarbe bei Radieskresse (Anzahl der Bewertungen in %). Unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede der Varianten an.....</i>	<i>61</i>
<i>Abbildung 61: Bewertung der sortentypischen Blattfarbe bei Gartenkresse (Anzahl der Bewertungen in %). Unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede der Varianten an.....</i>	<i>61</i>
<i>Abbildung 62: Gesamtbewertung des äußeren Erscheinungsbildes bei Radieskresse (Anzahl der Bewertungen in %). Unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede der Varianten an.....</i>	<i>62</i>
<i>Abbildung 63: Gesamtbewertung des äußeren Erscheinungsbildes bei Gartenkresse (Anzahl der Bewertungen in %). Unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede der Varianten an.....</i>	<i>63</i>

## 1 Einleitung

Microgreens – ein „Functional Food“. Diesen Begriff finden wir nicht nur im kommerziellen, sondern auch im wissenschaftlichem Zusammenhang immer öfter. Xiao et al. (2012) veröffentlichten eine der ersten Forschungsarbeiten zum Thema Microgreens. Obwohl der Begriff Microgreens bereits in den 1980er Jahren in Kalifornien auf den Speisekarten in San Francisco aufgetaucht ist, findet man erst seit etwa 2012 vermehrt Publikationen zu diesem Thema. Microgreens haben als modernes Lebensmittel in den USA einen immer höheren Marktanteil (Chen et al. 2020). Sie bekommen immer mehr Aufmerksamkeit von der Wissenschaft und erfreuen sich auch bei Konsumenten immer größerer Beliebtheit (Brazaitytė et al. 2015; Gerovac et al. 2016; Treadwell et al. 2010; Turner et al. 2020; Xiao et al. 2012).

Aufgrund der prognostizierten wachsenden Stadtbevölkerung besteht ein großer Bedarf an Ackerland, um die Bevölkerung zu ernähren. Die Umwandlung von Waldflächen in Ackerland trägt nicht nur zur Entwaldung bei, sondern auch zur Erschöpfung natürlicher Ressourcen wie Grundwasser. Aufgrund des Verlusts von Lebensraum ergibt sich eine Verringerung der biologischen Vielfalt. Diese Entwicklung führt zur Erhöhung der Bodenerosion und einem Anstieg der Treibhausgasemissionen. Gleichzeitig bevorzugt die städtische Bevölkerung immer mehr verarbeitete Lebensmittel gegenüber natürlichen Lebensmitteln, was zu einem erhöhten Maß an Gesundheitsproblemen führt (Food and Agriculture Organization of the United Nations 2017). Aufgrund dieser Fakten eignen sich Microgreens ideal für die Produktion in Innenräumen und sind somit Teil der globalen Bewegung in Richtung des hochtechnologischen Anbaus in Innenräumen. Diese Bewegung wird durch Bevölkerungswachstum, schrumpfendes Ackerland und die Notwendigkeit der Gewährleistung der Ernährungssicherheit angetrieben (Goodman und Minner 2019). Die kurze Zeitspanne, die Microgreens bis zur Ernte benötigen, und die hohen Marktwerte machen sie zu wichtigen Pflanzen für den Anbau in Innenräumen. Der Markt für Microgreens wächst schnell, steht jedoch vor vielen Herausforderungen (Charlebois 2019; Riggio et al. 2019; Turner et al. 2020).

Microgreens werden von Köchen zunehmend als Beilage, Toppings und in Salaten verwendet und erfreuen sich aufgrund ihres hohen Gehalts an Vitaminen, bioaktiven Verbindungen und Antioxidantien zunehmender Beliebtheit als funktionelles Lebensmittel. Noch wichtiger ist, dass Microgreens mehr Nährstoffe enthalten als reife Pflanzen der gleichen Art (Xiao et al. 2012). Mit der Entwicklung der städtischen Landwirtschaft wächst das Interesse an einer hochwertigen kommerziellen Produktion. Microgreens können in Gewächshäusern oder in Innenräumen mit künstlichen Lichtquellen, in der Erde oder am häufigsten in hydroponischen Systemen unter Verwendung von organischen oder anorganischen Anbausubstraten oder hydroponischen Medien wie Vermiculit, Perlit und Torfmoos angebaut werden. Die Microgreens-Produktionsindustrie ist gleichmäßig zwischen konventionellen und hydroponischen Anbaumethoden aufgeteilt. Derzeit stehen den Erzeugern nicht genügend Erkenntnisse zur Verfügung, um fundierte Entscheidungen darüber zu treffen, welche Produktionsmethoden für ihre Situation am besten geeignet sind (Hoang und Thuong 2020).

Microgreens sind eine aufstrebende Kategorie von Produkten, die zunehmend an Beliebtheit gewonnen haben (Kyriacou et al. 2016; Pinto et al. 2015; Xiao et al. 2012). Sie sind essbare Pflanzen, die 7 bis 21 Tage nach dem Keimen geerntet werden, wenn sich die ersten echten Blätter entwickeln. Microgreens werden hauptsächlich in der Restaurantbranche verwendet, um die Speisen optisch attraktiver zu gestalten und werden am häufigsten frisch in Salaten, Suppen und Sandwiches konsumiert. Eine Vielzahl an Farben, Aromen und Geschmacksrichtungen zeichnen diese aus (Turner et al. 2020).

In der vorliegenden Masterarbeit sollen die Auswirkungen verschiedener Mineralstoffnährungen auf die sensorische und inhaltsstoffliche Qualität bei Radieskresse und Gartenkresse in einem hydroponischen Anbausystem diskutiert werden. Im Interesse der Untersuchungen liegt, welche der hier angewandten Nährlösungen die besten Ergebnisse im Hinblick auf den Geschmack, die äußeren Qualitätseigenschaften sowie den Gehalt an sekundären Pflanzeninhaltsstoffen erzielt. Parameter zur Qualitätsbestimmung von Gemüse sind der Gehalt an Chlorophyll *a* und *b* bzw. der Gehalt an Gesamtchlorophyll, an Carotinoiden, an Flavonoiden, an Anthocyanen, an Gesamtphenol, an Nitrat sowie die antioxidative Kapazität.

Um den Versuch möglichst praxisnah zu halten, wurde der Anbau hydroponisch durchgeführt. Es wurden zwei Versuchsreihen, eine mit Radieskresse und die zweite mit Gartenkresse durchgeführt. Der Anbau der Microgreens erfolgte in einer klimatisierten Kammer unter standardisierten Bedingungen.

Unmittelbar nach jedem Erntetermin wurde sowohl die Radieskresse als auch die Gartenkresse einer sensorischen Testung unterzogen. Um die Akzeptanz der Probanden bezüglich der verschiedenen Varianten ermitteln zu können, wurden sowohl der Geschmack als auch das Aussehen der Microgreens bewertet. Für den Geschmack der hier untersuchten Microgreens ist die Schärfe eine wichtige Komponente, die durch sogenannte Senföle entsteht (Matissek 2019). Da zu hohe Gehalte an Nitrat für die Gesundheit potentieller Konsumenten eine negative Auswirkung haben können, wurden die Proben durch Untersuchung eines Wasserextraktes auf den Nitratgehalt analysiert (European Food Safety Authority 2017).

In der Literaturübersicht wird die Begriffsdefinition, die Abgrenzung zu ähnlichen Produkten, der Anbau, der Pflanzenaufbau erklärt und auf sekundären Pflanzeninhaltsstoffe eingegangen.

Beim Analysieren der publizierten Beiträge zum Thema Microgreens fiel auf, dass die Forschung im Hinblick auf die Sensorik vor allem die Frage beantwortete, welche Pflanzen am geeignetsten wären, eine hohe Akzeptanz bei den Verbrauchern zu finden. Weiters wurde bereits untersucht, welche sekundären Pflanzeninhaltsstoffe bei welchem der zahlreichen Microgreens am höchsten waren. Es wurde auch der Unterschied, den verschiedener Nährmedien auf den Anbau haben, untersucht (Caracciolo et al. 2020; Chen et al. 2020; Michell et al. 2020; Xiao et al. 2015a).

Da es noch wenig Forschung über den Zusammenhang zwischen Nährlösungen und der sensorischen Akzeptanz von Microgreens gibt, war es das Ziel dieser Forschungsarbeit zu ermitteln, welche Unterschiede durch verschiedene Mineralstoffernährungen bei der inhaltsstofflichen und der sensorischen Qualität von Garten- und Radieskresse festzustellen sind.

Daraus ergaben sich folgende Arbeitshypothesen:

1. Mit der Analyse der Ergebnisse zu den Bewertungen der Sensorik-Tests sollte geprüft werden, ob sich seitens der Probanden wahrnehmbare Unterschiede bei den fünf Varianten zeigen, insbesondere in Bezug auf Geschmack, Aussehen und die Gesamtwahrnehmung.
2. Es sollte geprüft werden, ob die fünf Nährstoffvarianten eine Auswirkung auf die angebauten Microgreens im Gehalt an sekundären Pflanzeninhaltsstoffen haben.

## 1.1 Literaturübersicht Microgreens

### 1.1.1 Definition

Für ein besseres Verständnis ist eine Begriffsdefinition von Microgreens unabdingbar. In der Literatur wird dargelegt, wie sich Microgreens von Sprossen und sogenannten „Babyleaf“ Salaten abgrenzen. Microgreens haben viele Eigenschaften sowohl mit jungen Blattgemüsen als auch mit Sprossen gemeinsam - wie zum Beispiel, dass sie roh verzehrt werden, Gehalt an Nährstoffen, ihre Frische und der Anbau in kontrollierter Umgebung. Microgreens werden 7 bis 21 Tage nach der Aussaat geerntet. Dies ist abhängig von der Keimungsdauer der jeweiligen Art von Pflanzen die angebaut wird. Der Hauptunterschied zu „Babyleaf“ Salaten ist, dass Microgreens jünger sind. Im Gegensatz zu Sprossen werden die Wurzeln von Keimlingen nicht verzehrt und bleiben in den Substraten zurück (Hoang und Thuong 2020; Xiao et al. 2015b). Microgreens werden der Übergruppe der Salatkulturen zugeordnet, die in den letzten Jahren als neuer kulinarischer Trend an Beliebtheit gewonnen haben. Verzehrt werden die Keimlinge von Gemüse und Kräutern mit zarten Keimblättern, deren ersten Blätterpaare mehr oder weniger entwickelt sind. Bei der Ernte beträgt die Pflanzenhöhe je nach Art 2,5 bis 8 cm (Xiao et al. 2012)

Abbildung 1 stellt dar, welche Pflanzenteile bei Microgreens kulinarisch Verwendung finden. So werden das obere Hypokotyl und die Kotyledonen - auch Keimblätter genannt - als essbarer oder vermarktungsfähiger Teile betrachtet. Das untere Hypokotyl, die Samenschale und die Wurzel bleiben im Substrat zurück und werden als nicht essbarer Teile betrachtet.

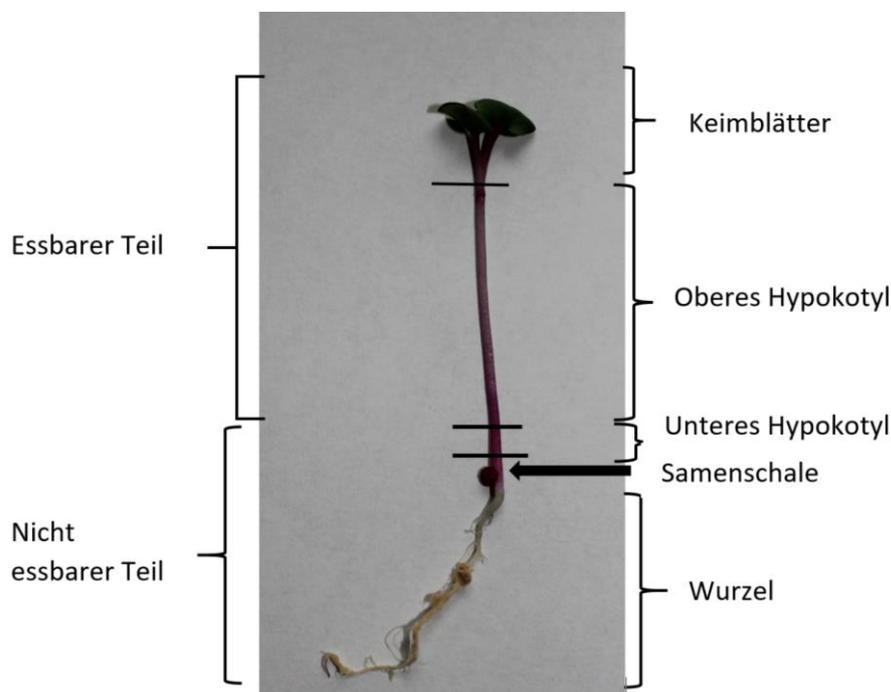


Abbildung 1: Einteilung der Pflanzenteile von Radieskresse (eigene Aufnahme)

### 1.1.2 Pflanzenaufbau

**Radieskresse:** (*Raphanus sativus* L.)

*Tabelle 1: Taxonomie von Raphanus sativus (EPPO Global Database 2002).*

Reich	<i>Plantae</i>
Stamm	<i>Magnoliophyta</i>
Klasse	<i>Angiospermae</i>
Ordnung	<i>Brassicales</i>
Familie	<i>Brassicaceae</i>
Gattung	<i>Raphanus</i>
Art	<i>Raphanus sativus</i>

*Raphanus sativus* L. gehört zu der Pflanzenfamilie der Kreuzblütler und stammt ursprünglich aus Europa und Asien. Eine typische Eigenschaft der Radieschen ist ihr scharfer Geschmack. Glucosinolate, die in Radieschen enthalten sind, haben eine Vielzahl an gesundheitsfördernden Eigenschaften, wie ihre antimikrobielle, antioxidative, anticancerogene und antivirale Aktivität (Gutiérrez und Perez 2004).

**Gartenkresse:** (*Lepidium sativum* L.)

*Tabelle 2: Taxonomie von Lepidium sativum (EPPO Global Database 2004).*

Reich	<i>Plantae</i>
Stamm	<i>Magnoliophyta</i>
Klasse	<i>Angiospermae</i>
Ordnung	<i>Brassicales</i>
Familie	<i>Brassicaceae</i>
Gattung	<i>Lepidium</i>
Art	<i>Lepidium sativum</i>

Auch die Gartenkresse gehört zu der Familie der Kreuzblütler. Ihr Ursprung ist wissenschaftlich nicht eindeutig geklärt. Schon seit den Römern und Griechen ist die Gartenkresse bekannt und wurde auch damals schon geschätzt. Eine besondere Eigenschaft der Gartenkresse ist es, dass sie eine sehr genügsame und schnell wachsende Pflanze ist. Eine weitere Eigenschaft der Gartenkresse ist ihre repellente Wirkung auf Insekten. Diese Eigenschaften begründen auch, warum sich diese Pflanze so leicht auf der ganzen Welt verbreiten konnte (Falana et al. 2014).

Es gibt eine große Anzahl an Pflanzenfamilien, die sich für den Anbau von Microgreens eignen (Tabelle 3). Die wohl größte Gruppe an angebauten Microgreens bildet die Familie der Brassicaceae zu denen auch die Radies- und Gartenkresse zählen.

*Tabelle 3: Pflanzenfamilien und Arten von häufig angebauten Microgreens (Turner et al. 2020)*

<b>Familie</b>	<b>Häufig angebaute Microgreens</b>
Alliaceae	Schnittlauch, Frühlingszwiebel, Schalotten, Zwiebeln, Knoblauch
Amaranthaceae	Spinat, Amaranth, Mangold, Gartenmelde und Baumspinat
Apiaceae	Sellerie, Koriander, Kerbel, Fenchel, Petersilie, Karotten und Dill
Asteraceae	Salat, Endivie, Sonnenblume, Kronenwucherblume, Salatchrysantheme, Ringelblume
Brassicaceae	Senf, Kohl, Brokkoli, Blumenkohl, Radieschen, Tatsoi, Wasabi, Rucola, Gartenkresse, Kohlrabi, Blattsenf, Rüben, Wirsing, Grünkohl, japanischer Senfspinat, Pak-Choi, Blattkohl, Brunnenkresse, Rosenkohl, Stängelkohl, Steckrübe
Cucurbitaceae	Gurke
Fabaceae	Erbse, Luzerne, Bockshornklee, Adzukibohne, Dicke Bohne
Lamiaceae	Minze, Basilikum, Chia, Zitronenmelisse
Oxalidaceae	Sauerklee, Klee
Poaceae	Mais, Zitronengras
Polygonaceae	Buchweizen
Portulacaceae	Tellerkraut, Portulak

### 1.1.3 Anbau

Microgreens können leicht im Heimanbau kultiviert werden, in kleineren Mengen ist dies ein leichtes Unterfangen. Hingegen kann die kommerzielle Produktion von Microgreens durchaus eine Herausforderung darstellen. Der perfekte Erntezeitpunkt spielt eine wesentliche Rolle für den Erfolg bei der Vermarktung dieser Produkte. Werden beispielsweise verschiedene Arten an Microgreens zusammen angebaut, ist es wichtig, eine gleiche Wachstumsrate der Pflanzen auszuwählen, um die Ernte zu erleichtern. Eine weitere Möglichkeit ist es, verschiedene Arten an Microgreens getrennt voneinander zu kultivieren und nach der Ernte zu mischen (Treadwell et al. 2020).

Die Hoagland-Lösung wurde von den Wissenschaftlern Hoagland und Arnon (1938) entwickelt und ist eine hydroponische Nährlösung, die alle essenziellen Nährstoffe für das Wachstum von Pflanzen bereitstellt. Makro- und auch Mikronährstoffe sind sowohl für die Entwicklung als auch das Wachstum von Pflanzen von Bedeutung. Nährlösungen wie die Hoagland-Lösung kommen vor allem in erdlosen Anbausystemen zum Einsatz. Je nach Anwendungsbereich können hydroponische Nährlösungen in ihrem Gehalt an Mineralstoffen oder ihrer Zusammensetzung schwanken. Die Zusammensetzung der Nährlösung hängt von Parametern wie der angebauten Kultur, dem Anbausystem, dem Substrat oder der Umgebung ab. Meist wird deshalb für jeden Anbau die Nährlösung spezifisch angepasst. Eine Unter- oder auch eine Überversorgung mit Nährstoffen durch anorganische Dünger, die für hydroponische Nährlösungen zum Einsatz kommen, ist möglich. Samen haben einen bestimmten Gehalt an Nährstoffen um

die Keimung zu ermöglichen, allerdings ist eine Zufuhr von Nährstoffen nach der Keimung notwendig, um Wachstum und Entwicklung zu gewährleisten. Um Microgreens erfolgreich anbauen zu können, ist die Verwendung von Nährlösungen in Betracht zu ziehen (Rajan et al. 2019). Der Anbau von Microgreens erfolgt meist in hydroponischen Anbausystemen (Gerovac et al. 2016). Zum Beispiel verwendeten Gerovac et al. (2016) 25%ige Hoagland-Lösung in einem Anbauversuch von Brassicaceae fünf Tage nach der Ansaat.. Im Anbau mit hydroponischen Systemen wurden innovative Kultivierungsverfahren entwickelt. Die Verwendung von verschiedenen Nährlösungen und Kulturgefäßen wie Maten, Schalen und Beuteln fand hier Anwendung. Der Anbau kann in reiner Nährlösung oder mit Trägermedien erfolgen. Die Kulturgefäße können mit unterschiedlichen Trägermedien befüllt werden, die entweder organischen oder anorganischen Ursprungs sind. Die Kultivierung in erdlosen Anbausystemen bietet einige Vorteile, wie Flexibilität, eine hohe Qualität des Produktes, eine Reduzierung der bodenbürtigen Krankheiten sowie die Steuerung von Wasser und Nährstoffen. Auch in Gebieten mit widrigen Wachstumsbedingungen können diese Systeme zum Einsatz kommen (Gruda 2009).

#### **1.1.4 Microgreens als Functional Food**

Der Begriff „Functional Food“ oder zu Deutsch „funktionelles Lebensmittel“ lässt sich nur schwer definieren, da eine Vielzahl an Eigenschaften für die Bezeichnung als funktionelles Lebensmittel verantwortlich ist. Die Hauptmerkmale für „Functional Food“ sind, dass sie entweder eine gesundheitsfördernde Wirkung haben oder eine Reduktion von Schäden auf die Gesundheit bewirken. Der Begriff bezieht sich auf die Eigenschaften des Produkts und nicht auf das Produkt selbst. Er ist vielmehr als ein Konzept zu verstehen. In diesem Zusammenhang ist eine Abgrenzung zu anderen Begriffen wichtig. Funktionelle Lebensmittel sind weniger in einem pharmazeutischen Zusammenhang zu sehen als vielmehr im Zusammenhang mit der Ernährung. Funktionelle Lebensmittel sind auch zur Reduktion von gesundheitlichen Risiken von Bedeutung und weniger zur tatsächlichen Bekämpfung von bestehenden Krankheiten (Roberfroid 2002).

Die Functional Food Science in Europe (FUFOSE) erarbeitete eine Arbeitsdefinition:

„Ein Lebensmittel, das eine oder mehrere Zielfunktionen im Körper über ausreichende Ernährungseffekte hinaus in einer Weise positiv beeinflusst, die entweder für einen verbesserten Gesundheitszustand und ein verbessertes Wohlbefinden und / oder eine Verringerung des Krankheitsrisikos relevant ist. Es wird als Teil einer normalen Ernährung konsumiert. Es ist keine Pille, Kapsel oder eine Form von Nahrungsergänzungsmittel“ (European Commission. Directorate-General for Research 2010).

Weltweit gibt es eine Vielzahl an Definitionen für „Functional Foods“, jedoch gibt es keine eindeutige Definition oder generell akzeptierte Definition. Eine mögliche Sichtweise des Begriffs ist, dass jedes Lebensmittel, das bestimmte Nährstoffe oder einen physiologischen Effekt bietet beziehungsweise eine

positive Wirkung auf die Ernährung hat, als solches betrachtet werden kann. In diesem Zusammenhang wird es als Marketing-Begriff verstanden. Manche der Lebensmittel sind natürliche Produkte, die einen erhöhten Gehalt an gesundheitsfördernden Inhaltsstoffen haben (Tab. 4-5), die wissenschaftlich nachgewiesen werden können. Eine andere Sichtweise ist, dass der Begriff nur für veränderte Lebensmittel verwendet werden sollte, in denen der Gehalt an Inhaltsstoffen über dem Gehalt des ursprünglichen Lebensmittels liegt und deutlich erhöht oder damit angereichert ist. Ein weiterer Punkt ist, dass ein „Functional Food“ Teil einer normalen Ernährung sein sollte und speziell für bestimmte Altersgruppen oder Personen mit bestimmten Bedürfnissen hinsichtlich ihrer Ernährung geeignet ist (Roberfroid 2002).

Tabelle 4: Gehalt an Inhaltsstoffen Gartenkresse (U.S.D.A 2019).

Inhaltsstoff	Anteil je 100 g, roh	Einheit
Energie	32	kcal
Protein	2.6	g
Fett	0.7	g
Kohlehydrate	5.5	g
Calcium	81	mg
Eisen	1.3	mg
Magnesium	38	mg
Phosphor	76	mg
Kalium	606	mg
Natrium	14	mg
Zink	0.23	mg
Kupfer	0.17	mg
Magnesium	0.553	mg
Vitamin C	69	mg
Betaine	0.2	mg
Vitamin A, RAE	346	µg
Beta-Caroten	4150	µg
Vitamin A, IU	6917	IU
Vitamin E	0.7	mg
Vitamin K	541.9	µg

Tabelle 5: Gehalt an Inhaltsstoffen Radieschen Sprossen, roh (U.S.D.A 2019)

Inhaltsstoff	Anteil je 100 g, roh	Einheit
Energie	43	kcal
Protein	3.81	g
Fett	2.53	g
Kohlehydrate	3.6	g
Calcium	51	mg
Eisen	0.86	mg
Magnesium	44	mg
Phosphor	113	mg
Kalium	86	mg
Natrium	6	mg
Zink	0.56	mg
Kupfer	0.12	mg
Magnesium	0.26	mg
Selen	0.6	µg
Vitamin C	28.9	mg
Vitamin A, RAE	20	µg
Vitamin A, IU	391	IU

### **1.1.5 Sekundäre Pflanzeninhaltsstoffe**

Sekundäre Pflanzeninhaltsstoffe werden in geringen Mengen über den sekundären Pflanzenmetabolismus gebildet und gehören zu den bioaktiven Substanzen. In den Pflanzen dienen diese Inhaltsstoffe verschiedene Funktionen wie zum Beispiel als Lockstoff, Farbstoff, Geschmacksstoff, zur Wachstumsregulierung oder als Schutz vor Schädlingen und Krankheiten. Diese Inhaltsstoffe sind chemisch sehr heterogen. Sie haben hinsichtlich der gesundheitsfördernden Wirkung und der Reduktion des Auftretens bestimmter Krankheiten eine Bedeutung in der menschlichen Ernährung. Sekundäre Pflanzeninhaltsstoffe können Lebensmitteln beigefügt werden. Isoliert können sie in hohen Konzentrationen zu Nebenwirkungen führen. Werden diese Stoffe über den Konsum von Obst, Gemüse, Hülsenfrüchten und Nüssen aufgenommen, haben sie eine positive Wirkung auf den menschlichen Organismus. Ein weiterer Vorteil ist, dass durch den Konsum dieser Lebensmittel eine Vielzahl an Inhaltsstoffen gleichzeitig aufgenommen werden kann (Schenk 2002). Pflanzen sind eine bekannte und gute Quelle für sekundäre Pflanzeninhaltsstoffe, wobei diese nicht nur in Pflanzen, sondern auch in Bakterien, Pilzen und Meereslebewesen zu finden sind (Alzand und Mohamed 2012).

#### **Antioxidative Kapazität**

Moleküle wie Vitamin C und E, Polyphenole, Carotinoide, Terpene und Spurenelemente haben antioxidative Eigenschaften. Im Zusammenhang mit der Prävention von Krankheiten, die durch oxidativen Stress induziert werden, sind die genannten Stoffe von Bedeutung. Der Gehalt an antioxidativen Inhaltsstoffen in pflanzlichen Lebensmitteln steht in Verbindung mit ihrer antioxidativen Kapazität. Die Ernte oder die Verarbeitung können den Gehalt an antioxidativen Inhaltsstoffen in Lebensmitteln verringern. So ist nach der Ernte eine Abnahme von Polyphenolen durch bestimmte Reaktionen zu verzeichnen. Ein weiterer Prozess, der die antioxidative Kapazität mindern kann, ist die Lagerung, wobei hier Temperatur und Zeit eine Rolle spielen (Pérez-Jiménez et al. 2008).

Der erhöhte Gehalt an Inhaltsstoffen wie Antioxidantien, Phenolen, Tocopherol und auch Carotinoiden zeichnet die Familie der Kreuzblütler aus. Die antioxidativen Eigenschaften spielen eine bedeutende Rolle, um reaktive Sauerstoffspezies im Körper zu binden. Phenolischen Inhaltsstoffen wird eine gesundheitsfördernde Wirkung zugeschrieben und sie spielen somit in der Prävention von Krankheiten eine wichtige Rolle (Goyeneche et al. 2015).

#### **Chlorophylle und Carotinoide**

Chlorophylle sind Farbstoffe, die natürlicherweise in pflanzlichen Organismen vorkommen und zentraler Bestandteil der Photosynthese sind. Hierbei wird die Lichtenergie, die durch Sonnenstrahlen aufgenommen wird, in Assimilate für die Pflanze umgewandelt. Die Lichtreaktionen der Photosynthese finden in den Thylakoid-Membranen der Chloroplasten statt. Chlorophyll *a* hat Absorptionsmaxima bei

circa 430 nm und 662 nm und Chlorophyll *b* bei 453 nm und 642 nm. Chlorophylle sind zusammen mit Carotinoiden in grünen Pflanzenteilen zu finden. Carotinoide haben eine gelbe, orange oder rötliche Färbung und sind eine Art von fettlöslichen Isoprenoid-Pigmenten. Carotinoide sind nicht nur in Pflanzen zu finden, sondern auch in Bakterien und Hefen. Chemisch unterscheidet man zwischen den sauerstofffreien Carotinoiden, zu denen Lycopin,  $\alpha$ - und  $\beta$ -Carotin zählen, und den sauerstoffhaltigen Carotinoiden, zu denen die Xanthophylle Lutein und Zeaxanthin und das  $\beta$ -Cryptoxanthin zählen (Eaton-Rye et al. 2011). Der menschliche Körper ist in der Lage, aus bestimmten Provitaminen Vitamine zu bilden. So kann das Carotinoid Provitamin A zu Vitamin A umgewandelt werden. In Nährwert-Tabellen finden sich beispielsweise Angaben zum Vitamin A Gehalt von Pflanzen, obwohl in diesen nur Carotinoide enthalten sind (Matissek 2019).

### **Phenole, Flavonoide und Anthocyane**

Die Phenole werden in die Stoffgruppen Phenolsäuren, Flavonoide, Lignane und Stilbene mit dem bekannten Vertreter Resveratrol eingeteilt. Chlorogensäure und Kaffeesäure werden auch den Phenolen zugeordnet. Polyphenole, im speziellen die Gruppe der Flavonoide, haben eine antikanzerogene, antioxidative, immunmodulierende, entzündungshemmende, antithrombotische, blutdrucksenkende, blutzuckersenkende und antimikrobielle Wirkung. Phenole treten unter anderem in den Blättern von Pflanzen auf (Schek 2002). Phenole mit mehr als einer OH-Gruppe werden auch als Polyphenole bezeichnet (Matissek 2019).

Flavonoide kommen in einer Vielzahl von Lebensmitteln vor und gehören zu der Gruppe der Polyphenole. Der Name leitet sich vom Grundkörper Flavan (2-Phenylchroman) ab. Flavonoide sind häufig die roten, blauen und violetten Pigmente von blühenden Pflanzen. Flavonoide werden in Flavone, Flavanone, Flavonole, Flavane und Anthocyanidine eingeteilt (Matissek 2019). Flavone und Catechine, die zu den Flavonoiden gehören, sind die wirksamsten Antioxidantien dieser Gruppe. Ihre Fähigkeit, reaktive Sauerstoffspezies wie Superoxid ( $O_2^-$ ) im Körper zu neutralisieren, gehört zu einer der bedeutendsten (Alzand und Mohamed 2012). Reaktive Sauerstoffspezies verursachen Zellschäden und sind teilweise für die Zellalterung und das Entstehen von Krankheiten, zum Beispiel von Krebs, verantwortlich. Flavonoide in Pflanzen dienen diesen unter anderem als Schutz vor UV-Strahlung. Flavone sind häufig in Blattgemüsen zu finden (Alzand und Mohamed 2012). Buchweizenkeimlinge sind reich an Flavonoiden (Kou et al. 2013). Gartenkresse und Mizuna Microgreens, die zu der Familie der Kreuzblütler gehören, zeichnen sich durch einen geringeren Gehalt an Flavonoiden aus (Kyriacou et al. 2019a).

Anthocyane sind eine Untergruppe der Flavonoide. Sie sind Pflanzenfarbstoffe, die zum Beispiel Blüten und Früchten eine rote, violette oder blaue Farbe verleihen, welche auch als Lebensmittelfarbstoffe zugelassen sind. Durch eine pH-Wert-Änderung (Zugabe von z.B. NaOH) kann die Farbe von rot nach blau umschlagen (Matissek 2019).

## Nitrat

Nitrat findet sich natürlicherweise in Gemüse, wobei die höchsten Konzentrationen im Blattgemüse wie Spinat und Salat auftreten (European Food Safety Authority 2017). Für bestimmte Blattgemüse wurden von der EU Höchstwerte für Nitratgehalte erlassen. Die Gehalte an Nitrat variieren je nach Art, so ist für frischen Spinat ein Höchstwert von 3500 mg NO<sub>3</sub> / kg festgelegt worden. Bei Rucola ist der höchste Wert mit 7000 mg NO<sub>3</sub> / kg zu verzeichnen (EUR-Lex 2021). Die Umwandlung von Nitrat zu Nitrit im Körper erfolgt durch Bakterien im Mund und im Darm. Nitrit hat die Eigenschaft, Hämoglobin zu Methämoglobin zu oxidieren. Ein Überschuss von Methämoglobin beschränkt die Fähigkeit von roten Blutkörperchen Sauerstoff zu binden und diesen im Körper zu transportieren. Weiters können durch Nitrit, beziehungsweise von Nitrat, das in Nitrit umgewandelt wurde, im Körper sogenannte Nitrosamine entstehen, von denen einige krebserregend sind. Die derzeit zulässige tägliche Aufnahmemenge von Nitrit liegt bei 0,06 beziehungsweise 0,07 Milligramm pro Kilogramm Körpergewicht pro Tag (mg/ kg KG/ Tag). Für Nitrat wurde ein Wert von 3,7 mg/ kg KG/ Tag festgelegt (European Food Safety Authority 2017).

Microgreens haben im Vergleich zu reifen Blattgemüsen wie Salaten einen geringeren Gehalt an Nitrat. In der Ernährung können sie als gute Quelle für Mineralstoffe und Phytonährstoffe herangezogen werden, vor allem bei Kindern, ohne diese dem Nachteil von zu hohen Mengen an schädlichem Nitrat auszusetzen (Pinto et al. 2015).

## Qualität

Eine Vielzahl an Parametern ist für die Qualität von pflanzlichen Produkten verantwortlich. Hierbei ist es wichtig, diese in objektive und subjektive Parameter einzuteilen. Der Geschmack gehört zu der Kategorie der subjektiven Qualitätsparameter. Weltweit gibt es Qualitätsnormen zur Vermarktung von Obst und Gemüse. Diese basieren unter anderem auf Standards für die Klassifikation des von FAO und WHO erstellte Codex Alimentarius (Gruda 2009).

Für die Festlegung der Qualitätsbestimmungen von Microgreens gibt es in Österreich keine eigene Vermarktungsnorm. In Österreich ist die allgemeine Vermarktungsordnung für Microgreens gültig. Diese stellt bestimmte Mindesteigenschaften an das Produkt. Das Produkt muss

- ganz
- gesund
- ausgeschlossen von Fäulnisbefall oder anderen Mängeln, die es zum Verzehr ungeeignet machen
- sauber, praktisch frei von sichtbaren Fremdstoffen
- praktisch frei von Schädlingen
- praktisch frei von Schäden durch Schädlinge, die das Fleisch bzw. Fruchtfleisch beeinträchtigen

- frei von anomaler äußerer Feuchtigkeit
- frei von fremdem Geruch und/oder Geschmack sein („Allgemeine Vermarktungsnorm“ 2019).

In der Schweiz gibt es eigene Qualitätsbestimmungen zur Vermarktung von diversen Keimlingen und für Gartenkresse. Ein wichtiger Zusatz bei den besonderen Bestimmungen in der Schweiz ist, dass die Keimlinge nur schwach ausgebildete Keimblätter haben dürfen (Qualiservice 2017).

Der Anbau von gartenbaulichen Produkten in erdlosen Systemen ist umweltfreundlich und ermöglicht es, bestimmte Qualitätsparameter zu steuern. Jedoch bedarf es eines genauen Anbaumanagements, um eine hohe Qualität produzieren zu können. Die Qualität hängt stark davon ab, welches Anbausystem Anwendung findet und in welchem Medium die Pflanzen angebaut werden. Hohe Erträge gehen nicht zwingend mit einer hohen Qualität einher. Die Anbauparameter müssen für jede Pflanzenart spezifisch angepasst werden, um die optimale Qualität erzielen zu können (Gruda 2009).

Im Zusammenhang mit der Produktion von Microgreens ist die Sicherheit der produzierten Lebensmittel von großer Bedeutung. Dies spiegelt sich auch in der Literatur wider, da ein sehr oft genanntes Thema die sichere Produktion von Microgreens ist, die ausschlaggebend für die Qualität des Produktes ist (Riggio et al. 2019).

## 2 Material und Methoden

Im Labor des Instituts für Gartenbau der Universität für Bodenkultur Wien fand ein Anbau-Versuch der Microgreens Radieskresse und Gartenkresse, mit anschließender sensorischer Auswertung der je fünf unterschiedlichen Varianten der Mineralstoffernährung, statt. Ausgewählte Inhaltsstoffe und Eigenschaften der Microgreens wurden nasschemisch untersucht.

### 2.1 Laborversuch

#### 2.1.1 Material

Das im Versuch verwendete Saatgut wurde von der Firma Cressbar® bezogen. Verwendet wurden die Produkte RadiesCress (*Raphanus sativus*) und GartenCress (*Lepidium sativum*).

Für den Versuch wurden insgesamt fünf verschiedene Mineralstoff-Nährlösungen verwendet. Es wurden drei gedüngte Varianten verwendet, bei denen es sich um modifizierte Hoagland-Lösungen handelte und zwei ungedüngte Varianten: Leitungswasser und deionisiertes Wasser. In Tabelle 6 ist die Nährstoffzusammensetzung zu sehen. Bei den gedüngten Varianten wurden drei verschiedene Konzentrationen angewandt.

- 100% Hoagland-Lösung:

Zur Herstellung der Anzuchtflüssigkeit wurden die Chemikalien 0,344 g/L  $\text{CaSO}_4$ , 0,246 g/L  $\text{MgSO}_4$ , 0,228 g/L  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  und 0,708 g/L  $\text{KNO}_3$  mit einer Feinwaage eingewogen und anschließend in einen zwei Liter Erlenmeyerkolben überführt. Dieser Kolben wurde mit deionisiertem Wasser bis zur Markierung aufgefüllt. Sodann wurde dem Kolben ein Magnetührstab zugegeben. Danach wurde der Erlenmeyerkolben auf einen Magnetrührer und die Flüssigkeit homogenisiert.

- 50 % Hoagland-Lösung: 500 mL der 100% Hoagland-Lösung wurden mit 500 mL deionisiertem Wasser verdünnt.
- 25% Hoagland-Lösung: 250 mL der 100% Hoagland-Lösung wurden mit 750 mL deionisiertem Wasser verdünnt.
- Leitungswasser: In einem Wasserkocher Wiener Leitungswasser abgekocht (Anhang 1).
- Deionisiertes Wasser: Ein mit Hilfe eines Ionentauscher demineralisiertes Wasser wurde verwendet.

*Tabelle 6: Mineralstoffgehalt der modifizierten Hoagland-Lösungen in mg/L.*

Nährlösung	CaSO <sub>4</sub> in mg/L	MgSO <sub>4</sub> in mg/L	K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> in mg/L	KNO <sub>3</sub> in mg/L
100% Hoaglandlösung	172	123	114	354
50% Hoagland-Lösung	86	61,5	57	177
25% Hoagland-Lösung	43	30,75	28,5	88,5

Die Anzuchtgefäße wurden von der Firma Cressbar® bezogen. Diese waren aus lebensmittelechtem, spülmaschinenfestem Kunststoff. Die Anzuchteinheit bestand aus vier Teilen: einer Schale, einer gelochten Auflage, einem transparenten Deckel mit Luftauslässen und einer Zellulosematte, auf der die Samen auflagen.



*Abbildung 2: Anzuchtgefäße der Firma Cressbar® (eigene Aufnahme)*

Die Anzucht fand in einem klimatisierten Raum der Marke Incold statt. Die Luftbefeuchtung wurde von einem Gerät der Marke Condair übernommen. Es wurde 16 Stunden pro Tag belichtet mit einer Beleuchtung der Marke Osram Lampentyp L18W/77 Fluora (Lichtstrom: 550 Lumen; Leistungsaufnahme: 18 Watt; c.  $50 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  in Höhe der Microgreens). Der Anzuchttraum wurde über die Dauer des Versuchs in einem Tag/Nacht-Rhythmus mit einer Temperatur von  $22/18 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$  und einer relativen Luftfeuchtigkeit von 60/65 % gehalten.

Für die spektrophotometrischen Messungen der Inhaltsstoffe wurde das Spektrophotometer Cary 60 UV-Vis Spektrophotometer, der Firma Agilent, verwendet.

### **2.1.2 Versuchsaufbau**

Es wurden fünf Mineralstoffdünger-Varianten mit Radieskresse und Gartenkresse untersucht. Bei der Radies- und Gartenkresse wurden je 10 Wiederholungen durchgeführt. Der Anbau fand in einem Phytotron statt. Die Kressen wurden in den Anzuchteinheiten angebaut (Abb. 2).

### 2.1.3 Anbau

Für den Anbau der Microgreens wurden 250 mL der jeweiligen Nährlösung über die Zellulosematte gegossen, um diese zu befeuchten und die Keimung anzuregen. Die Flüssigkeit wurde von der Schale aufgefangen und diente als Wasser- und Nährstoff-Reservoir für die Keimlinge. Die gelochte Siebaufgabe diente als Trennelement zwischen Nährlösung und Anzuchtmatte. Der transparente Deckel der Anzuchteinheit ermöglichte es im Anfangsstadium der Keimung, die Feuchtigkeit zu halten und genügend Licht für die jungen Keimlinge bereitzustellen. Sobald die Keimlinge einer der Versuchsvarianten die Höhe des Deckels erreicht hatten, wurde bei allen Varianten der Deckel entfernt. Dies geschah nach 4-5 Tagen. Bei den beiden nicht gedüngten Varianten- mit Leitungswasser und deionisiertem Wasser- wurde die Höhe des Deckels meistens nicht in diesem Zeitraum erreicht. Es wurde die Sprosslänge über die Anzuchtzeit gemessen. Die Microgreens wurden im Falle der Radieskresse über einen Zeitraum von 7 Tagen, im Falle der Gartenkresse von 6 Tagen aufgezogen. Nach drei Tagen wurde mit der täglichen Messung der Länge begonnen. Die durchschnittliche Höhe des Gesamtbestandes wurde mit einem Mess-Schieber ermittelt. Die Ernte der Microgreens wurde nach 6 bzw. 7 Tagen durchgeführt. Die Pflanzen wurden dabei auf der Höhe des Schalenrandes des Versuchsgefäßes mit einer desinfizierten Schere abgeschnitten. Nach der Ernte der Radieskresse wurden die Blätter und Stiele für die weiteren Analysen getrennt. Bei Gartenkresse wurden Stiele und Blätter nicht getrennt, da die Blätter der Gartenkresse kleiner sind als die der Radieskresse und somit zu wenig Probenmaterial ergeben hätten. Nach der Ernte wurde das Probenmaterial im frischen Zustand in Druckverschlussbeuteln bei -18 °C in einem Tiefkühlschrank gelagert, bis es gefriergetrocknet und zur Inhaltsstoffanalyse herangezogen wurde.

Bei Gartenkresse wurden Pads verwendet, die laut der Firma Cresspad ca. 400 Samen pro Anzuchteinheit beinhalten. Bei Radieskresse waren es ca. 300 Samen pro Einheit.

Bei jeweils zwei Versuchen pro Sorte wurden sowohl vor als auch nach dem Anbau der Microgreens pH- und EC-Werte der fünf unterschiedlichen Anzuchtflüssigkeiten mit einem pH-EC-Wert-Messgerät (WTW Multi 340i) gemessen.

Alle Proben wurden über einen Zeitraum von 48 Stunden in dem Gefriertrockner (Alpha 1-2 LDplus, Firma CHRIST) getrocknet. Anschließend wurden die gefriergetrockneten Proben mit einem Keramikmörser vermahlen und in Druckverschlussbeutel gefüllt. Die Proben wurden nach dem Vermahlen unter Lichtausschluss in einem Behältnis mit Silicagel bis zur Herstellung der Extrakte bei Raumtemperatur trocken gelagert. Aufgrund der geringeren Mengen an Probenmaterial wurden jeweils zwei Proben verschiedener Erntetermine vereinigt, um die notwendigen Gewichte für die Extraktionen zu erreichen, so dass insgesamt 5 Proben für die chemischen Analysen zur Verfügung standen.

Für die Ermittlung der Trockenmasse in % der Frischmasse wurden nach der Ernte die Frischmasse der Proben und das Trockengewicht nach der Gefriertrocknung ermittelt. Anschließend wurden die Trockenmasse in % der Frischmasse berechnet.

## 2.1.4 Extraktion

### Ethanol-Extraktion

Die Ethanol-Extraktion erfolgte nach Keutgen und Pawelzik (2007). Die Messungen von Chlorophyllen, Gesamtcarotinoiden, Gesamtphenolen, Gesamtflavonoiden, Anthocyanen und antioxidativer Kapazität wurden mit dem Ethanol-Extrakt durchgeführt. Für die Ethanol Extraktion wurden 0,1g des gefriergetrockneten Probenmaterials mit einer Feinwaage eingewogen. Das Probenmaterial wurde in eine Eproutette überführt und mit 5 mL vergälltem Ethanol (99,8%) vermengt. Anschließend wurde das Gemisch aus Probe und Ethanol 10 Minuten mit einem Revolvermischer gemischt. Die Proben wurden dann 15 Minuten bei  $4000 \text{ U min}^{-1}$  und einer Temperatur von  $4 \text{ }^{\circ}\text{C}$  zentrifugiert. Der Überstand in den Eproutetten wurde in 20 mL Erlenmeyerkolben überführt. Dieser Vorgang wurde 4-mal durchgeführt, um ein Gesamtextraktionsvolumen von 20 mL zu erreichen. Anschließend wurden die Extrakte bei  $-18 \text{ }^{\circ}\text{C}$  gelagert.

### Wasser-Extraktion

Das Wasser-Extrakt wurde hergestellt, um den Gehalt an Nitrat der fünf unterschiedlichen Nährstoff-Varianten bestimmen zu können. Hierzu wurden 0,1 g der gefriergetrockneten Probe mit einer Feinwaage eingewogen und in Eproutetten zusammen mit 10 mL Reinstwasser vermischt. Anschließend kamen die Proben für 60 Minuten in ein Schüttelwasserbad mit  $60 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . Danach wurden die Proben 15 Minuten bei  $4000 \text{ U min}^{-1}$  und einer Temperatur von  $10 \text{ }^{\circ}\text{C}$  zentrifugiert. Nach dem Zentrifugieren wurde die Flüssigkeit durch einen Rotilabo®-Rundfilter, Typ 113 A, ( $\text{Ø } 110 \text{ mm}$ ) filtriert und in die 20 mL Szintillationsgefäße gefiltert. Anschließend wurde die Probe nochmals mit 10 mL deionisiertem Wasser vermengt und der Vorgang wiederholt, um 20 mL Extrakt der Probe zu erhalten. Abschließend wurden die Extrakte ebenfalls bei  $-18 \text{ }^{\circ}\text{C}$  gelagert.

## 2.1.5 Laboranalysen

### Chlorophyll- und Carotinoid-Gehalte

Zur Messung der Chlorophyll *a*-, Chlorophyll *b*-, Gesamtchlorophyll- und Gesamtcarotinoidgehalte wurden das unverdünnte Ethanol-Extrakt in Halbmikroküvetten überführt und anschließend mit dem Agilent Cary 60 UV-Vis Photometer bei den Wellenlängen von 470 nm für Carotinoide, von 649 nm für Chlorophyll *b* und 664 nm für Chlorophyll *a* gemessen.

Die gemessenen Werte wurden mit den Formeln nach Sumanta et al. (2014) ausgewertet:

$$\text{Chlorophyll } a : \text{Ch}_a = 13.36A_{664} - 5.19 A_{649}$$

$$\text{Chlorophyll } b : \text{Ch}_b = 27.43A_{649} - 8.12 A_{664}$$

Gesamtchlorophyll:  $Chl_{tot} = Ch_a + Ch_b$

Gesamtcarotinoid:  $C_{x+c} = (1000A_{470} - 2.13Ch_a - 97.63Ch_b) / 209$

### **Flavonoide**

Für die Analyse der Flavonidgehalte wurde das Ethanol-Extrakt verwendet. Es wurden sechs Standard-Lösungen mit Rutin und deionisiertem Wasser mit den Konzentrationen (0, 50, 100, 150, 200 und 1000 mg L<sup>-1</sup>) hergestellt. Die Standard-Lösungen wurden anschließend mit 0,150 mL NaNO<sub>2</sub> versetzt und 6 Minuten in Eproutetten bei Raumtemperatur inkubiert. Danach wurden 0,150 mL AlCl<sub>3</sub> beigelegt und weitere 6 Minuten inkubiert, abschließend wurden 2 mL NaOH hinzugegeben und für 15 Minuten im Dunkeln inkubiert. Nach diesem Schema wurden auch die untersuchten Radieskresse- und Gartenkresseproben auf ihren Gehalt an Flavonoiden bei 510 nm analysiert.

### **Anthocyane**

Zur Analyse des Anthocyangehaltes wurden eine 0,025 M Kaliumchlorid-Lösung und eine 0,4 M Natriumacetatlösung hergestellt. Es wurden 200 µL Probe mit 800 µL des Lösungsmittels vermischt, in Halbmikroküvetten überführt und anschließend die Absorption bei einer Wellenlänge von 700 nm mit dem Agilent Cary 60 UV-Vis Photometer gemessen.

### **Gesamtphenole**

Um die Standardgerade zu ermitteln, wurden für die Messung der Gesamtphenole mittels photometrischer Bestimmung 6 unterschiedliche Verdünnungen von Gallussäurelösungen hergestellt. Die Konzentrationen waren 0; 3,304; 6,608; 9,912; 13,216 und 19,858 mg/L. Es wurde eine Mischung von 2,6 mL deionisiertem Wasser, 0,3 mL Ethanol-Extrakt der Proben, 1 mL NaOH (0,5 mol/L) und 0,1 mL Folin-Ciocalteu-Farbreakanz zur Analyse der Gesamtphenole hergestellt. Die Mischung wurde anschließend 15 min lang bei 37 °C in ein Wasserbad gegeben und mittels Agilent Cary 60 UV-Vis Photometer bei einer Wellenlänge von 735,8 nm gemessen. Nach diesem Schema wurden auch die untersuchten Radieskresse- und Gartenkresseproben auf ihren Gehalt an Gesamtphenolen analysiert.

### **Nitrat**

Die Bestimmung des Nitratgehaltes wurde mit dem Wasser-Extrakt durchgeführt. Zur Ermittlung der Nitratgehalte wurde vorab eine Standardgerade mit sechs Verdünnungsstufen einer Standard-Nitratlösung (50 mg/L) ermittelt. Die Verdünnungsstufen waren 0 mg/L; 0,2 mg/L; 0,5 mg/L; 1 mg/L; 2,5 mg/L; und 5 mg/L. Von den hergestellten Standards wurde jeweils 1 mL entnommen und mit 1 mL Mischreakanz, bestehend aus 0,5 mL NNED (N-(1-Naphthyl)ethyldiamindihydrochlorid-Lösung, 200 mg/L) und 0,5 mL Sulfanilsäure (1 g Sulfanilsäure in 100 mL 3 M HCL) in ein Kulturröhrchen zusammen mit 1 mL Vanadium(III)-Chlorid vermischt. Die Kulturröhrchen wurden für 30 Minuten bei 37 °C in einem Wasserbad inkubiert. Danach wurden die Standards in Halbmikroküvetten überführt und mittels Agilent

Cary 60 UV-Vis Photometer bei 540 nm gemessen. Für die Untersuchung der Proben wurde 1 mL Probenextrakt mit den gleichen Reagenzien und Mengen gemischt.

Die Konzentrationen von Nitrat der Varianten waren sehr unterschiedlich, deshalb wurden zusätzliche Verdünnungen vorgenommen. Die Verdünnungen waren; 0,75 mL Wasser zu 0,25 mL Probe und 0,95 mL Wasser zu 0,05 mL Probe.

### **Antioxidative Kapazität**

Für die Messung der antioxidativen Kapazität wurde die Methode der FRAP (Ferric Reducing Ability of Plasma) verwendet. Zur Analyse wurde das Ethanol-Extrakt verwendet. Es wurden sechs Standards mit einer Mischung aus Eisensulfat-Stammlösung und deionisiertem Wasser vorbereitet. Die Konzentrationen der Standards betragen 0 mM; 0,2 mM; 0,4 mM; 0,6 mM; 0,8 mM und 1 mM. Zur Herstellung des FRAP-Reagenz wurden 100 mL Acetat-Puffer, 10 mL TPTZ-Lösung, 10 mL Eisenchlorid-Lösung und 12 mL deionisiertes Wasser gemischt. Das Gemisch wurde für fünf Minuten in einem Wasserbad bei einer Temperatur von 37 °C erwärmt. Zur Analyse wurden in einer Halbmikroküvette 0,1 mL Probe beziehungsweise Standard mit 1 mL des FRAP-Reagenz versetzt, gut durchmischt und vier Minuten bei 37 °C in einem Wasserbad erwärmt. Danach wurden die abgetrockneten Küvetten in einem Agilent Cary 60 UV-Vis Photometer bei einer Wellenlänge von 593 nm gemessen und die Absorption für die spätere Berechnung aufgezeichnet.

### **2.1.6 Statistische Auswertung**

Die statistische Auswertung der Messwerte wurde mittels Statistikprogramm IBM SPSS (Version 26) durchgeführt. Das Signifikanzniveau wurde auf  $\alpha = 0,05$  festgelegt.

In der statistischen Analyse wurde zuerst überprüft, ob eine Normalverteilung der Daten vorlag. Diese Überprüfung wurde mit den Kolmogorov-Smirnov und Shapiro-Wilk Tests durchgeführt. Für normalverteilte Ergebnisse wurde anschließend ein Levene-Test durchgeführt, um auf Varianzhomogenität zu prüfen. Danach wurde für varianzhomogene Daten eine ANOVA durchgeführt. Fiel die ANOVA signifikant aus, wurde ein Tukey-Post-Hoc-Test verwendet, um die Mittelwerte zu vergleichen und zu gruppieren. Bei nicht normalverteilten Daten wurde ein Kruskal-Wallis-Test angewandt, um zu prüfen, ob hier trotz der fehlenden Normalverteilung signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Varianten vorlagen. Dies war jedoch nicht der Fall.

## 2.2 Sensorische Auswertung

### 2.2.1 Sensorik-Testraum

Die sensorische Auswertung erfolgte im Sensorik-Testraum, der über eine farbneutrale Beleuchtung, eine spezielle Abluftanlage und über vier einzelne Testplätze verfügt.

### 2.2.2 Versuchsaufbau

Es wurden fünf Mineralstoffdünger-Varianten sowohl mit Radieskresse als auch mit Gartenkresse angebaut, um eine sensorische Beurteilung durch Test-Probanden vorzunehmen. Die Test-Probanden waren nicht sensorisch geschult „ungeschultes Panel“. Die Ernte wurde jeweils unmittelbar vor der Testung durchgeführt. Bei jedem Test-Termin wurden insgesamt sechs Personen, jeweils drei männliche und 3 weibliche Personen, befragt. Jede Person bekam fünf nummerierte Teller mit den Proben. Es wurde dann der Fragebogen erklärt und die Testung begonnen. Die Probanden waren Studierende und Mitarbeiter\*innen der Universität. Die Test-Personen erhielten zu den Proben Wasser und Trockengebäck um den Geschmack im Mund zwischen den einzelnen Proben neutralisieren zu können. Die durchschnittliche Testdauer betrug 30 Minuten.

*Tabelle 7: Sensorik Fragebogen*

<b>Sensorische Parameter</b>	<b>Bewertungsskala</b>
Schärfe	1: Nicht scharf – 5: Sehr scharf
Typischer Geschmack	1: Nicht typisch – 5: Sehr typisch
Knackigkeit	1: Nicht knackig – 5: Sehr knackig
Fehlaroma	1: Sehr stark – 5: Überhaupt kein
Gesamtgeschmack	1: Sehr schlecht – 5: Sehr gut
<b>Akzeptanz</b>	<b>Bewertungsskala</b>
Stiellänge	1: Sehr kurz – 5: Sehr lang
Blattgröße	1: Sehr klein – 5: Sehr groß
Sortentypische Farbe	1: Sehr schlecht – 5: Sehr gut
<b>Akzeptanz</b>	<b>Bewertungsskala</b>
Gesamtbewertung des äußeren Erscheinungsbildes	1: Sehr schlecht – 5: Sehr gut
<b>Weitere Parameter</b>	
Alter, Geschlecht, Raucher	

### 2.2.3 Fragebogen

Der Sensorik-Fragebogen umfasste verschiedene Parameter. Die zwei Hauptgruppen betrafen Aussehen und Geschmack. So wurden bei der Hauptgruppe „Geschmack“, die Schärfe, Knackigkeit, typisches Aroma, Fehlaroma und der Gesamtgeschmack beurteilt. Für die Hauptgruppe „Aussehen“ wurden die

Parameter Stiellänge, Blattgröße, typische Farbe und das Gesamtaussehen abgefragt. Am Ende der Testung wurde eine Gesamtbewertung der Varianten angegeben. Weitere erfasste Parameter über die Testperson im Fragebogen waren das Alter, Raucher und Geschlecht. In der statistischen Analyse waren die Ergebnisse der Kovarianten nicht aussagekräftig genug und wurden deshalb nicht bei den Ergebnissen berücksichtigt. Für jede der abgefragten Eigenschaften gab es fünf Ausprägungsgrade zur Beantwortung, wobei eins der geringsten und fünf der höchsten Präferenz entsprach.

#### **2.2.4 Statistische Auswertung**

Die Statistische Auswertung der Sensorik-Fragebögen wurde mit dem Friedman-Test in SPSS durchgeführt. Jede der zu prüfenden Proben erhielt einen Rang. Die schwächste Ausprägung wurde durch den unteren Rang eins und die stärkste Ausprägung durch den obersten Rang fünf definiert. Die Signifikanz der Unterschiede in der Rangordnung wurde durch den Friedman Wert und eine zweifaktorielle ANOVA berechnet.

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Labor

##### 3.1.1 Pflanzenwachstum

Die Länge der Radieskresse betrug nach 7 Tagen bei der Variante mit deionisiertem Wasser im Durchschnitt 5,1 cm, mit Leitungswasser 7,0 cm, 25% Hoagland-Lösung 8,5 cm, 50% Hoagland-Lösung 9,7 cm und mit 100 % Hoagland-Lösung 10,3 cm (Abb. 3). Der Unterschied in Prozent der Einzelnen Varianten zum Standard Leitungswasser waren: deionisiertes Wasser 72,85 %, Leitungswasser 100 %, 25% Hoagland 121,43 %, 50% Hoagland 138,57 %, 100% Hoagland 147,14 %.

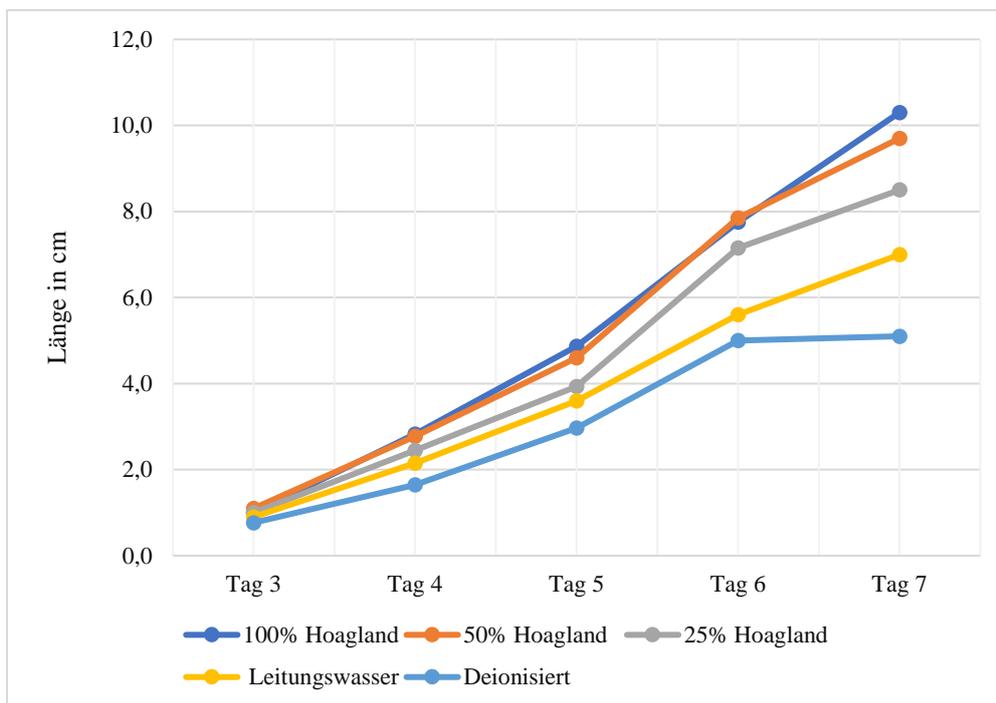


Abbildung 3: Längenwachstums Verlauf von Radieskresse über 7 Tage

Die Länge der Gartenkresse betrug nach 6 Tagen bei der Variante mit deionisiertem Wasser im Mittel 2,5 cm, mit Leitungswasser 3,6 cm, 25% Hoagland-Lösung 3,8 cm, 50% Hoagland-Lösung 4,9 cm und mit 100 % Hoagland-Lösung 5,4 cm (Abb. 4). Der Unterschied in Prozent der einzelnen Varianten zum Standard Leitungswasser waren: deionisiertes Wasser 69,44 %, Leitungswasser 100%, 25% Hoagland 105,56% 50% Hoagland 136,11 %, 100% Hoagland 150 %.

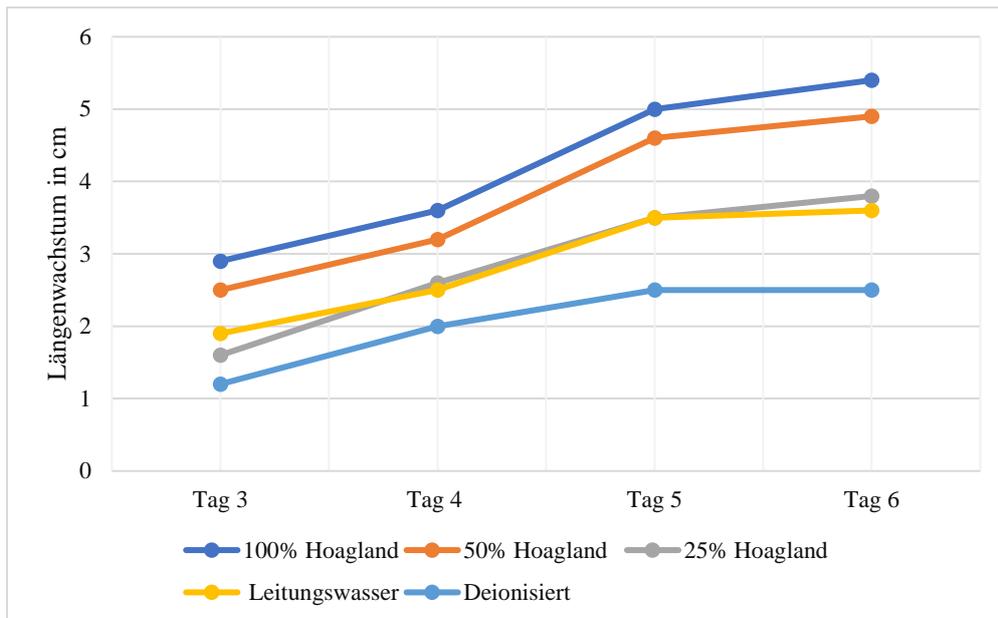


Abbildung 4: Längenwachstums Verlauf von Gartenkresse über 6 Tage.

### 3.1.2 Pflanzenlänge bei der Ernte

Die Abbildungen 5 – 8 zeigen, dass die Radieskresse mit der 100% Hoagland-Lösung die höchsten Werte in Bezug auf Stiellänge, Blattstiellänge, Blattbreite sowie Blattlänge hatte. Die Variante mit deionisiertem Wasser hatte die kürzesten Stiele und kleinsten Blätter.

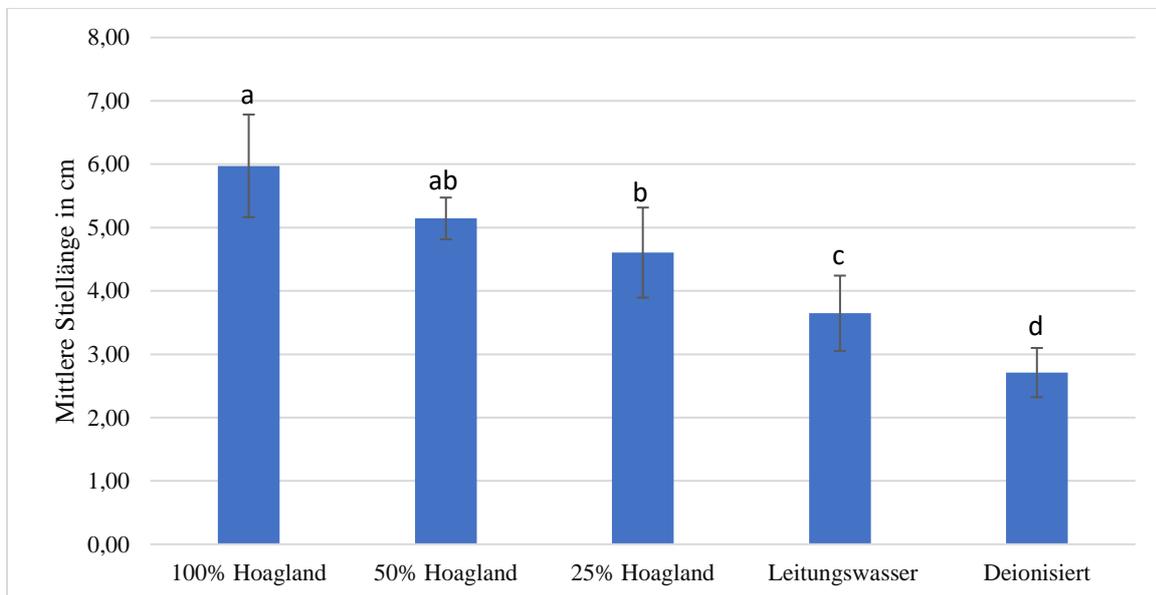


Abbildung 5: Mittlere Stiellänge (cm) von Radieskresse bei der Ernte (Mittelwert und Standardabweichung; Signifikanz nach dem Tukey Test bei  $P \leq 0,05$ ).

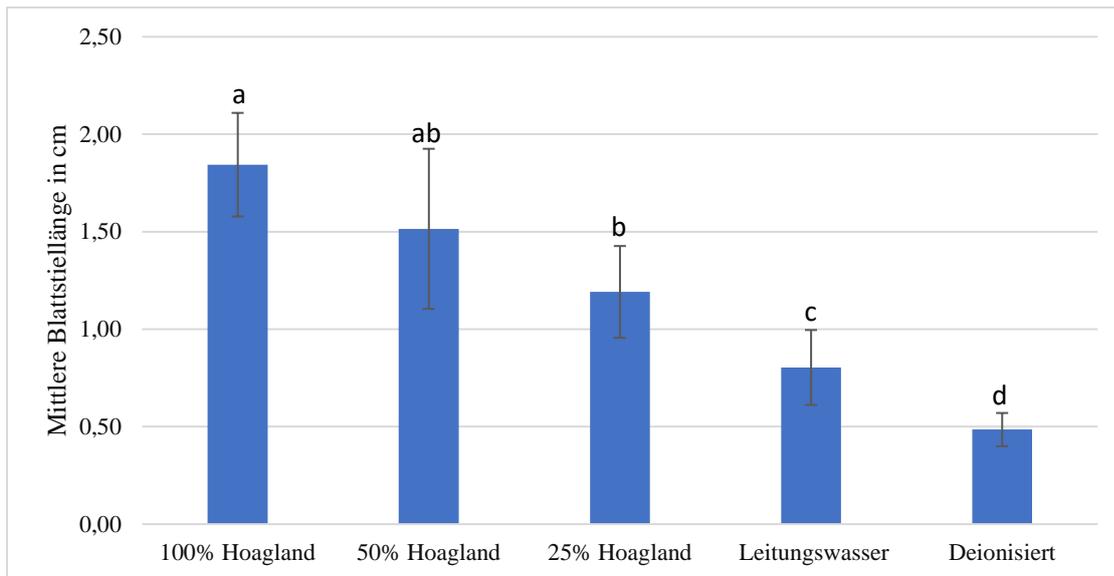


Abbildung 6: Mittlere Blattstielänge (cm) von Radieskresse bei der Ernte (Mittelwert und Standardabweichung; Signifikanz nach dem Tukey Test bei  $P \leq 0,05$ ).

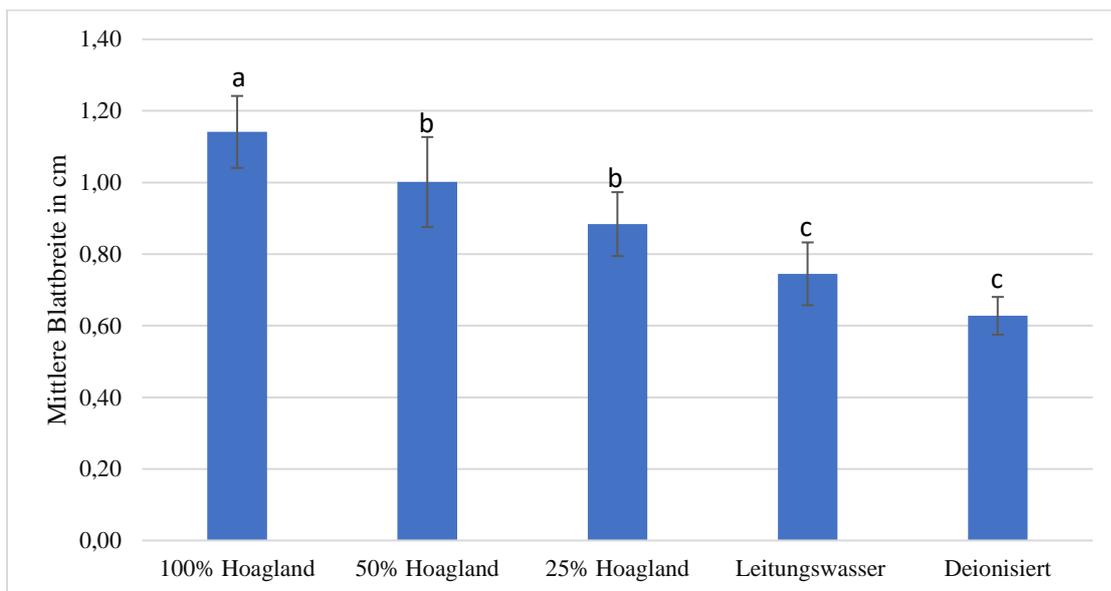


Abbildung 7: Mittlere Blattbreite (cm) von Radieskresse bei der Ernte (Mittelwert und Standardabweichung; Signifikanz nach dem Tukey Test bei  $P \leq 0,05$ ).

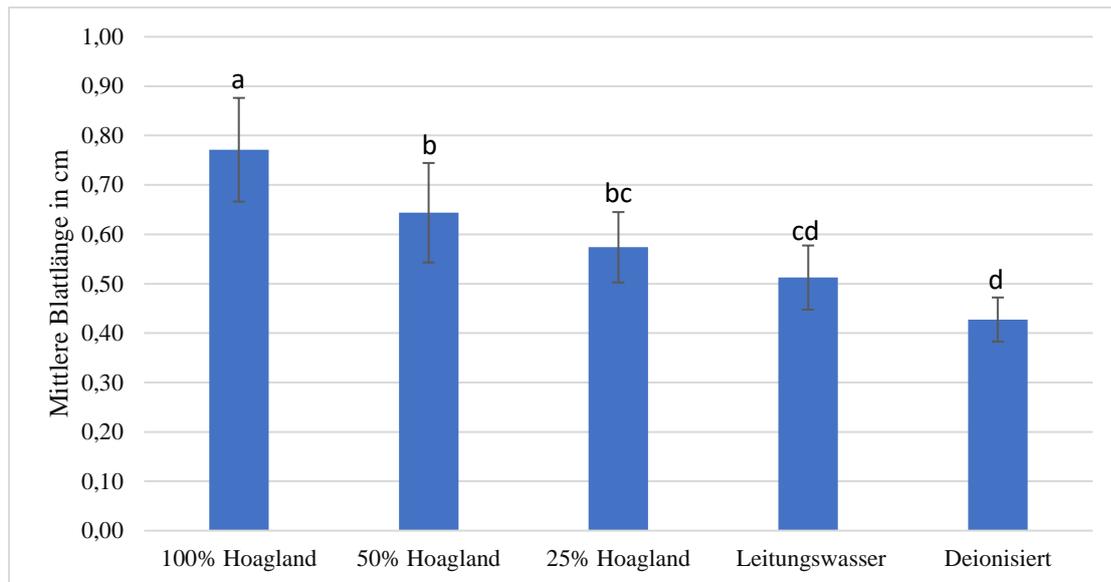


Abbildung 8: Mittlere Blattlänge (cm) von Radieskresse bei der Ernte (Mittelwert und Standardabweichung; Signifikanz nach dem Tukey Test bei  $P \leq 0,05$ ).

Tabelle 8: Statistik zur Pflanzenlänge von Radieskresse bei der Ernte (Mittelwert und Standardabweichung; Signifikanz bei  $P \leq 0,05$ ).

	Radieskresse			
Mineralstoffernährung	Mittlere Stiel- länge in cm [MW ± SD]	Mittlere Blatt- stiellänge in cm [MW ± SD]	Mittlere Blatt- breite in cm [MW ± SD]	Mittlere Blatt- länge in cm [MW ± SD]
100% Hoagland- Lösung	5,973 ± 0,810a	1,843 ± 0,265a	1,141 ± 0,100a	0,771 ± 0,104a
50 % Hoagland- Lösung	5,143 ± 0,329ab	1,515 ± 0,410ab	1,001 ± 0,125b	0,643 ± 0,100b
25 % Hoagland- Lösung	4,604 ± 0,711b	1,191 ± 0,235b	0,883 ± 0,089b	0,573 ± 0,071bc
Leitungswasser	3,646 ± 0,594c	0,803 ± 0,192c	0,745 ± 0,087c	0,512 ± 0,064cd
Deionisiertes Wasser	2,710 ± 0,388d	0,485 ± 0,085d	0,627 ± 0,052c	0,427 ± 0,044d
Kolmogorov- Smirnov-Test	0,200	0,063	0,200	0,200
Shapiro-Wilk- Test	0,431	0,024	0,116	0,182
Transformierung	-	$f(x) = \text{LN}(x)$	-	-
Levene-Test	0,050	0,789	0,342	0,082
ANOVA	0,000	0,000	0,000	0,000
Pos-Hoc-Test	Tukey HSD	Tukey HSD	Tukey HSD	Tukey HSD

Bei der Gartenkresse war die Gesamtlänge bei einem höherem Nährstoffangebot höher (Tabelle 9). Die untersuchten Parameter lagen unter den Werten der Radieskresse, zeigten allerdings die gleiche Tendenz.

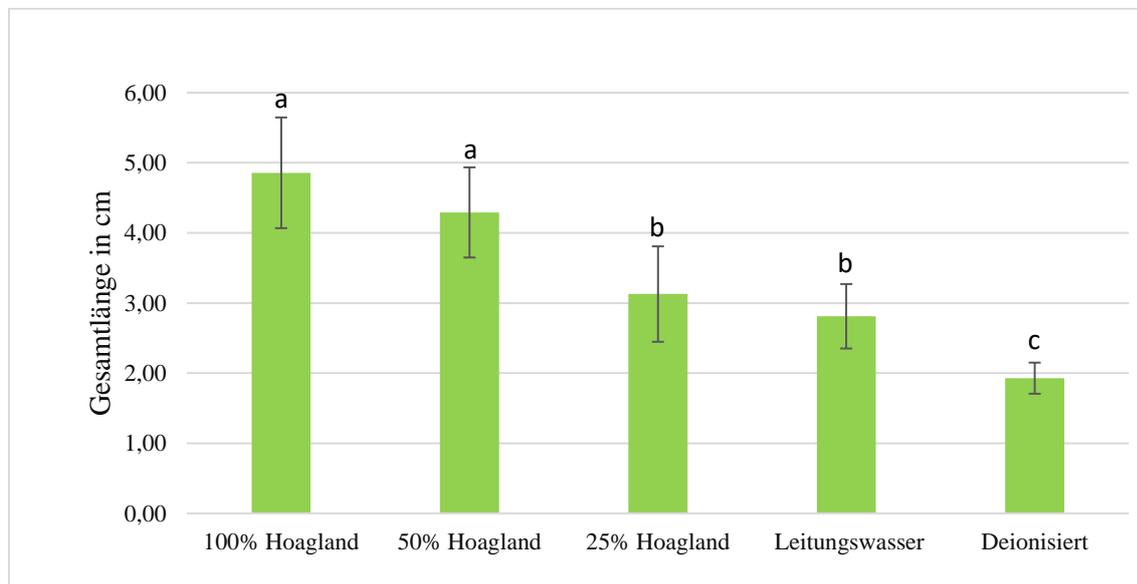


Abbildung 9: Mittlere Pflanzenlänge (cm) von Gartenkresse bei der Ernte (Mittelwert und Standardabweichung; Signifikanz nach Tukey Test bei  $P \leq 0,05$ ).

Tabelle 9: Statistik zur Pflanzenlänge von Gartenkresse bei der Ernte (Mittelwert und Standardabweichung; Signifikanz bei  $P \leq 0,05$ ).

	<b>Gartenkresse</b>
<b>Mineralstoffernährung</b>	<b>Gesamtlänge in cm</b>
100% Hoagland-Lösung	4,857 ± 0,789a
50 % Hoagland-Lösung	4,292 ± 0,642a
25 % Hoagland-Lösung	3,128 ± 0,680b
Leitungswasser	2,811 ± 0,459b
Deionisiertes Wasser	1,928 ± 0,222c
Kolmogorov-Smirnov-Test	0,200
Shapiro-Wilk-Test	0,140
Transformierung	$f(x) = LN(x)$
Levene-Test	0,452
ANOVA	0,000
Pos-Hoc-Test	Tukey HSD

### 3.1.3 Trockenmasse

Die Untersuchung der Trockenmasse von Radieskresse zeigte sowohl bei den Blättern als auch bei den Stielen, dass mit abnehmender Mineralstoffernährung die Trockenmassegehalte stiegen (Abb. 10 - 11).

Insgesamt hatte die Radieskresse einen höheren Trockenmassegehalt als die Gartenkresse.

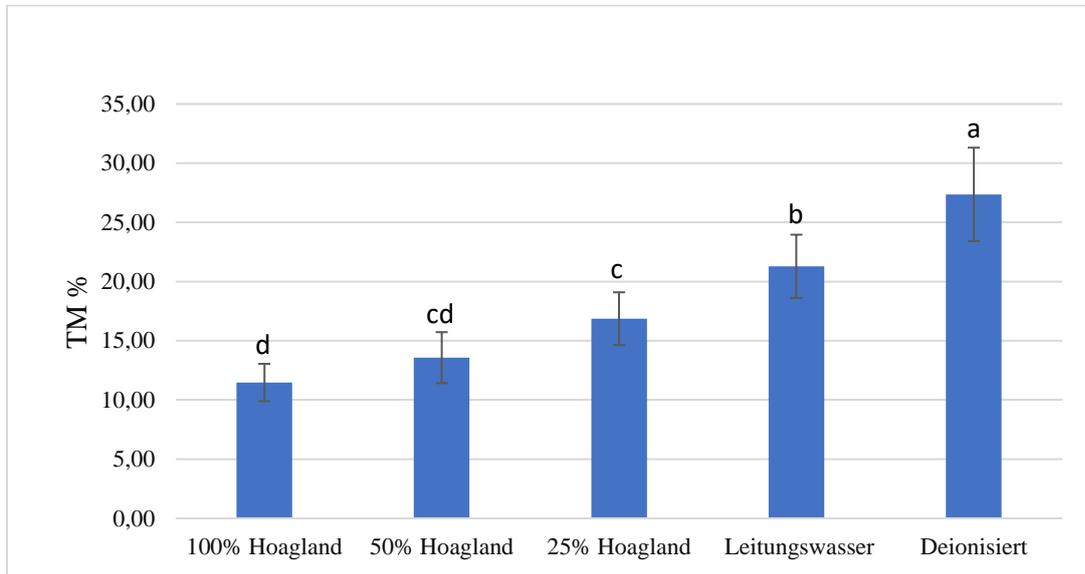


Abbildung 10: Mittlere Trockenmassegehalte in % der Radieskresse-Blätter (Mittelwert und Standardabweichung; Signifikanz nach Tukey Test bei  $P \leq 0,05$ ).

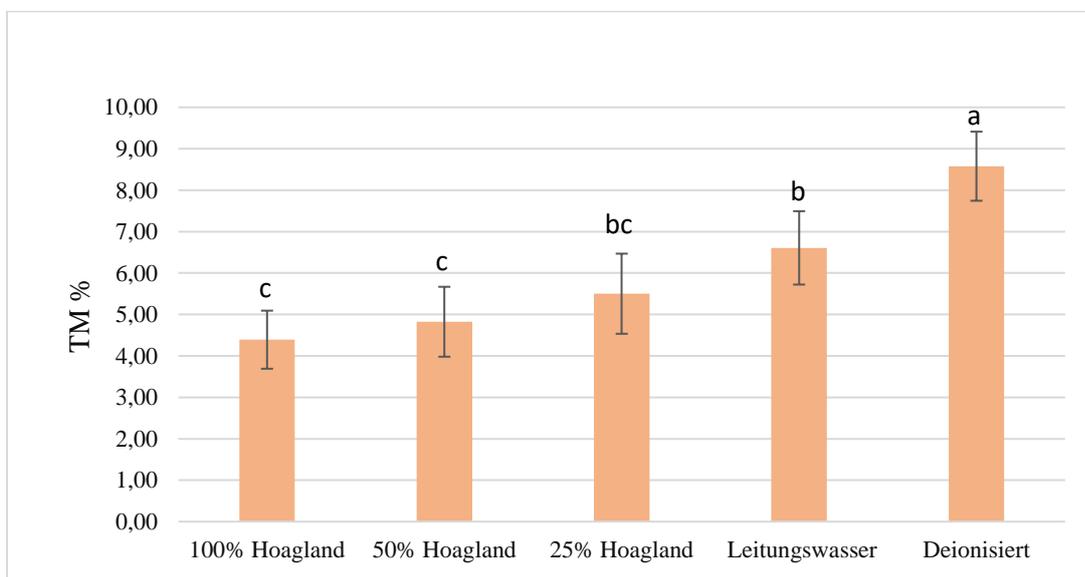


Abbildung 11: Mittlere Trockenmassegehalte in % der Stiele von Radieskresse (Mittelwert und Standardabweichung; Signifikanz nach Tukey Test bei  $P \leq 0,05$ ).

Bei der Gartenkresse war, wie auch bei der Radieskresse, mit abnehmender Mineralstoffernährung ein höherer Gehalt der Trockenmasse zu verzeichnen (Abb. 12).

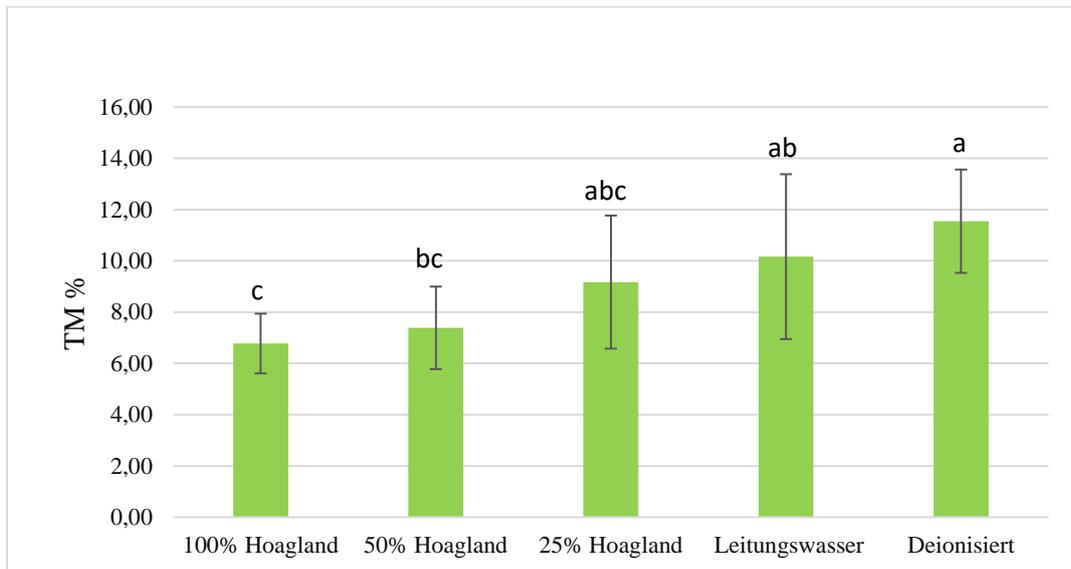


Abbildung 12: Mittlere Trockenmassegehalte in % der Gartenkresse (Mittelwert und Standardabweichung; Signifikanz nach Tukey Test bei  $P \leq 0,05$ ).

Tabelle 10: Statistik zum Trockenmassegehalt der Blätter und Stiele der untersuchten Radieskresse und Gartenkresse (Mittelwert und Standardabweichung; Signifikanz bei  $P \leq 0,05$ ).

Mineralstoffernährung	Radieskresse		Gartenkresse
	TM % im Blatt [MW ± SD]	TM % im Stiel [MW ± SD]	TM % [MW ± SD]
100% Hoagland-Lösung	11,47 ± 1,58d	4,39 ± 0,70c	6,78 ± 1,17c
50 % Hoagland-Lösung	13,57 ± 2,16cd	4,82 ± 0,84c	7,39 ± 1,61bc
25 % Hoagland-Lösung	16,87 ± 2,23c	5,50 ± 0,97bc	9,17 ± 2,60abc
Leitungswasser	21,29 ± 2,67b	6,61 ± 0,89b	10,17 ± 3,22ab
Deionisiertes Wasser	27,36 ± 3,95a	8,58 ± 0,83a	11,55 ± 2,02a
Kolmogorov-Smirnov-Test	0,158	0,200	0,099
Shapiro-Wilk-Test	0,021	0,144	0,050
Transformierung	-	-	-
Levene-Test	0,079	0,947	0,105
ANOVA	0,000	0,000	0,000
Pos-Hoc-Test	Tukey HSD	Tukey HSD	Tukey HSD

### 3.1.4 Chlorophyll *a*

Der Chlorophyll *a*-Gehalt in den Radieskresse-Blättern war in den Varianten 100% Hoagland-Lösung und 50% Hoagland-Lösung am höchsten. Die 25% Hoagland-Lösung und Leitungswasser hatten einen niedrigeren Gehalt. Die Variante mit deionisiertem Wasser hatte den niedrigsten Gehalt an Chlorophyll *a* (Abb. 13).

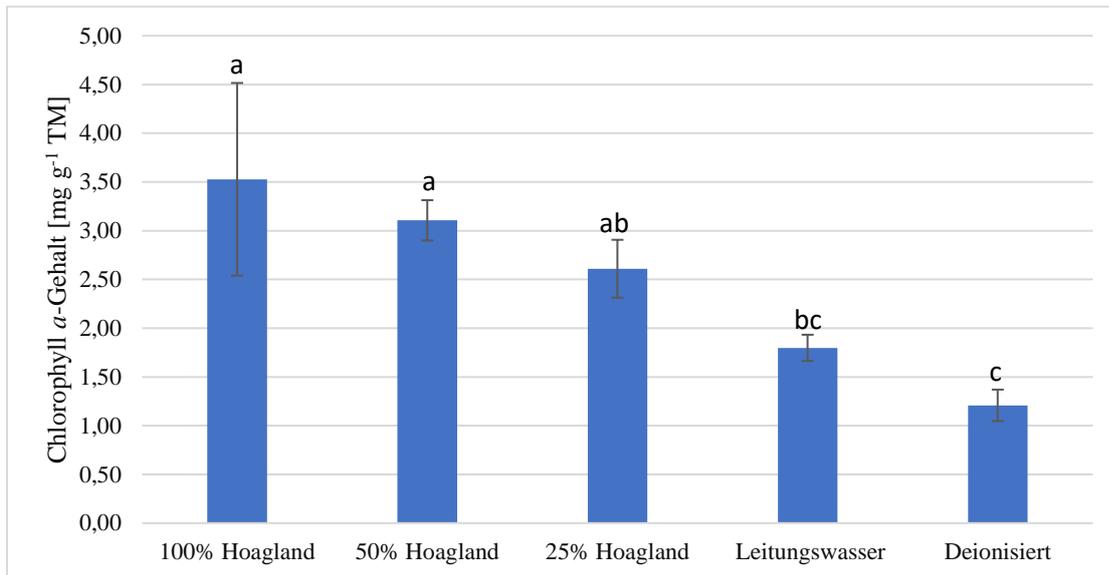


Abbildung 13: Mittlere Gehalte an Chlorophyll *a* der untersuchten Radieskresse-Blätter in mg g<sup>-1</sup> TM (Mittelwert und Standardabweichung; Signifikanz nach Tukey Test bei  $P \leq 0,05$ ).

Bei der Analyse des Chlorophyll *a*-Gehaltes in den Radieskresse-Stielen zeigte sich sowohl beim Kolmogorov-Smirnov- als auch bei Shapiro-Wilk-Test erst nach Transformation der Daten eine Normalverteilung (Tab. 11). Anschließend wurde ein Tukey Test durchgeführt. Dieser zeigte, dass keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den Varianten vorlagen (Abb. 14).

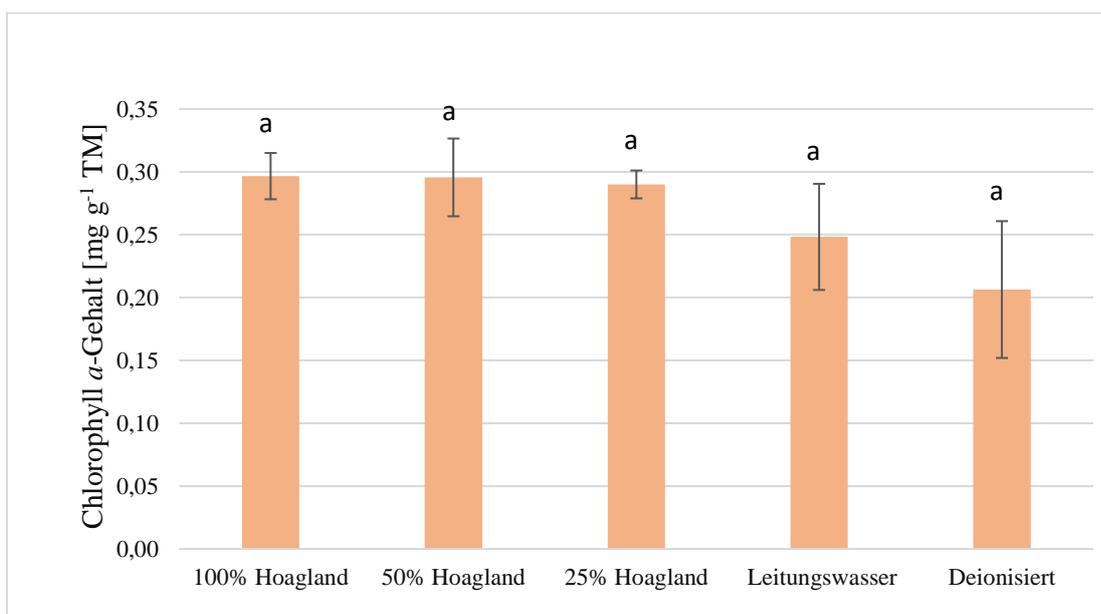


Abbildung 14: Mittlere Gehalte an Chlorophyll *a* der Radieskresse-Stiele in mg g<sup>-1</sup> TM (Mittelwert und Standardabweichung; Signifikanz nach Tukey Test bei  $P \leq 0,05$ ).

Die Werte der Gartenkresse lassen sich in drei verschiedene Gruppen einteilen. Die 100% Hoagland-Lösung hatte wie auch bei der Radieskresse den höchsten Wert an Chlorophyll *a*. Die Varianten 50% und 25% Hoagland-Lösung lagen im Mittelfeld, während die Varianten Leitungswasser und deionisiertes Wasser den geringsten Gehalt an Chlorophyll *a* hatten (Abb. 15).

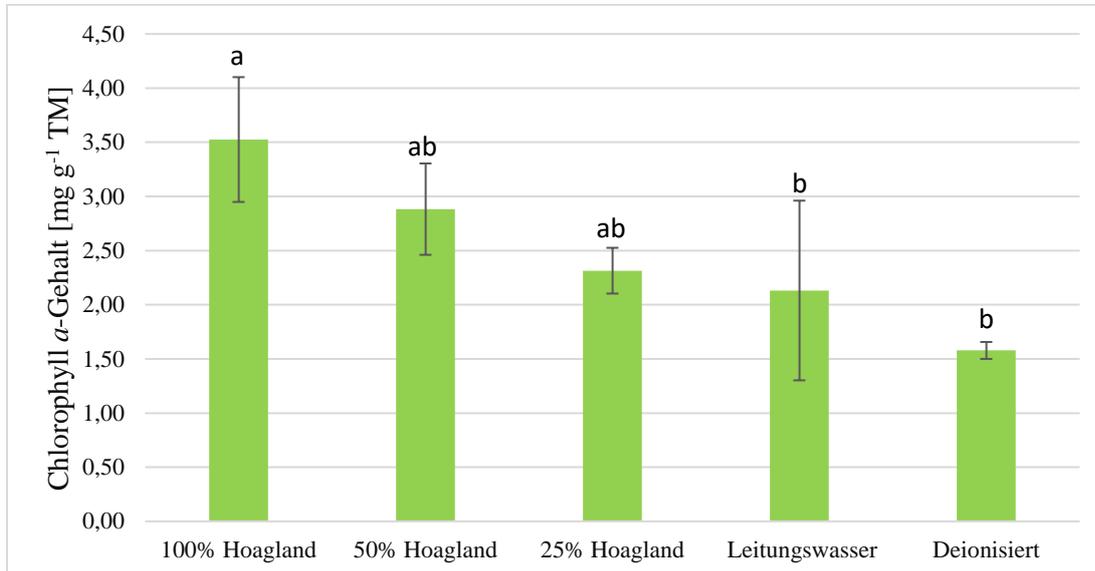


Abbildung 15: Mittlere Gehalte an Chlorophyll *a* der Gartenkresse in mg g<sup>-1</sup> TM (Mittelwert und Standardabweichung; Signifikanz nach Tukey Test bei  $P \leq 0,05$ ).

Tabelle 11: Statistik zu den Gehalten an Chlorophyll *a* der Blätter und Stiele der untersuchten Radieskresse und Gartenkresse (Mittelwert und Standardabweichung; Signifikanz bei  $P \leq 0,05$ ).

Mineralstoffernährung	Radieskresse		Gartenkresse
	Chlorophyll <i>a</i> im Blatt in mg g <sup>-1</sup> TM [MW ± SD]	Chlorophyll <i>a</i> im Stiel in mg g <sup>-1</sup> TM [MW ± SD]	Chlorophyll <i>a</i> in mg g <sup>-1</sup> TM [MW ± SD]
100% Hoagland-Lösung	3,53 ± 0,99a	0,30 ± 0,02a	3,53 ± 0,58a
50 % Hoagland-Lösung	3,11 ± 0,21a	0,30 ± 0,03a	2,88 ± 0,42ab
25 % Hoagland-Lösung	2,61 ± 0,30ab	0,29 ± 0,01a	2,31 ± 0,21ab
Leitungswasser	1,80 ± 0,13bc	0,25 ± 0,04a	2,13 ± 0,83b
Deionisiertes Wasser	1,21 ± 0,16c	0,21 ± 0,05a	1,58 ± 0,08b
Kolmogorov-Smirnov-Test	0,078	0,060	0,200
Shapiro-Wilk-Test	0,441	0,178	0,532
Transformierung	f(x) = LN(x)	f(x)=x <sup>2</sup>	-
Levene-Test	0,054	0,410	0,055
ANOVA	0,000	0,035	0,007
Pos-Hoc-Test	Tukey HSD	Tukey HSD	Tukey HSD

### 3.1.5 Chlorophyll *b*

Radieskresse-Blätter hatten bei einem höheren Nährstoffangebot einen höheren Anteil an Chlorophyll *b*. Die höchste Konzentration war bei 100% Hoagland-Lösung und 50% Hoagland-Lösung zu erkennen. Den geringsten Gehalt hatte die Variante mit deionisiertem Wasser (Abb. 16).

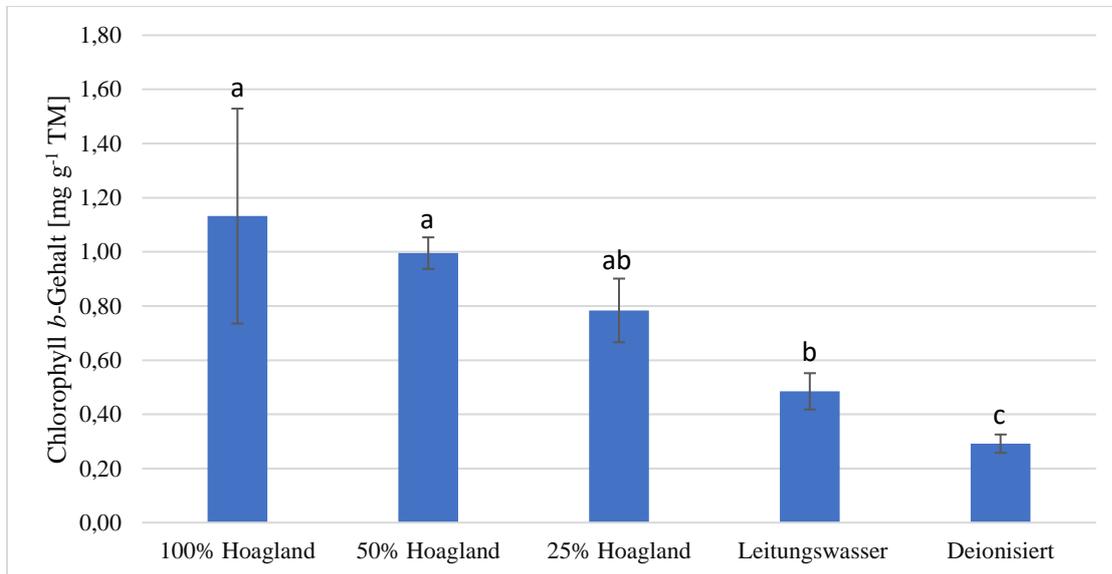


Abbildung 16: Mittlere Gehalte an Chlorophyll *b* der Radieskresse-Blätter in mg g<sup>-1</sup> TM (Mittelwert und Standardabweichung; Signifikanz nach Tukey Test bei  $P \leq 0,05$ ).

Bei den Radieskresse-Stielen zeigte sich ähnlich wie bei den Blättern, dass die am stärksten gedüngte Variante den höchsten Gehalt an Chlorophyll *b* hatte. Die Variante mit deionisiertem Wasser enthielt so gut wie kein Chlorophyll *b* (Abb. 17).

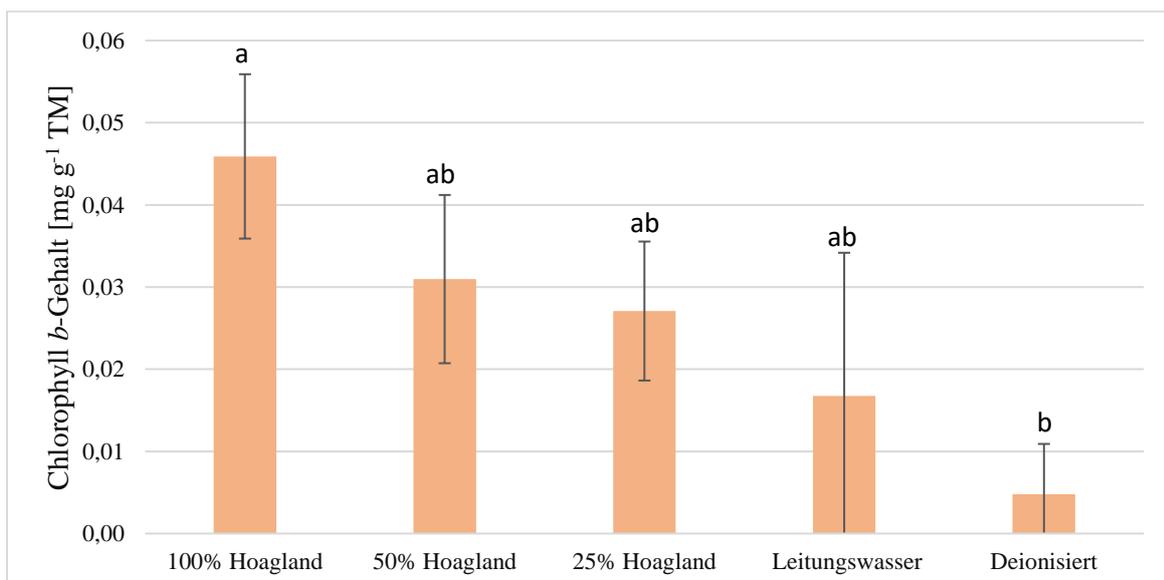


Abbildung 17: Mittlere Gehalte an Chlorophyll *b* der Radieskresse-Stiele in mg g<sup>-1</sup> TM (Mittelwert und Standardabweichung; Signifikanz nach Tukey Test bei  $P \leq 0,05$ ).

Die Gartenkresse hatte auch bei der 100% Hoagland-Lösung die höchste Konzentration an Chlorophyll *b* und bei der Variante mit deionisiertem Wasser die geringste Konzentration (Abb. 18).

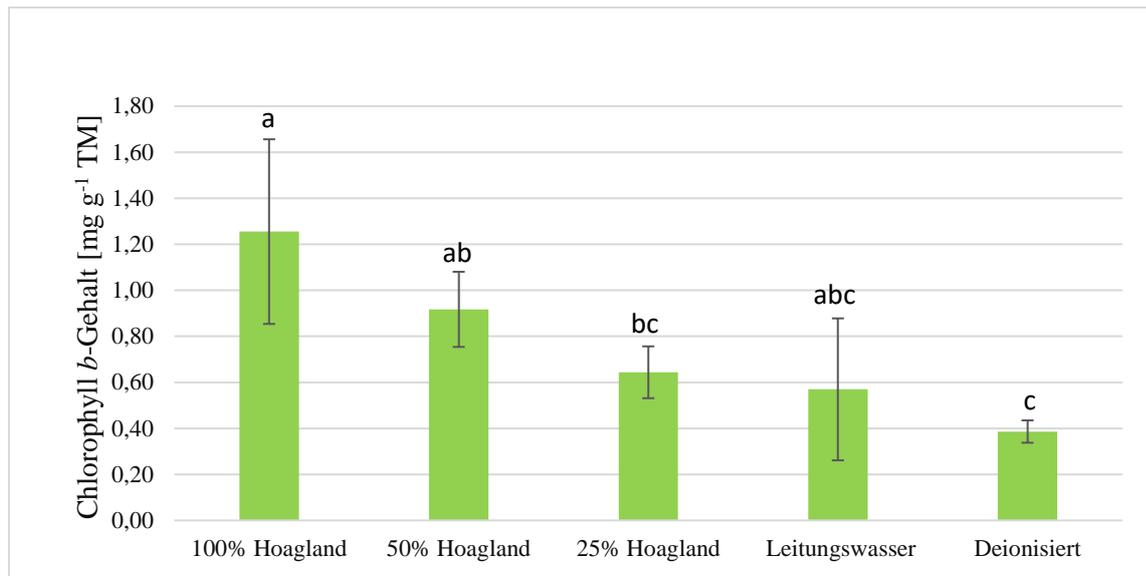


Abbildung 18: Mittlere Gehalte an Chlorophyll *b* der Gartenkresse in mg g<sup>-1</sup> TM (Mittelwert und Standardabweichung; Signifikanz nach Tukey Test bei  $P \leq 0,05$ ).

Tabelle 12: Statistik zu den Gehalten an Chlorophyll *b* der Blätter und Stiele der untersuchten Radieskresse und Gartenkresse (Mittelwert und Standardabweichung; Signifikanz bei  $P \leq 0,05$ )

Mineralstoffernährung	Radieskresse		Gartenkresse
	Chlorophyll <i>b</i> im Blatt in mg g <sup>-1</sup> TM [MW ± SD]	Chlorophyll <i>b</i> im Stiel in mg g <sup>-1</sup> TM [MW ± SD]	Chlorophyll <i>b</i> in mg g <sup>-1</sup> TM [MW ± SD]
100% Hoagland-Lösung	1,13 ± 0,40a	0,05 ± 0,01a	1,26 ± 0,40a
50 % Hoagland-Lösung	1,00 ± 0,06a	0,03 ± 0,01ab	0,92 ± 0,16ab
25 % Hoagland-Lösung	0,78 ± 0,12ab	0,03 ± 0,01ab	0,64 ± 0,11abc
Leitungswasser	0,49 ± 0,07b	0,02 ± 0,02ab	0,57 ± 0,31bc
Deionisiertes Wasser	0,29 ± 0,03c	0,00 ± 0,01b	0,39 ± 0,05c
Kolmogorov-Smirnov-Test	0,020	0,200	0,103
Shapiro-Wilk-Test	0,057	0,728	0,136
Transformierung	f(x) = LN(LN(x)+2)	-	f(x) = LN(LN(LN(x)+2)+1)
Levene-Test	0,074	0,559	0,059
ANOVA	0,000	0,011	0,023
Pos-Hoc-Test	Tukey HSD	Tukey HSD	Tukey HSD

### 3.1.6 Gesamtchlorophyll

Bei den Radieskresse-Blättern waren vier Gruppen zu erkennen. 50% und 100% Hoagland-Lösung zeigten den höchsten Gehalt an Gesamtchlorophyll. Die 25% Hoagland-Lösung lag zwischen den Gruppen

von 100%, 50% Hoagland-Lösung und Leitungswasser. Den geringsten Gehalt an Gesamtchlorophyll zeigte die Variante mit deionisiertem Wasser (Abb. 19).

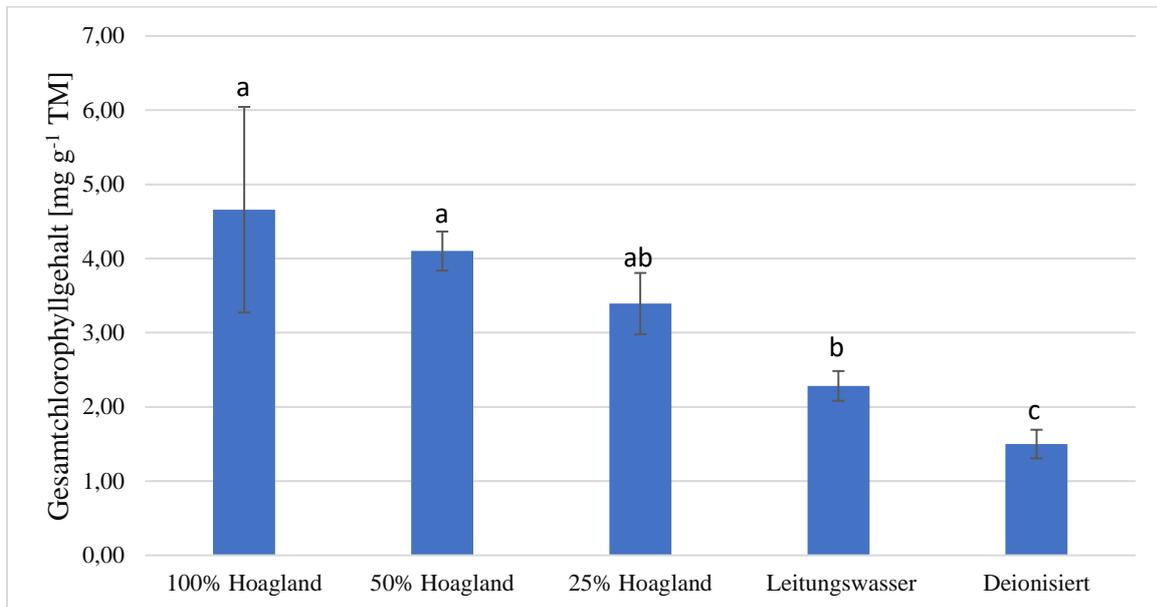


Abbildung 19: Mittlere Gesamtchlorophyllgehalte der Radieskresse-Blätter in mg g<sup>-1</sup> TM (Mittelwert und Standardabweichung; Signifikanz nach Tukey Test bei  $P \leq 0,05$ ).

Die Radieskresse-Stiele konnten in drei Gruppen eingeteilt werden. 100% Hoagland-Lösung hatte die höchste Konzentration an Gesamtchlorophyll. Leitungswasser, 25% und 50% Hoagland-Lösung zeigten ähnliche, mittlere Konzentrationen. Deionisiertes Wasser hatte die geringste Konzentration (Abb. 20).

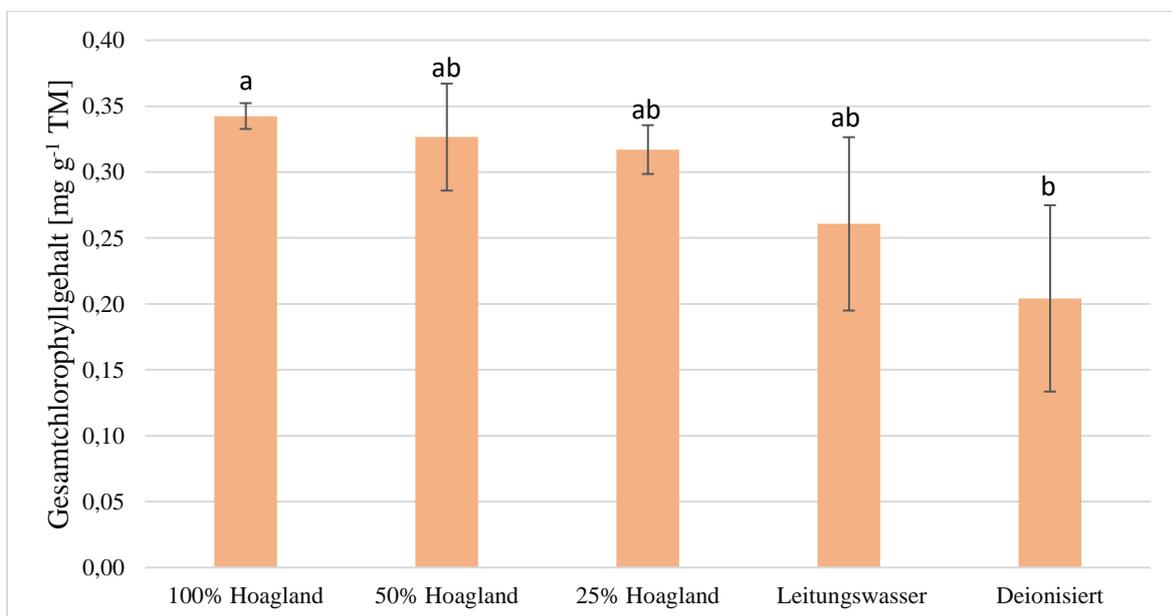


Abbildung 20: Mittlere Gesamtchlorophyllgehalte der Radieskresse-Stiele in mg g<sup>-1</sup> TM (Mittelwert und Standardabweichung; Signifikanz nach Tukey Test bei  $P \leq 0,05$ ).

Bei der Analyse des Gesamtchlorophyllgehaltes der Gartenkresse wurde die höchste Konzentration in der Variante 100% Hoagland-Lösung gemessen. 25% und 50% Hoagland-Lösung zeigten niedrigere

Konzentrationen. Die Gruppe mit der geringsten Konzentration bildeten Leitungswasser und deionisiertes Wasser (Abb. 21).

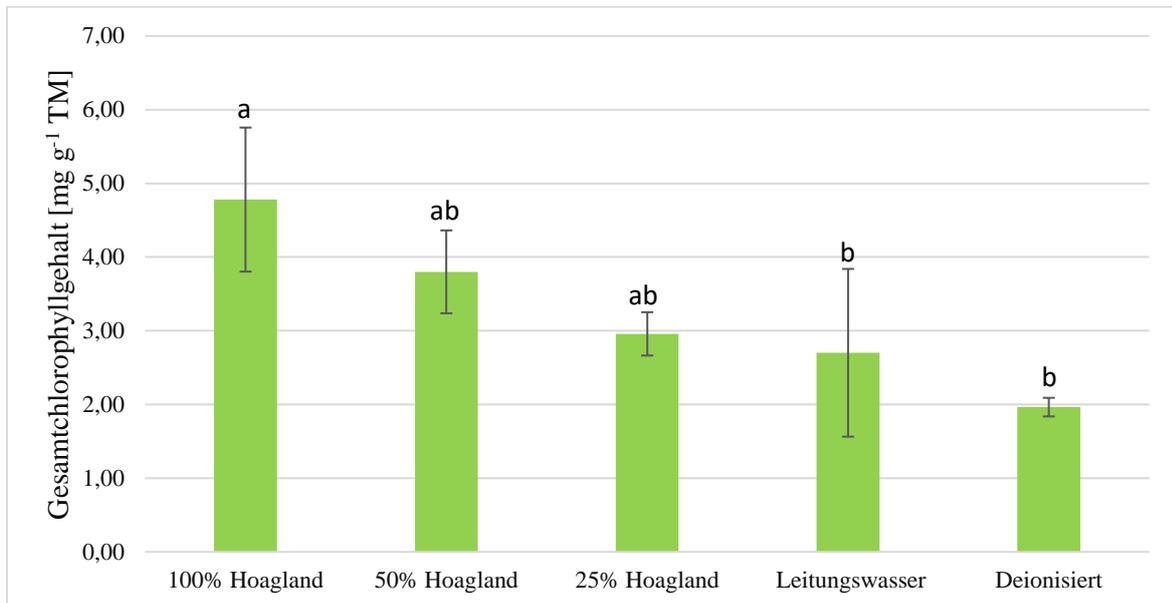


Abbildung 21: Mittlere Gesamtchlorophyllgehalte der Gartenkresse in mg g<sup>-1</sup> TM (Mittelwert und Standardabweichung; Signifikanz nach Tukey Test bei  $P \leq 0,05$ ).

Tabelle 13: Statistik zu den Gesamtchlorophyllgehalten der Blätter und Stiele der untersuchten Radieskresse und Gartenkresse (Mittelwert und Standardabweichung; Signifikanz bei  $P \leq 0,05$ ).

Mineralstoffernährung	Radieskresse		Gartenkresse
	Gesamtchlorophyll im Blatt in mg g <sup>-1</sup> TM [MW ± SD]	Gesamtchlorophyll im Stiel in mg g <sup>-1</sup> TM [MW ± SD]	Gesamtchlorophyll in mg g <sup>-1</sup> TM [MW ± SD]
100% Hoagland-Lösung	4,66 ± 1,39a	0,34 ± 0,01a	4,78 ± 0,98a
50 % Hoagland-Lösung	4,10 ± 0,26a	0,33 ± 0,04ab	3,80 ± 0,56ab
25 % Hoagland-Lösung	3,39 ± 0,41ab	0,32 ± 0,02ab	2,96 ± 0,29ab
Leitungswasser	2,28 ± 0,20b	0,26 ± 0,07ab	2,70 ± 1,14b
Deionisiertes Wasser	1,50 ± 0,19c	0,20 ± 0,07b	1,96 ± 0,13b
Kolmogorov-Smirnov-Test	0,037	0,101	0,200
Shapiro-Wilk-Test	0,247	0,038	0,467
Transformierung	f(x) = LN(LN(x)+2)	-	-
Levene-Test	0,108	0,183	0,054
ANOVA	0,000	0,028	0,007
Pos-Hoc-Test	Tukey HSD	Tukey HSD	Tukey HSD

### 3.1.7 Carotinoide

Der Carotinoid Gehalt der Radieskresse-Blätter war in den Varianten 50% und 100% Hoagland-Lösung am höchsten. Den niedrigsten Gehalt wies die Variante mit deionisiertem Wasser auf (Abb. 22).

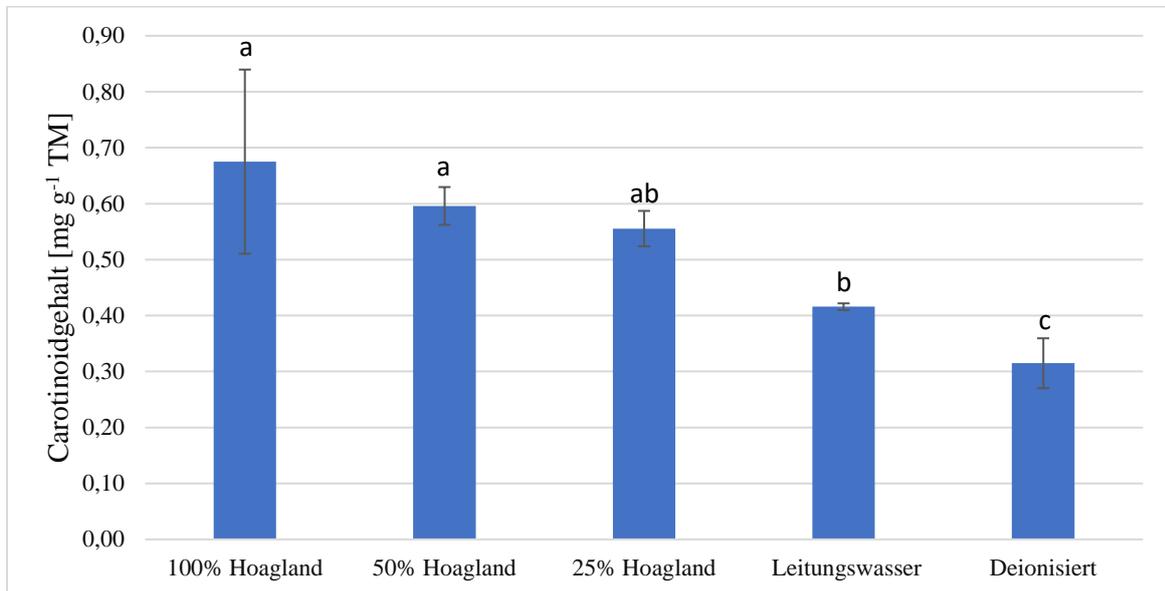


Abbildung 22: Mittlere Carotinoidgehalte der untersuchten Radieskresse-Blätter in mg g<sup>-1</sup> TM (Mittelwert und Standardabweichung; Signifikanz nach Tukey Test bei  $P \leq 0,05$ ).

Die Daten der Radieskresse-Stiele waren nicht normalverteilt und wurden mithilfe eines Kruskal-Wallis Tests verglichen (Tab. 14). Dieser zeigte keinen Unterschied zwischen den Varianten.

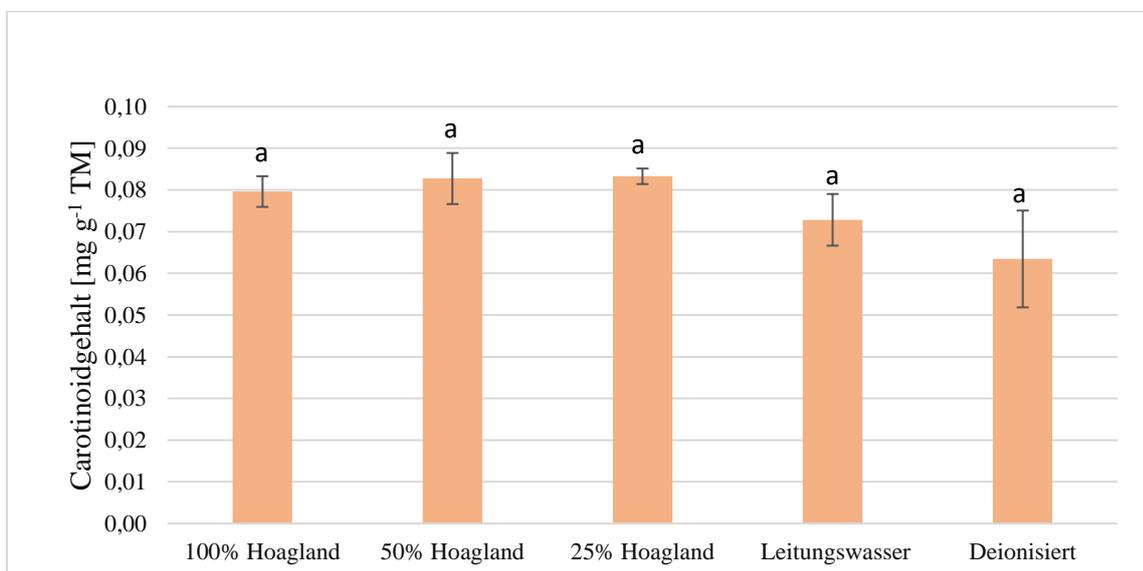


Abbildung 23: Mittlere Carotinoidgehalte der untersuchten Radieskresse-Stiele in mg g<sup>-1</sup> TM (Mittelwert und Standardabweichung; Signifikanz nach Tukey Test bei  $P \leq 0,05$ ).

Bei der Gartenkresse waren die Gehalte an Carotinoiden in den Varianten 50% und 100% Hoagland-Lösung am höchsten. Die niedrigste Konzentration hatte die Variante mit deionisiertem Wasser (Abb. 24).

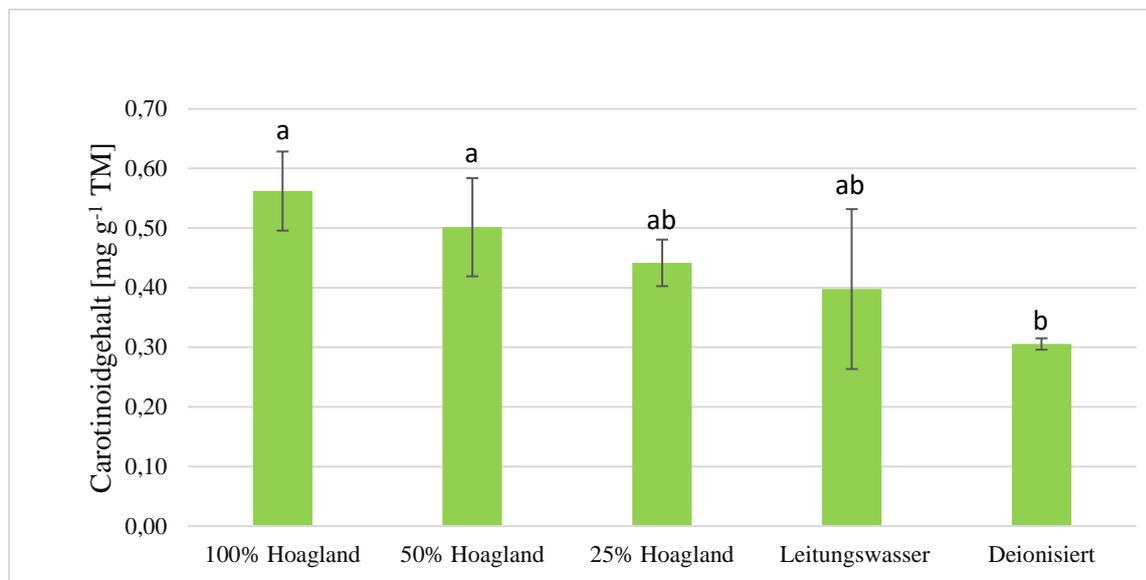


Abbildung 24: Mittlere Carotinoidgehalte der untersuchten Gartenkresse in mg g<sup>-1</sup> TM (Mittelwert und Standardabweichung; Signifikanz nach Tukey Test bei  $P \leq 0,05$ ).

Tabelle 14: Statistik zu den Carotinoidgehalten der Blätter und Stiele der untersuchten Radieskresse und Gartenkresse (Mittelwert und Standardabweichung; Signifikanz bei  $P \leq 0,05$ ). Im Falle des Radieskresse-Stiels wurde ein Kruskal-Wallis Test angewandt.

Mineralstoffernährung	Radieskresse		Gartenkresse
	Carotinoide im Blatt in mg g <sup>-1</sup> TM [MW ± SD]	Carotenoide im Stiel in mg g <sup>-1</sup> TM [MW ± SD]	Carotinoide in mg g <sup>-1</sup> TM [MW ± SD]
100% Hoagland-Lösung	0,68 ± 0,16a	0,08 ± 0,00a	0,56 ± 0,07a
50 % Hoagland-Lösung	0,60 ± 0,03a	0,08 ± 0,01a	0,50 ± 0,08a
25 % Hoagland-Lösung	0,56 ± 0,03ab	0,08 ± 0,00a	0,44 ± 0,04ab
Leitungswasser	0,42 ± 0,01b	0,07 ± 0,01a	0,40 ± 0,13ab
Deionisiertes Wasser	0,31 ± 0,04c	0,06 ± 0,01a	0,31 ± 0,01b
Kolmogorov-Smirnov-Test	0,047	0,006	0,061
Shapiro-Wilk-Test	0,136	0,029	0,041
Transformierung	$f(x) = \text{LN}(\text{LN}(x)+2)$		$f(x) = \text{LN}(\text{LN}(\text{LN}(x)+2)+1)$
Levene-Test	0,070		0,064
ANOVA	0,000		0,007
Kruskal-Wallis Test		0,069	
Pos-Hoc-Test	Tukey HSD		Tukey HSD

### 3.1.8 Flavonoide

Die Radieskresse-Blätter zeigten mit abnehmender Nährstoffkonzentration einen tendenziell niedrigeren Gehalt an Flavonoiden (Abb. 25).

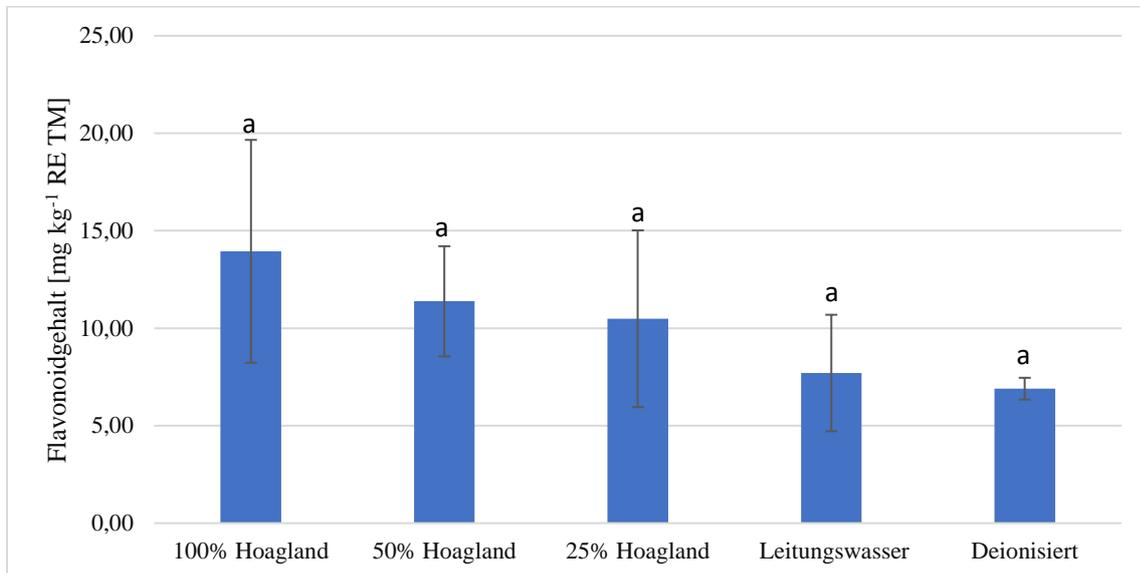


Abbildung 25: Mittlere Flavonoidgehalte der Radieskresse-Blätter in mg kg<sup>-1</sup> RE TM (Mittelwert und Standardabweichung; Signifikanz nach Tukey Test bei  $P \leq 0,05$ ; RE: Rutinäquivalente).

Die Radieskresse-Stiele zeigten keine Normalverteilung, daher wurde ein Kruskal-Wallis Test für nicht normalverteilte Daten durchgeführt (Tab. 15). Dieser zeigte, dass keine Unterschiede vorlagen.

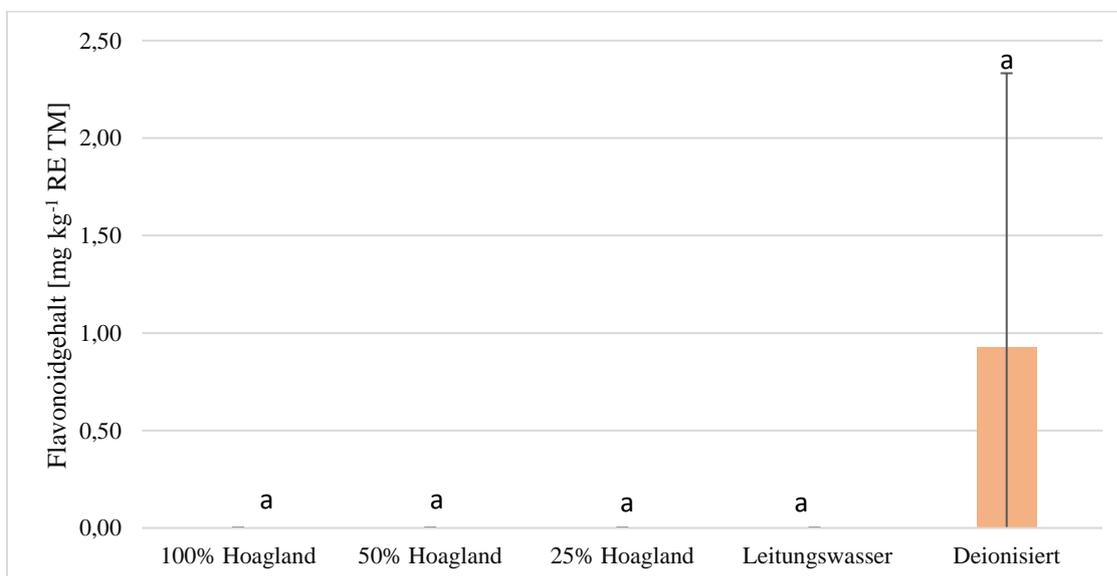


Abbildung 26: Mittlere Flavonoidgehalte der untersuchten Radieskresse Stiele in mg kg<sup>-1</sup> RE TM (Mittelwert und Standardabweichung; Signifikanz nach Kruskal-Wallis Test bei  $P \leq 0,05$ ; RE: Rutinäquivalente).

Bei der Analyse der Gartenkresse konnte festgestellt werden, dass die größten Mengen an Flavonoiden in der Variante mit Leitungswasser vorlagen. 100% Hoagland-Lösung hatte die geringste Menge an Flavonoiden (Abb. 27). Insgesamt hatte die Gartenkresse höhere Gehalte an Flavonoiden als die Radieskresse.

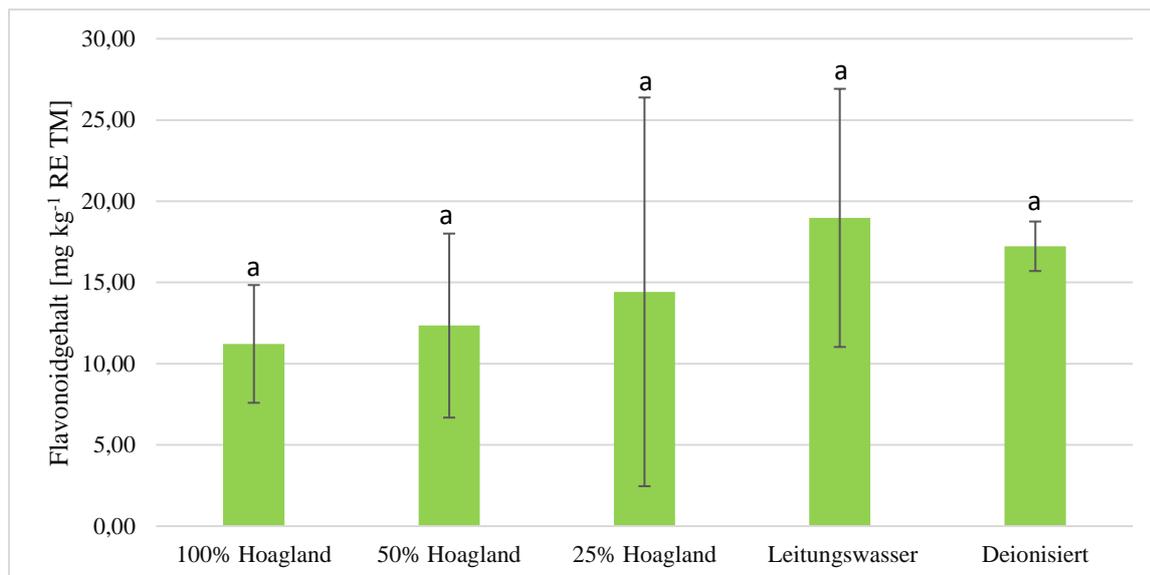


Abbildung 27: Mittlere Flavonoidgehalte der Gartenkresse in mg kg<sup>-1</sup> RE TM (Mittelwert und Standardabweichung; Signifikanz nach Tukey Test bei  $P \leq 0,05$ ; RE: Rutinäquivalente).

Tabelle 15: Statistik zu den Flavonoidgehalten der Blätter und Stiele der untersuchten Radieskresse und Gartenkresse (Mittelwert und Standardabweichung; Signifikanz bei  $P \leq 0,05$ ; RE: Rutinäquivalente). Für Radieskresse- Stiele wurde ein Kruskal-Wallis Test angewandt.

Mineralstoffernährung	Radieskresse		Gartenkresse
	Flavonoide im Blatt in mg kg <sup>-1</sup> RE TM [MW ± SD]	Flavonoide im Stiel in mg kg <sup>-1</sup> RE TM [MW ± SD]	Flavonoide in mg kg <sup>-1</sup> RE TM [MW ± SD]
100% Hoagland-Lösung	13,943 ± 5,717a	0,000 ± 0,000a	11,216 ± 3,625a
50 % Hoagland-Lösung	11,379 ± 2,827a	0,000 ± 0,000a	12,345 ± 5,664a
25 % Hoagland-Lösung	10,485 ± 4,533a	0,000 ± 0,000a	14,422 ± 11,962a
Leitungswasser	7,701 ± 2,988a	0,000 ± 0,000a	18,973 ± 7,944a
Deionisiertes Wasser	6,898 ± 0,558a	0,927 ± 1,405a	17,228 ± 1,525a
Kolmogorov-Smirnov-Test	0,162	0,000	0,200
Shapiro-Wilk-Test	0,045	0,000	0,229
Transformierung	-		f(x) = LN(x)
Levene-Test	0,092		0,160
ANOVA	0,219		0,611
Kruskal-Wallis Test		0,073	
Pos-Hoc-Test			

### 3.1.9 Anthocyane

Die Analyse der Radieskresse-Blätter mittels Kruskal-Wallis Test für nicht normalverteilte Daten ergab, dass kein Unterschied zwischen den Varianten vorlag (Tab. 16). Die Radieskresse hatte höhere Gehalte an Anthocyanen als die Gartenkresse (Abb. 28).

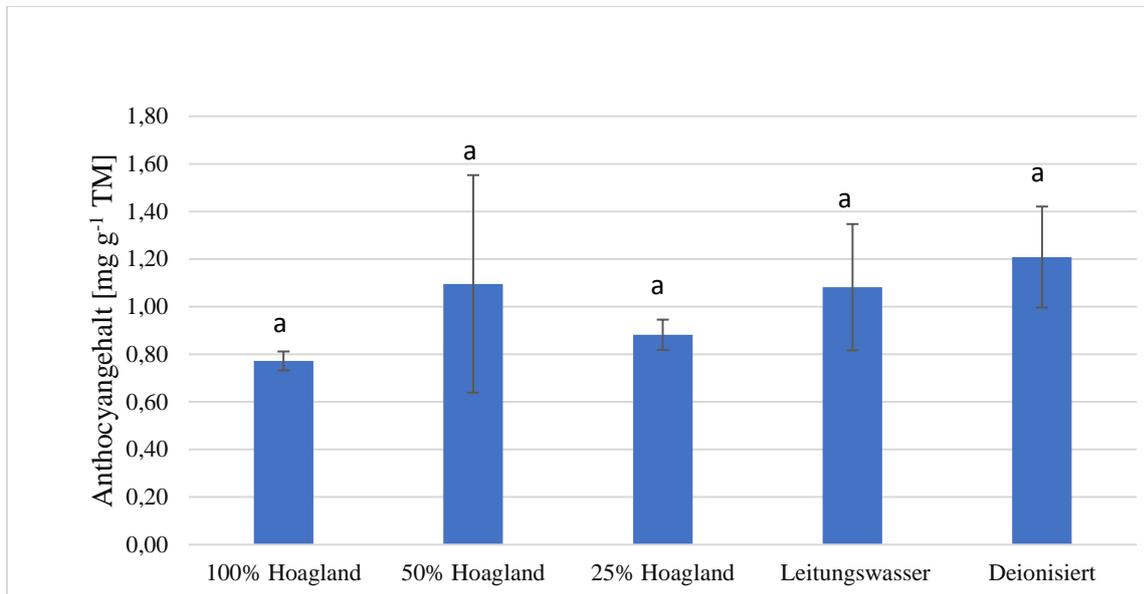


Abbildung 28: Mittlere Anthocyangehalte der Radieskresse-Blätter in mg g<sup>-1</sup> TM (Mittelwert und Standardabweichung; Signifikanz nach Tukey Test bei  $P \leq 0,05$ ).

Für die Stiele der Radieskresse konnte mittels Tukey HSD Test ein Unterschied zwischen den Varianten festgestellt werden, wobei die Variante mit deionisiertem Wasser den höchsten Gehalt an Anthocyanen aufwies und die Varianten mit 100% Hoagland-Lösung und 50% Hoagland-Lösung die niedrigsten Gehalte zeigten (Abb. 29).

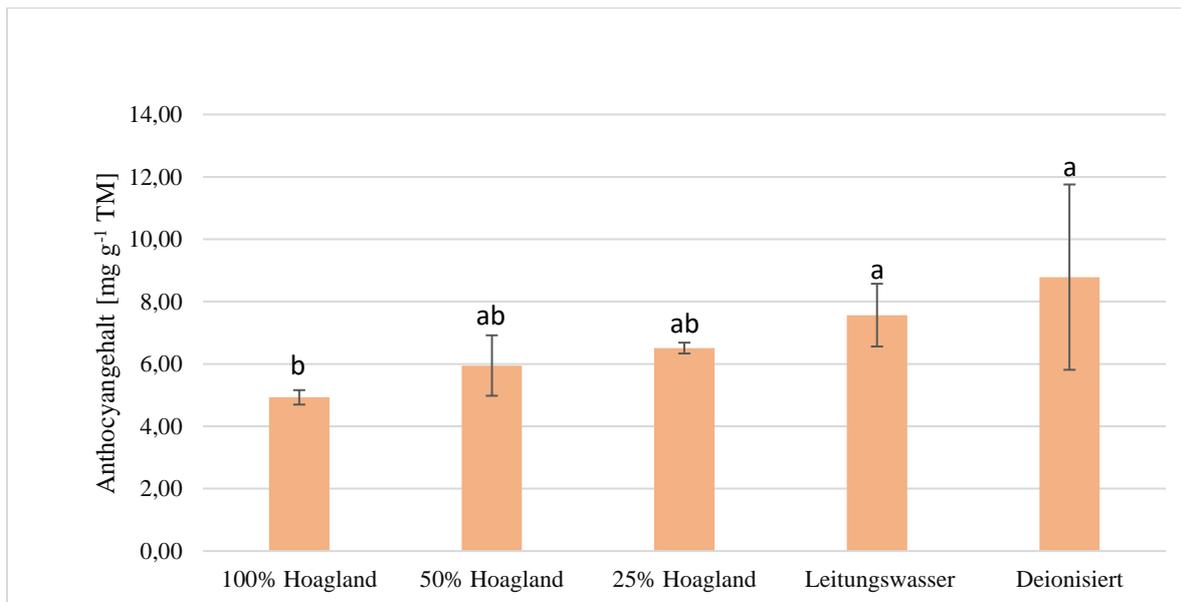


Abbildung 29: Mittlere Anthocyangehalte der Radieskresse-Stiele in mg g<sup>-1</sup> TM (Mittelwert und Standardabweichung; Signifikanz nach Tukey Test bei  $P \leq 0,05$ ).

Bei der Analyse der Gartenkresse lag eine Varianzhomogenität vor. Mittels Tukey HSD Test ließen sich allerdings keine signifikanten Unterschiede zwischen den Varianten belegen (Tab. 16).

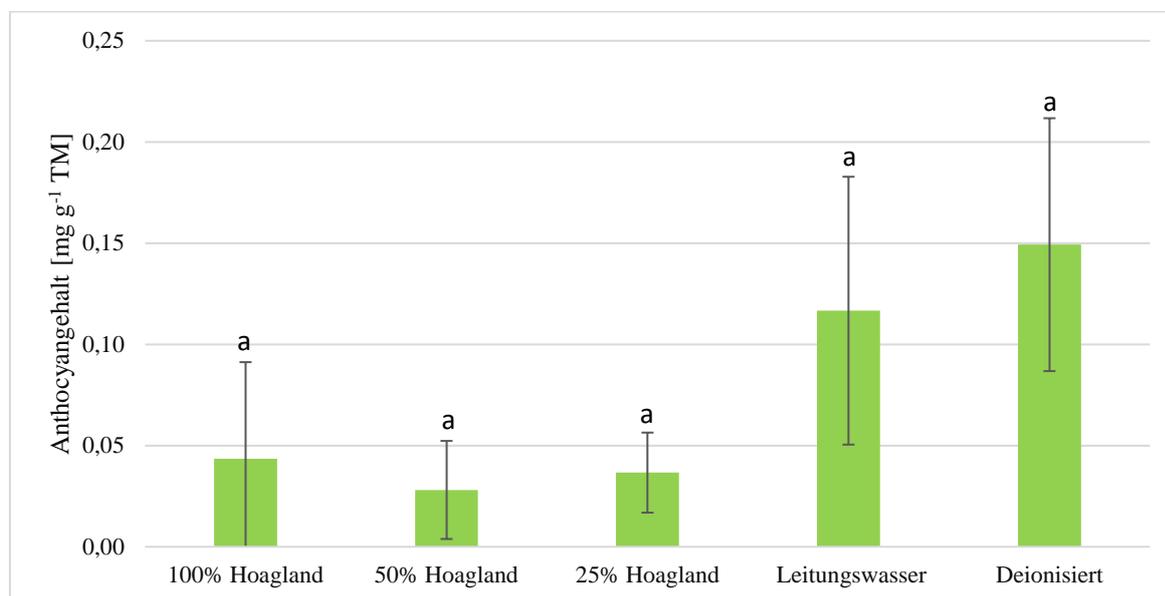


Abbildung 30: Mittlere Anthocyanengehalte der Gartenkresse in mg g<sup>-1</sup> TM (Mittelwert und Standardabweichung; Signifikanz nach Tukey Test bei  $P \leq 0,05$ ).

Tabelle 16: Statistik zu den Anthocyangehalten der Blätter und Stiele der untersuchten Radieskresse und Gartenkresse (Mittelwert und Standardabweichung; Signifikanz bei  $P \leq 0,05$ ). Für Radieskresse-Blätter wurde ein Kruskal-Wallis Test angewandt.

Mineralstoffernährung	Radieskresse		Gartenkresse
	Anthocyane in mg g <sup>-1</sup> TM im Blatt [MW ± SD]	Anthocyane in mg g <sup>-1</sup> TM im Stiel [MW ± SD]	Anthocyane in mg g <sup>-1</sup> TM [MW ± SD]
100% Hoagland-Lösung	0,77 ± 0,04a	4,93 ± 0,23b	0,04 ± 0,05a
50 % Hoagland-Lösung	1,10 ± 0,46a	5,95 ± 0,97ab	0,03 ± 0,02a
25 % Hoagland-Lösung	0,88 ± 0,06a	6,51 ± 0,17ab	0,04 ± 0,02a
Leitungswasser	1,08 ± 0,27a	7,57 ± 1,01a	0,12 ± 0,07a
Deionisiertes Wasser	1,21 ± 0,21a	8,79 ± 2,97a	0,15 ± 0,06a
Kolmogorov-Smirnov-Test	0,023	0,200	0,200
Shapiro-Wilk-Test	0,012	0,861	0,061
Transformierung	-	f(x) = LN(LN(LN(x)))	-
Levene-Test		0,166	0,250
ANOVA		0,008	0,037
Kruskal-Wallis Test	0,067		
Pos-Hoc-Test		Tukey HSD	Tukey HSD

### 3.1.10 Gesamtphenole

Bei allen untersuchten Proben für Gesamtphenole lag eine Normalverteilung vor. Sowohl bei den Blättern als auch den Stielen der Radieskresse lag eine Varianzhomogenität vor. Die ANOVA ergab signifikante Unterschiede. Die Blätter der Radieskresse konnten in 3 Gruppen eingeteilt werden, wobei die Varianten 100% Hoagland-Lösung und 50% Hoagland-Lösung den höchsten Gehalt an Gesamtphenolen zeigten. Die Variante mit deionisiertem Wasser zeigte die geringste Konzentration (Abb. 31).

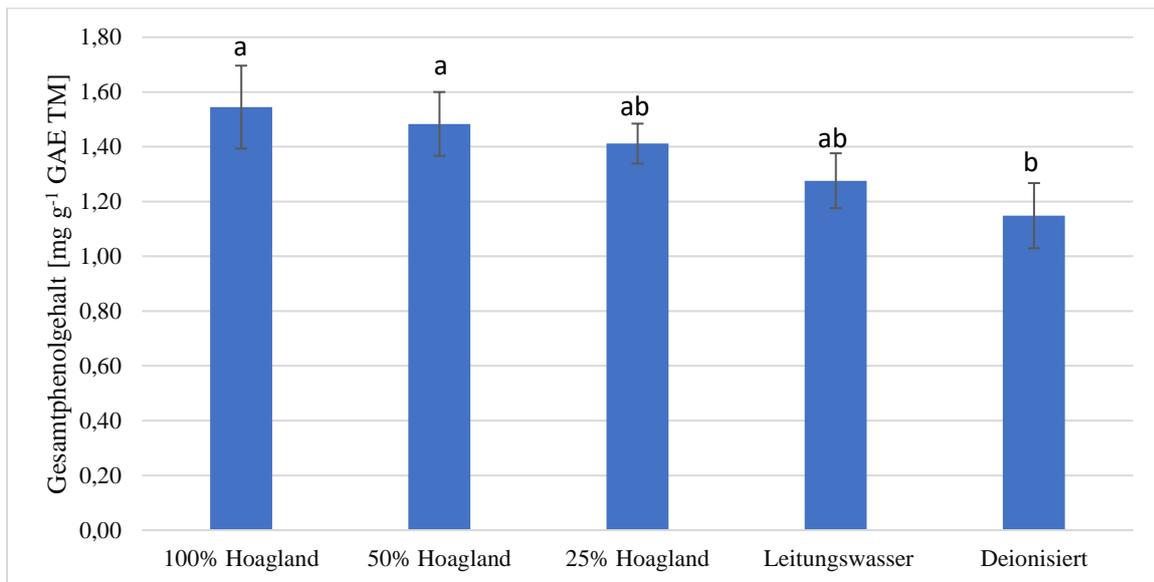


Abbildung 31: Mittlere Gesamtphenolgehalte der Radieskresse-Blätter in mg g<sup>-1</sup> GAE TM (Mittelwert und Standardabweichung; Signifikanz nach Tukey Test bei  $P \leq 0,05$ ; GAE: Gallussäureäquivalente).

Bei den Stielen der Radieskresse zeigte sich, dass die Variante mit deionisiertem Wasser den höchsten Phenolgehalt und die 100% Hoagland-Lösung den niedrigsten Gehalt aufwies (Abb. 32).

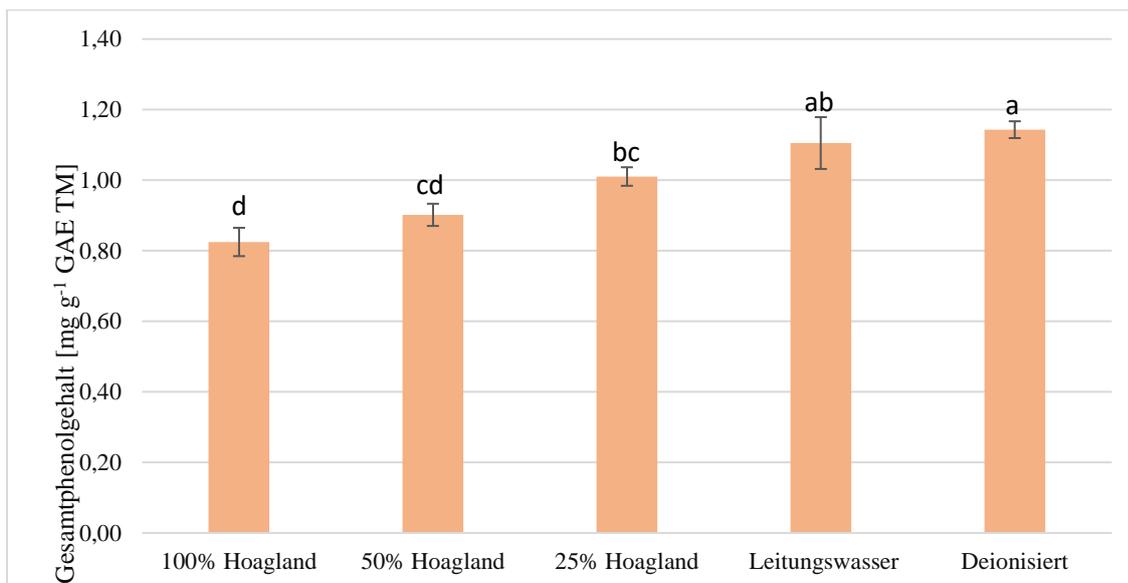


Abbildung 32: Mittlere Gesamtphenolgehalte der Radieskresse-Stiele in mg g<sup>-1</sup> GAE TM (Mittelwert und Standardabweichung; Signifikanz nach Tukey Test bei  $P \leq 0,05$ ; GAE: Gallussäureäquivalente).

Die statistische Auswertung der Gartenkresse ergab keine Varianzhomogenität. Auch bei der ANOVA war das Ergebnis negativ. Es wurde ein Post-Hoc Test nach Dunnet T3 durchgeführt. Dieser zeigte, dass keine Unterschiede zwischen den Varianten vorlagen (Tab. 17).

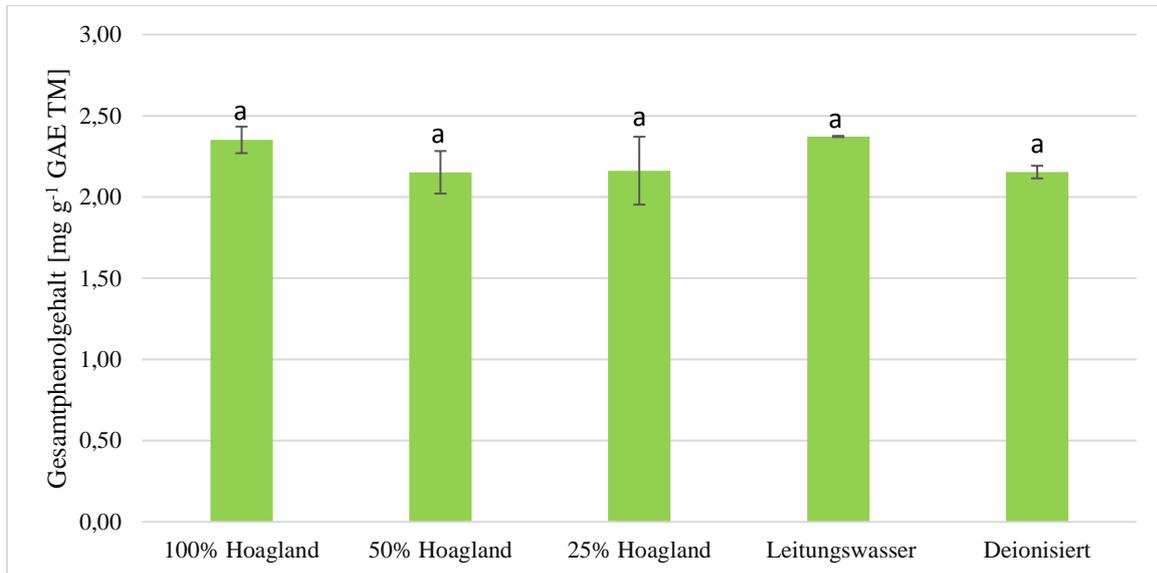


Abbildung 33: Mittlere Gesamtphenolgehalte der Gartenkresse in mg g<sup>-1</sup> GAE TM (Mittelwert und Standardabweichung; Signifikanz nach Tukey Test bei  $P \leq 0,05$ ; GAE: Gallussäureäquivalente).

Tabelle 17: Statistik zu den Phenolgehalten der Blätter und Stiele der untersuchten Radieskresse und Gartenkresse (Mittelwert und Standardabweichung; Signifikanz bei  $P \leq 0,05$ ; GAE: Gallussäureäquivalente). Für Gartenkresse wurde ein Dunnet T3 Test angewandt.

Mineralstoffernährung	Radieskresse		Gartenkresse
	Phenole im Blatt in mg g <sup>-1</sup> GAE TM [MW ± SD]	Phenole im Stiel in mg g <sup>-1</sup> GAE TM [MW ± SD]	Phenole in mg g <sup>-1</sup> GAE TM [MW ± SD]
100% Hoagland-Lösung	1,544 ± 0,151a	0,824 ± 0,040d	2,351 ± 0,081a
50 % Hoagland-Lösung	1,483 ± 0,116a	0,901 ± 0,031cd	2,151 ± 0,130a
25 % Hoagland-Lösung	1,411 ± 0,073ab	1,010 ± 0,026bc	2,161 ± 0,208a
Leitungswasser	1,276 ± 0,100ab	1,105 ± 0,073ab	2,372 ± 0,003a
Deionisiertes Wasser	1,148 ± 0,119b	1,143 ± 0,023a	2,153 ± 0,038a
Kolmogorov-Smirnov-Test	0,200	0,200	0,055
Shapiro-Wilk-Test	0,984	0,376	0,110
Transformierung	-	-	-
Levene-Test	0,807	0,338	0,008
ANOVA	0,011	0,000	0,086
Pos-Hoc-Test	Tukey HSD	Tukey HSD	Dunnet T3

### 3.1.11 Nitrat

Bei Radieskresse-Blättern lagen vier Gruppen vor, wobei die 100% Hoagland-Lösung den höchsten Gehalt an Nitrat aufwies, die Gruppe mit den niedrigsten Gehalten bildeten die Varianten Leitungswasser und deionisiertes Wasser (Abb. 34).

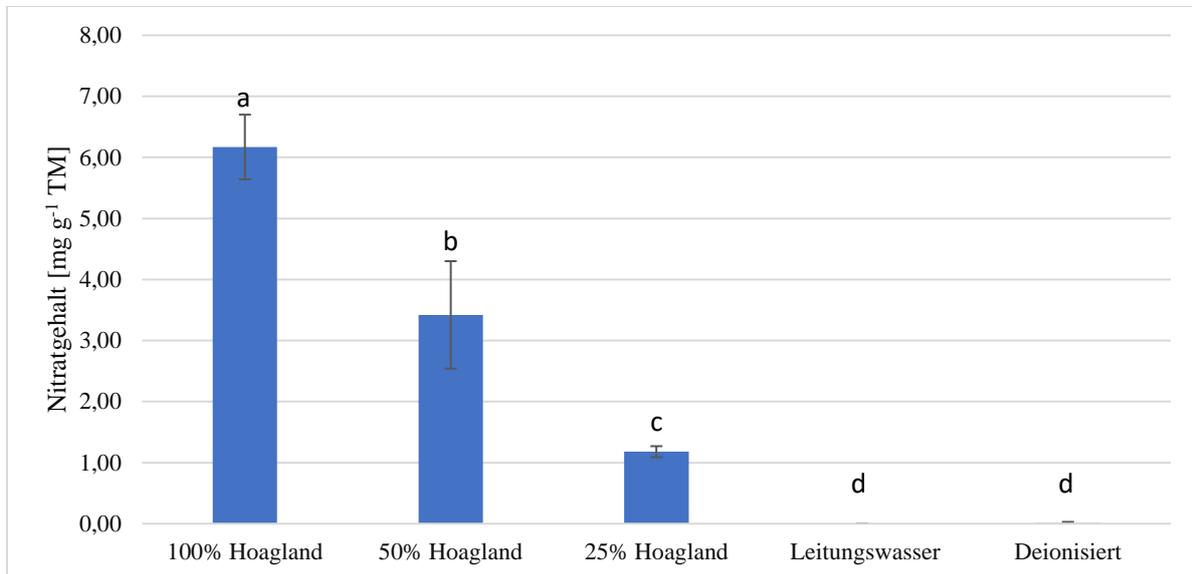


Abbildung 34: Mittlere Nitratgehalte der Radieskresse-Blätter in mg g<sup>-1</sup> TM (Mittelwert und Standardabweichung; Signifikanz nach Tukey Test bei  $P \leq 0,05$ ).

Der Tukey HSD Test zeigte auch bei den Radieskresse-Stielen vier Gruppen, wobei die 100% Hoaglandlösung den höchsten Gehalt an Nitrat aufwies. Die Gruppe mit den niedrigsten Gehalten bildeten die Varianten Leitungswasser und deionisiertes Wasser (Abb. 35). Bei der Analyse lag keine Normalverteilung der Daten vor, allerdings fielen der Levene-Test und auch die ANOVA positiv aus. Deshalb wurden die Gruppierung des Tukey-Tests angenommen.

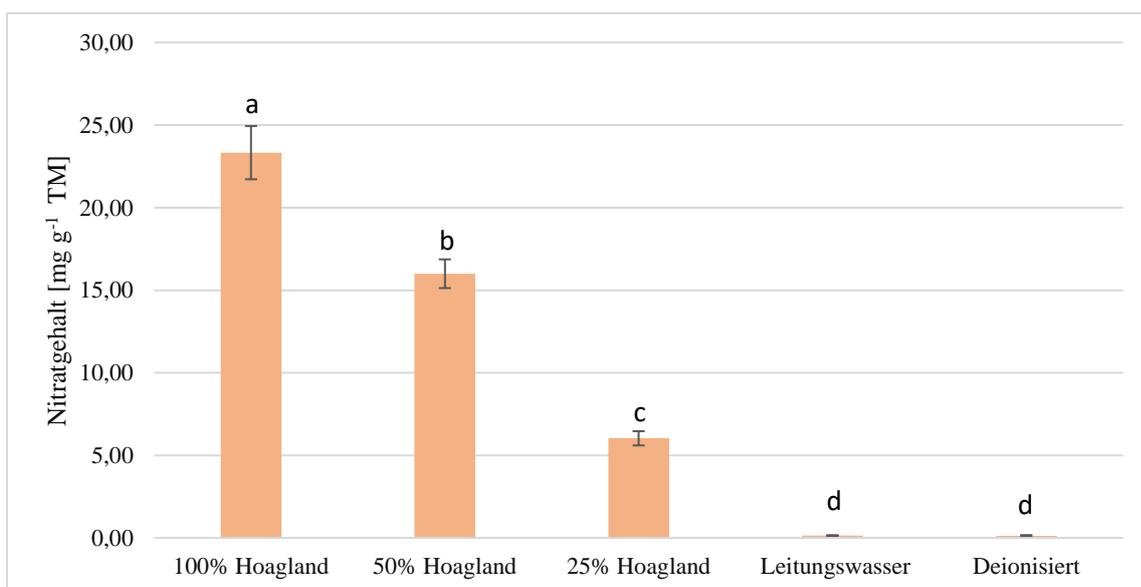


Abbildung 35: Mittlere Nitratgehalte der Radieskresse-Stiele in mg g<sup>-1</sup> TM (Mittelwert und Standardabweichung; Signifikanz nach Tukey Test bei  $P \leq 0,05$ ).

Die Gartenkresse zeigte bei der Variante mit 100% Hoagland-Lösung den höchsten Gehalt an Nitrat. Den niedrigsten Gehalt an Nitrat hatten die Varianten Leitungswasser und deionisiertes Wasser (Abb. 36).

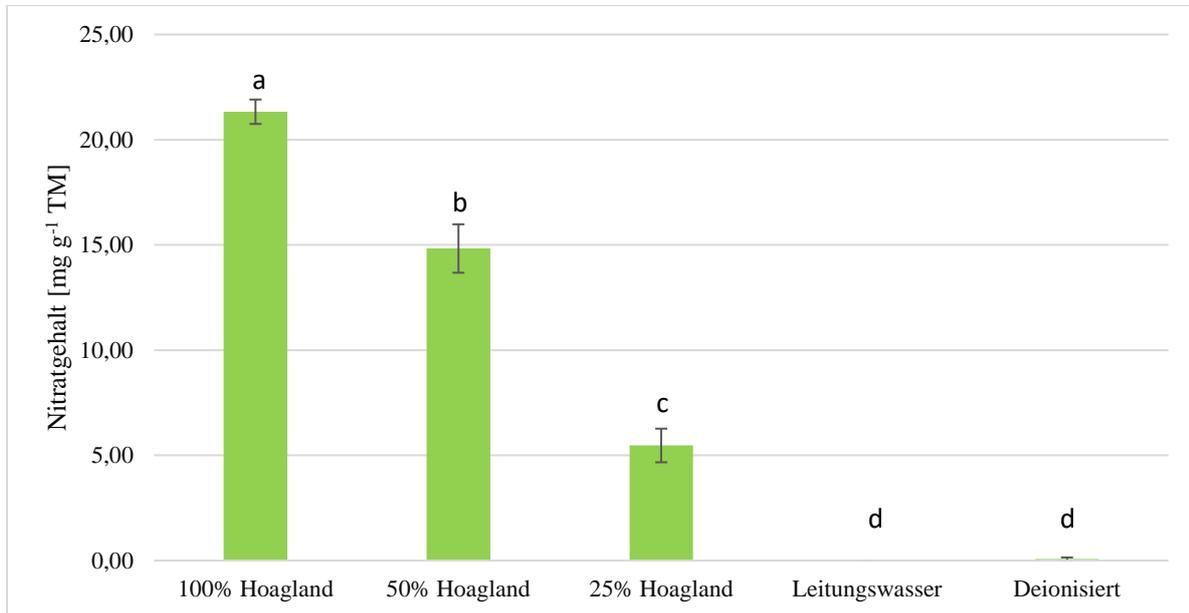


Abbildung 36: Mittlere Nitratgehalte der Gartenkresse in  $\text{mg g}^{-1}$  TM (Mittelwert und Standardabweichung; Signifikanz nach Tukey Test bei  $P \leq 0,05$ ).

Tabelle 18: Statistik zu den Nitratgehalten der Blätter und Stiele der untersuchten Radieskresse und Gartenkresse (Mittelwert und Standardabweichung; Signifikanz bei  $P \leq 0,05$ ).

Mineralstoffernährung	Radieskresse		Gartenkresse
	Nitrat im Blatt in $\text{mg g}^{-1}$ TM [MW $\pm$ SD]	Nitrat im Stiel in $\text{mg g}^{-1}$ TM [MW $\pm$ SD]	Nitrat in $\text{mg g}^{-1}$ TM [MW $\pm$ SD]
100% Hoagland-Lösung	6,17 $\pm$ 0,53a	23,33 $\pm$ 1,61a	21,33 $\pm$ 0,58a
50 % Hoagland-Lösung	3,42 $\pm$ 0,88b	16,00 $\pm$ 0,87b	14,83 $\pm$ 1,15b
25 % Hoagland-Lösung	1,18 $\pm$ 0,09c	6,03 $\pm$ 0,43c	5,47 $\pm$ 0,80c
Leitungswasser	0,00 $\pm$ 0,00d	0,14 $\pm$ 0,03d	0,00 $\pm$ 0,00d
Deionisiertes Wasser	0,01 $\pm$ 0,02d	0,13 $\pm$ 0,04d	0,07 $\pm$ 0,08d
Kolmogorov-Smirnov-Test	0,058	0,010	0,050
Shapiro-Wilk-Test	0,012	0,010	0,011
Transformierung	$f(x) = x^{0.8}$	$f(x) = x^{0.5}$	$f(x) = x^{0.455}$
Levene-Test	0,057	0,089	0,051
ANOVA	0,000	0,000	0,000
Pos-Hoc-Test	Tukey HSD	Tukey HSD	Tukey HSD

### 3.1.12 Antioxidative Kapazität

Bei den Radieskresse-Blättern war die antioxidative Kapazität bei den Varianten 25% und 100% Hoagland-Lösung am höchsten. Die niedrigste Kapazität war bei deionisiertem Wasser zu verzeichnen (Abb. 37).

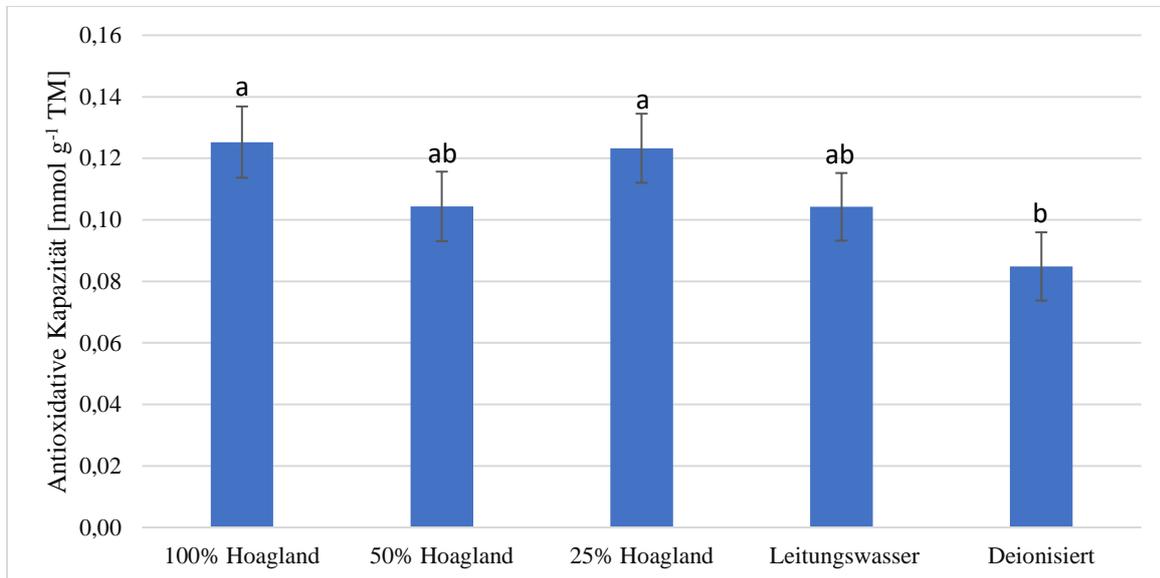


Abbildung 37: Mittlere antioxidative Kapazität (mmol g<sup>-1</sup> TM) der Radieskresse-Blätter (Mittelwert und Standardabweichung; Signifikanz nach Tukey Test bei  $P \leq 0,05$ ).

Die Messdaten der Radieskresse-Stiele waren nicht normalverteilt und wurden durch einen Kruskal-Wallis Test analysiert. Dieser ergab, dass keine Unterschiede zwischen den Varianten vorlagen (Tab. 19).

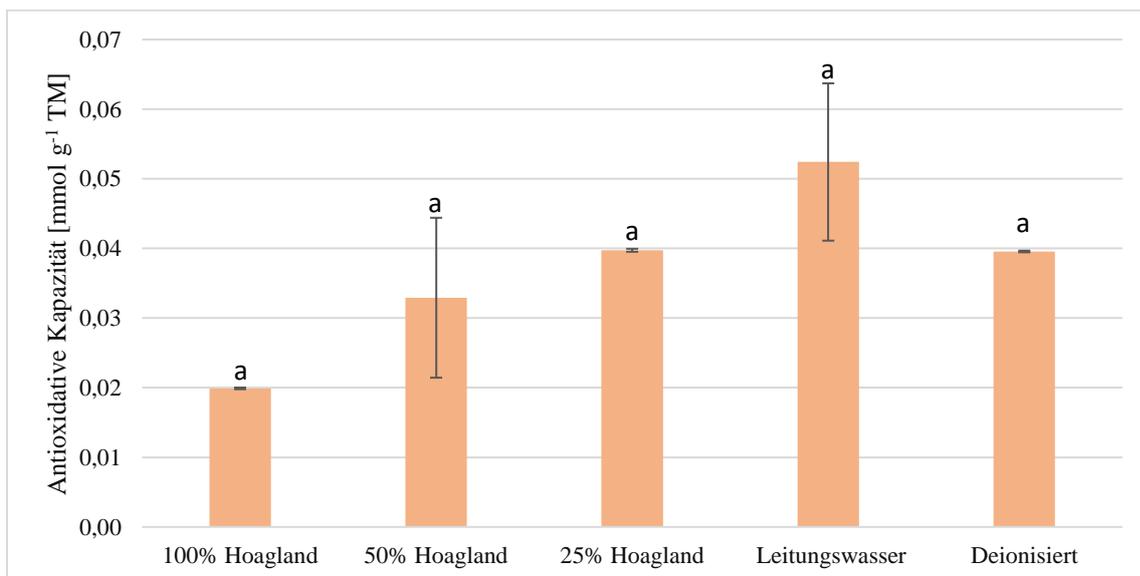


Abbildung 38: Mittlere antioxidative Kapazität (mmol g<sup>-1</sup> TM) der untersuchten Radieskresse-Stiele (Mittelwert und Standardabweichung; Signifikanz nach Kruskal-Wallis Test bei  $P \leq 0,05$ ).

Die antioxidative Kapazität bei Gartenkresse zeigte, dass kein signifikanter Unterschied zwischen den Varianten vorlag (Abb. 39).

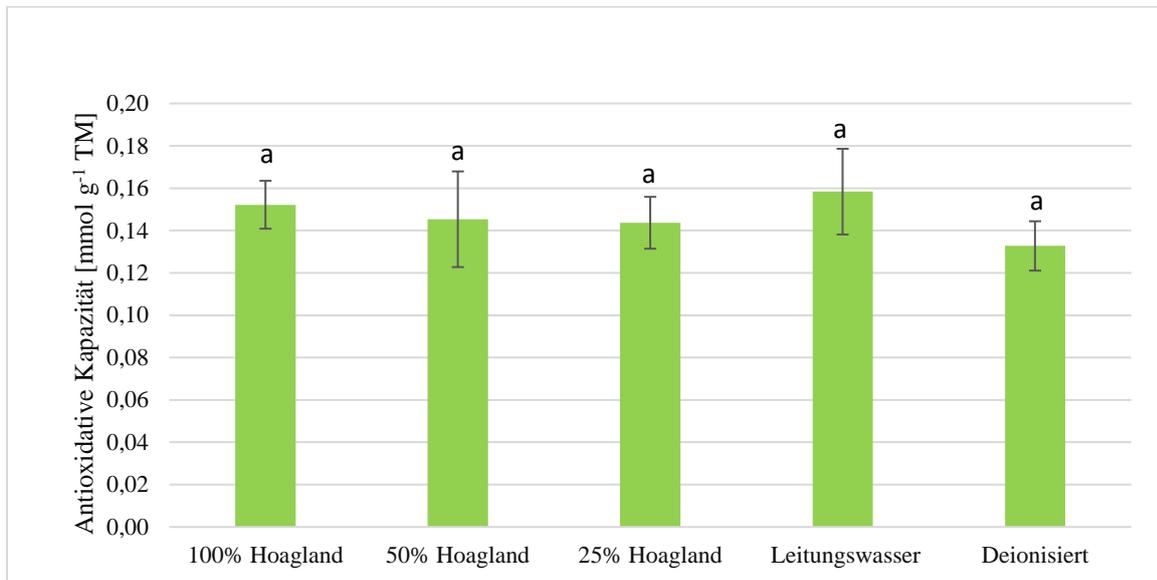


Abbildung 39: Mittlere antioxidative Kapazität (mmol g<sup>-1</sup> TM) der Gartenkresse (Mittelwert und Standardabweichung; Signifikanz nach ANOVA bei  $P \leq 0,05$ ).

Tabelle 19: Statistik zur antioxidativen Kapazität der Blätter und Stiele der untersuchten Radieskresse und Gartenkresse (Mittelwert und Standardabweichung; Signifikanz bei  $P \leq 0,05$ ). Für Radieskresse - Stiele wurde ein Kruskal-Wallis Test angewandt.

Mineralstoffernährung	Radieskresse		Gartenkresse
	Antioxidative Kapazität im Blatt in mmol g <sup>-1</sup> TM [MW ± SD]	Antioxidative Kapazität im Stiel in mmol g <sup>-1</sup> TM [MW ± SD]	Antioxidative Kapazität in mmol g <sup>-1</sup> TM [MW ± SD]
100% Hoagland-Lösung	0,125 ± 0,011a	0,019 ± 0,000a	0,152 ± 0,011a
50 % Hoagland-Lösung	0,104 ± 0,011ab	0,032 ± 0,011a	0,145 ± 0,022a
25 % Hoagland-Lösung	0,123 ± 0,011a	0,039 ± 0,000a	0,143 ± 0,012a
Leitungswasser	0,104 ± 0,010ab	0,052 ± 0,011a	0,158 ± 0,020a
Deionisiertes Wasser	0,084 ± 0,011b	0,039 ± 0,000a	0,132 ± 0,011a
Kolmogorov-Smirnov-Test	0,136	0,000	0,084
Shapiro-Wilk-Test	0,216	0,004	0,170
Transformierung	-	-	-
Levene-Test	1,000		0,494
ANOVA	0,008		0,431
Kruskal-Wallis Test		0,092	
Pos-Hoc-Test	Tukey HSD		

### 3.1.13 pH und EC-Wert Messung

Die Veränderung des pH-Wertes der Nährlösung der Radieskresse zeigte, dass bei allen Lösungen mit Nährstoffen eine Abnahme des pH-Werts zu verzeichnen war. Nur bei der Variante mit deionisiertem Wasser war zu Versuchsende ein höherer Wert zu erkennen. Leitungswasser hatte von allen Varianten den höchsten pH-Wert (Abb. 40).

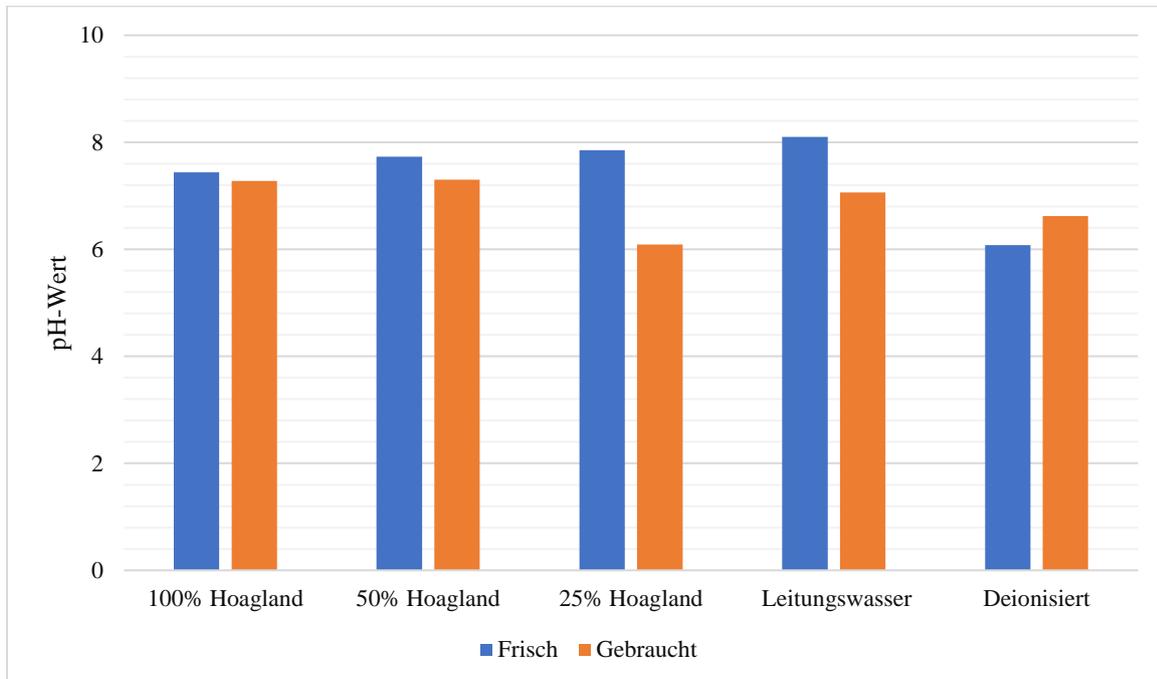


Abbildung 40: Ergebnisse von 2 Messungen des pH-Werts bei Radieskresse vor und nach dem Anbau.

Die EC-Werte der Radieskresse waren mit abnehmender Nährstoffkonzentration niedriger. Den höchsten Wert hatte 100% Hoagland-Lösung. Der niedrigste Wert wurde bei deionisiertem Wasser gemessen (Abb. 41). Während des Anbaus nahmen der EC-Wert in den Nährlösungen ab.

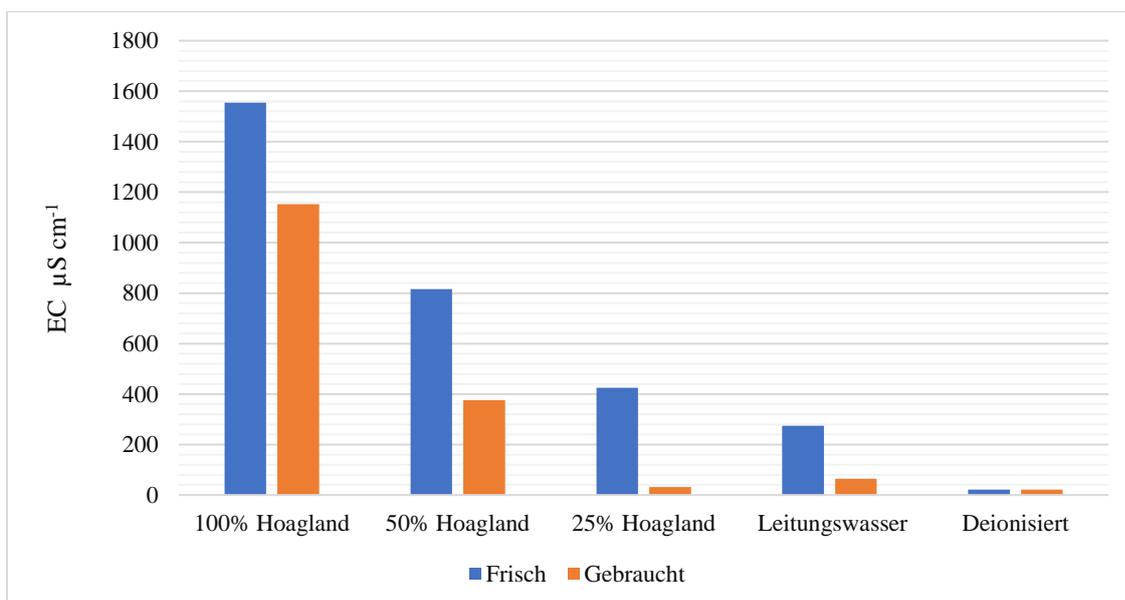


Abbildung 41: Ergebnisse von 2 Messungen des EC-Werts bei Radieskresse vor und nach dem Anbau.

Die Veränderungen des pH-Werts der Nährlösungen der Gartenkresse belegten, dass bei allen Lösungen eine Abnahme des pH-Werts zu verzeichnen war. Nur bei der Variante mit deionisiertem Wasser war nach dem Anbau ein höherer Wert zu erkennen. Leitungswasser hatte von allen Varianten den höchsten pH-Wert (Abb. 42).

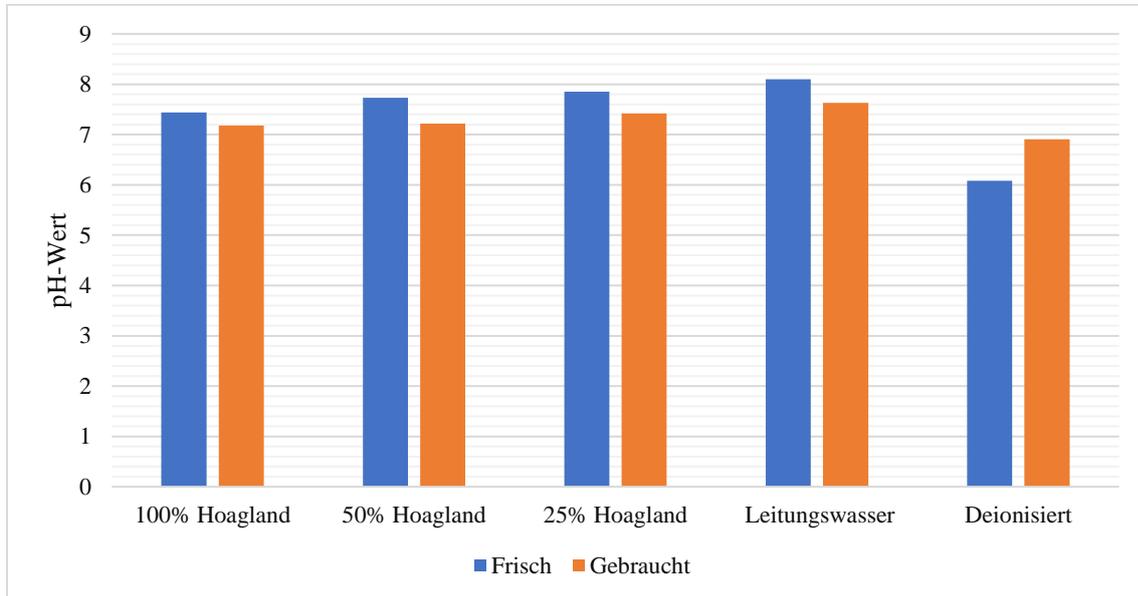


Abbildung 42: Ergebnisse von 2 Messungen des pH-Werts von Gartenkresse vor und nach dem Anbau der Microgreens.

Die EC-Werte der Gartenkresse waren mit abnehmender Nährstoffkonzentration niedriger. Den höchsten Wert hatte 100% Hoagland-Lösung. Der niedrigste Wert wurde bei deionisiertem Wasser gemessen (Abb. 43). Der EC-Wert der Gartenkresse zeigte eine Abnahme nach dem Anbau.

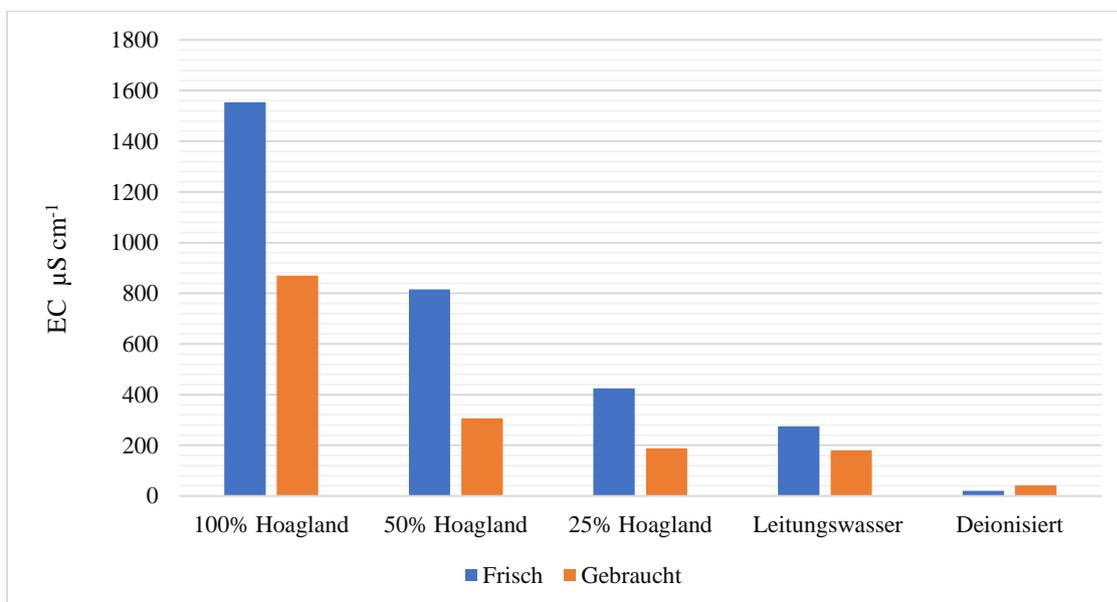


Abbildung 43: Ergebnisse von 2 Messungen des EC-Werts von Gartenkresse vor und nach dem Anbau der Microgreens.

## 3.2 Sensorik

Die mittels Friedman-Test geprüften Daten werden in den anschließenden Punkten der Ergebnisse erläutert. In den Grafiken ist ein Vergleich der fünf Varianten und deren Ausprägungen zu sehen. Die Balken geben an, wieviel Prozent der Probanden sich für einen bestimmten Ausprägungsgrad entschieden haben.

### 3.2.1 Gesamtwahrnehmung

Die Gesamtwahrnehmung gibt an, wie die Probanden die einzelnen Varianten in Bezug auf Aussehen und Geschmack bewertet haben.

Die Ergebnisse zur Gesamtwahrnehmung der Radieskresse zeigten zwischen den Varianten mit Hoagland-Lösung (25%, 50%, 100%) und den nicht gedüngten Varianten (Leitungswasser, deionisiertes Wasser) signifikante Unterschiede (Abb. 44). Die 25% Hoagland-Lösung wurde über 38% mit „sehr gut“ bewertet. Die Variante mit deionisiertem Wasser war mit 50% „sehr schlecht“-Bewertungen die unbeliebteste Variante unter den Probanden. Zwischen den restlichen Varianten zeigten sich keine statistisch signifikanten Unterschiede. Die Reihung von schlechteste (1) bis beste (5) war: demineralisiertes Wasser (Durchschnittswert 2,13), Leitungswasser (2,26), 100% Hoagland-Lösung (3,28), 50% Hoagland-Lösung (3,50) und 25% Hoagland-Lösung (3,83).

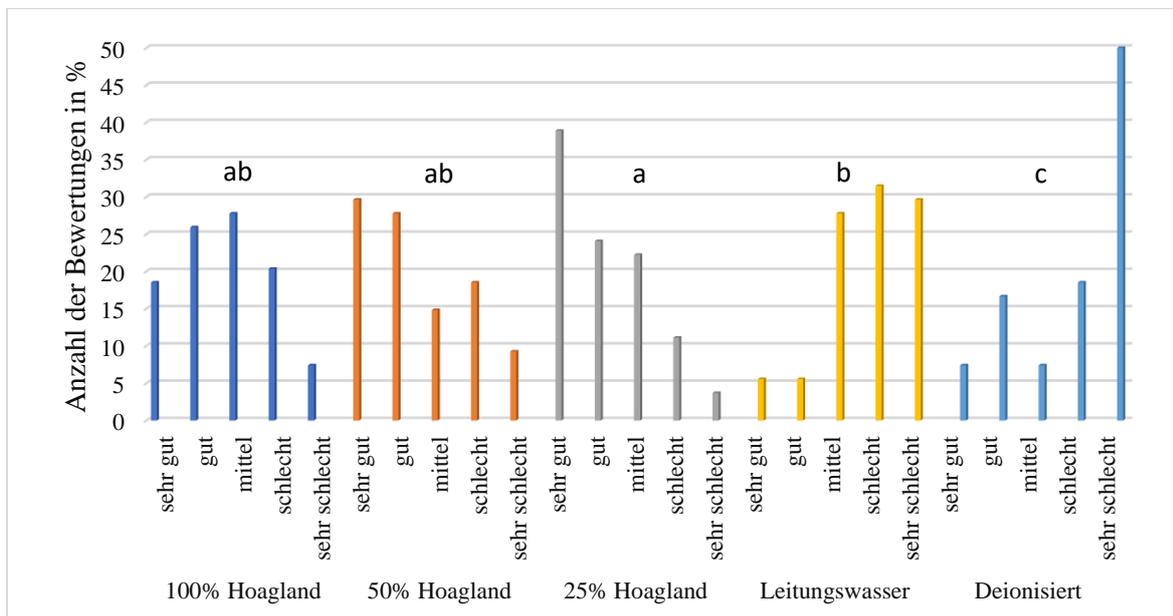


Abbildung 44: Reihung der Radieskresse in Bezug auf Aussehen und Geschmack (Anzahl der Bewertungen in %). Unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede der Varianten an.

Bei der Reihung der Gartenkresse schnitt die 100%-Hoagland-Lösung mit über 62% „sehr gut“ Bewertungen am besten ab. Die am schlechtesten bewertete Variante war deionisiertes Wasser mit 69% „sehr schlecht“. Keine signifikanten Unterschiede in Bezug auf Aussehen und Geschmack konnten zwischen den Varianten 50% und 100%-Hoagland-Lösung, 25%-Hoagland-Lösung und Leitungswasser sowie Leitungswasser und deionisiertem Wasser festgestellt werden (Abb. 45). Die Probanden empfanden die

Varianten mit einer stärkeren Mineralstoffernährung als besser als die ungedüngten. Die Reihung von schlechteste (1) bis beste (5) Nährlösung war: demineralisiertes Wasser (Durchschnittswert 1,57), Leitungswasser (2,30), 25% Hoagland-Lösung (2,92), 50% Hoagland-Lösung (3,81) und 100% Hoagland-Lösung (4,39).

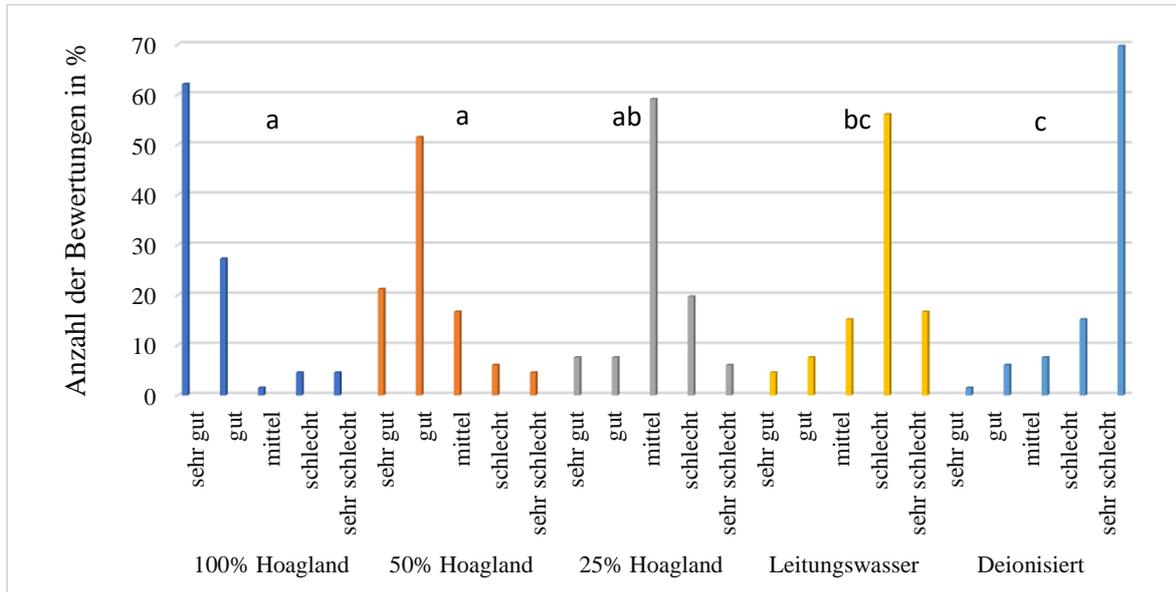


Abbildung 45: Reihung Gartenkresse in Bezug auf Aussehen und Geschmack (Anzahl der Bewertungen in %). Unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede der Varianten an.

### 3.2.2 Geschmack

#### 3.2.2.1 Schärfe

Bei der statistischen Auswertung der Radieskresse konnten keine signifikanten Unterschiede bei der Schärfe festgestellt werden (Abb. 46).

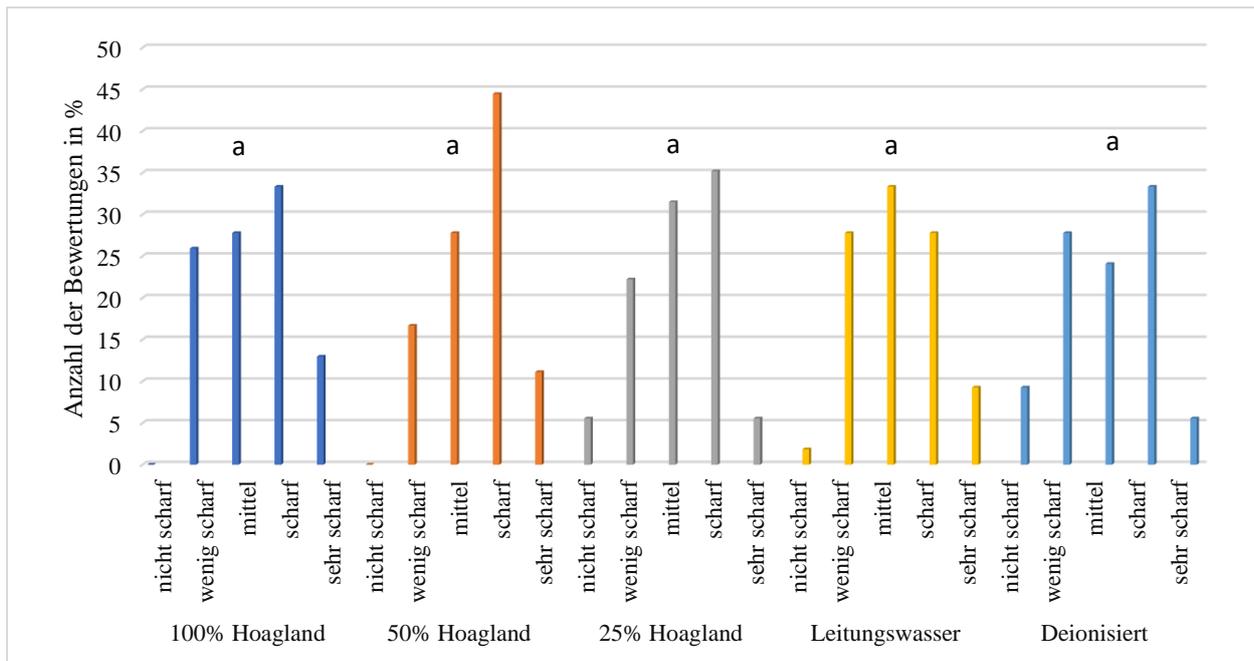


Abbildung 46: Bewertung der Schärfe bei Radieskresse (Anzahl der Bewertungen in %). Unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede der Varianten an.

Die statistische Auswertung der Schärfe bei Gartenkresse zeigte signifikante Unterschiede zwischen den Varianten Leitungswasser und deionisiertem Wasser bzw. 50% Hoagland-Lösung und deionisiertem Wasser. Die in 50% Hoagland-Lösung angezogenen Pflanzen wurden von den Probanden mit 46% als „scharf“ empfunden (Abb. 47). Die Reihung von schlechteste „nicht scharf“ (1) bis beste Nährlösung „sehr scharf“ (5) war: demineralisiertes Wasser (Durchschnittswert 2,79), 25% Hoagland-Lösung (3,05), 100% Hoagland-Lösung (3,24), Leitungswasser (3,33) und 50% Hoagland-Lösung (3,39).

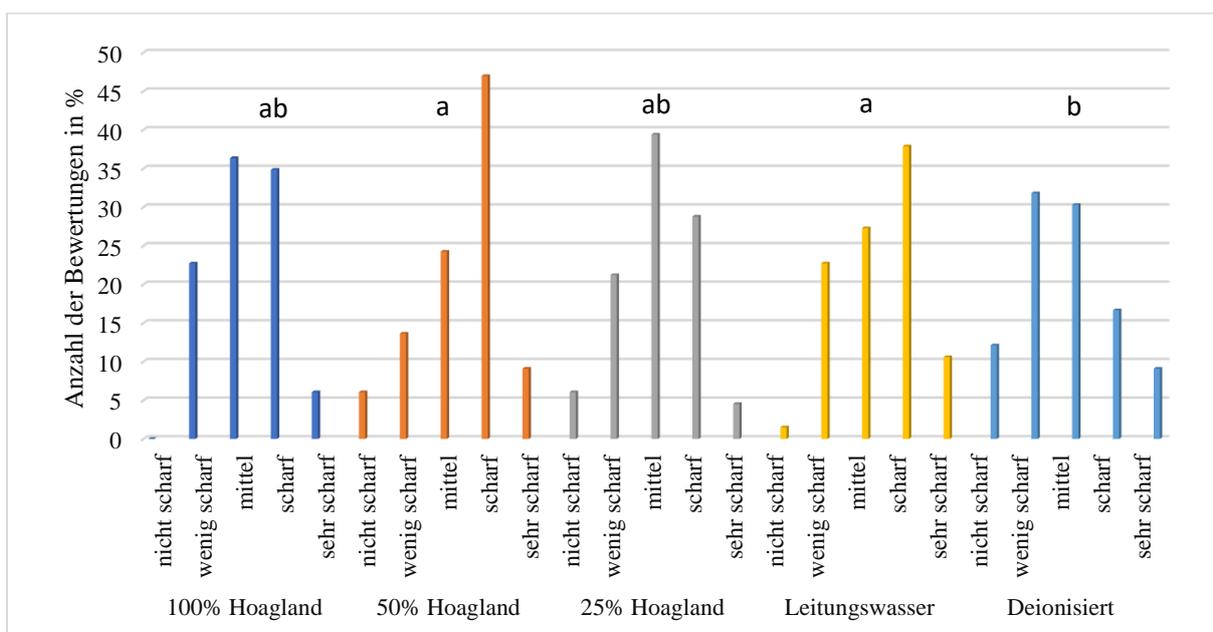


Abbildung 47: Bewertung der Schärfe bei Gartenkresse (Anzahl der Bewertungen in %). Unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede der Varianten an.

### 3.2.2.2 Knackigkeit

Bei der statistischen Auswertung der Radieskresse konnten keine signifikanten Unterschiede bei der Knackigkeit festgestellt werden (Abb. 48).

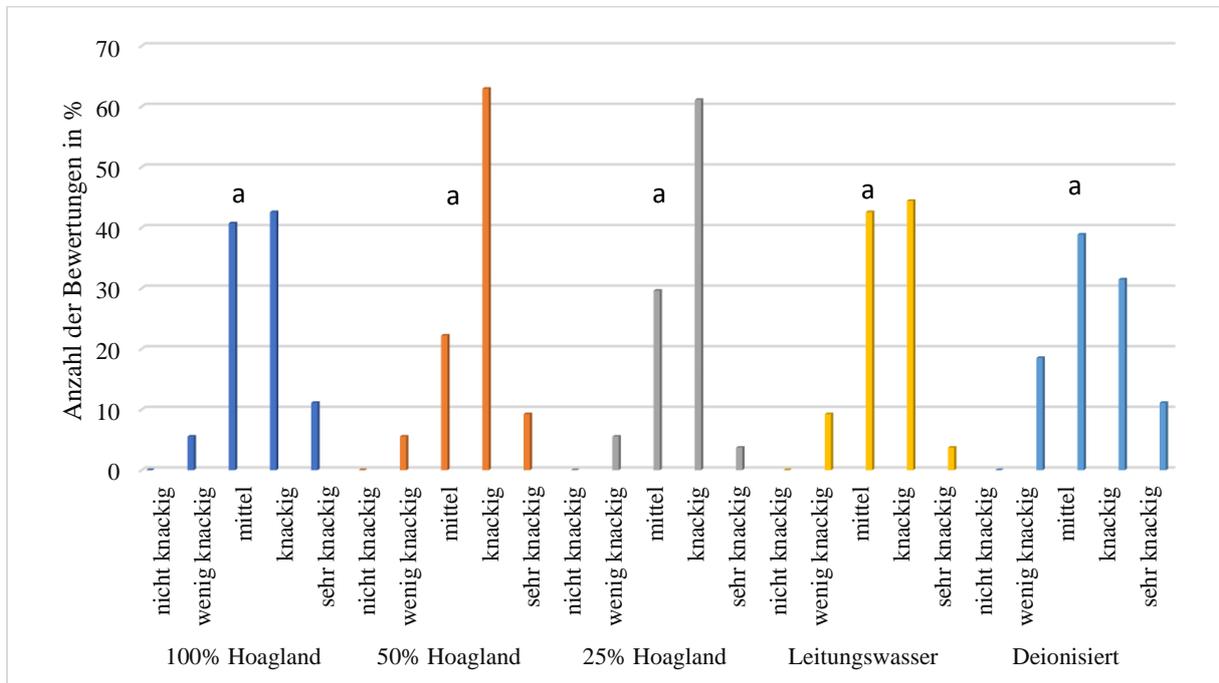


Abbildung 48: Bewertung der Knackigkeit bei Radieskresse (Anzahl der Bewertungen in %). Unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede der Varianten an.

Die Knackigkeit der Gartenkresse wurde bei den Varianten 50%, 100% Hoagland-Lösung am stärksten wahrgenommen. Deionisiertes Wasser schnitt in den Bewertungen am schlechtesten ab. Diese Unterschiede konnten auch statistisch nachgewiesen werden (Abb. 49). Die Reihung von nicht knackig (1) bis sehr knackig (5) war: demineralisiertes Wasser (Durchschnittswert 2,74), Leitungswasser (2,95), 25% Hoagland-Lösung (3,23), 100% Hoagland-Lösung (3,50) und 50% Hoagland-Lösung (3,56).

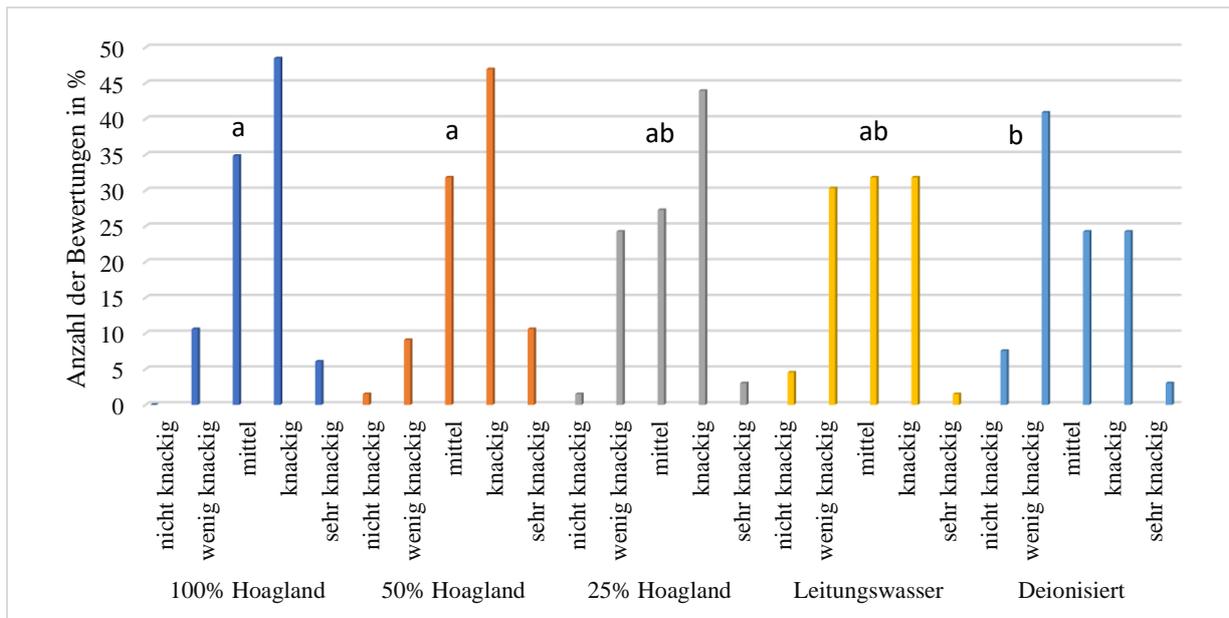


Abbildung 49: Bewertung der Knackigkeit bei Gartenkresse (Anzahl der Bewertungen in %). Unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede der Varianten an.

### 3.2.2.3 Typischer Geschmack

Es ließ sich zwischen den Varianten mit Hoagland-Lösung und deionisiertem Wasser ein signifikanter Unterschied erkennen, wobei die gedüngten Varianten der Radieskresse besser abschnitten als die nicht gedüngten. Auch zwischen der Variante 25%, 100% Hoagland und Leitungswasser ließen sich Unterschiede erkennen. Die 100% Hoagland-Lösung hatte in Bezug auf den typischen Geschmack die besten Bewertungen mit 48% bei „typisch“ und 22% bei „sehr typisch“ (Abb. 50). Die Reihung vom schlechtesten (1) bis zum besten Geschmack (5) war: demineralisiertes Wasser (Durchschnittswert 3,04), Leitungswasser (3,20), 50% Hoagland-Lösung (3,74), 25% Hoagland-Lösung (3,76) und 100% Hoagland-Lösung (3,83).

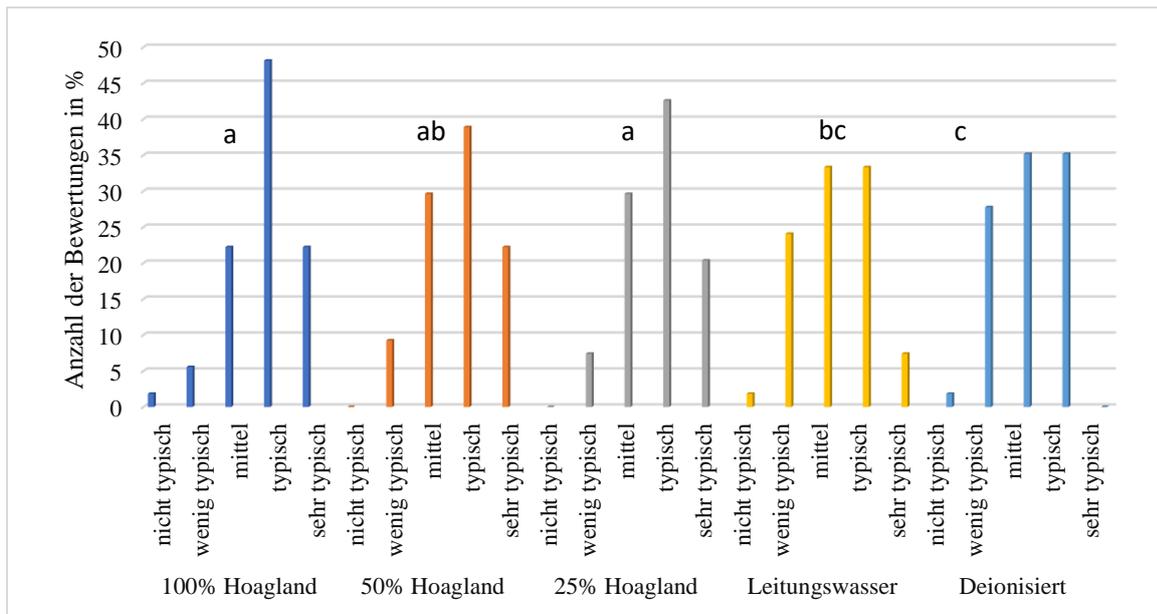


Abbildung 50: Bewertung des typischen Geschmacks bei Radieskresse (Anzahl der Bewertungen in %). Unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede der Varianten an.

Bei der Gartenkresse konnten die gleichen Unterschiede im Geschmack wie bei der Radieskresse festgestellt werden. Auch hier schnitt die Variante 100% Hoagland mit 60% „typisch“ am besten ab und die Variante mit deionisiertem Wasser hatte den als am untypischsten empfundenen Geschmack (Abb. 51). Die Reihung vom schlechtesten (1) bis besten Geschmack (5) war: demineralisiertes Wasser (Durchschnittswert 2,59), Leitungswasser (3,03), 25% Hoagland-Lösung (3,29), 100% Hoagland-Lösung (3,65) und 50% Hoagland-Lösung (3,70).

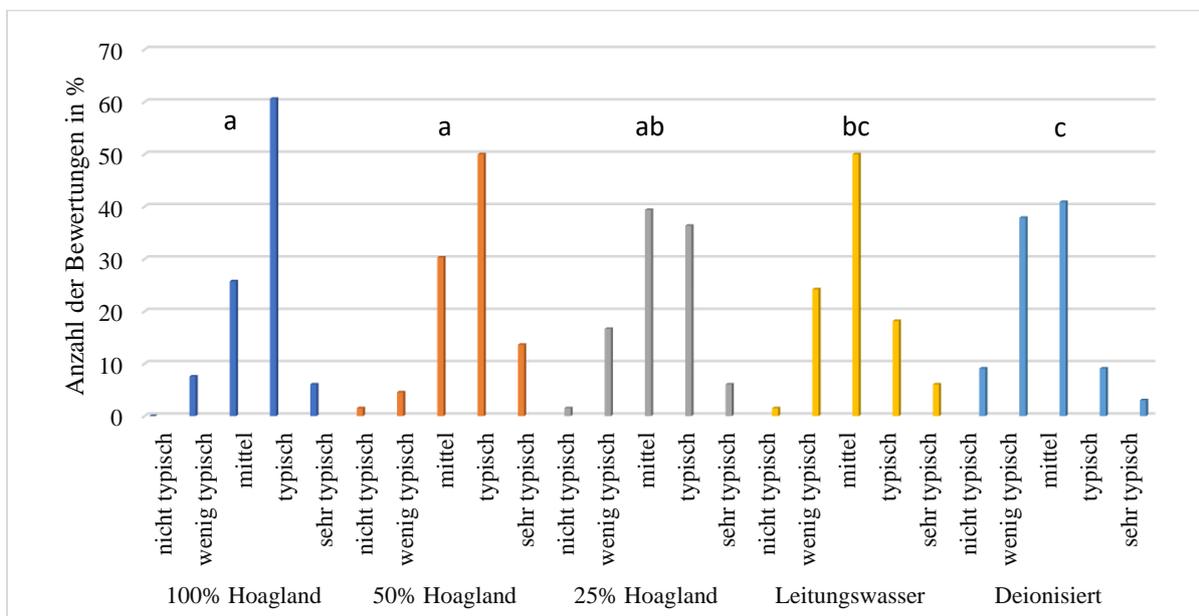


Abbildung 51: Bewertung des typischen Geschmacks bei Gartenkresse (Anzahl der Bewertungen in %). Unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede der Varianten an.

### 3.2.2.4 Fehl aroma

Fehl aromen resultieren aus unerwünschten Geschmackszusammensetzungen, die von den Testpersonen als unangenehm empfunden werden. Bei der Bewertung der Fehl aromen bei Radieskresse zeigten sich Unterschiede sowohl zwischen 50%, 100% Hoagland-Lösung und Leitungswasser, als auch zwischen 50% Hoagland-Lösung und deionisiertem Wasser. Die Varianten mit Hoagland-Lösung waren insgesamt besser bewertet als die ungedüngten. 100% Hoagland-Lösung wurde mit 51% „überhaupt kein“ Fehl aroma am besten wahrgenommen (Abb. 52). Die Reihung von sehr starke (1) bis überhaupt keine Fehl aromen (5) war: Leitungswasser (Durchschnittswert 3,54), demineralisiertes Wasser (3,65), 25% Hoagland-Lösung (4,17), 50% Hoagland-Lösung (4,24) und 100% Hoagland-Lösung (4,31).

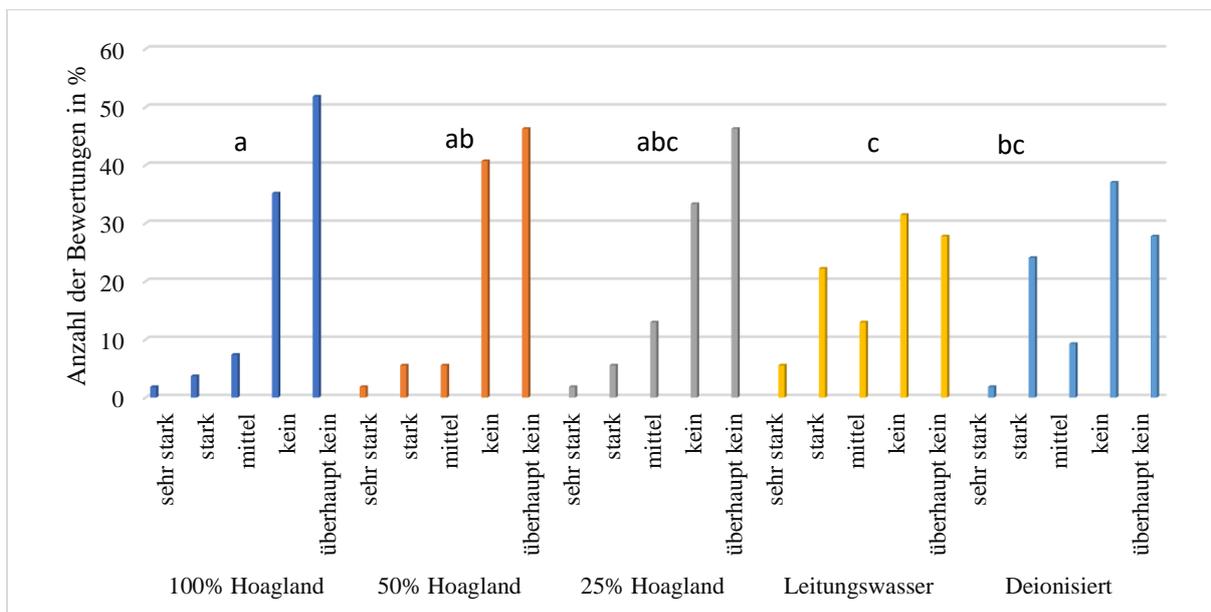


Abbildung 52: Bewertung des Fehl aromas bei Radieskresse (Anzahl der Bewertungen in %). Unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede der Varianten an.

Bei der Gartenkresse konnte ein statistischer Unterschied zwischen allen Varianten und deionisiertem Wasser ermittelt werden. Die deionisierte Variante wurde auch hier mit Fehl aromen wahrgenommen: sie zeigte bei „sehr stark“ und „stark“ die meisten Bewertungen und wurde somit am negativsten wahrgenommen (Abb. 53). Die Reihung von sehr starke (1) bis überhaupt keine Fehl aromen (5) war: demineralisiertes Wasser (Durchschnittswert 2,71), Leitungswasser (3,55), 25% Hoagland-Lösung (3,74), 50% Hoagland-Lösung (3,88) und 100% Hoagland-Lösung (4,15).

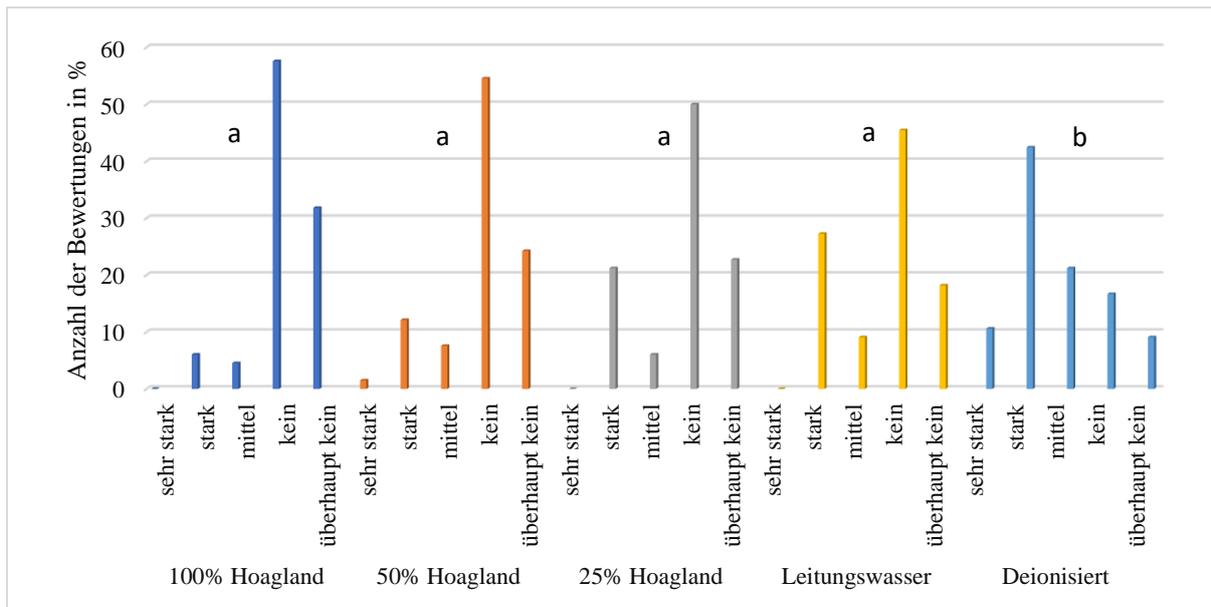


Abbildung 53: Bewertung des Fehlparomas bei Gartenkresse (Anzahl der Bewertungen in %). Unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede der Varianten an.

### 3.2.3 Gesamtgeschmack

Die Bewertung des Gesamtgeschmacks gibt Aufschluss darüber, wie sehr die unterschiedlichen Varianten von den Probanden geschmacklich akzeptiert wurden.

Bei den Radieskresse-Varianten 25% und 100% Hoagland-Lösung zeigte sich ein statistischer Unterschied zu den Varianten Leitungswasser und deionisiertem Wasser. Auch zwischen der Variante 50% Hoagland-Lösung und deionisiertem Wasser konnte ein signifikanter Unterschied festgestellt werden. Am besten wurde die 100% Hoagland-Lösung mit 29% „sehr gut“ im Gesamtgeschmack bewertet. Die zweitbeste Variante war 25% Hoagland-Lösung. Am schlechtesten wurde die Variante mit deionisiertem Wasser bewertet mit 27% „schlecht“ (Abb. 54). Die Reihung von schlechtestem (1) bis bestem Gesamtgeschmack (5) war: demineralisiertes Wasser (Durchschnittswert 3,04), Leitungswasser (3,13), 50% Hoagland-Lösung (3,63), 25% Hoagland-Lösung (3,70) und 100% Hoagland-Lösung (3,91).

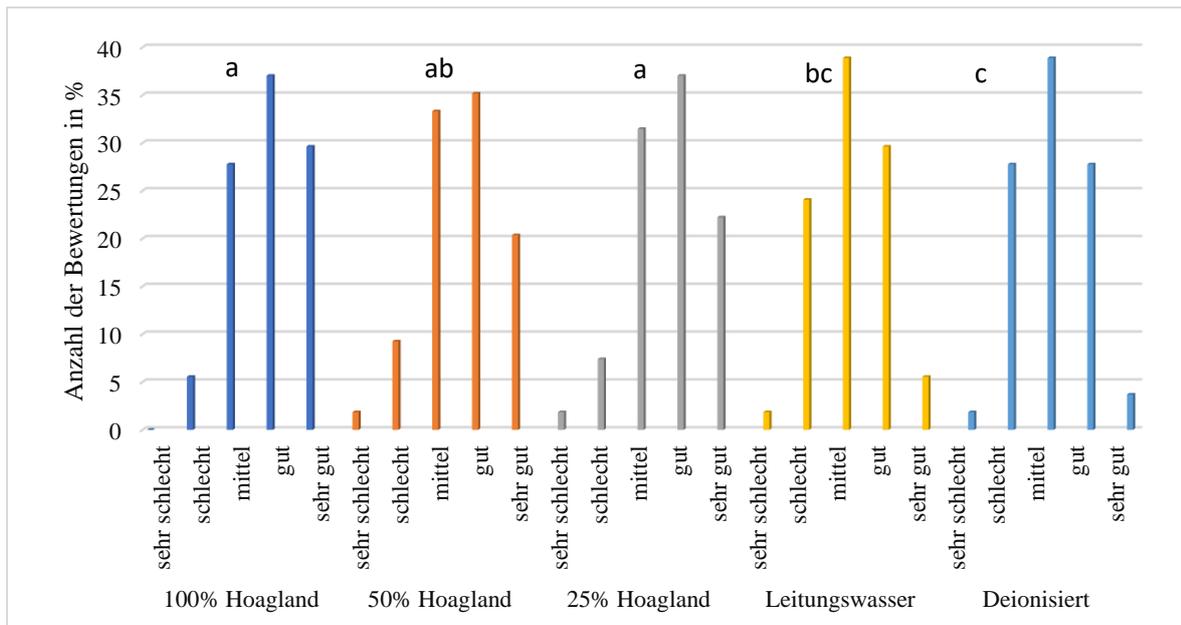


Abbildung 54: Bewertung des Gesamtgeschmacks bei Radieskresse (Anzahl der Bewertungen in %). Unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede der Varianten an.

Die Ergebnisse der Gartenkresse zeigten, dass sich 50% und 100% Hoagland von den schwächer gedüngten Varianten 25% Hoagland, Leitungswasser und deionisiertem Wasser unterschieden. 100% Hoagland hatte auch hier mit 53% „gut“ der Befragten die besten Ergebnisse. Deionisiertes Wasser hatte mit 45% „schlecht“ die negativste Bewertung (Abb. 55). Die Reihung vom schlechtesten (1) bis besten Gesamtgeschmack (5) war: demineralisiertes Wasser (Durchschnittswert 2,36), Leitungswasser (2,89), 25% Hoagland-Lösung (3,09), 50% Hoagland-Lösung (3,62) und 100% Hoagland-Lösung (3,82).

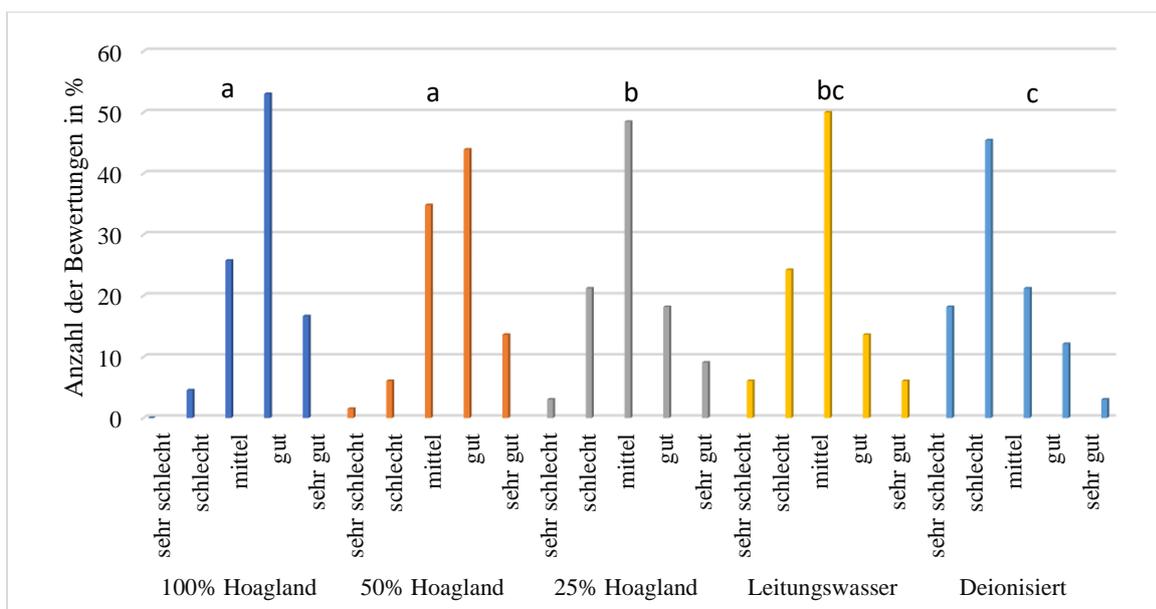


Abbildung 55: Bewertung des Gesamtgeschmacks bei Gartenkresse (Anzahl der Bewertungen in %). Unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede der Varianten an.

### 3.2.4 Optisches Erscheinungsbild

#### 3.2.4.1 Stiellänge

Bei den Ergebnissen der Länge von Radieskresse-Stielen zeigte sich, dass die jeweils nächste Nährstoffkonzentration keine signifikanten Unterschiede zur darauffolgenden aufwies. Mit abnehmender Nährstoffkonzentration wurden die Stiellängen als untypischer bewertet (Abb. 56). Die Reihung von sehr kurzer (1) bis sehr langer Stiellänge (5) war: demineralisiertes Wasser (Durchschnittswert 1,80), Leitungswasser (2,48), 25% Hoagland-Lösung (3,37), 50% Hoagland-Lösung (3,93) und 100% Hoagland-Lösung (4,48).

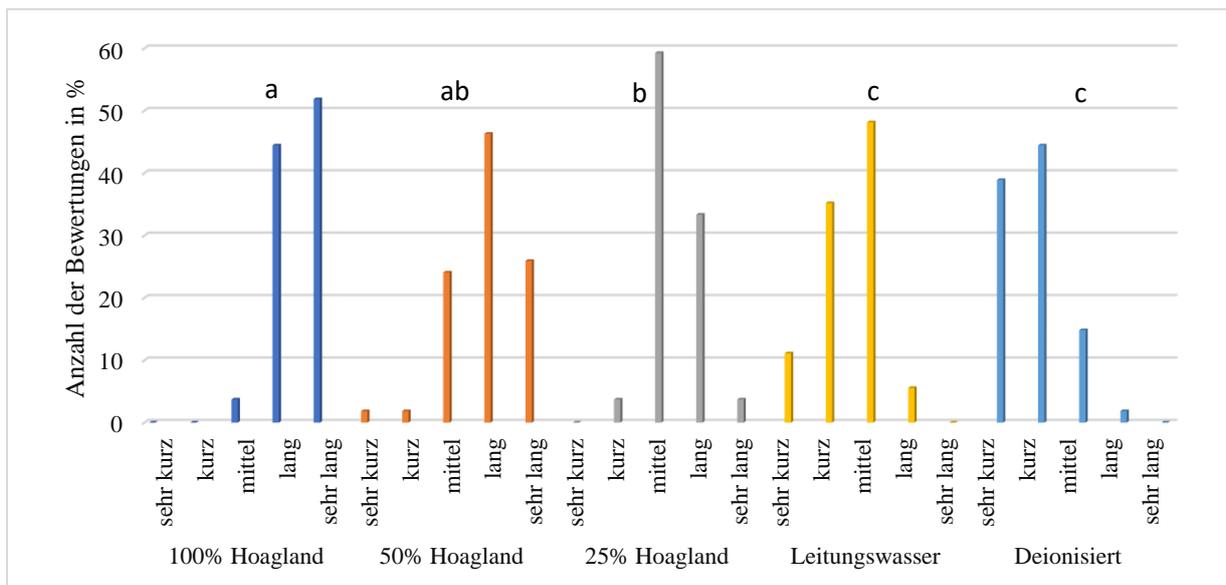


Abbildung 56: Bewertung der Stiellänge bei Radieskresse (Anzahl der Bewertungen in %). Unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede der Varianten an.

Die Stiellänge der Gartenkresse zeigte keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den Varianten 25% Hoagland-Lösung und Leitungswasser, sowie zwischen den Varianten 50% und 100% Hoagland-Lösung (Abb. 57). Die Reihung von sehr kurzer (1) bis sehr langer Stiellänge (5) war: demineralisiertes Wasser (Durchschnittswert 1,41), Leitungswasser (2,12), 25% Hoagland-Lösung (2,45), 50% Hoagland-Lösung (3,41) und 100% Hoagland-Lösung (3,89).

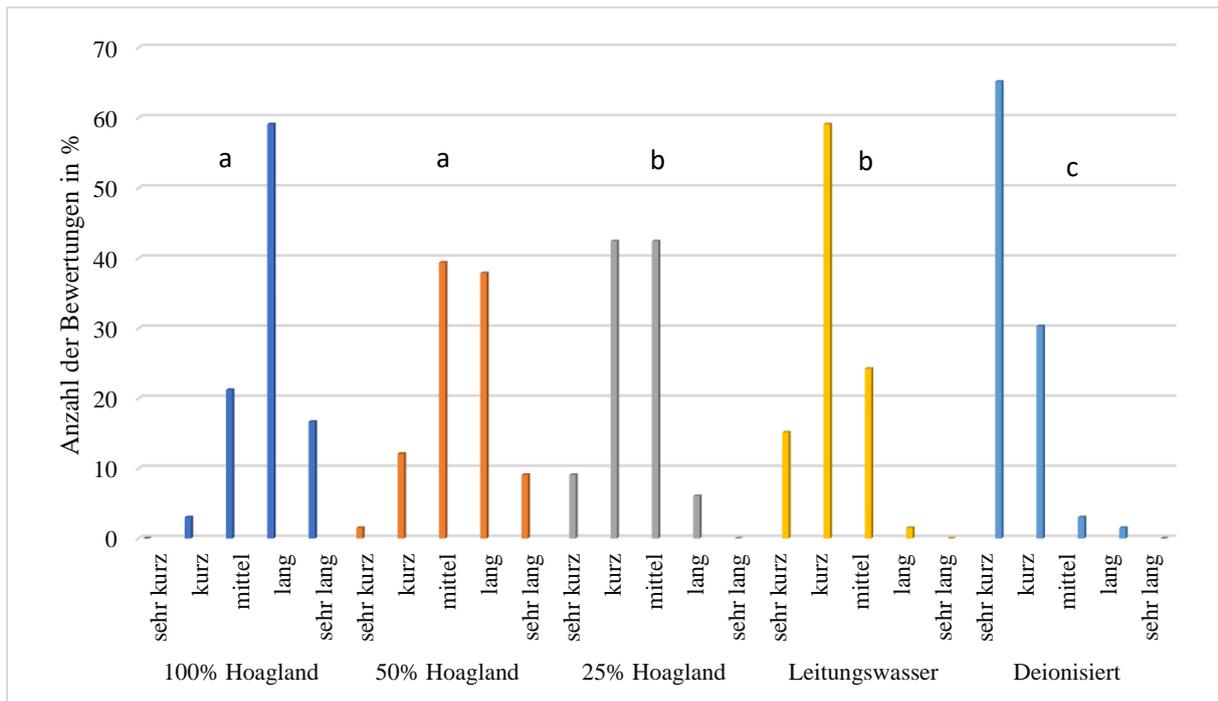


Abbildung 57: Bewertungen der Stiellänge bei Gartenkresse (Anzahl der Bewertungen in %). Unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede der Varianten an.

### 3.2.4.2 Blattgröße

Die Bewertung der Blattgröße bei Radieskresse ergab, dass sich die Varianten 50% und 100% Hoagland-Lösung nicht signifikant unterschieden, ebenso wie die Varianten 25% und 50% Hoagland-Lösung. Leitungswasser zeigte zu den Varianten 25% Hoagland und deionisiertem Wasser keinen Unterschied. 100% Hoagland-Lösung hatte die meisten Bewertungen bei der Kategorie „groß“ mit 44%. Am kleinsten waren die Blätter der Variante mit deionisiertem Wasser mit 24% „sehr klein“ (Abb. 58). Die Reihung der Blätter von sehr klein (1) bis sehr groß (5) war: demineralisiertes Wasser (Durchschnittswert 1,91), Leitungswasser (2,48), 25% Hoagland-Lösung (3,02), 50% Hoagland-Lösung (3,50) und 100% Hoagland-Lösung (3,63).

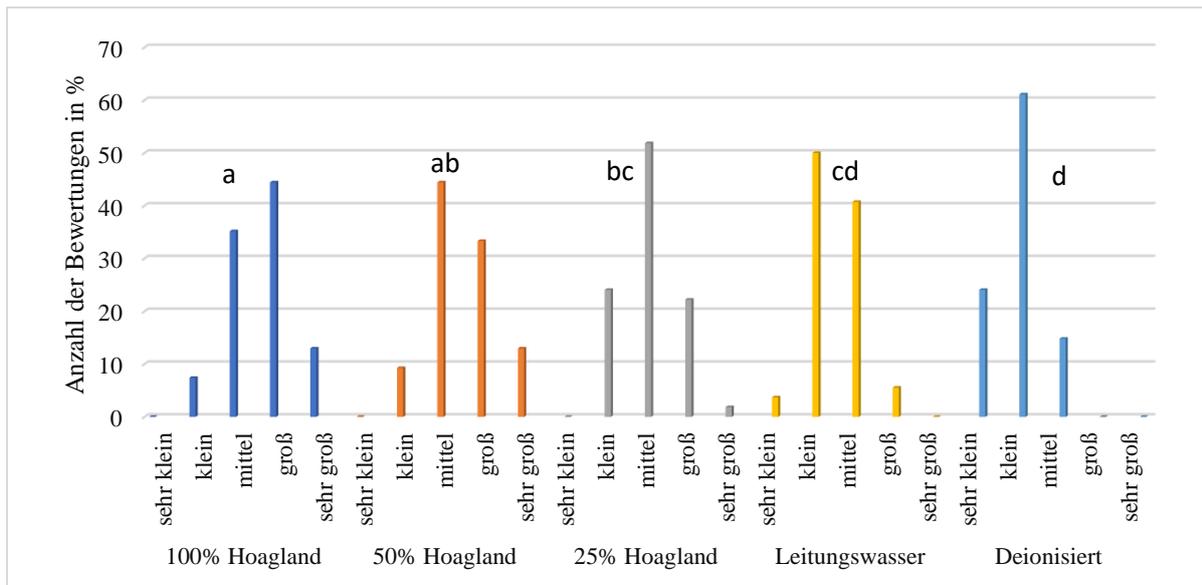


Abbildung 58: Bewertung der Blattgröße bei Radieskresse (Anzahl der Bewertungen in %). Unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede der Varianten an.

Gartenkresse-Blätter zeigten keinen Unterschied in der Größe zwischen den Varianten 25% Hoagland und Leitungswasser sowie zwischen 50% und 100% Hoagland. Mit abnehmender Nährstoffkonzentration wurden die Blätter als kleiner bewertet (Abb. 59). Die Reihung der Blattgröße von sehr klein (1) bis sehr groß (5) war: demineralisiertes Wasser (Durchschnittswert 1,67), Leitungswasser (2,26), 25% Hoagland-Lösung (2,61), 50% Hoagland-Lösung (3,42) und 100% Hoagland-Lösung (3,56).

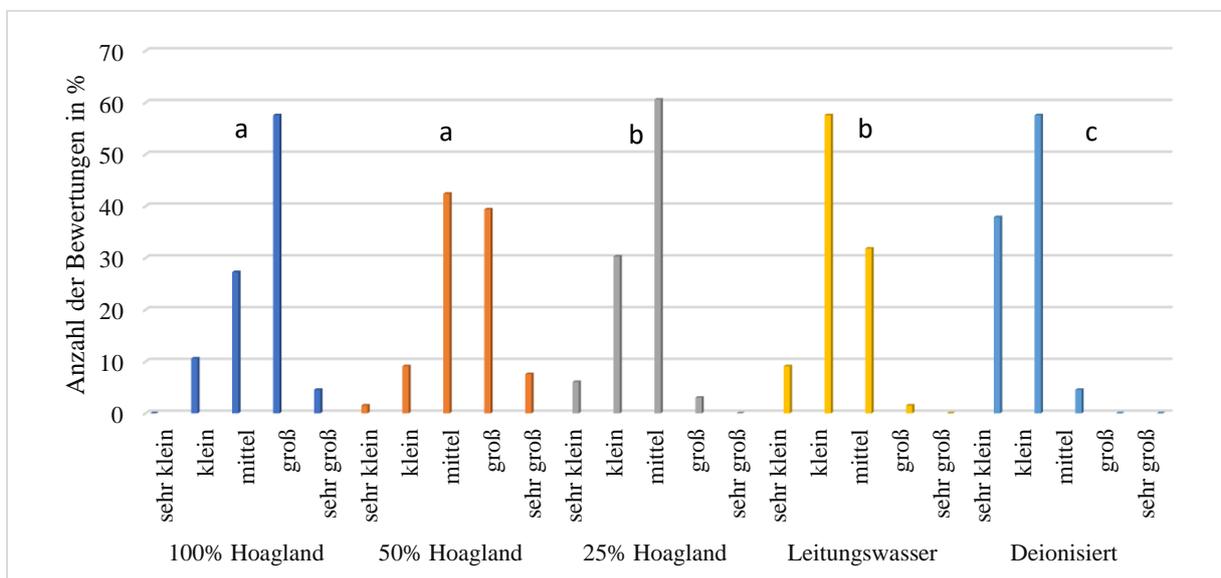


Abbildung 59: Bewertung der Blattgröße bei Gartenkresse (Anzahl der Bewertungen in %). Unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede der Varianten an.

### 3.2.4.3 Sortentypische Farbe

Bei der Ausprägung der sortentypischen Farbe ließen sich keine signifikanten Unterschiede bei Radieskresse erkennen (Abb. 60).

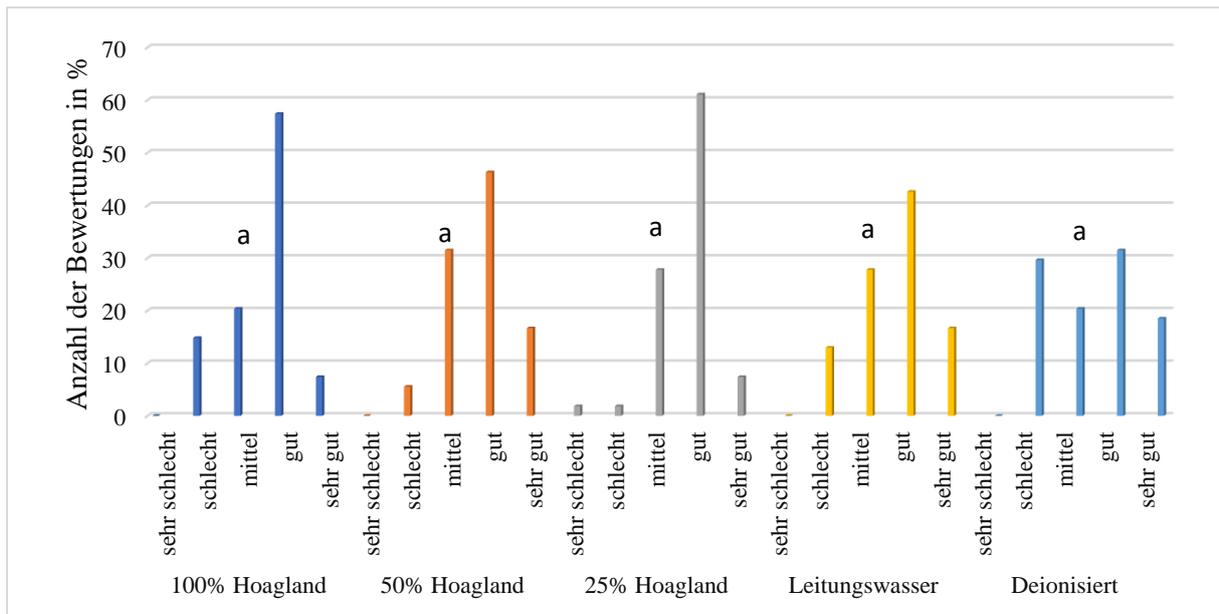


Abbildung 60: Bewertung der sortentypischen Blattfarbe bei Radieskresse (Anzahl der Bewertungen in %). Unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede der Varianten an.

Die Ausprägung der sortentypischen Blattfarbe bei der Gartenkresse wies weder Unterschiede zwischen den Varianten 50% und 100% Hoagland-Lösung noch zwischen 25% Hoagland und Leitungswasser auf. Am besten schnitt 100% Hoagland mit 24% „sehr gut“ ab. Am negativsten wurde deionisiertes Wasser mit 21% als „sehr schlecht“ bewertet (Abb. 61). Die Reihung der Blattgröße von sehr klein (1) bis sehr groß (5) war: demineralisiertes Wasser (Durchschnittswert 2,20), Leitungswasser (2,82), 25% Hoagland-Lösung (3,14), 50% Hoagland-Lösung (3,77) und 100% Hoagland-Lösung (3,94).

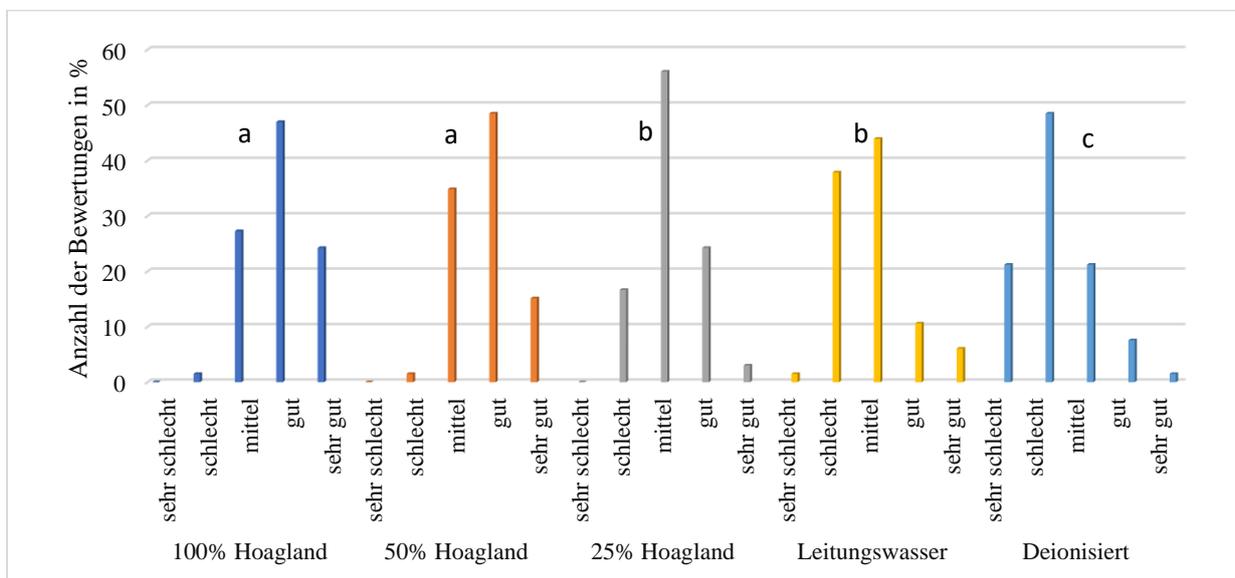


Abbildung 61: Bewertung der sortentypischen Blattfarbe bei Gartenkresse (Anzahl der Bewertungen in %). Unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede der Varianten an.

### 3.2.5 Gesamtbewertung des äußeren Erscheinungsbildes

Die Gesamtbewertungen des Aussehens bei Radieskresse zeigte einen signifikanten Unterschied zwischen deionisiertem Wasser und den restlichen vier Varianten. Deionisiertes Wasser hatte mit 53% „schlecht“ die negativsten Bewertungen (Abb. 62). Die Reihung von sehr schlecht (1) bis sehr gut (5) war: demineralisiertes Wasser (Durchschnittswert 2,74), Leitungswasser (3,48), 100% Hoagland-Lösung (3,80), 50% Hoagland-Lösung (3,87) und 25% Hoagland-Lösung (3,89).

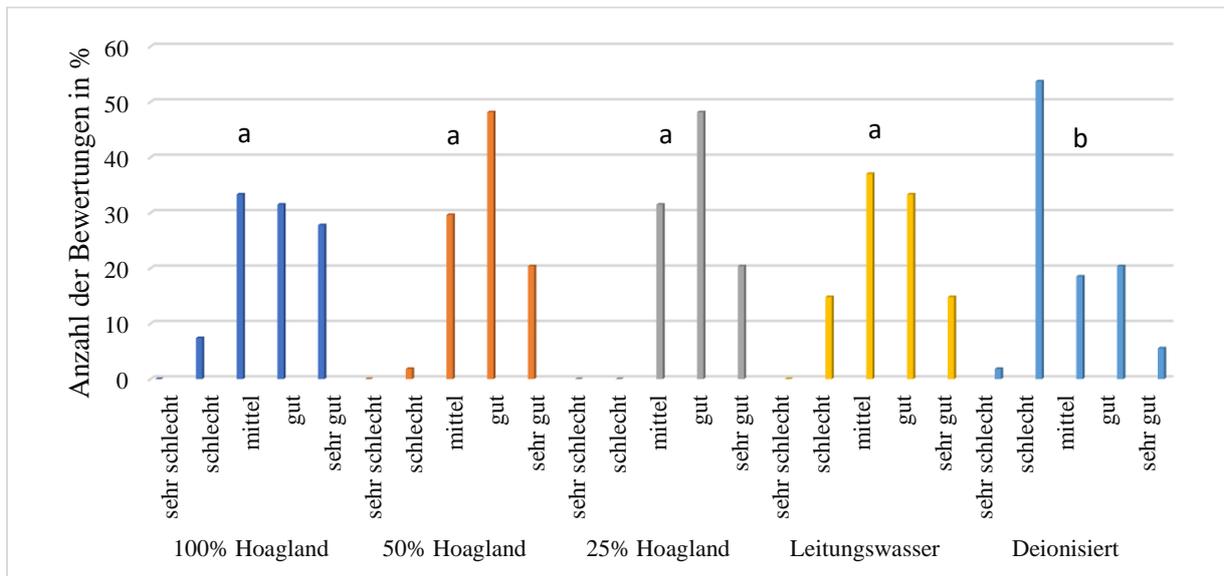


Abbildung 62: Gesamtbewertung des äußeren Erscheinungsbildes bei Radieskresse (Anzahl der Bewertungen in %). Unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede der Varianten an.

Die Gartenkresse wies bei der Gesamtbewertung des Aussehens weder Unterschiede zwischen den Varianten 50% und 100% Hoagland-Lösung noch zwischen 25% Hoagland und Leitungswasser auf. Mit abnehmender Nährstoffkonzentration wurden die Varianten im Gesamtaussehen schlechter beurteilt (Abb. 63). Die Reihung des Aussehens von sehr schlecht (1) bis sehr gut (5) war: demineralisiertes Wasser (Durchschnittswert 1,88), Leitungswasser (2,53), 25% Hoagland-Lösung (2,86), 50% Hoagland-Lösung (3,95) und 100% Hoagland-Lösung (4,30).

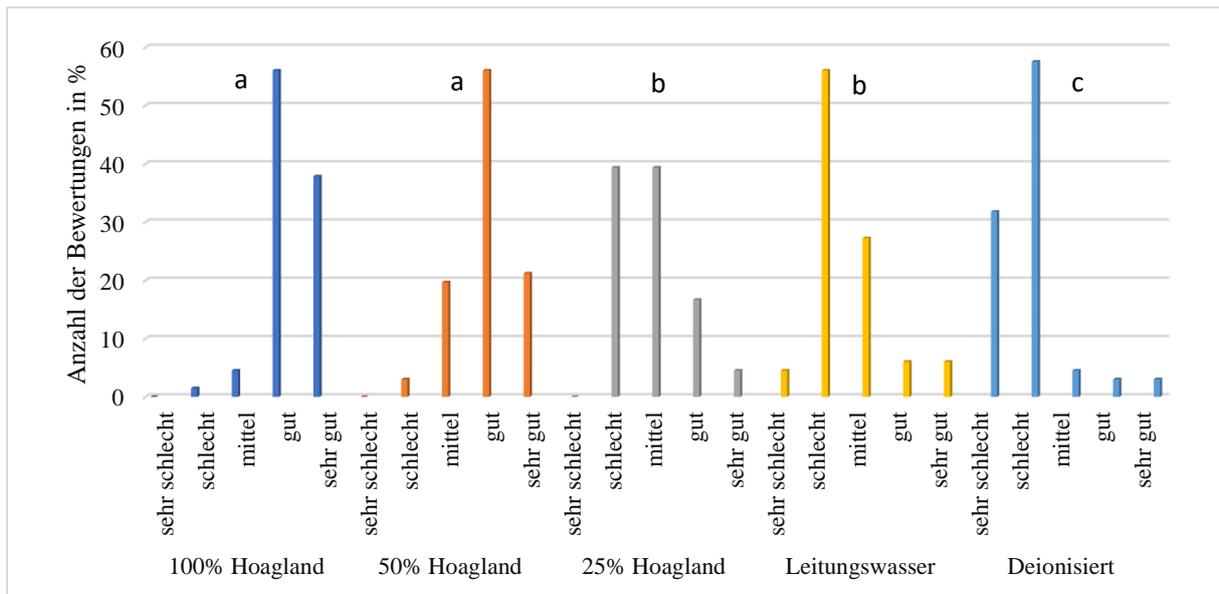


Abbildung 63: Gesamtbewertung des äußeren Erscheinungsbildes bei Gartenkresse (Anzahl der Bewertungen in %). Unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede der Varianten an.

## **4 Diskussion**

In der vorliegenden Masterarbeit wurden zwei Arten von Microgreens der Familie der Brassicaceae – Radieschen und Gartenkresse – in Anzuchteinheiten, mit fünf verschiedenen Nährlösungen angebaut. Als Standard wurde die Variante mit Leitungswasser verwendet. Anschließend an den Anbau wurden diese einem sensorischem Test unterzogen, um zu prüfen ob für die Probanden wahrnehmbare Unterschiede zwischen den Varianten vorlagen. Um die Innere Qualität der Microgreens zu untersuchen, wurden die einzelnen Varianten in ihren Gehalten an ausgewählten sekundären Pflanzeninhaltsstoffen miteinander verglichen, um den Einfluss der Dünungen und dadurch resultierende Unterschiede feststellen zu können.

### **4.1 Laborversuch**

#### **Anbau**

Im vorliegenden Versuch wurde eine hydroponische Anzucht mit einer Zellulosematte durchgeführt. In der Literatur ist häufig eine Verwendung von nährstoffhaltigem Substrat wie Torf und Kokosfaser zu finden (Paradiso et al. 2018; Ying et al. 2020). Aber auch Anbausysteme ähnlich dem in der vorliegenden Masterarbeit verwendeten kommen zum Einsatz wie bei Zhang et al. (2019), die auch eine Zellulosematte und 25% Hoagland-Lösung verwendeten.

#### **Pflanzenlänge**

Die Radieskresse wuchs schnell und erreichte bei allen Varianten außer mit deionisiertem Wasser eine ausreichende Sprosslänge. Radieskresse zeigte 7 Tage nach der Ansaat abhängig von der Nährlösungsvariante unterschiedliche Längen des Gesamtbestandes. Die Varianten 50% (9,7 cm) und 100% Hoagland-Lösung (10,3 cm) hatten eine höhere Gesamtlänge als in den Versuchen von Hoang und Thuong (2020). Bei diesen Autoren betrug 8 Tage nach der Aussaat die Länge der Radieskresse ca. 8 cm abhängig vom Wachstumsmedium. Bei den Varianten Leitungswasser (7,0 cm) und deionisiertes Wasser (5,1 cm) war die Gesamthöhe unter diesen Werten. In den Untersuchungsergebnissen von Wieth et al. (2019) bei Rotkraut Microgreens zeigte die Variante ohne Düngung die niedrigste Sprosslänge. Dies stimmt mit den Ergebnissen dieser Arbeit überein. In der Arbeit von Senevirathne et al. (2019) erreichte Radieskresse innerhalb von 6 Tagen eine Sprosslänge von 6 cm.

Das Längenwachstum der Radieskresse wurde durch die unterschiedlichen Nährlösungen beeinflusst. So konnten im Vergleich zum Standard mit Leitungswasser bei der Variante mit deionisiertem Wasser also ohne Nährstoffe ein Rückgang des Längenwachstums von 27,15 % verzeichnet werden. Die Varianten mit Nährstoffen hatten ein Zuwachs des Längenwachstums im Vergleich zu Leitungswasser von 21,43 % bei 25% Hoagland-Lösung, 38,57 % bei 50% Hoagland-Lösung und 47,14 % bei 100% Hoagland-Lösung.

Die Gartenkresse zeigte auch Unterschiede im Längenwachstum mit den unterschiedlichen Nährlösungen. Bei der Gartenkresse konnte im Vergleich zum Standard mit Leitungswasser bei deionisiertem Wasser eine Reduktion des Längenwachstums um 30,56 % gemessen werden. Die Varianten mit Nährstoffen zeigten eine Erhöhung von 5,56 % bei 25% Hoagland-Lösung, 36,11 % bei 50% Hoagland-Lösung und 50,0 % bei 100% Hoagland-Lösung.

Beim Längenwachstum war zu erkennen, dass Gartenkresse sensibler auf einen Mangel an Nährstoffen reagierte als die Radieskresse.

In der Arbeit von Wieth et al. (2019) wurde die Sprosslänge auch deutlich beeinflusst. Hier hatte die Variante mit der stärksten Düngung auch die längsten Sprosse.

### **Trockenmasse**

Der % Trockenmasseanteil der Microgreens war bei den nicht gedüngten Varianten Leitungswasser und deionisiertes Wasser höher als bei den Varianten mit Hoagland-Lösung. Die Ergebnisse stimmen mit den Untersuchungsergebnissen von El-Nakhel et al. (2021) überein. Hier kamen eine 25% Hoagland-Lösung und destilliertes Wasser zum Einsatz. Die Variante mit destilliertem Wasser zeigte auch hier einen höheren % TM Gehalt als die gedüngte Variante. Die von El-Nakhel et al. (2021) untersuchten Microgreens waren Rosenkohl, Kohl und Rucola. Diese hatten eine geringere % TM als die der hier untersuchten Microgreens. Weiters interessant zu beobachten war, dass die % TM der Radieskresse in den Blättern höher war als in den Stielen. In der Arbeit von Xiao et al. (2012) wurde für Radieskresse ein % Trockenmassegehalt von 8,1 % und für Gartenkresse von 7,3% gemessen.

### **Chlorophyll und Carotinoide**

Die Chlorophyll *a*- und *b*-Gehalte, sowie der Gesamtchlorophyll-Gehalt der untersuchten Gartenkresse waren bei den Varianten mit erhöhter Nährstoffzufuhr höher. Dies stimmt auch mit den Ergebnissen von El-Nakhel et al. (2021) überein, da Nährstoffen wie Phosphor und Stickstoff für die Bildung von Chlorophyll und die Bildung von chloroplastischen Proteinen verantwortlich sind, die ihrerseits einen Einfluss auf den Gehalt an Chlorophyllen und Carotinoiden haben.

Für Radieskresse-Microgreens maßen de la Fuente et al. (2019) einen Gehalt an Carotinoiden von 162,29 mg/100g TM. Dieser Wert liegt über den Höchstwerten der hier gemessenen Carotinoid-Gehalte. Der Gehalt an Carotinoiden wird von verschiedenen Parametern beeinflusst, wie zum Beispiel dem Entwicklungsstadium bei der Ernte, Lichtintensität oder genotypischen Unterschieden zwischen verschiedenen Arten. Microgreens werden als gute Quelle für  $\beta$ -Carotinoide angesehen (de la Fuente et al. 2019). Die geringeren Gehalte an Carotinoiden sind wie bei den Chlorophyllen zu erklären (El-Nakhel et al. 2021). Die Carotinoid-Gehalte der Gartenkresse waren geringer als die der Radieskresse.

## **Gesamtphenol, Flavonoide und Anthocyane**

Der Gesamtphenol-Gehalt für Radieskresse betrug bei Xiao et al. (2015a) 4,7 g/kg TM. Dieser Wert liegt über den Werten der hier gemessenen Gesamtphenol-Gehalte. Dieselben Autoren maßen für Gartenkresse einen Gesamtphenol-Gehalt von 2,7 g/kg TM. Dies ist nur leicht höher gegenüber den Gehalten der 100% Hoagland-Lösung von 2,35 mg/g TM.

Die Ergebnisse von Goyeneche et al. (2015) zeigten Unterschiede im Gesamtphenolgehalt zwischen Blättern und Wurzeln von voll entwickelten Radieschen. Ähnliche Ergebnisse zeigten sich bei den Gesamtphenolen der Radieskresse in der vorliegenden Arbeit. Der Gehalt an Gesamtphenolen in der Radieskresse war in den Blättern höher als in den Stielen. Die Gesamtphenole in den Radieskresse-Stielen waren mit abnehmender Düngung höher, in den Blättern der Radieskresse wurde in den gedüngten Varianten ein höherer Gehalt an Gesamtphenolen gemessen. Dies könnte an der Zusammensetzung der Phenole liegen. Die Stiele der Radieskresse hatten mehr Anthocyane als die Blätter. Bei den Blättern der Radieskresse hingegen wurde ein höherer Gehalt an Flavonoiden gemessen.

## **Nitrat**

Die Ergebnisse der Laboranalysen zeigten, dass bei einer erhöhten Nährstoffzufuhr der Nitratgehalt der Microgreens höher war. Der Gehalt an Nitrat in Microgreens hängt stark von der Konzentration an Stickstoff im Substrat oder der Nährlösung ab (Hoang und Thuong 2020). So hatte die unverdünnte Hoagland-Lösung den höchsten Gehalt an Nitrat bei Gartenkresse und Radieskresse. Bei der Radieskresse wurden sowohl die Blätter als auch die Stiele auf ihren Gehalt an Nitrat untersucht. Dabei war zu erkennen, dass bei den Stielen ein deutlich höherer Gehalt als in den Blättern vorkam. Der höhere Gehalt an Nitrat in den Stielen der Radieskresse könnte dadurch zu erklären sein, dass der Transport von Nitrat physiologisch von der Wurzel zum Blatt stattfindet (Schopfer et al. 2010). Die Varianten mit Leitungswasser und deionisiertem Wasser hatten einen sehr niedrigen bis keinen Nitratgehalt. Insgesamt lagen alle Proben unter den vorgegebenen Höchstwerten an Nitrat. Dies bestätigt die Aussagen der Literatur hinsichtlich des Nitratgehalts von Microgreens (Bulgari et al. 2017; Pinto et al. 2015). Hier werden sie als sichere Quelle angesehen und sogar als Lebensmittel, dass für Kinder geeignet ist, betrachtet. Da Kinder ein geringeres Körpergewicht haben als Erwachsene, spielt die Aufnahme für diese eine noch bedeutendere Rolle. Microgreens sind eine gute Alternative für eine erhöhte Mineralstoffaufnahme, da sie einen geringeren Gehalt an Nitrat haben (Pinto et al. 2015). Der Grenzwert für Kinder liegt bei 3500 mg/kg Nitrat (EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM) 2010). Die stark gedüngte Variante 100% Hoagland-Lösung hatte den höchsten Nitratgehalt und ist deshalb weniger zu empfehlen. Die Unterschiede zwischen 100% und 50% Hoagland-Lösung sind im Längenwachstum sehr ausgeprägt, so dass im Zusammenhang mit Nitrat die 50% Hoagland-Lösung oder eine der Varianten mit geringerer Nährstoffkonzentration zu bevorzugen wäre.

Für 25% Hoagland-Lösung wurde ein Nitratgehalt von 536,2 mg kg<sup>-1</sup> FM bei Rucola gemessen (El-Nakhel et al. 2021).

## **Antioxidative Kapazität**

Die antioxidative Kapazität ist ein Maß für die Summe der antioxidativ wirkenden Bestandteile in der Pflanze. Sie ist für den Menschen von Bedeutung, da eine hohe antioxidative Kapazität von pflanzlichen Lebensmitteln das Risiko, an bestimmten Krankheiten zu erkranken, senkt. Microgreens werden als gute Quelle für antioxidative Inhaltsstoffe angesehen. Ein Problem in der gegenwärtigen Forschung ist, dass die Messung der antioxidativen Kapazität mit unterschiedlichen Methoden erfolgen kann. Daher ist ein direkter Vergleich der Gehalte an antioxidativer Kapazität nicht immer einfach. Es wurden in dieser Masterarbeit spezielle antioxidative Inhaltsstoffe wie die Gesamtphenole, Flavonoide und Anthocyane untersucht, die eine genauere Aussage ermöglichen. Bei der Antioxidativen Kapazität konnte nur ein Unterschied bei den Blättern der Radieskresse gemessen werden.

## **pH- und EC-Wert**

Die Nährstoffe, ausgenommen Phosphor, waren bei den gemessenen pH-Werten in einem Bereich der guten Verfügbarkeit (Camberato et al. 2009). Im Zusammenhang mit Mikronährstoffen wie Eisen, Mangan, Bor, Zink und Kupfer ist der pH-Wert von Bedeutung, da ein zu hoher Bereich die Aufnahme hemmt. Da in der hier verwendeten Nährlösung keine Mikronährstoffe beigefügt wurden, ist der pH-Wert nur für die Verfügbarkeit von Phosphor von Bedeutung.

Die durch den pH-Wert bedingte schlechtere Verfügbarkeit an Phosphor könnte eine Auswirkung auf die Blattgröße und Stiellänge bei der Variante mit Leitungswasser gehabt haben. In der Literatur wird erwähnt, dass ein Mangel an Phosphor und Stickstoff zu einem Rückgang der Pflanzenentwicklung und des Wachstums führt (El-Nakhel et al. 2021).

Der hohe pH-Wert von Leitungswasser hängt mit dem erhöhten Bikarbonatgehalt des Wassers zusammen. Durch den Mangel an Nährstoffen, vor allem Mikronährstoffen, versuchten die Microgreens, mit der Abgabe von  $H^+$  den pH-Wert zu senken. Besonders stark zeigte sich dies bei Radieskresse mit 25% Hoagland-Lösung und Leitungswasser. Die Abnahme der EC-Werte waren bei der Radieskresse mit den Varianten 25% Hoagland-Lösung und Leitungswasser besonders ausgeprägt. Bei Gartenkresse waren es die Varianten 100% und 50% Hoagland-Lösung, die die stärksten Abnahmen des EC-Werts zeigten.

## **4.2 Sensorik**

Die Ergebnisse des Sensorik-Tests sollten einen Einblick auf die Wahrnehmung der Testpersonen gegenüber dem Geschmack und dem Aussehen der untersuchten Keimlinge sowie den Einfluss der unterschiedlichen Nährlösungen auf diese Parameter geben. Hierbei ist nochmals zu erwähnen, dass die Probanden nicht sensorisch geschult waren.

Die sensorischen Eigenschaften der Microgreens gehören zu den subjektiven Qualitätskriterien und sind somit für die Bestimmung der Qualität von Bedeutung.

Da es in der gegenwärtigen Literatur keine vergleichbaren Untersuchungen über den Einfluss verschiedener Mineralstoffernährungen auf den Geschmack und das Aussehen von Microgreens gibt, ist ein Vergleich schwierig. Es wurden jedoch Microgreens auf die Konsumentenakzeptanz hin untersucht.

### **Gesamtwahrnehmung**

Der Einfluss von unterschiedlichen Anbaumethoden auf den Geschmack wurde in der Literatur bestätigt (Tan et al. 2020). Ein Grund für die Unterschiede in der Gesamtwahrnehmung könnte sein, dass die ungedüngten Varianten durch ihren Mangel an Nährstoffen vor allem in der Bewertung des Gesamtaussehens schlechter abschnitten als die gedüngten Varianten. Vor allem bei der Gartenkresse wurde der Unterschied im Gesamtaussehen deutlich, hier schnitten die 100% und 50% Hoagland-Lösungen am besten ab. Auch in der Literatur wird darauf verwiesen, dass das Aussehen für die Probanden in der Akzeptanz eine bedeutende Rolle spielt (Caracciolo et al. 2020). Im Zusammenhang mit der Gesamtwahrnehmung ist es wichtig zu erwähnen, dass sensorisch ungeschulte Testpersonen das Aussehen der Microgreens stärker gewichten könnten als den Geschmack. Insgesamt wurden die gedüngten Varianten besser akzeptiert als die ungedüngten.

### **Geschmack**

#### Schärfe

Die Schärfe der Radieskresse zeigte keine Unterschiede, jedoch konnten bei der Gartenkresse Unterschiede in der Wahrnehmung von Schärfe gemessen werden. Dies könnte am Gehalt an Polyphenolen liegen, der in der Gartenkresse höher war als bei der Radieskresse. In der Literatur wird die Schärfe oft mit dem Gehalt an Polyphenolen in Zusammenhang gebracht (Kyriacou et al. 2019b). In der Arbeit von Caracciolo et al. (2020), in der 12 Microgreens verglichen wurden, hatte die Gartenkresse die stärkste Ausprägung der Schärfe. Auch nach den Ergebnissen von Xiao et al. (2015a) hatte Gartenkresse eine ausgeprägtere Schärfe. Da die Phenolgehalte der Gartenkresse keine signifikanten Unterschiede zeigten, ist es schwierig, diese in direktem Zusammenhang mit der Schärfe zu sehen.

#### Knackigkeit

Die Radieskresse zeigte keine Unterschiede in der Knackigkeit, jedoch konnten Unterschiede bei der Gartenkresse in der Knackigkeit festgestellt werden. Die 100% und 50% Hoagland-Lösungen hatten die besten Bewertungen. In der Arbeit von Caracciolo et al. (2020) schnitt Gartenkresse in der Akzeptanz der Textur mitunter am schlechtesten von den 12 getesteten Microgreen-Arten ab. Dies wird von den Ergebnissen von Xiao et al. (2015a) bestätigt.

### Typischer Geschmack

Die Radieskresse mit 100% und 25% Hoagland-Lösung hatten den typischsten Geschmack. Bei der Gartenkresse waren es die Varianten mit 100% und 50% Hoagland-Lösung, die am besten abschnitten. Der typische Geschmack entsteht durch die Bildung von Zuckern, Säuren und anderen flüchtigen Substanzen (Chen et al. 2020). Dies könnte die hier gewonnenen Ergebnisse bestätigen, da die Düngung einen Einfluss auf die Bildung solcher Bestandteile hat.

### Fehlaroma

Die Radieskresse zeigte mit Leitungswasser das stärkste Fehlaroma. Die Gartenkresse hatte bei deionisiertem Wasser das stärkste Fehlaroma. Die gedüngten Varianten zeigten bei beiden Microgreens die geringsten Fehlaromen. Dies könnte, wie bei typischem Geschmack erwähnt, im Zusammenhang mit der Bildung bestimmter Stoffe stehen. Diese können bei den ungedüngten Varianten schlechter gebildet werden als bei den gedüngten. Das Fehlaroma bei Gartenkresse könnte mit dem Gehalt an Flavonoiden zusammenhängen, da die Variante mit Leitungswasser den höchsten Gehalt an Flavonoiden hatte. Im Fall der Radieskresse könnten die höheren Gehalte an Anthocyanen in den Stielen der nicht gedüngten Varianten verantwortlich sein. In der Literatur werden Flavonoiden – hierzu zählen auch die Anthocyane – als bitter und adstringierend beschrieben (Drewnowski und Gomez-Carneros 2000).

### Gesamtgeschmack

Die Varianten 100% und 25% Hoagland-Lösung wurden in der Bewertung des Gesamtgeschmacks bei der Radieskresse am besten beurteilt. Dies stimmt mit den Bewertungen der davor gemessenen Parameter überein. Die Gartenkresse schnitt mit den Varianten 100% und 50% Hoagland-Lösung in den Bewertungen des Gesamtgeschmacks ab. Auch hier stimmt dies mit den Bewertungen der davor gemessenen Parameter überein.

### Aussehen

#### Stiellänge

Die Probanden nahmen sowohl bei Radieskresse als auch bei Gartenkresse die gedüngten Varianten mit längeren Stielen als besser war. Im Zusammenhang mit den Analysen der Stiellänge ist hier zu erwähnen, dass die Varianten Leitungswasser und deionisiertes Wasser sehr kurze Stiele hatten und dies für die Probanden nicht optisch ansprechend war.

#### Blattgröße

Wie auch bei den Stielen zeigte sich bei der Bewertung der Blätter von Radies- und Gartenkresse, dass die gedüngten gegenüber den nicht gedüngten Varianten bevorzugt wurden. Dies könnte damit zusammenhängen, dass kleine Blätter einen nicht voll entwickelten oder kranken Eindruck auf die Probanden gemacht haben könnten.

### Typische Farbe

Die typische Farbe zeigte bei der Radieskresse keine signifikanten Unterschiede. In der Gartenkresse zeigten sich bei den am stärksten gedüngten Varianten 100% und 50% eine sehr typische Farbe. Dies könnte mit dem höheren Chlorophyllgehalt dieser Varianten zusammenhängen. In den Forschungsergebnissen von Tan et al. (2020) zeigte sich, dass die Varianten mit einem höheren Chlorophyllgehalt besser im Aussehen bewertet wurden.

### **Gesamtbewertung des äußeren Erscheinungsbildes**

Die Gesamtbewertung des äußeren Erscheinungsbildes stimmt mit den Ergebnissen der zuvor gemessenen Parameter Blattgröße, Stiellänge und sortentypischer Farbe überein. Bei Radieskresse konnte nur ein Unterschied bei deionisiertem Wasser zu den anderen Varianten gemessen werden. Bei Gartenkresse war der Unterschied deutlicher, hier wurden die 100% und die 50% Hoagland-Lösung am besten wahrgenommen.

## 5 Schlussfolgerung

Die Ergebnisse dieser Forschung zeigten, dass die Nährlösung sowohl auf den Gehalt an sekundären Pflanzeninhaltsstoffen als auch auf die Akzeptanz der Probanden einen Einfluss hatte. Bei der Gesamtbewertung für Aussehen und Geschmack zeigten sich bei der Radieskresse und Gartenkresse etwas unterschiedliche Ergebnisse, wobei die Gartenkresse mit den stärker gedüngten Varianten besser wahrgenommen wurden. Die Radieskresse wurde auch mit 25% Hoagland-Lösung als sehr gut wahrgenommen. Um jedoch noch genauere Ergebnisse über die sensorische Qualität von Microgreens geben zu können, wären Tests mit sensorisch geschulten Personen eine Möglichkeit für die weitere Forschung. Die Untersuchung der sekundären Pflanzeninhaltsstoffe zeigte ähnlich wie in der Literatur, dass die Microgreens unter physiologischen Stressbedingungen einen höheren Gehalt an Flavonoiden und Anthocyanen zeigten. Allerdings hatte dies nicht unbedingt einen Einfluss auf den Gehalt der Gesamtphenole wie bei Gartenkresse. Um genauere Aussagen treffen zu können, wäre die Analyse des Phenolprofils von Vorteil. Gegenstand der weiteren Forschung könnte es sein, welche Düngungen in Kombination mit Stressfaktoren Anwendung finden könnten, um eine möglichst hohe Qualität der Microgreens gewährleisten zu können. Für Microgreens als „Functional Food“ ist es besonders wichtig, hohe Gehalte an Mineralstoffen, Vitaminen und sekundären Pflanzeninhaltsstoffe, die sich positiv auf die menschliche Ernährung auswirken, zu haben. Da sich für die Produktion von Microgreens eine Vielzahl an Pflanzen eignen und diese unterschiedlich auf Veränderungen durch Düngung oder Stress reagieren, müssen weitere Forschungen für die einzelnen Microgreens unternommen werden, um eine hervorragende Qualität produzieren zu können. Weiters könnten Microgreens Verwendung in anderen Bereichen finden, wie zum Beispiel in der Pharmazie oder der Tierernährung (Galieni et al. 2020).

## 6 Literaturverzeichnis

- Bundesministerium Landwirtschaft, Regionen und Tourismus (2019). Allgemeine Vermarktungsnorm (2).pdf. (2019). [https://www.bmlrt.gv.at/land/produktion-maerkte/vermarktungsnormen/Obst\\_und\\_Gemuese.html](https://www.bmlrt.gv.at/land/produktion-maerkte/vermarktungsnormen/Obst_und_Gemuese.html). Zugegriffen: 11. März 2021
- Alzand, K. I. & Mohamed, M. A. (2012). Flavonoids: Chemistry, Biochemistry and Antioxidant activity. *Journal of Pharmacy Research*, (8), 9.
- Brazaitytė, A., Sakalauskienė, S., Samuolienė, G., Jankauskienė, J., Viršilė, A., Novičkovas, A., Sirtautas, R., Miliauskienė, J., Vaštakaitė, V., Dabašinskas, L. & Duchovskis, P. (2015). The effects of LED illumination spectra and intensity on carotenoid content in Brassicaceae microgreens. *Food Chemistry*, 173, 600–606. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.10.077>
- Bulgari, R., Baldi, A., Ferrante, A. & Lenzi, A. (2017). Yield and quality of basil, Swiss chard, and rocket microgreens grown in a hydroponic system. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 45(2), 119–129. <https://doi.org/10.1080/01140671.2016.1259642>
- Camberato, D. M., Lopez, R. G. & Mickelbart, M. V. (2009). pH and Electrical Conductivity Measurements in Soilless Substrates. *Purdue Extension HO-237-W*, 6.
- Caracciolo, F., El-Nakhel, C., Raimondo, M., Kyriacou, M. C., Cembalo, L., De Pascale, S. & Rouphael, Y. (2020). Sensory Attributes and Consumer Acceptability of 12 Microgreens Species. *Agronomy*, 10(7), 1043. <https://doi.org/10.3390/agronomy10071043>
- Charlebois, S. (2019). Microgreens with big potential. Wilton Consulting Group. pp. 1–12. [https://static1.squarespace.com/static/59a566808419-/Microgreens+with+big+c2c20ebc2768/t/5bec6f7840ec9a4b55d39143/1542221690715potential\\_CaseStudy.pdf](https://static1.squarespace.com/static/59a566808419-/Microgreens+with+big+c2c20ebc2768/t/5bec6f7840ec9a4b55d39143/1542221690715potential_CaseStudy.pdf)
- Chen, H., Tong, X., Tan, L. & Kong, L. (2020). Consumers' acceptability and perceptions toward the consumption of hydroponically and soil grown broccoli microgreens. *Journal of Agriculture and Food Research*, 2, 100051. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2020.100051>
- de la Fuente, B., López-García, G., Mañez, V., Alegría, A., Barberá, R. & Cilla, A. (2019). Evaluation of the Bioaccessibility of Antioxidant Bioactive Compounds and Minerals of Four Genotypes of Brassicaceae Microgreens. *Foods*, 8(7), 250. <https://doi.org/10.3390/foods8070250>
- Drewnowski, A. & Gomez-Carneros, C. (2000). Bitter taste, phytonutrients, and the consumer: a review. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 72(6), 1424–1435. <https://doi.org/10.1093/ajcn/72.6.1424>
- Eaton-Rye, J. J., Tripathy, B. C. & Sharkey, T. D. (2011). *Photosynthesis: plastid biology, energy conversion and carbon assimilation* (Bd. 34). Springer Science & Business Media.
- EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM) (2010). Statement on possible public health risks for infants and young children from the presence of nitrates in leafy vegetables. *EFSA Journal*, 8(12). <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2010.1935>

- El-Nakhel, C., Pannico, A., Graziani, G., Kyriacou, M. C., Gaspari, A., Ritieni, A., De Pascale, S. & Rouphael, Y. (2021). Nutrient Supplementation Configures the Bioactive Profile and Production Characteristics of Three Brassica Microgreens Species Grown in Peat-Based Media. *Agronomy* 2021, 11, 346.
- EUR-Lex. (2021). Verordnung (EU) Nr. 1258/2011 der Kommission vom 2. Dezember 2011 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1881/2006 bezüglich der Höchstgehalte für Nitrate in Lebensmitteln. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/ALL/?uri=CELEX%3A32011R1258>. Zugegriffen: 19. April 2021
- European Commission Directorate-General for Research (2010). *Functional foods*. LU: Publications Office. <https://data.europa.eu/doi/10.2777/82512>. Zugegriffen: 16. März 2021
- European Food Safety Authority (2017). *EFSA erklärt Risikobewertung: Lebensmittel zugesetzte Nitrite und Nitrate*. LU: Publications Office. <https://data.europa.eu/doi/10.2805/79971>. Zugegriffen: 3. März 2021
- Falana, H., Nofal, W. & Nakhleh, H. (2014). A Review Article *Lepidium Sativum* (Garden cress), 1–8.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (Hrsg.) (2017). *The future of food and agriculture: trends and challenges*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Galieni, A., Falcinelli, B., Stagnari, F., Datti, A. & Benincasa, P. (2020). Sprouts and microgreens: Trends, opportunities, and horizons for novel research. *Agronomy*, 10(9), 1424.
- Gerovac, J. R., Craver, J. K., Boldt, J. K. & Lopez, R. G. (2016). Light Intensity and Quality from Sole-source Light-emitting Diodes Impact Growth, Morphology, and Nutrient Content of Brassica Microgreens. *HortScience*, 51(5), 497–503. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.51.5.497>
- Goodman, W. & Minner, J. (2019). Will the urban agricultural revolution be vertical and soilless? A case study of controlled environment agriculture in New York City. *Land Use Policy*, 83, 160–173. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.12.038>
- Goyeneche, R., Roura, S., Ponce, A., Vega-Gálvez, A., Quispe-Fuentes, I., Uribe, E. & Di Scala, K. (2015). Chemical characterization and antioxidant capacity of red radish (*Raphanus sativus* L.) leaves and roots. *Journal of Functional Foods*, 16, 256–264. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.04.049>
- Gruda, N. (2009). Do soilless culture systems have an influence on product quality of vegetables? *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 82(2), 141–147.
- Gutiérrez, R. M. P. & Perez, R. L. (2004). *Raphanus sativus* (Radish): Their Chemistry and Biology. *The Scientific World JOURNAL*, 4, 811–837. <https://doi.org/10.1100/tsw.2004.131>
- Hanlon, P. R. & Barnes, D. M. (2011). Phytochemical Composition and Biological Activity of 8 Varieties of Radish (*Raphanus sativus* L.) Sprouts and Mature Taproots. *Journal of Food Science*, 76(1), C185–C192. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2010.01972.x>

- Hoagland, D.R. & Arnon, D.L. (1938). The water culture method for growing plants without soil. *Calif. Agric. Exp. Station Circular* 347, 1-39.
- Hoang, M. & Thuong, V. (2020). Effects of growing substrates and seed density on yield and quality of radish (*Raphanus sativus*) microgreens. *Research on Crops*, 21, 579–586.  
<https://doi.org/10.31830/2348-7542.2020.091>
- Keutgen, A. J. & Pawelzik, E. (2007). Modifications of Strawberry Fruit Antioxidant Pools and Fruit Quality under NaCl Stress. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(10), 4066–4072.  
<https://doi.org/10.1021/jf070010k>
- Kou, L., Luo, Y., Yang, T., Xiao, Z., Turner, E. R., Lester, G. E., Wang, Q. & Campe, M. J. (2013). Postharvest biology, quality and shelf life of buckwheat microgreens. *LWT - Food Science and Technology*, 51(1), 73–78. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.11.017>
- Kyriacou, M. C., El-Nakhel, C., Graziani, G., Pannico, A., Soteriou, G. A., Giordano, M., Zarrelli, A., Ritieni, A., De Pascale, S. & Roupheal, Y. (2019b). Functional quality in novel food sources: Genotypic variation in the nutritive and phytochemical composition of thirteen microgreens species. *Food Chemistry*, 277, 107–118. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.10.098>
- Kyriacou, M. C., El-Nakhel, C., Pannico, A., Graziani, G., Soteriou, G. A., Giordano, M., De Pascale, S. & Santamaria, P. (2019a). Genotype-Specific Modulatory Effects of Select Spectral Bandwidths on the Nutritive and Phytochemical Composition of Microgreens. *Frontiers in Plant Science*, 10, 1501. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01501>
- Kyriacou, M. C., Roupheal, Y., Di Gioia, F., Kyrtziz, A., Serio, F., Renna, M., De Pascale, S. & Santamaria, P. (2016). Micro-scale vegetable production and the rise of microgreens. *Trends in Food Science & Technology*, 57, 103–115. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.09.005>
- Matissek, R. (2019). *Lebensmittelchemie*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.  
<https://doi.org/10.1007/978-3-662-59669-2>
- Michell, K. A., Isweiri, H., Newman, S. E., Bunning, M., Bellows, L. L., Dinges, M. M., Grabos, L. E., Rao, S., Foster, M. T., Heuberger, A. L., Prenni, J. E., Thompson, H. J., Uchanski, M. E., Weir, T. L. & Johnson, S. A. (2020). Microgreens: Consumer sensory perception and acceptance of an emerging functional food crop. *Journal of Food Science*, 85(4), 926–935.  
<https://doi.org/10.1111/1750-3841.15075>
- Paradiso, V. M., Castellino, M., Renna, M., Leoni, B., Caponio, F. & Santamaria, P. (2018). Simple tools for monitoring of chlorophyll in broccoli raab and radish microgreens on their growing medium during cold storage. *Progress in Nutrition*, 20(3), 415–422.  
<https://doi.org/10.23751/pn.v20i3.7097>
- Pérez-Jiménez, J., Arranz, S., Taberner, M., Díaz-Rubio, M. E., Serrano, J., Goñi, I. & Saura-Calixto, F. (2008). Updated methodology to determine antioxidant capacity in plant foods, oils and beverages: Extraction, measurement and expression of results. *Food Research International*, 41(3), 274–285. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2007.12.004>

- Pinto, E., Almeida, A. A., Aguiar, A. A. & Ferreira, I. M. P. L. V. O. (2015). Comparison between the mineral profile and nitrate content of microgreens and mature lettuces. *Journal of Food Composition and Analysis*, 37, 38–43. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2014.06.018>
- Rajan, P., Lada, R. R. & MacDonald, M. T. (2019). Advancement in Indoor Vertical Farming for Microgreen Production. *American Journal of Plant Sciences*, 10(08), 1397–1408. <https://doi.org/10.4236/ajps.2019.108100>
- Riggio, G. M., Wang, Q., Kniel, K. E. & Gibson, K. E. (2019). Microgreens—A review of food safety considerations along the farm to fork continuum. *International Journal of Food Microbiology*, 290, 76–85. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2018.09.027>
- Roberfroid, M. B. (2002). Global view on functional foods: European perspectives. *British Journal of Nutrition*, 88(S2), S133–S138. <https://doi.org/10.1079/BJN2002677>
- Schek, A. (2002). Sekundäre Pflanzenstoffe. *Leistungssport*, 32, 44–52.
- Schopfer, P., Brennicke, A. & Mohr, H. (2010). *Pflanzenphysiologie* (7. Aufl.). Heidelberg: Spektrum, Akad. Verl.
- Senevirathne, G. I., Gama-Arachchige, N. S. & Karunaratne, A. M. (2019). Germination, harvesting stage, antioxidant activity and consumer acceptance of ten microgreens. *Ceylon Journal of Science*, 48(1), 91. <https://doi.org/10.4038/cjs.v48i1.7593>
- Sumanta, N., Haque, C. I., Nishika, J. & Suprakash, R. (2014). Spectrophotometric analysis of chlorophylls and carotenoids from commonly grown fern species by using various extracting solvents. *Res J Chem Sci*, 2231, 606X.
- Tan, L., Nuffer, H., Feng, J., Kwan, S. H., Chen, H., Tong, X. & Kong, L. (2020). Antioxidant properties and sensory evaluation of microgreens from commercial and local farms. *Food Science and Human Wellness*, 9(1), 45–51. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2019.12.002>
- Treadwell, D. D., Hochmuth, R., Landrum, L. & Laughlin, W. (2010). Microgreens: A new specialty crop. *EDIS*, 2010(3).
- Turner, E. R., Luo, Y. & Buchanan, R. L. (2020). Microgreen nutrition, food safety, and shelf life: A review. *Journal of Food Science*, 85(4), 870–882. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15049>
- Wieth, A. R., Pinheiro, W. D. & Duarte, T. D. S. (2019). Purple Cabbage Microgreens grown in Different Substrates and Nutritive Solution Concentrations. *Revista Caatinga*, 32(4), 976–985. <https://doi.org/10.1590/1983-21252019v32n414rc>
- Xiao, Z., Bauchan, G., Nichols-Russell, L., Luo, Y., Wang, Q. & Nou, X. (2015b). Proliferation of *Escherichia coli* O157:H7 in Soil-Substitute and Hydroponic Microgreen Production Systems. *Journal of Food Protection*, 78(10), 1785–1790. <https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-15-063>
- Xiao, Z., Lester, G. E., Luo, Y. & Wang, Q. (2012). Assessment of Vitamin and Carotenoid Concentrations of Emerging Food Products: Edible Microgreens. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60(31), 7644–7651. <https://doi.org/10.1021/jf300459b>

- Xiao, Z., Lester, G. E., Park, E., Saftner, R. A., Luo, Y. & Wang, Q. (2015a). Evaluation and correlation of sensory attributes and chemical compositions of emerging fresh produce: Microgreens. *Postharvest Biology and Technology*, 110, 140–148. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.07.021>
- Ying, Q., Kong, Y. & Zheng, Y. (2020). Overnight Supplemental Blue, Rather than Far-red, Light Improves Microgreen Yield and Appearance Quality without Compromising Nutritional Quality during Winter Greenhouse Production. *HortScience*, 55(9), 1468–1474. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI115196-20>
- Zhang, X., Wei, J., Tian, J., Li, N., Jia, L., Shen, W. & Cui, J. (2019). Enhanced anthocyanin accumulation of immature radish microgreens by hydrogen-rich water under short wavelength light. *Scientia Horticulturae*, 247, 75–85. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.11.060>

### **Internetquellen**

- EPPO Global Database. (2002). *Lepidium sativum*. <https://gd.eppo.int/taxon/LEPSA>. Zugegriffen: 24. Februar 2021
- EPPO Global Database. (2004). *Raphanus sativus*. <https://gd.eppo.int/taxon/RAPSR>. Zugegriffen: 24. Februar 2021
- Qualiservice. (2017). Keimlinge\_diverse.pdf. *Schweizerische Qualitätsbestimmungen für Gemüse*. [https://www.qualiservice.ch/uploads/normen2017/de/Keimlinge\\_diverse.pdf](https://www.qualiservice.ch/uploads/normen2017/de/Keimlinge_diverse.pdf). Zugegriffen: 11. März 2021
- Stadt Wien (2020). Aktuelle Trinkwasserwerte in Wien. <https://www.wien.gv.at/wienwasser/qualitaet/ergebnis.html>. Zugegriffen: 30.11.2020
- U.S. Department of Agriculture (U.S.D.A.) (2019). FoodData Central. <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/168407/nutrients>. Zugegriffen: 11. März 2021

## 7 Anhang

Tabelle 20: Gehalte des verwendeten Leitungswassers (Stadt Wien 2020).

Parameter	I. HQL	II. HQL	Parameterwert*)	Indikator-Parameterwert**)
Analysedatum	30.11.2020	30.11.2020	-	-
Koloniebildende Einheiten (KBE/Milliliter bei 22 Grad Celsius Bebrütungstemperatur)	0	1	-	10
Koloniebildende Einheiten (KBE/Milliliter bei 37 Grad Celsius Bebrütungstemperatur)	0	0	-	10
Coliforme Bakterien/250 Milliliter	0	0	-	0
Escherichia coli/250 Milliliter	0	0	0	-
Elektrische Leitfähigkeit (20°C) (µS/cm)	302	210	-	2.500
pH-Wert	8,0	8,2	-	6,5 bis 9,5
Gesamthärte (Grad deutsche Härte)	10,2	7,1	-	-
Karbonathärte (Grad deutsche Härte)	8,9	7,1	-	-
Härtebereiche	weich bis mittel	weich	-	-
Totaler organischer Kohlenstoff (Milligramm pro Liter)	1,27	0,80	-	***)
Ammonium (Milligramm pro Liter)	<0,010	<0,010	-	0,5
Nitrit (Milligramm pro Liter)	<0,008	<0,008	0,1	-
Nitrat (Milligramm pro Liter)	5,4	3,1	50	-
Chlorid (Milligramm pro Liter)	3,4	<1	-	200
Sulfat (Milligramm pro Liter)	17	2,8	-	250
Fluorid (Milligramm pro Liter)	<0,20	<0,20	1,5	-
Calcium (Milligramm pro Liter)	52	40	-	400
Magnesium (Milligramm pro Liter)	12	6,7	-	150
Natrium (Milligramm pro Liter)	1,7	<1	-	200
Kalium (Milligramm pro Liter)	<1	<1	-	50
Blei (Milligramm pro Liter)	<0,001	<0,001	0,01	-
Pestizide (µg pro Liter)	Keine bestimmbaren Gehalte dieser Schadstoffe nachweisbar		0,1	-
Pestizide gesamt (µg pro Liter)	Keine bestimmbaren Gehalte dieser Schadstoffe nachweisbar		0,5	-

\*) Parameterwert laut Trinkwasserverordnung, entspricht einem Grenzwert

\*\*) Indikatorparameterwert laut Trinkwasserverordnung, entspricht einem Richtwert

\*\*\*) ohne anormale Veränderung