Komposttee

Einfluss unterschiedlicher pH im Komposttee auf Ertrag, Blattsaft, Boden und Pflanzengesundheit

Zusätzliche Versuche zu Wirbelrichtung, Vergleiche Kompost-teemaschinen, Wasserbelüftung und Einsatz microBIOMETER®

Bachelor Thesis von Monika Freiburghaus

Vorgelegt bei Dominik Füglistaller und Adrian Rubi

Zollikofen, 11. August 2023

Berner Fachhochschule
Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften
Studiengang Agronomie – Vertiefung Pflanzenwissenschaften

Selbstständigkeitserklärung und Gewährung der Nutzungsrechte

Durch meine Unterschrift erkläre ich, dass

- ich die „Richtlinien über den Umgang mit Plagiaten an der Berner Fachhochschule“ kenne und mir die Konsequenzen bei deren Nichtbeachtung bekannt sind,
- ich diese Arbeit in Übereinstimmung mit diesen Grundsätzen erstellt habe,
- ich diese Arbeit persönlich und selbständig erstellt habe,
- ich mich einverstanden erkläre, dass meine Arbeit mit einer Plagiat-Erkennungssoftware getestet und in die BFH-Datenbank der Software aufgenommen wird,
- ich der HAFL ein kostenloses, unbefristetes, nicht-exklusives Nutzungsrecht an meiner Arbeit gewähre.

Ort, Datum: Wünnewil, 11. August 2023

Unterschrift .....

Mitteilung über die Verwendung von studentischen Arbeiten der Hochschule für Agrar-, Forst und Lebensmittelwissenschaften HAFL

Alle Rechte an Semesterarbeiten, Minorarbeiten sowie Bachelor und Master Theses der Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften HAFL sind im Besitze des/der Verfasser/in der Arbeit. Die HAFL geniesst jedoch ein kostenloses, unbefristetes, nicht-exklusives Nutzungsrecht an den Arbeiten ihrer Studierenden.

Semesterarbeiten, Minorarbeiten sowie Bachelor und Master Theses sind Bestandteile des Ausbildungsprogramms und werden von den Studierenden selbständig verfasst. Die HAFL übernimmt keine Verantwortung für eventuelle Fehler in diesen Arbeiten und haftet nicht für möglicherweise daraus entstehende Schäden

Zollikofen, Dezember 2015
Die Direktion

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis 6
Tabellenverzeichnis 7
Abbildungsverzeichnis 11
Abstract 17
1 Einleitung 18
2 Stand der Forschung 19
2.1 Komposttee 19
2.1.1 Kompost 19
2.1.2 Herstellung 20
2.1.2.1 Aerated compost tea (ACT) 20
2.1.2.2 Non-aerated compost tea (NCT) 21
2.1.2.3 Rezepturen und Brauvorgang 21
2.1.3 Messwerte 23
2.1.3.1 pH 23
2.1.3.1.1 pH-Senker 25
2.1.3.2 Elektrische Leitfähigkeit (EC) 25
2.1.3.3 Redox 26
2.1.3.4 Sauerstoff 27
2.1.4 Qualitätsindikatoren und Risiken 28
2.1.5 Applikation 29
2.1.5.1 Bodenapplikation 29
2.1.5.2 Blattapplikation 29
2.1.6 Wirkung und Vorteile 31
2.2 Boden, Bodenleben und Nährstoffe 32
2.2.1 Nährstoffinteraktionen & pH im Boden 33
2.2.1.1 Boden-pH 34
2.2.1.2 Makronährstoffe 35
2.2.1.3 Mikronährstoffe 36
2.2.2 Kationenaustauschkapazität (KAK) und Basensättigung 38
2.2.3 Boden-Chromatographie 40
2.2.4 microBIOMETER® als Messinstrument der mikrobiellen Aktivität 41
2.3 Pflanzengesundheit und Messparameter Blattsaft 42
2.4 Messparameter Bodenaufschwemmung (pH, EC) 46
2.5 Infrarot-Temperaturmessungen Kultur 47
3 Material und Methoden 47
3.1 Literaturrecherche 47
3.2 Hauptversuch Einfluss pH-Senker im Komposttee auf Gewächshauskulturen 47
3.2.1 Versuchsstandort 47
3.2.2 Versuchskulturen 48
3.2.3 Versuchsaufbau und Verfahren 48
3.2.3.1 Versuchsdesign & Wiederholungen 48
3.2.3.2 Verfahren 52
3.2.4 Kulturführung 52
3.2.4.1 Bodenprobe START 52
3.2.4.2 Saatbettvorbereitung & Grunddüngung 53
3.2.4.3 Saat 53
3.2.4.4 Pflegemassnahmen & Bewässerung 53
3.2.5 Komposttee Rezeptur EDAPRO 54
3.2.6 Herstellungs-, Messungs- und Ausbringungsprozesse der Verfahren 55
3.2.6.1 Komposttee Herstellung 55
3.2.6.2 Mengenberechnungen Applikationsverfahren und Ausbringtechnik 57
3.2.6.3 Messungen (pH, EC, Redox) und Fertigstellung Applikationsverfahren 58
3.2.6.4 Anzahl Applikationen, Reihenfolge & Intervall 59

3.2.7 Erhebungen während Vegetationsperiode 60
3.2.7.1 Vorgehen Pflanzensaftpressung 60
3.2.7.2 BRIX und Calcium-Verfügbarkeit 60
3.2.7.3 Pflanzensaftmessungen 61
3.2.7.4 Herstellung Bodenaufschwemmung und Messungen 61
3.2.7.5 Infrarot-Thermometer zur Messung des Stressfaktors 62
3.2.7.6 Pflanzengesundheit 62
3.2.7.7 Wetter Gempenach während Brau-, Applikations- und Messzeitpunkten 63
3.2.8 Ernte 63
3.2.9 Ertrags- und Qualitätserhebungen 65
3.2.9.1 Wurzelmasse & Bodenprobe Rhizosphäre 65
3.2.9.2 Blattmasse 66
3.2.9.3 Knollengewicht Radiesli 67
3.2.10 Bodenprobe 67
3.2.10.1 Labor Ins 67
3.2.10.2 Stickstoff- und Kohlenstoffanalyse mit CHN-Analyzer 67
3.2.10.3 Boden-Chroma 68
3.2.11 Auswertung Hauptversuch 70
3.2.11.1 Statistische Auswertung 70
3.2.11.2 Deskriptive Auswertung 70
3.3 Nebenversuche 70
3.3.1 Einsatz microBIOMETER® & Einfluss Wasserbelüftung von Komposttee zweier Brausysteme 71
3.3.1.1 Brausystem & Rezeptur 71
3.3.1.1.1 EDAPRO 71
3.3.1.1.2 VORTEX 71
3.3.1.2 Verfahren mit/ohne Wasserbelüftung vor Brauvorgang 72
3.3.1.3 microBIOMETER® 73
3.3.2 Einfluss Wirbelrichtung auf pH, EC und Redoxpotenzial von Quellwasser 73
3.3.3 Auswertung Nebenversuche 74
3.4 Umfrage in der Praxis zur Herstellung und Applikation von Komposttee 74
3.5 Wirtschaftlichkeitsberechnung Komposttee 75
4 Ergebnisse 75
4.1 Ergebnisse Hauptversuch Gewächshaus 75
4.1.1 Statistischer Vergleich zwischen den Verfahrensflüssigkeiten 76
4.1.1.1 pH-Vergleich der Verfahrensflüssigkeiten 76
4.1.1.2 EC-Vergleich der Verfahrensflüssigkeiten 77
4.1.1.3 Redox-Vergleich der Verfahrensflüssigkeiten 78
4.1.1.4 Teildiskussion Statistischer Vergleich zwischen den Verfahrensflüssigkeiten 79
4.1.2 Statistischer Vergleich zwischen Verfahrensmessungen während Vegetationsperiode 79
4.1.2.1 Pflanzensaftmessungen Horiba-LaquaTwin-Geräte Radiesli 80
4.1.2.1.1 Blattsaft BRIX und Calcium-Verfügbarkeit **vor & nach** Applikation 80
4.1.2.1.2 Blattsaft BRIX und Calcium-Verfügbarkeit **zwischen** den Applikationen 82
4.1.2.1.3 Blattsaft pH **vor & nach** Applikation 84
4.1.2.1.4 Blattsaft pH **zwischen** Applikationen 85
4.1.2.1.5 Blattsaft EC **vor & nach** Applikation 86
4.1.2.1.6 Blattsaft EC **zwischen** Applikationen 87
4.1.2.1.7 Blattsaft Nitrat **vor & nach** Applikation 88
4.1.2.1.8 Nitrat **zwischen** Applikationen 89
4.1.2.1.9 Blattsaft Kalium **vor & nach** Applikation 90
4.1.2.1.10 Blattsaft Kalium **zwischen** Applikationen 91
4.1.2.1.11 Blattsaft Calcium **vor & nach** Applikation 92
4.1.2.1.12 Blattsaft Calcium **zwischen** Applikationen 93
4.1.2.1.13 Blattsaft Natrium **vor & nach** Applikation 94
4.1.2.1.14 Blattsaft Natrium **zwischen** Applikationen: 95
4.1.2.2 Pflanzensaftmessungen Horiba-LaquaTwin-Geräte Spinat 96

4.1.2.2.1 Blattsaft BRIX und Calcium-Verfügbarkeit **vor & nach** Applikation 97
4.1.2.2.2 Blattsaft BRIX und Calcium-Verfügbarkeit **zwischen** Applikationen 98
4.1.2.2.3 Blattsaft pH **vor & nach** Applikation 100
4.1.2.2.4 Blattsaft pH **zwischen** Applikationen 101
4.1.2.2.5 Blattsaft EC **vor & nach** Applikation 102
4.1.2.2.6 Blattsaft EC **zwischen** Applikationen 103
4.1.2.2.7 Blattsaft Nitrat **vor & nach** Applikation 104
4.1.2.2.8 Blattsaft Nitrat **zwischen** Applikationen 105
4.1.2.2.9 Blattsaft Kalium **vor & nach** Applikation 106
4.1.2.2.10 Blattsaft Kalium **zwischen** Applikationen 107
4.1.2.2.11 Blattsaft Calcium 108
4.1.2.2.12 Blattsaft Natrium **vor & nach** Applikation 108
4.1.2.2.13 Blattsaft Natrium **zwischen** Applikationen 109
4.1.2.3 Bodenaufschwemmung Spinat 110
4.1.2.3.1 pH vor & nach Applikation 110
4.1.2.3.2 pH **zwischen** Applikationen 112
4.1.2.3.3 EC **vor & nach** Applikation 112
4.1.2.3.4 EC **zwischen** Applikationen 113
4.1.2.4 Temperaturunterschiede 114
4.1.2.4.1 Radiesli 115
4.1.2.4.2 Spinat 117
4.1.2.5 Teildiskussion Statistischer Vergleich zwischen Verfahrensmessungen während Vegetations- periode 120
4.1.3 Statistischer Vergleich zwischen Verfahren auf Ertragsparameter 124
4.1.3.1 Radiesli 124
4.1.3.1.1 Knollenanzahl und Knollengewicht 124
4.1.3.1.2 Wurzellänge und -gewicht 126
4.1.3.1.3 Blattmasse 127
4.1.3.2 Spinat 127
4.1.3.2.1 Wurzellänge und Wurzelgewicht 127
4.1.3.2.2 Blattmasse 128
4.1.3.3 Teildiskussion statistischer Vergleich zwischen Verfahren auf Ertragsparameter 129
4.1.4 Deskriptiver Vergleich Blattsaftanalysen NovaCropControl mit Bodenanalysen Labor Ins 129
4.1.4.1 pH, EC, Zucker, $CaCO_3$ und C_{org} 130
4.1.4.2 Kalium 133
4.1.4.3 Calcium 135
4.1.4.4 Magnesium 137
4.1.4.5 Natrium 138
4.1.4.6 Stickstoff 139
4.1.4.7 Chlor 141
4.1.4.8 Schwefel 142
4.1.4.9 Phosphor 143
4.1.4.10 Silizium 144
4.1.4.11 Eisen, Mangan, Zink, Bor, Molybdän, Kupfer und Aluminium 145
4.1.4.12 Basensättigung und Kationenaustauschkapazität (KAK) 148
4.1.4.13 Teildiskussion Deskriptiver Vergleich Blattsaftanalysen NovaCropControl mit Bodenanalysen Labor Ins 149
4.1.5 Qualitative Auswertung Boden-Chroma 152
4.1.6 Interpretation externer Fachpersonen 154
4.1.6.1 Teildiskussion Boden-Chroma 155
4.2 Ergebnisse Nebenversuche 156
4.2.1 Deskriptiver Vergleich Wirbelrichtung Quellwasser 157
4.2.1.1 Teildiskussion deskriptiver Vergleich Wirbelrichtung Quellwasser 158
4.2.2 Unterschiede Wasserbelüftung und Mikrobiom EDAPRO gegenüber VORTEX 160
4.2.2.1 Deskriptiver Vergleich pH, EC und Redox EDAPRO & VORTEX mit/ohne Wasserbelüftung 160
4.2.2.2 Statistische Auswertung Mikrobiometer 162

4.2.2.3 Teildiskussion Unterschiede Wasserbelüftung und Mikrobiom EDAPRO gegenüber VORTEX 162
4.2.3 Merkblatt Komposttee und Ergebnisse Umfrage Praxisanwendung 163
4.2.3.1 Ergebnisse Umfragen Praxisanwendung Komposttee inkl. Teildiskussion 164
4.2.4 Wirtschaftlichkeitsrechnung Winterweizen TOP mit Komposttee 167
4.2.4.1 Teildiskussion Wirtschaftlichkeitsrechnung Winterweizen TOP mit Komposttee 168
5 Gesamtdiskussion 168
5.1 Hauptversuch 168
5.2 Nebenversuche, Umfragen & Wirtschaftlichkeit 172
6 Folgerungen 172
7 Dank 174
8 Literaturverzeichnis 175

Abkürzungsverzeichnis

˚C	Grad Celsius
˚fH	Französischer Härtegrad
µg	Mikrogramm
µS	Mikrosiemens (µS/cm) Einheit für EC-Messung (1µS = 1000mS)
Al	Aluminium
ATC	Automatische Temperatur Kompensation
ATP	Adenosintriphosphat
B	Bor
BCSR	Basic Cation Saturation Rate
BE	Boviseinheit
Ca	Calcium
CaCl	Calciumchlorid
CaO	Calciumoxid
CFE	Chloroform-Fumigation-Extraktion
Cl	Chlor
cm	Zentimeter
C/N	Kohlenstoff-/Stickstoffverhältnis
CO_2	Kohlendioxid
Corg	Organisch gebundener Kohlenstoff
Cu	Kupfer
DOC	dissolved oxygen concentration (mg/l)
EC	Elektrische Leitfähigkeit (mS/cm oder µS/cm)
EM	Effektive Mikroorganismen
Fe	Eisen
FS	Frischsubstanz
g	Gramm
h	Stunden
H^+	Wasserstoff
H_2O	Wasser
H_3O^+	Hydronium
ha	Hektare (10’000m^2)
K	Kalium
K_2O	Kaliumoxid
KAK	Kationenaustauschkapazität
KCl	Kaliumchlorid
l	Liter
Mg	Magensium
MgO	Magnesiumoxid
ml	Mililiter
mm	Milimeter
Mn	Mangan

Mo	Molybdän
mS	Milisiemens (mS/cm) Einheit für EC-Messung (1 mS = 0.001 µS)
N	Gesamtstickstoff
Na	Natrium
Na_2O	Natriumoxid
NADP/ NADPH	Nicotinamidadenindinukleotidphosphat
NaOH	Natriumhydroxid
NCC	NovaCropControl
NH4 (NH_4^+)	Ammonium
NO3 (NO_3^-)	Nitrat
N_{verf}	Verfügbarer Stickstoff (%-Anteil des anfallenden Gesamtstickstoffs in Ernterückständen, Hofdüngern und Gründüngungen, der kurz- oder mittelfristig für die Pflanze verfügbar ist/wird)
ÖLN	Ökologischer Leistungsnachweis
OS	Organische Substanz
P	Phosphor
P_2O_5	Phosphat
PCC	Pfeiffer's Circular Chromotography
RCBD	Randomized complete block design
S	Schwefel
Si	Silizium
SIR	Substrat-induzierte Respiration
Smin	Schwefel mineralisch
SO_3	Schwefeltrioxid
TS	Trockensubstanz
Zn	Zink

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Komposttee-Rezeptur nach Elaine Ingham 22
Tab. 2: Unterschiedliche Basensättigungsverhältnisse 39
Tab. 3: Interpretation Blattsaftmessungen aus BRIX, pH und EC 45
Tab. 4: Verfahrensbeschrieb Hauptversuch 52
Tab. 5: Nährstoffanalyse Mikrobensubstrat «EdaBiom» und Mikrobennahrung "EdaBiom+" 54
Tab. 6: Berechnung Applikationsmenge inkl. Verdünnung 58
Tab. 7: Kulturgrösse bei Applikationszeitpunkt 59
Tab. 8: CHN-Analyse TS-Bestimmung 68
Tab. 9: Daten Wetterstation Wünnewil 71
Tab. 10: Fixe Effekte (Lineares Modell) pH Verfahrensflüssigkeit; Verfahren + Datum 77
Tab. 11: Fixe Effekte (Lineares Modell) EC-Verfahrensflüssigkeit; Verfahren + Datum 77

Tab. 12: Fixe Effekte (Lineares Modell) Redox Verfahrensflüssigkeit; Verfahren + Datum.....78
Tab. 13: Fixe Effekte (Lineares Modell) BRIX vor_nach Applikation; Verfahren + Datum * Zeitpunkt Radiesli 81
Tab. 14: Fixe Effekte (Lineares Modell) Ca-Verfügbarkeit vor_nach Applikation; Verfahren * Zeitpunkt + Datum Radiesli 82
Tab. 15: Fixe Effekte (Lineares Modell) BRIX zwischen Applikationen; Verfahren + Datum Radiesli.....83
Tab. 16: Fixe Effekte (Lineares Modell) Ca-Verfügbarkeit zwischen Applikationen; Verfahren + Datum Radiesli 84
Tab. 17: Fixe Effekte (Lineares Modell) pH vor_nach Applikation; Verfahren * Zeitpunkt + Datum Radiesli 85
Tab. 18: Fixe Effekte (Lineares Modell) pH zwischen Applikationen; Verfahren + Datum Radiesli 85
Tab. 19: Fixe Effekte (Lineares Modell) EC vor_nach Applikation; Zeitpunkt * Datum + Verfahren Radiesli 86
Tab. 20: Fixe Effekte (Lineares Modell) EC zwischen Applikationen; Verfahren + Datum Radiesli.....87
Tab. 21: Fixe Effekte (Lineares Modell) Nitrat vor_nach Applikation; Verfahren * Zeitpunkt + Datum Radiesli 88
Tab. 22: Fixe Effekte (Lineares Modell) Nitrat zwischen Applikationen; Verfahren + Datum Radiesli.....89
Tab. 23: Fixe Effekte (Lineares Modell) Kalium vor_nach Applikation; Datum * Zeitpunkt + Verfahren Radiesli 90
Tab. 24: Fixe Effekte (Lineares Modell) Kalium zwischen Applikationen; Verfahren + Datum Radiesli ...91
Tab. 25: Fixe Effekte (Lineares Modell) Calcium vor_nach Applikation; Verfahren * Zeitpunkt + Datum Radiesli 92
Tab. 26: Fixe Effekte (Lineares Modell) Calcium zwischen Applikationen; Verfahren + Datum Radiesli .94
Tab. 27: Fixe Effekte (Lineares Modell) Natrium vor_nach Applikation; Datum * Zeitpunkt + Verfahren Radiesli 95
Tab. 28: Fixe Effekte (Lineares Modell) Natrium zwischen Applikationen; Verfahren + Datum Radiesli .96
Tab. 29: Fixe Effekte (Lineares Modell) BRIX vor_nach Applikation; Datum * Zeitpunkt + Verfahren Spinat 97
Tab. 30: Fixe Effekte (Lineares Modell) Ca-Verfügbarkeit vor_nach Applikation; Verfahren * Datum + Zeitpunkt Spinat.....98
Tab. 31: Fixe Effekte (Lineares Modell) BRIX zwischen Applikationen; Verfahren + Datum Spinat 99
Tab. 32: Fixe Effekte (Lineares Modell) Ca-Verfügbarkeit zwischen Applikationen; Verfahren + Datum Spinat 100
Tab. 33: Fixe Effekte (Lineares Modell) pH vor_nach Applikation; Verfahren * Datum + Zeitpunkt Spinat 100
Tab. 34: Fixe Effekte (Lineares Modell) pH zwischen Applikationen; Verfahren + Datum Spinat.....101
Tab. 35: Fixe Effekte (Lineares Modell) EC vor_nach Applikation; Verfahren * Datum + Zeitpunkt Spinat 102
Tab. 36: Fixe Effekte (Lineares Modell) EC zwischen Applikationen; Verfahren + Datum Spinat.....104

Tab. 37: Fixe Effekte (Lineares Modell) Nitrat vor_nach Applikation; Verfahren * Datum + Zeitpunkt Spinat 105
Tab. 38: Fixe Effekte (Lineares Modell) Nitrat zwischen Applikationen; Verfahren + Datum Spinat 106
Tab. 39: Fixe Effekte (Lineares Modell) Kalium vor_nach Applikation; Datum * Zeitpunkt + Verfahren Spinat 107
Tab. 40: Fixe Effekte (Lineares Modell) Kalium zwischen Applikationen; Verfahren + Datum Spinat 108
Tab. 41: Fixe Effekte (Lineares Modell) Natrium vor_nach Applikation; Verfahren * Datum + Zeitpunkt Spinat 109
Tab. 42: Fixe Effekte (Lineares Modell) Natrium zwischen Applikationen; Verfahren + Datum Spinat .110
Tab. 43: Fixe Effekte (Lineares Modell) pH vor_nach Applikation; Verfahren * Datum + Zeitpunkt Boden Spinat 111
Tab. 44: Fixe Effekte (Lineares Modell) pH zwischen Applikationen; Verfahren + Datum Boden Spinat 112
Tab. 45: Fixe Effekte (Lineares Modell) EC vor_nach Applikation; Zeitpunkt * Datum + Verfahren Boden Spinat 113
Tab. 46: Fixe Effekte (Lineares Modell) EC zwischen Applikationen; Verfahren + Datum Boden Spinat114
Tab. 47: Fixe Effekte (Lineares Modell) Temperaturdifferenz junges Blatt zur Luft; Verfahren * Datum Radiesli 115
Tab. 48: Fixe Effekte (Lineares Modell) Temperaturdifferenz altes Blatt zur Luft; Verfahren * Datum Radiesli 116
Tab. 49: Fixe Effekte (Lineares Modell) Temperaturdifferenz Unkraut zur Luft; Verfahren + Datum Radiesli 117
Tab. 50: Fixe Effekte (Lineares Modell) Temperaturdifferenz junges Blatt zur Luft; Verfahren * Datum Spinat 118
Tab. 51: Fixe Effekte (Lineares Modell) Temperaturdifferenz altes Blatt zur Luft; Verfahren * Datum Spinat 119
Tab. 52: Fixe Effekte (Lineares Modell) Temperaturdifferenz Unkraut zur Luft; Verfahren * Datum Spinat 120
Tab. 53: Fixe Effekte (Lineares Modell) Knollenanzahl Total; Verfahren Radiesli.....124
Tab. 54: Fixe Effekte (Lineares Modell) Gewicht totaler Anzahl Knollen; Verfahren Radiesli.....125
Tab. 55: Fixe Effekte (Lineares Modell) Anzahl verkäufliche Knollen; Verfahren Radiesli 125
Tab. 56: Fixe Effekte (Lineares Modell) Gewicht verkäufliche Knollen; Verfahren Radiesli.....126
Tab. 57: Fixe Effekte (Lineares Modell) Wurzellänge; Verfahren Radiesli 126
Tab. 58: Fixe Effekte (Lineares Modell) Wurzelgewicht; Verfahren Radiesli.....127
Tab. 59: Fixe Effekte (Lineares Modell) Gewicht Blattmasse; Verfahren Radiesli 127
Tab. 60: Fixe Effekte (Lineares Modell) Wurzellänge; Verfahren Spinat.....128
Tab. 61: Fixe Effekte (Lineares Modell) Wurzelgewicht; Verfahren Spinat 128
Tab. 62: Fixe Effekte (Lineares Modell) Blattmasse; Verfahren Spinat.....129
Tab. 63: pH, Gesamtkalk und Humusgehalt Bodenproben Labor Ins 131

Tab. 64: pH, EC & Zucker Blattsaftanalysen NCC Radiesli 131
Tab. 65: pH, EC & Zucker Blattsaftanalysen NCC Spinat 131
Tab. 66: Vergleich Blattsaftanalyse NCC & Horiba pH Radiesli + Spinat 132
Tab. 67: Vergleich Blattsaftanalyse NCC & Horiba EC Radiesli + Spinat 132
Tab. 68: Kalium Bodenproben Labor Ins 133
Tab. 69: Kalium Blattsaftanalysen NCC Radiesli + Spinat 133
Tab. 70: Vergleich Blattsaftanalyse NCC & Horiba Kalium Radiesli + Spinat 134
Tab. 71: Calcium Bodenproben Labor Ins 135
Tab. 72: Calcium Blattsaftanalysen NCC Radiesli + Spinat 135
Tab. 73: Vergleich Blattsaftanalyse NCC & Horiba Calcium Radiesli + Spinat 136
Tab. 74: Magnesium Bodenproben Labor Ins 137
Tab. 75: Magnesium Blattsaftanalysen NCC Radiesli + Spinat 137
Tab. 76: Natrium Bodenproben Labor Ins 138
Tab. 77: Natrium Blattsaftanalysen NCC Radiesli + Spinat 138
Tab. 78: Vergleich Blattsaftanalyse NCC & Horiba Natrium Radiesli + Spinat 139
Tab. 79: Stickstoff Blattsaftanalysen NCC Radiesli + Spinat 140
Tab. 80: Vergleich Blattsaftanalyse NCC & Horiba Nitrat Radiesli + Spinat 140
Tab. 81: Chlor-Blattsaftanalysen NCC Radiesli + Spinat 141
Tab. 82: Schwefel Bodenproben Labor Ins 142
Tab. 83: Schwefel Blattsaftanalysen NCC Radiesli + Spinat 142
Tab. 84: Phosphor Bodenproben Labor Ins 143
Tab. 85: Phosphor Blattsaftanalysen NCC Radiesli + Spinat 143
Tab. 86: Silizium-Blattsaftanalysen NCC Radiesli + Spinat 144
Tab. 87: Mangan und Eisen Bodenproben Labor Ins 146
Tab. 88: Kupfer, Zink und Bor Bodenproben Labor Ins 146
Tab. 89: Eisen, Mangan, Zink und Bor-Blattsaftanalysen NCC Radiesli + Spinat 147
Tab. 90: Kupfer, Molybdän und Aluminium-Blattsaftanalysen NCC Radiesli + Spinat } 148
Tab. 91: Basensättigung und KAK Bodenproben Labor Ins 149
Tab. 92: Boden-Chroma Vergleich 153
Tab. 93: pH-Wert Wirbelrichtungsvergleich 157
Tab. 94: EC-Wert Wirbelrichtungsvergleich 157
Tab. 95: Redox-Wert Wirbelrichtungsvergleich 157
Tab. 96: pH-Wert Maschinen- und Wasserbelüftungsvergleich 160
Tab. 97: EC-Wert Maschinen- und Wasserbelüftungsvergleich 161
Tab. 98: Redox-Wert Maschinen- und Wasserbelüftungsvergleich 161
Tab. 99: Fixe Effekte (Lineares Modell) Mikrobieller Kohlenstoff; Verfahren 162
Tab. 100: Antworten Umfragen Anwendung Komposttee auf Kulturen 165

Tab. 101: Kostenberechnung Komposttee 167
Tab. 102: Kostenberechnung Ausbringung Komposttee 167
Tab. 103: Kostenberechnung Komposttee-Herstellung 167
Tab. 104: Mehrkosten und nötige Mehrerträge Kompostteeeinsatz Winterweizen TOP 168
Tab. 105: Zusammenfassung statistische Resultate Hauptversuch 169
Tab. 106: Zusammenfassung deskriptive Resultate Hauptversuch 170
Tab. 107: "Rangfolge" Verfahren Hauptversuch nach statistischen und deskriptiven Auswertungen 171
Tab. 108: Statistische Signifikanzen zwischen "KT_CE" und "KT" 172
Tab. 109: Statistische Signifikanzen zwischen Kompostteeverfahren "KT_CE" und "KT" gegenüber "Kontrolle" 173

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Bodenattribute als Indikator für Bodengesundheit 32
Abb. 2: Bodennahrungsnetz in Anlehnung an Elaine Ingham 33
Abb. 3: Mulders Chart - Beziehungen zwischen Nährstoffen 34
Abb. 4: Nachweismethoden der Bodenmikrobiologie 42
Abb. 5: Die Pyramide Pflanzengesundheit nach John Kempf 44
Abb. 6: Situationsplan Versuchsstandort mit Versuchsparzelle (rot), Betrieb Fuchs in Gempenach 48
Abb. 7: Versuchsdesign Gewächshausversuch 51
Abb. 8: Abgesteckte Versuchsparzellen 51
Abb. 9: Saat Spinat und Radiesli 53
Abb. 10: Kompostteemaschine EDAPRO 40l 55
Abb. 11: Wasserwirbel Brausystem 56
Abb. 12: Zugabe "Edabiom+" 56
Abb. 13: Zugabe "Edabiom" 56
Abb. 14: Brauprozess mit Schaum- bildung 56
Abb. 15: Abfüllen Komposttee 56
Abb. 16: Rückenspritze 57
Abb. 17: Spritzfläche 57
Abb. 18: Spritzmengenmessung 57
Abb. 19: Eruierte Spritzmenge 57
Abb. 20: Fertigstellung Applikationsverfahren 58
Abb. 21: Messgerät pH/EC/Redox 58
Abb. 22: Kultur bei 1. Applikation 59
Abb. 23: Kultur bei 2. Applikation 59
Abb. 24: Kultur bei 3. Applikation 59

Abb. 25: Kultur bei 4. Applikation 59
Abb. 26: Vorgehen Pflanzensaftpressung 60
Abb. 27: Applikation Pflanzensaft auf BRIX-Messgerät 61
Abb. 28: Ca-Versorgungswert 2 (schlecht) 61
Abb. 29: Ca-Versorgungswert 5 (sehr gut) 61
Abb. 30: Horiba-LaquaTwin-Geräte für Pflanzensaftanalyse 61
Abb. 31: Ausgrabung Wurzel für Herstellung Bodenaufschwemmung 62
Abb. 32: Herstellung Bodenaufschwemmung 62
Abb. 33: Wetterverlauf Gempenach während Versuch 63
Abb. 34: Probeentnahme für Blattsaftanalyse NovaCropControl 64
Abb. 35: Auslegeordnung Erntevorgehen 64
Abb. 36: Platzierung Ernteparzelle mit Doppelmeter 64
Abb. 37: Ernte Wurzelmasse 65
Abb. 38: Waschvorgang und Messung Wurzellänge 65
Abb. 39: Wiegevorgang Wurzeln 66
Abb. 40: Spinat-Versuchsparzellen nach Ernte 66
Abb. 41: Ernte Radiesli-Blattgrün und Knollen 66
Abb. 42: Wägen marktfähiger (links) und nicht-marktfähiger (rechts) Radiesli Knollen 67
Abb. 43: Step 1 Bodenchroma: Säubern, Mörsern, Sieben, Abwägen 68
Abb. 44: Vorbereitung und Trocknung Filterpapier Chroma-Test 69
Abb. 45: Herstellung und Trocknung Chromas 70
Abb. 46: Brausystem VORTEX 72
Abb. 47: Messungen im Wirbel und Zentrifugenröhrchen 73
Abb. 48: Test Mikrobiometer 73
Abb. 49: Wirbelrichtung links und rechts 74
Abb. 50: Korrelationsmatrix zwischen pH, EC und Redox der Verfahrensflüssigkeiten 76
Abb. 51: Effektplot (Lineares Modell) pH Verfahrensflüssigkeit; Verfahren + Datum 77
Abb. 52: Effektplot (Lineares Modell) EC-Verfahrensflüssigkeit; Verfahren + Datum 77
Abb. 53: Effektplot (Lineares Modell) EC-Verfahrensflüssigkeit; Datum 78
Abb. 54: Effektplot (Lineares Modell) Redox Verfahrensflüssigkeit; Verfahren + Datum 78
Abb. 55: Effektplot (Lineares Modell) Redox Verfahrensflüssigkeit; Datum 78
Abb. 56: Effektplot (Lineares Modell) BRIX vor_nach Applikation; Verfahren + Datum * Zeitpunkt Radiesli 81
Abb. 57: Effektplot (Lineares Modell) BRIX vor_nach Applikation; Verfahren Radiesli 81
Abb. 58: Effektplot (Lineares Modell) Ca-Verfügbarkeit vor_nach Applikation; Verfahren * Zeitpunkt + Datum Radiesli 82
Abb. 59: Effektplot (Lineares Modell) Ca-Verfügbarkeit vor_nach Applikation; Verfahren Radiesli 82

Abb. 60: Effektplot (Lineares Modell) BRIX zwischen Applikationen; Verfahren + Datum Radiesli 83
Abb. 61: Effektplot (Lineares Modell) BRIX zwischen Applikationen; Datum Radiesli 83
Abb. 62: Effektplot (Lineares Modell) BRIX zwischen Applikationen; Verfahren Radiesli.....83
Abb. 63: Effektplot (Lineares Modell) Ca-Verfügbarkeit zwischen Applikationen; Verfahren + Datum Radiesli 84
Abb. 64: Effektplot (Lineares Modell) Ca-Verfügbarkeit zwischen Applikationen; Datum Radiesli 84
Abb. 65: Effektplot (Lineares Modell) Ca-Verfügbarkeit zwischen Applikationen; Verfahren Radiesli 84
Abb. 66: Effektplot (Lineares Modell) pH vor_nach Applikation; Verfahren Radiesli 85
Abb. 67: Effektplot (Lineares Modell) pH zwischen Applikationen; Verfahren + Datum Radiesli.....85
Abb. 68: Effektplot (Lineares Modell) pH zwischen Applikationen; Datum Radiesli.....86
Abb. 69: Effektplot (Lineares Modell) pH zwischen Applikationen; Verfahren Radiesli 86
Abb. 70: Effektplot (Lineares Modell) EC vor_nach Applikation; Zeitpunkt * Datum + Verfahren Radiesli 86
Abb. 71: Effektplot (Lineares Modell) EC vor_nach Applikation; Datum Radiesli 87
Abb. 72: Effektplot (Lineares Modell) EC vor_nach Applikation; Verfahren Radiesli.....87
Abb. 73: Effektplot (Lineares Modell) EC zwischen Applikationen; Verfahren + Datum Radiesli 87
Abb. 74 : Effektplot (Lineares Modell) EC zwischen Applikationen; Datum Radiesli 88
Abb. 75: Effektplot (Lineares Modell) EC zwischen Applikationen; Verfahren Radiesli 88
Abb. 76: Effektplot (Lineares Modell) Nitrat vor_nach Applikation; Verfahren * Zeitpunkt + Datum Radiesli 88
Abb. 77: Effektplot (Lineares Modell) Nitrat vor_nach Applikation; Datum Radiesli.....89
Abb. 78: Effektplot (Lineares Modell) Nitrat vor_nach Applikation; Verfahren Radiesli.....89
Abb. 79: Effektplot (Lineares Modell) Nitrat zwischen Applikationen; Verfahren + Datum Radiesli 89
Abb. 80: Effektplot (Lineares Modell) Nitrat zwischen Applikationen; Datum Radiesli.....90
Abb. 81: Effektplot (Lineares Modell) Nitrat zwischen Applikationen; Verfahren Radiesli.....90
Abb. 82: Effektplot (Lineares Modell) Kalium vor_nach Applikation; Datum * Zeitpunkt + Verfahren Radiesli 90
Abb. 83: Effektplot (Lineares Modell) Kalium vor_nach Applikation; Datum Radiesli.....91
Abb. 84: Effektplot (Lineares Modell) Kalium vor_nach Applikation; Verfahren Radiesli.....91
Abb. 85: Effektplot (Lineares Modell) Kalium zwischen Applikationen; Verfahren + Datum Radiesli.....91
Abb. 86: Effektplot (Lineares Modell) Kalium zwischen Applikationen; Datum Radiesli.....92
Abb. 87: Effektplot (Lineares Modell) Kalium zwischen Applikationen; Verfahren Radiesli.....92
Abb. 88: Effektplot (Lineares Modell) Calcium vor_nach Applikation; Verfahren * Zeitpunkt + Datum Radiesli 92
Abb. 89: Effektplot (Lineares Modell) Calcium vor_nach Applikation; Datum Radiesli.....93
Abb. 90: Effektplot (Lineares Modell) Calcium vor_nach Applikation; Zeitpunkt Radiesli 93
Abb. 91: Effektplot (Lineares Modell) Calcium vor_nach Applikation; Verfahren Radiesli 93
Abb. 92: Effektplot (Lineares Modell) Calcium zwischen Applikationen; Verfahren + Datum Radiesli....94

Abb. 93: Effektplot (Lineares Modell) Calcium zwischen Applikationen; Datum Radiesli 94
Abb. 94: Effektplot (Lineares Modell) Calcium zwischen Applikationen; Verfahren Radiesli 94
Abb. 95: Effektplot (Lineares Modell) Natrium vor_nach Applikation; Datum * Zeitpunkt + Verfahren Radiesli 95
Abb. 96: Effektplot (Lineares Modell) Natrium vor_nach Applikation; Datum Radiesli 95
Abb. 97: Effektplot (Lineares Modell) Natrium vor_nach Applikation; Verfahren Radiesli 95
Abb. 98: Effektplot (Lineares Modell) Natrium zwischen Applikationen; Verfahren + Datum Radiesli....96
Abb. 99: Effektplot (Lineares Modell) Natrium zwischen Applikationen; Datum Radiesli 96
Abb. 100: Effektplot (Lineares Modell) Natrium zwischen Applikationen; Verfahren Radiesli 96
Abb. 101: Effektplot (Lineares Modell) BRIX vor_nach Applikation; Datum * Zeitpunkt + Verfahren Spinat 97
Abb. 102: Effektplot (Lineares Modell) BRIX vor_nach Applikation; Verfahren Spinat 97
Abb. 103: Effektplot (Lineares Modell) Ca-Verfügbarkeit vor_nach Applikation; Verfahren * Datum + Zeitpunkt Spinat.....98
Abb. 104: Effektplot (Lineares Modell) Ca-Verfügbarkeit vor_nach Applikation; Verfahren * Datum + Zeitpunkt Spinat.....98
Abb. 105: Effektplot (Lineares Modell) Ca-Verfügbarkeit vor_nach Applikation; Verfahren * Datum + Zeitpunkt Spinat.....98
Abb. 106: Effektplot (Lineares Modell) BRIX zwischen Applikationen; Verfahren + Datum Spinat.....99
Abb. 107: Effektplot (Lineares Modell) BRIX zwischen Applikationen; Datum Spinat 99
Abb. 108: Effektplot (Lineares Modell) BRIX zwischen Applikationen; Verfahren Spinat 99
Abb. 109: Effektplot (Lineares Modell) Ca-Verfügbarkeit zwischen Applikationen; Verfahren Spinat...100
Abb. 110: Effektplot (Lineares Modell) pH vor_nach Applikation; Verfahren * Datum + Zeitpunkt Spinat 100
Abb. 111: Effektplot (Lineares Modell) pH vor_nach Applikation; Datum Spinat 101
Abb. 112: Effektplot (Lineares Modell) pH vor_nach Applikation; Verfahren Spinat 101
Abb. 113: Effektplot (Lineares Modell) pH zwischen Applikationen; Verfahren + Datum Spinat 101
Abb. 114: Effektplot (Lineares Modell) pH zwischen Applikationen; Datum Spinat 102
Abb. 115: Effektplot (Lineares Modell) pH zwischen Applikationen; Verfahren Spinat 102
Abb. 116: Effektplot (Lineares Modell) EC vor_nach Applikation; Verfahren * Datum + Zeitpunkt Spinat 102
Abb. 117: Effektplot (Lineares Modell) EC vor_nach Applikation; Datum Spinat.....103
Abb. 118: Effektplot (Lineares Modell) EC vor_nach Applikation; Zeitpunkt Spinat 103
Abb. 119: Effektplot (Lineares Modell) EC vor_nach Applikation; Verfahren Spinat.....103
Abb. 120: Effektplot (Lineares Modell) EC zwischen Applikationen; Verfahren + Datum Spinat.....104
Abb. 121: Effektplot (Lineares Modell) EC zwischen Applikationen; Datum Spinat.....104
Abb. 122: Effektplot (Lineares Modell) EC zwischen Applikationen; Verfahren Spinat.....104

Abb. 123: Effektplot (Lineares Modell) Nitrat vor_nach Applikation; Verfahren * Datum + Zeitpunkt Spinat 105
Abb. 124: Effektplot (Lineares Modell) Nitrat vor_nach Applikation; Datum Spinat 105
Abb. 125: Effektplot (Lineares Modell) Nitrat vor_nach Applikation; Verfahren Spinat 105
Abb. 126: Effektplot (Lineares Modell) Nitrat zwischen Applikationen; Verfahren + Datum Spinat 106
Abb. 127: Effektplot (Lineares Modell) Nitrat zwischen Applikationen; Datum Spinat 106
Abb. 128: Effektplot (Lineares Modell) Nitrat zwischen Applikationen; Verfahren Spinat 106
Abb. 129: Effektplot (Lineares Modell) Kalium vor_nach Applikation; Datum * Zeitpunkt + Verfahren Spinat 107
Abb. 130: Effektplot (Lineares Modell) Kalium vor_nach Applikation; Datum Spinat 107
Abb. 131: Effektplot (Lineares Modell) Kalium vor_nach Applikation; Verfahren Spinat 107
Abb. 132: Effektplot (Lineares Modell) Kalium zwischen Applikationen; Verfahren + Datum Spinat 108
Abb. 133: Effektplot (Lineares Modell) Kalium zwischen Applikationen; Datum Spinat 108
Abb. 134: Effektplot (Lineares Modell) Kalium zwischen Applikationen; Verfahren Spinat 108
Abb. 135: Effektplot (Lineares Modell) Natrium vor_nach Applikation; Verfahren * Datum + Zeitpunkt Spinat 109
Abb. 136: Effektplot (Lineares Modell) Natrium vor_nach Applikation; Datum Spinat 109
Abb. 137: Effektplot (Lineares Modell) Natrium vor_nach Applikation; Verfahren Spinat 109
Abb. 138: Effektplot (Lineares Modell) Natrium zwischen Applikationen; Verfahren + Datum Spinat .. 110
Abb. 139: Effektplot (Lineares Modell) pH vor_nach Applikation; Verfahren * Datum + Zeitpunkt Boden Spinat 111
Abb. 140: Effektplot (Lineares Modell) pH vor_nach Applikation; Datum Boden Spinat 111
Abb. 141: Effektplot (Lineares Modell) pH vor_nach Applikation; Zeitpunkt Boden Spinat 111
Abb. 142: Effektplot (Lineares Modell) pH vor_nach Applikation; Verfahren Boden Spinat 111
Abb. 143: Effektplot (Lineares Modell) pH zwischen Applikationen; Verfahren + Datum Boden Spinat 112
Abb. 144: Effektplot (Lineares Modell) pH zwischen Applikationen; Datum Boden Spinat 112
Abb. 145: Effektplot (Lineares Modell) pH zwischen Applikationen; Verfahren Boden Spinat 112
Abb. 146: Effektplot (Lineares Modell) EC vor_nach Applikation; Zeitpunkt * Datum + Verfahren Boden Spinat 113
Abb. 147: Effektplot (Lineares Modell) EC vor_nach Applikation; Datum Boden Spinat 113
Abb. 148: Effektplot (Lineares Modell) EC vor_nach Applikation; Verfahren Boden Spinat 113
Abb. 149: Effektplot (Lineares Modell) EC zwischen Applikationen; Verfahren + Datum Boden Spinat 114
Abb. 150: Effektplot (Lineares Modell) EC zwischen Applikationen; Datum Boden Spinat 114
Abb. 151: Effektplot (Lineares Modell) EC zwischen Applikationen; Verfahren Boden Spinat 114
Abb. 152: Effektplot (Lineares Modell) Temperaturdifferenz junges Blatt zur Luft; Verfahren * Datum Radiesli 115
Abb. 153: Effektplot (Lineares Modell) Temperaturdifferenz junges Blatt zur Luft; Datum Radiesli 115
Abb. 154: Effektplot (Lineares Modell) Temperaturdifferenz junges Blatt zur Luft; Verfahren Radiesli . 115

Abb. 155: Effektplot (Lineares Modell) Temperaturdifferenz altes Blatt zur Luft; Verfahren * Datum Radiesli 116
Abb. 156: Effektplot (Lineares Modell) Temperaturdifferenz altes Blatt zur Luft; Datum Radiesli....116
Abb. 157: Effektplot (Lineares Modell) Temperaturdifferenz altes Blatt zur Luft; Verfahren Radiesli....116
Abb. 158: Effektplot (Lineares Modell) Temperaturdifferenz Unkraut zur Luft; Verfahren + Datum Radiesli 117
Abb. 159: Effektplot (Lineares Modell) Temperaturdifferenz Unkraut zur Luft; Datum Radiesli....117
Abb. 160: Effektplot (Lineares Modell) Temperaturdifferenz Unkraut zur Luft; Verfahren Radiesli....117
Abb. 161: Effektplot (Lineares Modell) Temperaturdifferenz junges Blatt zur Luft; Verfahren * Datum Spinat 118
Abb. 162: Effektplot (Lineares Modell) Temperaturdifferenz junges Blatt zur Luft; Datum Spinat....118
Abb. 163: Effektplot (Lineares Modell) Temperaturdifferenz junges Blatt zur Luft; Verfahren Spinat ...118
Abb. 164: Effektplot (Lineares Modell) Temperaturdifferenz altes Blatt zur Luft; Verfahren * Datum Spinat 119
Abb. 165: Effektplot (Lineares Modell) Temperaturdifferenz altes Blatt zur Luft; Datum Spinat....119
Abb. 166: Effektplot (Lineares Modell) Temperaturdifferenz altes Blatt zur Luft; Verfahren Spinat 119
Abb. 167: Effektplot (Lineares Modell) Temperaturdifferenz Unkraut zur Luft; Verfahren * Datum Spinat 120
Abb. 168: Effektplot (Lineares Modell) Temperaturdifferenz Unkraut zur Luft; Datum Spinat....120
Abb. 169: Effektplot (Lineares Modell) Temperaturdifferenz Unkraut zur Luft; Verfahren Spinat....120
Abb. 170: Effektplot (Lineares Modell) Knollenanzahl Total; Verfahren Radiesli 124
Abb. 171: Effektplot (Lineares Modell) Gewicht totaler Anzahl Knollen; Verfahren Radiesli 125
Abb. 172: Effektplot (Lineares Modell) Anzahl verkäufliche Knollen; Verfahren Radiesli 125
Abb. 173: Effektplot (Lineares Modell) Gewicht verkäufliche Knollen; Verfahren Radiesli 126
Abb. 174: Effektplot (Lineares Modell) Wurzellänge; Verfahren Radiesli 126
Abb. 175: Effektplot (Lineares Modell) Wurzelgewicht; Verfahren Radiesli 127
Abb. 176: Effektplot (Lineares Modell) Gewicht Blattmasse; Verfahren Radiesli 127
Abb. 177: Effektplot (Lineares Modell) Wurzellänge; Verfahren Spinat 128
Abb. 178: Effektplot (Lineares Modell) Wurzelgewicht; Verfahren Spinat....128
Abb. 179: Effektplot (Lineares Modell) Blattmasse; Verfahren Spinat....129
Abb. 180: Identifikation Zoneneinteilung Boden-Chroma....152
Abb. 181: Ausgefallener Kalk nach Wasserbelüftung 158
Abb. 182: Effekte (Lineares Modell) Mikrobieller Kohlenstoff; Verfahren 162

Abstract

FREIBURGHAUS, Monika. Komposttee – Einfluss unterschiedlicher pH im Komposttee auf Ertrag, Blattsaft, Boden und Pflanzengesundheit. Zusätzliche Versuche zu Wirbelrichtung, Vergleich Komposttеemaschinen, Wasserbelüftung und Einsatz microBIOMETER®.

Diskussionen über den Einsatz von Pflanzenschutzmittel nehmen zu, so auch deren Verbote. Die Weltbevölkerung steigt und mit ihr die Nachfrage nach Nahrungsmittel. Bodendegradationen und damit Verluste an Ackerflächen und deren Fruchtbarkeit, sowie eine Zunahme an Krankheitsresistenzen der Kulturen stellen die Landwirtschaft vor grosse Herausforderungen. Dem Einsatz von Komposttee, einem wässrigen Kompost-Auszug, werden pflanzenstärkende und bodenaufbauende Effekte zugeschrieben, womit eine nachhaltige Alternative zum herkömmlichen Pflanzenschutz geboten werden kann. Es bestehen viele Studien über die Wirkung von Komposttee, fehlend sind Versuche über den Einfluss unterschiedlicher pH-Werte der Flüssigkeit. Bei einem Blattsaft-pH um 6.4 zeigt sich eine gute Pflanzenernährung und Abwehrkraft. Komposttee hat jedoch meistens einen höheren pH. Anhand dieser Arbeit wurde der Einsatz eines pH-Senkers getestet. Im Hauptversuch wurde an Radiesli und Spinat in einem randomisierten Blockversuch vier Verfahren auf Ertrags- und Gesundheitsparameter untersucht: «Kontrolle» (Wasser), «KT» (Komposttee 1:2 verdünnt), «KT_CE» (Komposttee 1:2 verdünnt mit pH-Senker auf pH 6.3) und «CE» (Wasser mit pH-Senker auf pH 6.3). Es erfolgten vier Blattspritzungen im Abstand von zwei Wochen. In Nebenversuchen wurde der Einfluss der Wirbelrichtung («links»/«rechts») auf Wasser, sowie der Komposttee zweier Brausysteme («EDAPRO»/«VORTEX») mit und ohne vorangehende Wasserbelüftung unter anderem auf mikrobielle Aktivität verglichen. «KT_CE» zeigte sich im Hauptversuch in den Ertragsparametern (Knollenanzahl, Knollengewicht, Blattmasse) beider Kulturen signifikant unterschiedlich zur Kontrolle (p=0.009-0.041), nicht aber zu «KT». Bei der Wurzellänge des Spinats hoben sich «KT» und «KT_CE» signifikant ab (p=<0.001). Im Blattsaft-pH wurden keine Signifikanzen zwischen den Verfahren festgestellt, so auch nicht bei den BRIX-Messungen. Einzig bei gewissen Bodenaufschwemmungs-, Blattsaft- und Temperaturmessparametern unterschieden sich «KT_CE» und «KT» signifikant voneinander (p=0.001-0.039). Die Kulturen zeigten untereinander grosse Unterschiede in Bezug auf die Verfahren. Diese erschwerten eine deutliche Auswertung und Interpretation der Resultate. Deskriptive Auswertungen von Blattsaftanalysen (NovaCropControl) und Bodenparameter (Bodenproben, Boden-Chroma) der Verfahren wurden quantifiziert und zusammen mit den statistischen Auswertungen in ein Punktesystem übertragen. Daraus resultierte «KT_CE» mit der höchsten Punktezahl an «besten» Parametern, «Kontrolle» mit der höchsten Anzahl «schlechteste» Parameter. Das beste Verhältnis «beste» zu «schlechteste» wies «KT» auf. Die Nebenversuche zeigten zwischen Wirbelrichtung «links» und «rechts» minime Differenzen in pH, EC und Redox von Wasser. Deutlich zeigte sich dennoch der Einfluss der vorangehenden Wasserbelüftung, welche zu einem stark erhöhten pH, sowie markant tieferen EC und Redox führte. «EDAPRO» zeigte jeweils höhere pH-, EC- und Redox-Werte gegenüber «VORTEX», wobei Unterschiede zwischen «mit»/«ohne» vorangehender Wasserbelüftung sichtbar waren. Der Komposttee von «EDAPRO» wies zudem eine signifikant höhere mikrobielle Aktivität gegenüber «VORTEX» auf (p=0.004-0.005). Basierend auf den Resultaten dieser Arbeit zeigt Komposttee mit Zugabe eines pH-Senkers vielversprechende Resultate, welche für deren Stabilität noch weiter untersucht werden müssen. Weitere Versuche sind zusätzlich in Bezug auf Wirbelrichtung, vorangehender Wasserbelüftung und Brausysteme gefordert.

Schlagwörter: compost tea, pH stabilizer, yield, plant sap, soil health, microbiometer

1 Einleitung

Die Nachfrage nach Futterpflanzen und Nahrungsmittel steigt weltweit kontinuierlich (Ray et al. 2013). Einerseits aufgrund der rasant wachsenden Weltbevölkerung, anderseits aufgrund Wohlstandsverschiebungen und daraus resultierende Ernährungsveränderungen (Ray et al. 2013). Es wird damit gerechnet, dass bis ins Jahr 2050 die Produktion um 50-110% gesteigert werden muss, um diese Nachfrage decken zu können (Tilman et al. 2011; Ray et al. 2013; FAO 2021). Vor ähnlichen Herausforderungen stand die Landwirtschaft bereits Anfang des 20. Jahrhunderts, konnten jedoch durch die grüne Revolution grösstenteils bewältigt werden (Krebs und Bach 2018). Fortschritte in Pflanzenzüchtung und Maschinenbau, sowie die Erfindung von Mineraldüngern und chemisch-synthetischen Pflanzenschutzmitteln hatten dabei den grössten Einfluss und brachten höhere Erträge, geringere Arbeitsaufwände und verbesserte Nahrungsmittelqualität und -sicherheit mit sich (Krebs und Bach 2018). Die damit ausgelösten Eingriffe in das gesamte Ökosystem der Erde zeigten sich erst Jahre später unter anderem mit Bodendegradation, Biodiversitätsverluste, schwindenden Wasserreservoirs, Klimaerwärmung, Zunahme von Treibhausgasemissionen, Resistenzen und Gesundheitsproblemen (Mollison und Holmgren 1984, 18–19; Foley et al. 2005; Hathaway 2016; Krebs und Bach 2018). In der Schweiz zeigt sich seitens der Bevölkerung ein zunehmender Druck auf die Landwirtschaft in Bezug auf den Einsatz von Pflanzenschutzmittel, welche nachweislich Rückstände in der Umwelt und an Nahrungsmitteln hinterlassen (Tamm et al. 2018). Vom Bundesrat wurde am 06. September 2017 der Aktionsplan zur Risikoreduktion und nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmittel verabschiedet mit dem Ziel, einer Risikoreduktion von 50% und der Förderung von Alternativen (BLW 2023). Am 13. April 2022 wurde zudem vom Bundesrat die parlamentarische Initiative 19.475 angenommen, welche Massnahmenpakete unter anderem in Bezug auf Pflanzenschutzmittel- und Nährstoffreduktionen, Förderung von Biodiversität und bodenschonenden Anbautechniken beinhaltet (BLW 2022). Ressourcenschonende und nachhaltige Alternativen sind Folge dessen gefragt, um Pflanzen gegen Schädlinge und Krankheiten zu stärken. Eine solche Alternative kann der Einsatz von Komposttee, einem wässrigen Kompost-Auszug voller Mikrobiologie, bieten. Die Pflanzen werden durch eine Blatt- und/oder Bodenapplikation mit Komposttee vitalisiert und gestärkt, sowie die Mikrobiologie im Boden verbessert (Ingham 2005, 23). Der pH-Wert einer Pflanze hat Einfluss auf deren Gesundheit und Abwehrkräfte, wobei bei einem pH von 6.4 eine gute Pflanzenernährung und entsprechend Pflanzengesundheit vorherrscht (Nimmrichter 2021). Reifer Kompost hat einen pH zwischen 7.5 bis 8.5 (Agridea 2013). Der pH beim Leitungswasser in der Schweiz liegt um 7.5 (SVGW 2022; ewb 2023). Beim Brauverfahren von Komposttee steigt der pH grundsätzlich etwas an, abhängig von der Zusammensetzung des Komposts (Kim et al. 2015).Im Hauptversuch dieser Arbeit wird aufgrund dieser pH-Diskrepanz der Effekt von Komposttee, einerseits mit und anderseits ohne pH-Senker im Gewächshaus auf Radiesli und Spinat untersucht. Dabei sollen folgende Forschungsfragen beantwortet werden:

- Hat der Einsatz eines pH-Senkers im Komposttee einen signifikanten Einfluss auf verschiedene Parameter (Ertrag, pH/EC/Redox der Spritzbrühe, Temperaturunterschiede Blatt zu Luft, Blattsaftmessungen, Bodenfruchtbarkeit, Pflanzengesundheit) im Vergleich zum normalen Kompostteeverfahren?
- Hat der Einsatz von Komposttee (mit und ohne pH-Senker) einen signifikanten Einfluss auf verschiedene Parameter (Ertrag, pH/EC/Redox der Spritzbrühe, Temperaturunterschiede Blatt zu Luft, Blattsaftmessungen, Bodenfruchtbarkeit, Pflanzengesundheit) im Vergleich zur Kontrolle?

In zusätzlichen Nebenversuchen wird einerseits zusätzlich die Wirbelrichtung von Wasser in der Komposttemaschine auf Unterschiede in pH, EC und Redox angeschaut. Anderseits werden zwei Kompostteemaschinen mit ihren Rezepturen auf den Einfluss (k)einer vorgehenden Wasserbelüftung (24h) auf pH, EC, Redox und die mikrobielle Aktivität verglichen.

2 Stand der Forschung

Die folgenden Unterkapitel beschäftigen sich mit den Themen, die in dieser Arbeit untersucht werden und beziehen sich unter anderem auf bisherige Forschungsergebnisse und Erfahrungen von Fachpersonen. Aufgrund der umfangreichen Arbeit, wird dieses Kapitel versucht möglichst kompakt zu halten. Weitere Verlinkungen zur Literatur folgen in den jeweiligen Teildiskussionen.

2.1 Komposttee

Die Blatt- und Bodenanwendung von flüssigen Extrakten aus Kompost ist seit den 1920er Jahren in der Literatur bekannt und wird teilweise bereits den Römern zugesagt (Koepf et al. 1989; Scheuerell und Mahaffee 2002). Komposttee wird von Ingham (2005, 1) in einfachster Form definiert als ein, durch einen kalten Brauvorgang erzeugtes, wässriges Extrakt aus Kompost. Wird Kompost mit Wasser gemischt, kann entweder «aerated compost tea» (ACT), belüfteter Komposttee oder «non-aerated compost tea» (NCT), unbelüfteter Komposttee hergestellt werden (Hatam et al. 2015). Aus dem Kompost werden während der Herstellung vom Komposttee Mikroorganismen und Nährstoffe herausgelöst, welche die Pflanze vor Krankheiten und Schädlingen schützen, mit Nährstoffen versorgen und die Pflanzengesundheit verbessern sollen (Hatam et al. 2015). Eine Vitalisierung durch Komposttee hilft Pflanzen dabei, abiotischen Stress besser zu bewältigen und verbindet die Pflanze mit den Bodenorganismen (Näser 2021, 98). Die im Kompost vorkommende Biologie wird während des Brauvorgangs vermehrt (Scheuerell und Mahaffee 2002). Die Wirkung von Komposttee variiert je nach Ausgangsmaterial des Komposts, der zu behandelnden Kultur und dem Betriebsmanagement (Pant et al. 2012).

Nebst Komposttee im ACT- und NCT-Verfahren, gibt es noch andere Vorgehen, wie beispielsweise das Kompostextrakt, Kompost-Sickerwasser/Auslaugung, aerober Komposttee, etc. (Ingham 2005, 3). Darauf wird jedoch nicht näher eingegangen. In der Literatur besteht in der Terminologie von Komposttee und den anderen Verfahren eine gewisse Uneinigkeit (Scheuerell und Mahaffee 2002; Mahaffee und Scheuerell 2006, 167).

2.1.1 Kompost

Kompost ist neben Wasser die wichtigste Zutat im Komposttee (Ingham 2005, 1). Die Qualität des Komposts ist entsprechend ausschlaggebend für die Qualität des Komposttees (Ingham 2005, 4). Alle chemischen, physikalischen und biologischen Komponenten die im Kompost stecken, werden auf den Komposttee übertragen (Scheuerell und Mahaffee 2002). Ein guter Qualitäts-Kompost wird von Pant et al. (2012) mit folgenden Attributen beschrieben: Fein strukturiert, feucht, frei von Pathogenen, hoher Gehalt an nützlichen Mikroorganismen, lösliche mineralische Nährstoffe, Huminstoffe, Phytohormone und tiefe Gehalte an phytotoxischen, organischen Säuren und Schwermetallen. Komposteigenschaften sind abhängig vom Ausgangsmaterial, Kompostiermethode und dem Reifegrad (Pant et al. 2012).

Ausgangsmaterial von Kompost ist immer organisches Material, welches von Küchenabfällen, Grasschnitt bis hin zu tierischen Produkten reichen kann und entscheidend für den Kompostierprozess und die Qualität des Endresultats ist (Rynk et al. 2022). Wichtig ist ein Kohlenstoff-/Stickstoffverhältnis (C/N) von 25-30:1 (Inckel und Tersmette 2005, 14). Junge Blätter und Mist haben ein hohes Stickstoffverhältnis, während trockene Blätter und Zweige, Ernterückstände von Getreide und Mais, Holzschnitzel, Kaffeesatz und Karton ein hohes Kohlenstoffverhältnis aufweisen (Inckel und Tersmette 2005, 15).

Kompostiert kann im grösseren und kleineren Stil werden, in geschlossenen Systemen (Reaktoren) oder offenen Systemen (Mieten), sowie mit oder ohne Wenden (Gomez 1998).

Im aeroben Kompostierverfahren werden den nützlichen Mikroorganismen passende Bedingungen für eine Vermehrung und strategische Vorteile gegenüber den pathogenen Mikroorganismen geschaffen (Ingham 2005, 4). Während aerobe Kompostierprozesse gewöhnlich eine thermophile Phase (45-65˚C) durchlaufen, in der unstabile organische Substanz abgebaut und Pathogene zu einem grossen Teil reduziert werden, wird beim Wurmkompost keine solche heisse Phase durchlaufen, da die Kompostierwürmer Temperaturen über 35˚C nicht überleben (Tognetti et al. 2005). Wurmkompost weist grundsätzlich eine höhere Menge an pflanzenverfügbaren Nährstoffen, sowie eine grössere und diversere Mikrobenpopulation auf (Tognetti et al. 2005). El-Shaieny et al. (2022) fanden heraus, dass sich Komposttee aus einer Mischung von Kompost und Vermicompost positiv auf Ertrag, BRIX-Gehalt und Trockensubstanz von Zwiebeln auswirken.

Kompost beinhaltet eine riesige Diversität an Bakterien, Pilzen, Protozoen und Nematoden, welche in den Böden von essenzieller Bedeutung sind (Ingham 2005, 2). So sind je über 300µg Bakterien und Pilze, über 50'000 Protozoen, über 60 Nematoden, ca. 16mg Stickstoff, ca. 9mg Phosphor und ähnliche Mengen an anderen Nährstoffen in nur einem Gramm Kompost vorhanden (Ingham 2005, 10). Je nach Zusammensetzung und Qualität des Komposts können entsprechend zwischen 25’000-500'000 Individuen in einem Gramm Kompost enthalten sein (Ingham 2005, 12). Mittels Komposttee können die Vorzüge von Kompost anhand einer kleinen Menge an qualitativ hochstehendem Material exponentiell vervielfacht werden (Ingham 2005, 2).

Das Vorgehen ums Kompostieren und die beeinflussenden Faktoren dazu werden in der Literatur grosszügig behandelt und es wird entsprechend darauf verwiesen (z.B. Gomez 1998; Insam et al. 2002; Epstein 2017).

2.1.2 Herstellung

Bei der Herstellung von Komposttee gibt es viele Methoden, jedoch wird grundsätzlich zwischen zwei Hauptverfahren unterschieden: Eines davon unter Luftzufuhr, sprich aeroben Verhältnissen, der sogenannte «belüftete», «aerated compost tea» (ACT), das andere ohne oder nur minimer Luftzufuhr, in nicht-aeroben Verhältnissen, der sogenannt «unbelüftete», «non-aerated compost tea» (NTC) (Mahaffee und Scheuerell 2006, 167). Weiter gibt es in Bezug auf die Rezeptur von Komposttee unzählige Varianten, wobei die Grundsubstanzen Wasser und Kompost überall enthalten sind.

2.1.2.1 Aerated compost tea (ACT)

Im ACT-Verfahren wird der Komposttee im Brausystem aktiv während des Brauprozesses belüftet (St. Martin 2014). In einem ACT-Verfahren dominieren aerobe Mikroorganismen, welche Sauerstoff für deren Überleben und Vermehrung benötigen (St. Martin 2014). Für die Herstellung von ACT gibt es mehrere mögliche Geräte (Hörner ohne Datum). Nach dem Prinzip des Försters und Naturforschers Viktor Schauberger werden beispielsweise sogenannte Vortex-, Spiral-, oder Wirbelbrausysteme hergestellt (Hörner ohne Datum). Seine Philosophie bestand im Verstehen und Nachahmen der Natur «Natur kapieren, dann kopieren» (Harthun 2008). Schauberger stellte fest, dass sich Forellen in starken Strömungen bewegungslos verhalten und urplötzlich blitzschnell gegen die Strömung fliehen können (Seiler 2013).

Seine Beobachtungen führten zum Prinzip der Implosion, wobei Wirbelströmungen, welche gegen innen gerichtet sind, grosse aufsteigende Kräfte mit sich bringen (Seiler 2013). Eine Sauerstoffanreicherung ist mit dem Vortex-System auf sehr effektive Weise möglich (Hörner ohne Datum). Dabei kann die Wirbelrichtung reguliert werden. Laut Hörner (ohne Datum) ist eine Drehung gegen den Uhrzeigersinn (linksdrehend) nach den biodynamischen Grundsätzen für die Stärkung der Wurzeln und des Bodens, während mit dem Uhrzeigersinn die Blüte und Fruchtreife gefördert wird. Ein in der Schweiz hergestelltes Vortex-System, wird von EDAPRO GmbH angeboten. EM-Schweiz vertreibt das Vortex System von VORTEX Energie GmbH (Gerhard Weisshäupl) aus Österreich. Andere Möglichkeiten zur Belüftung sind beispielsweise die Brausysteme mit Mikro-Bläschen Diffusion von Growing Solutions Inc. aus den USA, welche durch die Bionika AG vertrieben werden.

2.1.2.2 Non-aerated compost tea (NCT)

Bei der Herstellung von NCT wird laut Weltzien (1991) und Scheuerell und Mahaffee (2002) normalerweise ein Teil Kompost mit vier bis zehn Teilen Wasser in einen offenen Behälter gefüllt und nach kurzem Rühren bei 15-25°C für mindestens drei Tage stehengelassen. Wird alle zwei bis drei Tage etwas gerührt, können laut Brinton (1995) in Scheuerell und Mahaffee (2002) Mikroben besser vom Kompost gelöst werden. In einem NCT-Verfahren werden grösstenteils anerobe Mikroorganismen gefördert, die mit tiefen Sauerstoffkonzentrationen auskommen (St. Martin 2014). In dieser Arbeit wird mit dem ACT-Verfahren gearbeitet, daher wird von diesem Punkt an nicht mehr näher auf die NCT-Methode eingegangen. Das NCT-Verfahren wurde jedoch in vielen Studien positiv auf krankheitsunterdrückende Parameter getestet und zeigt trotz seines mehrheitlich anerob-dominierenden Milieus nachweislich gute Wirkung (vgl. Scheuerell und Mahaffee 2002; Scheuerell und Mahaffee 2004, 2006; Wafaa M Haggag und M S M Saber 2007).

2.1.2.3 Rezepturen und Brauvorgang

Das Wasser zu Kompost Verhältnis ist für jede Maschine etwas anders und muss erprobt werden (Ingham 2005, 39). Laut Scheuerell und Mahaffee (2002) ist in den meisten Studien ein Verhältnis Kompost zu Wasser von 1:1 bis 1:10, teilweise bis 1:50 angewendet worden. Ein Verhältnis von 1:50 (NCT-Verfahren) resultierte laut Weltzien (1990) in Scheuerell und Mahaffee (2002) bei der Bekämpfung von Kraut- und Knollenfäule in einem Wirkungsverlust. Für eine optimale Kombination zwischen chemischen und mikrobiellen Komponenten von Komposttee empfiehlt Islam et al. (2016) ein Verhältnis von 1 Teil Kompost zu 2.5 Teilen Wasser.

Es sollte kein Wasser mit hohen Salz-, Metall-, Nitrat-, Chlor-, Schwefel und Carbonatwerten für den Brauvorgang eingesetzt werden (Ingham 2005, 40). Chlor und Schwefel können relativ einfach durch Belüftung beseitigt werden (Ingham 2005, 40). Je nach Bodentyp und Pflanze braucht es einen pilz- oder bakterienlastigen Kompost (Ingham 2005, 53). Während beispielsweise ein pilzdominierender Kompost 25% Mist, 30% Grüngut und 45% Holzmaterial beinhaltet, weist der bakteriendominierende Kompost 45% Grüngut und nur 30% Holzmaterial auf (Ingham 2005, 50).

Um Mikroorganismen zu vermehren und deren Aktivität zu erhöhen, braucht es laut Ingham (2005, 1) weitere Zutaten. Ohne diese Zutaten, sprich das Mikrobenfutter, sind die Mikroorganismen weniger aktiv und deren Überlebenschance bei der Applikation tiefer (Ingham 2005, 2). Dies bestätigen auch Naidu et al. (2010), wobei durch Zugabe von Huminsäure und Hefe eine signifikant höhere Population an

Mikroorganismen in Komposttee gefunden werden konnte. Die Zutatenliste für das Mikrobenfutter ist nicht abschliessend und führt dazu, dass unzählige Rezepturen zur Herstellung von Komposttee vorhanden sind (Ingham 2005, 1). Es wird immer wieder damit experimentiert und versucht, mit der Variation dieser Zusätze eine möglichst hohe Mikroorganismenaktivität, besseres Pflanzenwachstum, verbesserte Bodenstruktur, Nährstoffkreislauf und Krankheitsunterdrückung zu erreichen (Ingham 2005, 1). Wichtig ist jedoch, dass Zutaten verwendet werden, die die hilfreichen Mikroorganismen vermehren (Ingham 2005, 6). Einfache Zucker, wie Melasse, vergorener Karottensaft, Apfelsaft und Hefe fördern mehrheitlich Bakterien (Ingham 2005, 50). Löslicher, im kalten Wasser gewonnener Seetang (Kelp), Huminsäure, Fruchtfleisch, Pflanzenextrakte (Beinwell, Brennnessel, Löwenzahn) steigern tendenziell eher die Pilzentwicklung (Ingham 2005, 53). Der Zugabe von Beinwell werden zudem positive Effekte zugeschrieben, welche auf eine höhere Calcium-Aufnahmefähigkeit hinweisen können (Ingham 2005, 50). Dr. Elaine R. Ingham, Mikrobiologin und Gründerin von «Soil Foodweb Inc.», sowie Komposttee-pionierin aus den USA, veröffentlicht in ihrem Buch «The Compost Tea Brewing Manual» drei unterschiedliche Komposttee-Rezepte, welche auf 50 Gallonen (ca. 200l) ausgelegt sind (vgl. Tab. 1).

Tab. 1: Komposttee-Rezeptur nach Elaine Ingham (Quelle: nach Ingham 2005, 57, eigene Darstellung)

Bakterienreich (Basisrezept)	Ausgeglichen	Pilzreich
7kg bakterienreicher Kompost	7kg ausgeglichener Kompost	9kg pilzreicher Kompost
500ml Melasse	500ml Huminsäure (verschiedene)	600ml Huminsäure (verschiedene)
250g löslicher Kaltwasser Seetang	250g löslicher Kaltwasser Seetang	250g löslicher Kaltwasser Seetang
30-200ml von flüssigen, gefilterten Pflanzenextrakten (Brennnessel, Beinwell, ...), Proteine, Fruchtsaft, Fruchtfleisch, Fischemulsion	Nach Bedarf: Fischhydrolisat, Sojamehl, Federmehl, Hafermehl, Fruchtfleisch, Steinmehl und andere hochwertigen Proteinquellen	250g Fischhyrolisat oder andere Proteinquellen 100ml saponinreiches Yuccaextrakt

Die Zutaten für das Rezept von Dr. Ingrid Hörner, Agrarwissenschaftlerin und Komposttee-Advokatin aus Deutschland, werden bei EM-Schweiz verkauft und sind angepasst auf die im Sortiment erhältlichen Brausysteme von VORTEX Energie GmbH aus Österreich. Für 200l Komposttee benötigt es folgendes (vgl. Näser 2021, 103):

- 200l Wasser (Quellwasser oder chlorfreies Wasser)
- 30g Bio-Aktiv (Steinsalz)
- 100 Urgesteinsmehl
- 200ml Zuckerrohrmelasse
- 1l gut gereifter Kompost (Ergänzung mit Walderde möglich)
- 200g Malzkeimdünger
- 50ml Huminsäure

Auf das Braurezept von EDAPRO GmbH, deren Brausystem für diese Arbeit genützt wurde, wird im Kapitel 3.2.5 näher eingegangen. Verglichen zu den engen Kompost-/Wasserverhältnis, die bei Versuchen in der Literatur mehrheitlich angewendet werden, zeigt sich in der Praxis ein viel weiteres Verhältnis von über 1:20 bis sogar 1:200. So wenden Scheuerell und Mahaffee (2002) in ihrem Geranium-Versuch gegen *Botrytis cinerea* das ACT-System von Growing Solutions Inc. aus den USA an, verengen jedoch das Verhältnis auf 1:11, wobei die Rezeptur auf 1:20 verweist (vgl. Growing Solutions Inc. ohne Datum).

Für die Herstellung von Komposttee braucht es minimal einen Behälter und eine Tauchpumpe, um für die nötige Luftzufuhr zu sorgen (Hörner ohne Datum). Die Wassermenge, respektive das Volumen des Behälters bestimmt die Leistung der Tauchpumpe (Hörner ohne Datum). Bei einem 100l-Behälter eignet

sich eine Tauchpumpe mit einer Leistung von 80-100l/min (Hörner ohne Datum). Die Brautemperatur sollte zwischen 18.3°C und 29.4°C liegen (Ingham 2005, 6).

Wird Kompost in grösseren Mengen eingekauft und nur langsam aufgebraucht kann es sein, dass die Mikroorganismen in einen Ruhezustand gehen (Ingham 2005, 39). Je älter ein Kompost ist, desto schwieriger lassen sich die Mikroorganismen daraus extrahieren (Ingham 2005, 39). Durch die Zugabe von etwas Komposttee kann die Mikroorganismenaktivität darin aufrechterhalten werden (Ingham 2005, 39).

Mykorrhiza-Pilze überleben die Hitzeeinwirkung des Kompostiervorgangs mehrheitlich nicht und finden sich daher gewöhnlich nicht im Komposttee (Ingham 2005, 17). Die Zugabe eines Mykorrhiza-Inokulums zum fertig gebrauten Tee empfiehlt sich vorallem, wenn der Komposttee zur Wurzelstimulation ausgebracht wird (Ingham 2005, 17).

Die Durchmischungsgeschwindigkeit des Brausystems sollte weder zu langsam, noch zu schnell sein: Zu schnell zerstörrt die Mikroorganismen und zu langsam extrahiert zu wenige vom Kompost, sowie führt zu einer schnelleren Bildung eines Biofilms (Ingham 2005, 38).

Die Schaumbildung wird vielfach als Qualitätsmerkmal angesehen, heisst jedoch nur, dass freie Proteine, Aminosäuren und Kohlenhydrate vorhanden sind (Ingham 2005, 38). Dies kann vorallem bei Zugabe von Fischhydrolisaten, organischen Säuren oder Kohlenhydraten vorkommen (Ingham 2005, 38). Beim Einsatz von Wurmkompost kann die Schaumbildung auf im Kompost vorhandene tote Würmer hindeuten, die nun als Protein- und Kohlenhydratquelle fungieren (Ingham 2005, 39). Bei gutem Bakterienwachstum sollten keine überschüssigen Proteine oder Aminosäuren mehr vorhanden sein, sofern nicht die vorher genannten Würmer während des ganzen Brauprozesses proteinreiche Stoffe freisetzen (Ingham 2005, 39). Näser (2021, 103) empfiehlt die Schaumkrone zu beobachten und sobald der Höhepunkt der Schaumbildung überschritten ist und diese wieder abnimmt, der beste Zeitpunkt für die Beendigung des Brauvorgangs sei. Für die Dauer des Brauvorgangs gibt es ein Optimum zwischen Nährstoffextraktion und Mikroorganismenwachstum (Ingham 2005, 37). Die Braudauer variiert je nach Brausystem, Temperatur und Menge an Kompost und Mikrobenfutter zwischen 20 und 36 Stunden (Ingham 2005, 37). Islam et al. (2016) geben für eine optimale Kombination von chemischen und mikrobiellen Komponenten im Komposttee eine Braudauer von 2 Tagen (48 Stunden) an.

Es konnten keine Studien über die Wirbelrichtung von Komposttee-Brausystemen gefunden werden.

2.1.3 Messwerte

2.1.3.1 pH

Der pH-Wert einer Substanz ist eine Messung deren Säuregehalt (Westcott 1978, 1). Entsprechend wird der pH mittels des negativen dekadischen Logarithmus der Wasserstoff-Ionen (H^+), respektive der Hydronium-Ionen (H_3O^+) in der Lösung gemessen (Westcott 1978, 2). Je mehr Wasserstoff-/Hydronium-Ionen in einer Lösung vorhanden sind, desto saurer ist der pH und desto tiefer ist die Anzahl an Hydroxid-Ionen (OH^-) (Westcott 1978, 7). Sind gleich viele von beiden im Wasser vorhanden, herrscht ein neutraler Zustand, sprich ein pH von 7 (Westcott 1978, 7). Der pH-Wert ist temperaturabhängig (Westcott 1978,

7). Zudem besteht eine grosse Abhängigkeit zwischen pH und Redox (Kernstock 2010). Abhängig von der Zusammensetzung des Kompost, dessen pH-Wert und des pH-Wertes des eingesetzten Wassers steigt der pH während dem Brauvorgang an (Kim et al. 2015). So bestätigen auch Pant et al. (2012) und Carballo et al. (2009), dass der pH-Wert des Komposttees vom Komposttyp abhängig ist. Carballo et al. (2009) zeigen zusätzlich auf, dass bei reifem Kompost der pH im Komposttee gegenüber dem Ursprungs pH des Komposts leicht sinkt, während bei unreifen Kompost der pH steigt. Der Einfluss der Brautemperatur hingegen (10°C, 20°C und 30°C) zeigt keine unterschiedlichen Effekte auf den pH im Komposttee (Carballo et al. 2009). Der pH im Komposttee wird laut Scheuerell und Mahaffee (2004) zusätzlich von den Zutaten im Mikrobenfutter beeinflusst. So zeigt sich der pH im Komposttee ohne Zugabe von Mikrobenfutter bei 7.4, hingegen 7.9 bei bakterienförderndem Futter und 8.6 bei pilzfavorisierenden Zugaben (Scheuerell und Mahaffee 2004). Generell wird laut Scheuerell und Mahaffee (2002) Bakterienvermehrung bei neutralem pH und Pilz-, sowie Hefenvermehrung bei basischem oder saurem pH gefördert. Zusammenhänge zwischen krankheitsunterdrückender Wirkung im Komposttee und dessen pH wurden nicht festgestellt (Scheuerell und Mahaffee 2004). Luo et al. (2021) untersuchten die Wirkung von saurem Komposttee auf die Phosphorverfügbarkeit von kalkhaltigen Böden, indem sie den Kompost in Phosphorsäure (pH=1) in einem Ratio von 5:1 (Phosphorsäure zu Kompost) während 48 Stunden (NCT-Verfahren, alle 8 Stunden rühren) brauten. Der pH des Komposttees betrug danach 2.7 (Luo et al. 2021). Verbesserte Phosphoraufnahme und -verfügbarkeit, sowie erhöhte Erträge wurden beobachtet (Luo et al. 2021).

Angaben zum pH-Wert vom eingesetzten Wasser wurden kaum gefunden. In der Studie von Islam et al. (2016) wurde der Wasser-pH (7.4) vor dem Brauvorgang angegeben, jedoch in den Resultate nur die statistischen Signifikanten, nicht jedoch die End-pH-Werte der Komposttees angegeben. Eine Studie von Pant et al. (2012) zeigt auf, dass sich der pH im Brauvorgang, je nach Komposttyp, etwas mehr oder weniger im Vergleich zum pH des ursprünglichen Kompost erhöht, wobei die grösste Erhöhung bei Vermicompost aus Essensresten festgestellt wurde (+0.9). Der höchste End-pH wurde jedoch nicht im Komposttee festgestellt, sondern in der Kontrolle (belüftetes Wasser, pH 8.5), wobei dieser signifikant höher gegenüber allen Kompostteeverfahren lag (Pant et al. 2012). Der pH vor der Wasserbelüftung der Kontrolle wurde nirgends angegeben.

Jacyna et al. (2011) konnten bei Blattdüngerversuchen zur Blütenstimmulation an Kirschen feststellen, dass die Zugabe eines pH-Senkers (pH 4.5) eine Zunahme an Blüten mit sich brachte. Es wurden dabei pH-Senker mit einem pH von 4.5-6 eingesetzt (Jacyna et al. 2011). Laut Kannan (1980) in Patel et al. (2018) liegt der optimale pH der Spritzbrühe einer Blattapplikation zwischen 3.5 und 5.5, bei dem die meisten Nährstoffe absorbiert werden können. Okuda et al. (1960) stellten fest, dass die maximale Phosphataufnahme via Blattapplikation bei einem pH von 2.6 und zwischen 5.6-6.2 liegt. Blattspray-Versuche mit Kalium und Bor mittels gepuffertem pH (4 und 6) bei Baumwolle deuteten laut Howard et al. (1998) darauf hin, dass bei pH 4 die besten Erträge zu verzeichnen sind. Eine weitere Studie, welche die Blattapplikation von Kalium an Pistazienbäume untersuchte stellte ähnliche Resultate fest: Bei pH 4.5 war die Kalium-Aufnahme am besten, während sie bei pH 5.5, 6.5 und 7.5 kontinuierlich abnahm (Hamze und Khoshgoftarmanesh 2023). Unterschiedliche Wasser-pH-Werte beim Einsatz von Herbiziden deuten darauf hin, dass beim pH von 6.5 die beste Wirksamkeit vorhanden ist (Devkota et al. 2016). Bei einem Versuch mit Blattspritzung gegen Kraut- und Knollenfäule wurden die Spritzbrühen mit pH 6.4 und 8 getestet, wobei kein signifikanter Unterschied festgestellt werden konnte (Cooke und Little

2002). Blattapplikationen von Silizium zeigten keinen pH-abhängigen Einfluss auf verschiedenste Kulturen (Laane 2018). Diese Studien zeigen tendenziell, dass Blattapplikationen mit sauren Spritzbrühen verbesserte Wirkung zeigen, unterscheiden sich aber je nach Nährstoff. Laut Nimmrichter (2021), Hörner (2020b) und Näser (2021, 118) liegt der optimale Pflanzensaft-pH bei 6.4. Studien mit Korrelationen von Spritzbrühe-pH und Pflanzensaft-pH konnten nicht gefunden werden.

2.1.3.1.1 pH-Senker

Für Blattspritzungen (Blattdüngung und Pflanzenschutzmittel) wird ein pH von 6-6.5 in der Spritzbrühe empfohlen (LK Niederösterreich 2023). Zudem ist die Wirksamkeit von Pflanzenschutzmittel bei hartem Wasser eingeschränkt (Strickhof ohne Datum). Pflanzenschutzmittel können teilweise miteinander gemischt und mit Flüssigdüngern versetzt werden (LK Niederösterreich 2023). Aufgrund deren unterschiedlichen pH-Werte und abhängig von der Wasserhärte, muss der pH in der Spritzbrühe vor dem Ausbringen korrigiert werden (Strickhof ohne Datum). Dazu werden pH-Senker eingesetzt. Indem die pH-Senker oder auch pH-Stabilisatoren die im harten Wasser vorkommenden Kationen neutralisieren, wird die Wirksamkeit der Mittel verbessert und eine Düsenverstopfung vermindert (Strickhof ohne Datum). Die pH-Senker sind Säuren und fungieren als Protonendonatoren, indem sie ihr H^+-Ion abspalten und an einen Reaktionspartner übertragen (Buck et al. 2002). Es bilden sich daraus Hydroxid-Ionen, der pH sinkt (Buck et al. 2002). Die Wasserhärte wird in der Schweiz in französischen Härtegrade (°fH) angegeben oder auch in ppm (mg/L) Calciumcarbonat (CBS Wasser AG ohne Datum). Bis 15°fH gilt das Wasser als weich und ab 32°C als hart (CBS Wasser AG ohne Datum). Je härter das Wasser, desto höher ist die Dosierung des pH-Senker (CBS Wasser AG ohne Datum). In dieser Arbeit wird mit dem Produkt «Carbo-Eco pH» gearbeitet, welches 20% Carbonsäure und 3% Mangan enthält (vgl. Anhang 68, S. 108). Auf dem Markt finden sich viele weitere, unterschiedliche pH-senkende Produkte unter anderem auf Basis von Zitronensäure (z.B. Lebool, A&C pH Minus Flush Citro 50%. Buffer Protect Andermatt), Carbonsäure (z.B. PhytoGreen-pH Total), Salpetersäure (z.B. A&C Sal P 30% pH Minus Grow) und Phosphorsäure (z.B. A&C Phos P 85% Minus Bloom) (vgl. A&C Fertilizer ohne Datum; Andermatt Biocontrol Suisse ohne Datum; Lebosol ohne Datum). Effektive Mikroorganismen (EM) werden zudem auch als pH-senkendes Produkt von EM-Schweiz empfohlen (Dörig 2023, persönliche Mitteilung).

2.1.3.2 Elektrische Leitfähigkeit (EC)

Die elektrische Leitfähigkeit (EC) zeigt die Fähigkeit einer Flüssigkeit Strom zu leiten (Dieter et al. ohne Datum). Kationen, positiv geladene Ionen und Anionen, negativ geladene Ionen, tragen im Wasser mit unterschiedlichem Leitvermögen zur Leitfähigkeit bei (Dieter et al. ohne Datum). Zusätzlich spielt die Temperatur eine Rolle bei der Leitfähigkeit, die mit einer Erhöhung gleichzeitig eine Abnahme in der Viskosität von Wasser mit sich bringt und somit den Wanderungswiderstand der Ionen reduziert – der EC steigt (Dieter et al. ohne Datum). Während reines Wasser einen sehr tiefen EC-Wert hat (0.05µS/cm), erhöht sich dieser mit zunehmendem Anteil Fremdstoffen und Verunreinigungen (Golnabi et al. 2009). Laut Näser (2021, 118) beträgt die Leitfähigkeit von Leitungswasser mit guter Qualität unter 0.1mS/cm, während destilliertes Wasser einen EC von weniger als 0.01mS/cm aufweisen sollte. Bei gleichem Anteil Verunreinigung (100ppm) im Vergleich von Flusswasser zur städtischen Wasserversorgung zeigt das Flusswasser einen tieferen EC (Golnabi et al. 2009). Der EC-Wert kann entsprechend als Indikator für die Reinheit von Wasser angesehen werden.

Islam et al. (2016) stellen fest, dass der EC unter anderem vom Kompost-/Wasserverhältnis abhängt und je mehr Kompost eingesetzt wird, sich dieser erhöht. Weiter zeigt sich bei zunehmender Braudauer eine positive Korrelation mit dem EC: Desto länger gebraut wird, desto mehr steigt der EC an (Islam et al. 2016). Kim et al. (2015) bestätigt dies anhand Komposttee versuchen mit unterschiedlichem Kompost-Material, wobei der EC jeweils mit der Braudauer anstieg und das Maximum nach fünf Tagen erreichte. Der EC im Komposttee korreliert zudem signifikant mit der Leitfähigkeit des Ausgangsmaterial (Pant et al. 2012). So zeigt thermophiler Kompost aus Hühnermist einen signifikant höheren EC gegenüber Grüngut- und Wurmkompost (Pant et al. 2012). Gemäss Scheuerell und Mahaffee (2004) wird der EC-Wert im Komposttee durch die verschiedenen Futterzusätze gesteigert. So zeigte sich Komposttee ohne Futterzusätze mit einem EC von 0.4mS/cm, von 1.23mS/cm mit bakterienfavorisierenden und von 1.02mS/cm mit pilzfördernden Zutaten (Scheuerell und Mahaffee 2004). Carballo et al. (2009) ergänzen zudem, dass sich der EC auch aufgrund steigender Brautemperatur (10°C, 20°C, 30°C) erhöht. Der EC-Wert steigt bei einem Mistkompost vergleichsweise höher an als bei einem Kompost, der aus einer Kläranlage gewonnen wird (Carballo et al. 2009). Mit einem längeren Brauverfahren werden dem Kompost mehr Nährstoffe und Salze entzogen, welche die Leitfähigkeit erhöhen (Islam et al. 2016). Angaben zum EC-Wert vom eingesetzten Wasser wurde einerseits in der Studie von Islam et al. (2016) gefunden (1.05mS/cm), jedoch wurden in den Resultate nur die statistischen Signifikanten, nicht jedoch die End-EC-Werte der Komposttees angegeben. Pant et al. (2012) geben den EC-Wert der Kontrolle (belüftetes Wasser) von 0.4mS/cm an. Der EC-Wert vor der Wasserbelüftung wurde nirgends angegeben.

Die Flüssigkeiten von Blattapplikationen sollten einen EC-Wert von max. 1.5-3mS/cm aufweisen (Hörner 2020c). Gemäss Sait (2008) ist ein EC-Wert der Blattspritzbrühe von 2mS/cm ideal, während bei Werten unter 1.2mS/cm die Effizienz der Blattdüngung sinkt und bei über 2mS/cm Verbrennungen auftreten können.

2.1.3.3 Redox

Der Redox-Wert, auch Redox-Potenzial genannt, gibt die Bereitschaft eines Stoffes an, Elektronen abzugeben (Oxidation) oder aufzunehmen (Reduktion) (Goncharuk et al. 2010). Eine Reduktion und Oxidation finden immer gleichzeitig statt und deren elektrische Spannung dazwischen wird als Eh angegeben und in Millivolt (mV) gemessen (Kernstock 2010). Das Oxidationsmittel nimmt dabei Elektronen auf und wird reduziert, das Reduktionsmittel gibt Elektronen ab und wird oxidiert (Goncharuk et al. 2010). Je tiefer das Redox-Potenzial eines Stoffes, desto stärker ist dessen Reduktionskraft, sprich dessen Abgabe von Elektronen (Goncharuk et al. 2010; Kernstock 2010). Bei Oxidationsprozessen im Boden werden Wasserstoffionen (H^+) produziert und bei der Reduktion wieder gebunden, somit hat dies eine Auswirkung auf den pH (Hellberg-Rode 2003). In Lebensmitteln und Getränken wird ein möglichst tiefes Redox-Potenzial angestrebt, da diese durch die Abgabe von Elektronen freie Radikale binden können (IIREC 2009). Bei tiefen Redox-Werten ist die Aktivität des Mediums höher, somit übertragen Lebensmittel mit einem tiefen Redox-Wert dem Körper mehr Energie (Kernstock 2010). Je höher der Redox-Wert, desto oxidierend wirkt ein Stoff (IIREC 2009). Die Elektronen fliessen vom negativen zum positiven Potenzial (Goncharuk et al. 2010). Das Redox-Potenzial im Wasser ist abhängig vom gelösten Sauerstoff, gelöstem Wasserstoff, sowie dem pH (Chaplin 2021).

In der Natur haben alle chemischen Prozesse eine oxidierende (Elektronenaufnahme) und eine reduzierende Wirkung (Elektronenabgabe), die elektrischen Strom erzeugt (Timac AGRO ohne Datum). Bei

grossen Schwankungen, zu hohem oder zu tiefem Redox-Potenzial, wird das Pflanzenwachstum gestört (Timac AGRO ohne Datum). Die Photosynthese ist eine der wichtigsten Redox-Reaktionen auf der Erde und liefert dabei Energie in Form von Adenosintriphosphat (ATP), wodurch Nicotinamidadenindinukleotidphosphat (NADP) reduziert werden kann (Paeger ohne Datum; Husson 2013). Aus dem daraus entstandenen NADPH wird mit Kohlendioxid (CO_2) Zucker in Form von Glukose hergestellt (Paeger ohne Datum; Husson 2013). Elektronendonator ist bei diesem Prozess Wasser, das oxidiert wird (Paeger ohne Datum). In Böden mit aeroben Verhältnissen ist Sauerstoff der Elektronenakzeptor und wird reduziert (Stahr ohne Datum). In sauren, gut durchlüfteten Böden mit starkem Oxidationspotenzial, kann ein hohes Redox-Potenzial bis 800mV vorhanden sein (Stahr ohne Datum). In aneroben Bedingungen, z.B. bei Staunässe oder Gley-Böden, kann das Redox-Potenzial bis ins Negative (-350mV) sinken (Stahr ohne Datum). Die Mineralisation von Humus ist ein oxidativer Prozess, während stabiler Dauerhumus als Pufferelement Oxidationen vermindern kann (Timac AGRO ohne Datum). Laut Husson (2013) ist jede Mikroorganismen-Art im Boden an einen gewissen Redox-Potenzial-Bereich, mal breiter und mal schmäler, angepasst. Anerobe Bakterien können sich nur in einem schmalen Bereich eines tiefen Redox-Potenzials vermehren. Aerobe Mikroorganismen hingegen benötigen ein höheres Redox-Potenzial, sind aber anpassungsfähiger in dessen Spannweite (Husson 2013). Bakterien zeigen sich in grösserer Population unter stark reduzierenden Bedingungen (<0mV), während Pilze sich besser unter nur leicht reduzierenden Bedingungen vermehren (>250mV) (Seo und DeLaune 2010). Gut belüftete Böden haben normalerweise ein Redox-Potenzial von über 400mV, während höchst reduzierte Böden bei -100 bis -300mV liegen (Husson 2013). Die meisten Ackerböden, wenn nicht extrem verdichtet, liegen bei einem Redox-Potenzial von 300-500mV (Macías und Camps Arbestain 2010). Pflanzen brauchen fürs Wachstum einen Redox-Wert zwischen 300-700mV, unter 350mV ist für viele Arten bereits limitierend (Volk 1939). Husson (2013) schränkt noch weiter ein und sagt, dass in einem für das Pflanzenwachstum idealen Boden der Redox-Wert zwischen 400 und 450mV betragen sollte.

Studien über Korrelationen zwischen Spritzbrühe-, Pflanzen- und Bodenredox wurden keine gefunden.

2.1.3.4 Sauerstoff

Der Sauerstoffgehalt des Komposttees ist abhängig vom Brausystem und dessen Leistung (Ingham 2005, 17). Sauerstoff ist für alle aeroben Organismen von essenzieller Bedeutung (Ingham 2005, 34). Während jeder Brauphase gibt es immer einen kritischen Punkt, abhängig vom zugegebenen Mikroorganismenfutter, der Sauerstoffzufuhr und der Wassergeschwindigkeit, wenn sich die Mikroorganismen so rasant vermehren, dass sie mehr Sauerstoff brauchen, als zugeführt werden kann (Ingham 2005, 35). Mittels einer Sauerstoffsonde kann der Sauerstoffgehalt kontrolliert werden. Der DOC-Wert (dissolved oxygen concentration), respektive der gelöste Sauerstoff, sollte über 6mg/l, sprich >6ppm, betragen (EM Schweiz AG ohne Datum; Ingham 2005, 34). Unter 5ppm gehen die strikt aeroben Organismen in den Schlummerzustand oder sterben (Ingham 2005, 35). Dazu gehören beispielsweise Pseudomonas Bakterien, Bacillus Bakterien und Aerobactor Bakterien (Ingham 2005, 35). Fakultativ anerobe Organismen, dazu gehört beispielsweise das *E. Coli* Bakterium, nehmen bei sinkendem Sauerstoffgehalt (5-6ppm) die Überhand.

Der Sauerstoffgehalt im Komposttee kann zudem laut Ingham (2005, 21) grob anhand des Geschmacks beurteilt werden: Eine Plastikflasche wird zur Hälfte mit Komposttee gefüllt, bei Umgebungstemperatur über Nacht stehengelassen. Nach vorsichtigem Öffnen wird daran gerochen. Bei schlechtem Geruch ist

die Luftzufuhr ungenügend, während bei gutem Geruch sehr wahrscheinlich genügend Luft und nicht zu viel Mikrobenfutter im Brausystem zirkuliert.

2.1.4 Qualitätsindikatoren und Risiken

Die im Komposttee vorkommenden hilfreichen Bakterien und Pilze helfen dabei, Nährstoffe verfügbar zu machen oder in sich einzubinden, verbinden Bodenpartikel zu Aggregaten zusammen und verhindern so Erosion und Oberflächenabfluss (Ingham 2005, 5). Sie konkurrenzieren mit schädlichen Organismen um Futterquellen und helfen beim Aufbau der Bodenstruktur, um Wurzeln den Weg zu Wasser und Nährstoffen zu vereinfachen (Ingham 2005, 5). Protozoen, Nematoden und kleinste Gliederfüssler ernähren sich von Bakterien und Pilzen und setzen so Nährstoffe für die Pflanze frei (Ingham 2005, 5). Um mit Komposttee eine breite Vielfalt dieser Mikroorganismen in den Boden zu bringen, ist eine solche Diversität bereits im Kompost von grösster Bedeutung (Ingham 2005, 6).

In Komposttee sind ungefähr eine Milliarde Bakterien pro ml vorhanden, wobei die Mehrheit davon förderlich für das Pflanzenwachstum sind (Ingham 2005, 12). Dies entsprich ca. 10-150µg aktive Bakterien und 150-300µg totale Bakterienmasse pro ml (Scheuerell und Mahaffee 2002). Diese förderlichen Bakterien konkurrieren mit den schädlichen um Nahrung und Platz (Ingham 2005, 12). Bakterien produzieren eine Art Klebstoff, welcher sie an Blätter, Wurzeln und Bodenpartikel bindet (Ingham 2005, 12). Entsprechend werden Nährstoffe, die sich in den Bakterien befinden auch nicht ausgewaschen (Ingham 2005, 12).

Im Komposttee sollten 2-10µg aktive pilzliche Biomasse und 5-20µg totale pilzliche Biomasse vorhanden sein (Ingham 2005, 12). Die Extraktion von Pilzen und deren Futterquelle aus dem Kompost ist etwas komplizierter und dementsprechend schwieriger (Ingham 2005, 12). Es braucht genügend Energie, um die komplexeren Moleküle als Futterquelle herauszulösen aber nicht zu viel, damit die Pilzhyphen dabei nicht zerstört werden (Ingham 2005, 12). Die Pilzen helfen ähnlich wie die Bakterien bei der Konkurrenz gegenüber pathogenen Organismen (Ingham 2005, 14). Sie konkurrieren jedoch auch mit den Bakterien im Komposttee um Futter, Platz und Sauerstoff, wodurch meistens eine der beiden Gruppen spezifisch gefördert wird, abgestimmt auf den Applikationsort (Ingham 2005, 15).

Protozoen sind Bakterienfresser und stimulieren durch diese Nährstofffreisetzung das Wachstum von anderen Bakterien, Pilzen und Pflanzen (Ingham 2005, 16). Im Komposttee vermehren sich die Protozoen jedoch nur langsam und eine 24-stündige Braudauer reicht nicht für eine Vermehrung, sondern nur für deren Extraktion aus dem Kompost (Ingham 2005, 16). Einige Protozoen, wie Flagellen und Amöben sind zudem auf aerobe Bedingungen angewiesen und entsprechend ein guter Indikator für die Sauerstoffwerte im Brausystem (Ingham 2005, 16).

Guter Komposttee enthält zwischen 50 und mehreren 100g an nützlichen Nematoden pro ml (Ingham 2005, 16). Diese gehören entweder der Gruppe der Bakterien-Fressern, Pilz-Fressern oder den Räubern an (Ingham 2005, 17). Während die bakterien- und pilzfressenden Nematoden Nährstoffe für Pflanzen freisetzen, sind die Räuber für das Gleichgewicht der Nematodenpopulation im Boden verantwortlich (Ingham 2005, 17).

Risiken in Bezug auf gefährliche Krankheitserreger, die durch den Komposttee ausgebracht werden können sind klein und laut Ingham (2005, 4) höchstens auf ungenügende Kompost-Qualität zurückzuführen. Bei Einhaltung von aerobe Bedingungen bei der Herstellung, werden die meist fakultativ-aneroben Krankheitserreger bereits unterdrückt (Ingham 2005, 5). Weiter kann durch eine hohe Vielfalt an aeroben Bakterien und Pilzen das Wachstum von fakultativ-aneroben Organismen konkurrenziert werden (Ingham 2005, 5). So wurden von Ingham (2005, 18) Versuche mit *E. coli* Bakterien gemacht, welche durch aerob hergestellten Kompost, aerobe Braubedingungen und einer hohen Diversität an aktiven Mikroorganismen zu einem ungefährlichen Level reduziert werden konnten.

Von höchster Wichtigkeit ist die Reinigung der Braumaschine, da sich an vielen Orten ein Biofilm anlegen kann, der ideale Bedingungen für das Wachstum von aneroben Organismen bietet (Ingham 2005, 5) Jeder Winkel in der Braumaschine der weniger als 120° beträgt ist gefährdet für die Bildung eines Biofilms und kann zu Fehlgärungen führen (Ingham 2005, 37). Eine ausbleibende Schaumbildung in Kombination mit einem schlechten Geruch deuten auf eine Fehlgärung hin, wobei diese Charge verworfen werden sollte (Näser 2021, 103).

2.1.5 Applikation

Komposttee wird normalerweise entweder als Boden- oder Blattapplikation ausgebracht. Die Komposttemperatur sollte der Blatt- oder Bodentemperatur entsprechen, je nach Applikationsverfahren (Ingham 2005, 35). Komposttee sollte innerhalb wenigen Stunden nach Brauende ausgebracht werden, kann bei guter Belüftung noch bis acht Stunden nach Brauende im aeroben Zustand bleiben (Ingham 2005, 50). Je länger bis zur Ausbringung gewartet wird, desto negativer wirkt sich das auf die mikrobielle Diversität und die im Tee vorhandenen Nährstoffe aus (Islam et al. 2016). Während ein Rückgang in mikrobieller Aktivität und Diversität für Bodenapplikationen noch akzeptabel ist, ist dies für Blattapplikationen intolerabel (Islam et al. 2016). Ein Spritzfenster oder eine Nullparzelle zu machen, empfiehlt sich, um die Wirkung zu kontrollieren (Näser 2021, 100).

2.1.5.1 Bodenapplikation

Durch eine Bodenapplikation kann die biologische Barriere um die Wurzeln herum aufgebaut, Nährstoffe für die Wurzeln zur Verfügung gestellt, das Bodenleben, die Bodenstruktur, den Nährstoffzyklus, sowie die Krankheitsabwehr verbessert werden (Ingham 2005, 24). Pro 10cm hoher Setzling wird 1l Komposttee unverdünnt gegossen, wobei die Blätter und den Boden um die gesetzte Pflanze dabei durchnässt werden sollten (Ingham 2005, 26). Die Zugabe von Wasser ist optional als Trägerfunktion (Ingham 2005, 26). Bei einem guten Bodenleben reicht eine Applikation aus, um Wurzelkrankheiten abzuwehren, bei ungenügendem Bodenleben muss die Behandlung wiederholt werden (Ingham 2005, 26). Die Mindestmenge für eine Bodenapplikation beträgt laut Ingham (2005, 41) 150l/ha.

2.1.5.2 Blattapplikation

Durch die Applikation von nützlichen Mikroorganismen auf der Blattfläche sollen Pathogenen den Platz und die Nahrung weggenommen werden (Ingham 2005, 24). Zudem werden dadurch Nährstoffe für die direkte Blattaufnahme ausgetragen (Ingham 2005, 24). Laut Ingham (2005, 24) wird eine Blattapplikation nur soweit als nötig verdünnt, damit die Konzentration der Mikroorganismen möglichst hoch bleibt. Dies ist insofern wichtig, damit alle Blattexsudate von den nützlichen Organismen konsumiert werden und so keine Nahrung für Pathogene übrig gelassen wird (Ingham 2005, 24). Scheuerell und

Mahaffee (2004), sowie St. Martin (2014) zeigen zudem, dass eine Verdünnung die krankheitsunterdrückende Wirkung vermindert. Mittels einer konzentrierten Gabe können alle Infektionsstellen einer Pflanze durch die «Nützlinge» besetzt und beschützt werden (Ingham 2005, 24). Dabei ist eine genügend hohe Blattbenetzung, mindestens 70%, essenziell, wobei davon zur Krankheitsunterdrückung mindestens 2-5% pilzliche Biomasse sein sollte (Ingham 2005, 26). Die Blattbenetzung sollte an der Ober- und Unterseite erfolgen (Ingham 2005, 50).

Unterschiedliche Faktoren können die Wirkung einer Blattspritzung vermindern oder sogar die Zerstörung der Mikroorganismen zur Folge haben: Pflanzenschutzmittelrückstände in Feldspritzen, Chlor im Wasser, zu kaltes Wasser (im Brauprozess aber auch bei der Verdünnung), Applikation bei hoher UV-Einstrahlung, Drift und starker Regen nach der Ausbringung (Ingham 2005, 25). Der Ausbringdruck spielt eine Rolle in Verbindung mit der Aufprallgeschwindigkeit (Ingham 2005, 25). Welche Düse gewählt wird, ist laut Ingham (2005, 28) nur insofern von Bedeutung, dass die Öffnung grösser als 400µm im Durchmesser ist. Damit ist sichergestellt, dass alle nützlichen Mikroorganismen ausgebracht werden können (Ingham 2005, 28). Die UV-Strahlung hat zudem laut Ingham (2005, 50) nur Einfluss auf Tröpfchen kleiner als 1mm im Durchmesser. Somit kann die Ausbringung z.B. mit Pivots, welche meistens grössere Tropfen abgeben, zu jedem Tageszeitpunkt erfolgen (Ingham 2005, 50). Bei kleineren Tröpfchen sollte aufgrund der UV-Durchlässigkeit die Ausbringung um die Mittagszeit vermieden werden (Ingham 2005, 50). Dunst, leichter Nieselregen oder Tau sind förderlich bei der Ausbringung von Komposttee, da sich die Mikroorganismen besser an den Blättern anhaften können (Ingham 2005, 50).

Es zeigt sich bei jungen Pflanzen ein positiver Wachstumseffekt bei neutralen bis leicht alkalischen Blattspritzbrühen (pH 7-7.4), daher wird in dieser Phase die Zugabe von spritzbarem Kreidekalk und Bor empfohlen (Sait 2008; Näser 2021, 118). Im generativen Wachstum wird hingegen zur Frucht-, Blatt- und Samenbildung ein saurerer pH (≤6.4) in der Spritzbrühe benötigt, was mit der Zugabe von Huminsäuren oder Pflanzenfermenten (z.B. EM) gemacht werden kann (Sait 2008; Näser 2021, 119). Eine saure Kompostteeapplikation kann laut Näser (2021, 119) sogar den Wechsel vom vegetativen ins generative Wachstum induzieren. Beim Obst wird von einer sauren Applikation vor der Obstblüte abgeraten, da diese eine verfrühte Blütenbildung und entsprechend eine höhere Spätfrostanfälligkeit mit sich bringen kann (Näser 2021, 119).

Die Mindestmenge für eine Blattapplikation ist laut Ingham (2005, 41) 50l/ha. Näser (2021, 100) empfiehlt eine Kompostteeapplikation ab dem ersten Laubblatt mit Zugabe von spritzbarem Kalk, Zeolith und Bor durchzuführen. Weitere Zusätze, wie beispielsweise andere Mikronährstoffe, Heutee, Pflanzenfermente, oder Huminsäuren sind laut Näser (2021, 105) möglich. Um für den eigenen Betrieb die ideale Dosiermenge zu eruieren, empfiehlt Näser (2021, 101) einen Dosierversuch: Eine BRIX-Messung vor der Applikation, sowie eine Stunde nach der Applikation, wobei ein Erhöhung von 1-2% ersichtlich sein sollte. Dies kann mittels unterschiedlichen Aufwands- und Verdünnungsmengen auf kleinen abgesteckten Flächen vorgenommen werden (Näser 2021, 102).

Blattapplikationen zeigen Wirkung, da Pflanzen durch ihre Blätter Nährstoffe anhand eines Konzentrationsgradienten aufnehmen können (Krishnasree et al. 2021). Ionen werden durch die Stomata, Kutikula und Zellwand entweder in aktiver oder passiver Diffusion durchgeschleust und danach als diffundierte Partikel an die Plasmamembranoberfläche adsorbiert (Krishnasree et al. 2021). Durch aktive Diffusion

werden die Partikel schlussendlich vom Cytoplasma aufgenommen (Krishnasree et al. 2021). Die schnellste Nähstoffabsorption erfolgt durch die Stomatas, jedoch ist laut Krishnasree et al. (2021) die Qualität der Nährstoffaufnahme besser durch die Epidermiszellen. Auf die Blattdüngung haben folgende Faktoren einen Einfluss: physikalische und chemische Komponente der Spritzbrühe (pH, Tröpfchengrösse, Löslichkeit, etc.), Umwelt (Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Strahlung) und physiologische Eigenschaften der Pflanze (Wachsschicht, Blattform, etc) (Görlach 2021). Für eine Blattdüngung liegt die ideale Aussentemperatur bei ca. 21°C (LK Niederösterreich 2023).

2.1.6 Wirkung und Vorteile

Verschiedene Versuche zeigen, dass die Anwendung von Komposttee (ACT und NCT) Effekte auf die Pflanzengesundheit, Qualität und den Ertrag haben kann (vgl. Elad und Shtienberg 1994; Al-Dahmani et al. 2003; Scheuerell und Mahaffee 2004; Welke 2005; Edwards et al. 2006; Wafaa M Haggag und M S M Saber 2007; Pant et al. 2011; Yatoo et al. 2021). Die Applikation von Komposttee kann dabei helfen, mikrobielle Biomasse, feines partikuläres organisches Material, organische Säuren, wachstumsregulatorisch ähnliche Substanzen und lösliche mineralische Nährstoffe aufs Blatt und in den Boden zu bringen (Scheuerell und Mahaffee 2002; Scheuerell und Mahaffee 2004; Edwards et al. 2006). Weiter Vorteile sind laut Ingham (2005, 23), dass die nützlichen Mikroorganismen den Pathogenen den Platz und das Futter wegnehmen, Bodenstrukturen verbessert werden und mehr Sauerstoff zu den Wurzeln gelangt, Wasserhaltefähigkeit zunimmt, Wurzeln an Länge gewinnen und so an mehr Nährstoffe und Wasser gelangen, beschleunigter Abbau von Pflanzenmaterial und Giftstoffen, erhöhter Nährstoffgehalt der Pflanze, Ertragssteigerungen, Förderung von Kompostierung und Reduktion von Pflanzenschutzmittel. Backer et al. (2018) und Beattie (2015) zeigen zudem, dass durch die vorhandenen Mikroorganismen die Nährstoffeffizienz erhöht werden kann. Bodenapplikationen haben einen Einfluss auf die Rhizosphäre durch die Einbringung von Nährstoffen und Mikroorganismen (Islam et al. 2016). Die durch Komposttee gestärkten Bodenorganismen helfen dabei Wurzel- und Halmbasisschaderreger zu unterdrücken (Näser 2021, 98). Scheuerell und Mahaffee (2004) stellten fest, dass die Zugabe von einfachen Zuckern als Mikrobenfutter, wie beispielsweise Melasse, die krankheitsunterdrückende Wirkung negativ beeinträchtigen kann. Weiter wurde ein Bakterien-Schwellenwert in ACT ohne Zugabe von Melasse eruiert, wobei oberhalb diesem eine krankheitsunterdrückende Wirkung festgestellt werden konnte (Scheuerell und Mahaffee 2004). Zugegebene Additive, wie Netzmittel, Yucca-Extrakt oder Karayagummi hatten signifikant geringere krankheitsunterdrückende Effekte im Vergleich zu ohne deren Zugabe (Scheuerell und Mahaffee 2006). Samen- und Wurzelunkräuter werden bei einer Kompostteebehandlung miterfasst, zeigen jedoch laut Näser (2021, 107) in der Praxis kein verstärktes Wachstum. Beobachtet wird hingegen eine Überernährung der Unkräuter aufgrund ihres hocheffizienten Stoffwechsels und dadurch ein schwächeres Wachstum und erhöhte Krankheitsanfälligkeit (Näser 2021, 107).

Ghorbani et al. (2005) konnten zwar eine unterdrückende Wirkung von verschiedenen Kompostzusammensetzungen und deren Alter in Komposttee bei Versuchen zu Kraut- und Knollenfäule feststellen, die Ergebnisse waren jedoch widersprüchlich und weniger wirkungsvoll gegenüber herkömmlichen Mittel. Wang et al. (2014) stellten keinen Ertragssteigerungen von Zucchetti mittels Komposttee als Nährstoffkomponente fest. Auch Hewidy et al. (2015) konnten bei einem Brokkoli-Versuch keine Ertragssteigerung feststellen und erklärte Komposttee und den Einsatz von Kompost als eine zu teure Massnahme.

2.2 Boden, Bodenleben und Nährstoffe

Mindestens 17 Elemente sind essenziell für das Pflanzenwachstum, wobei 14 davon mineralische Nährelemente sind, welche von der Pflanze durch das Wurzelsystem aufgenommen werden müssen (Zeng et al. 2014). Zu den restlichen drei zählen Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff (Zeng et al. 2014). Anhand der benötigten Menge an einem Nährstoffelement, werden diese in Mikro- oder Makroelemente eingeteilt (Grusak 2001). So zählen Stickstoff (N), Kalium (K), Calcium (Ca), Magnesium (Mg), Phosphor (P) und Schwefel (S) mit einem Anteil höher als 0.1% in der Trockensubstanz (TS) der Pflanze zu den Makroelementen (Grusak 2001). Zu den Mikronährstoffen zählen Eisen (Fe), Zink (Zn), Mangan (Mn), Bor (B), Kupfer (Cu), Molybdän (Mo), Nickel (Ni), Kobalt (Co), Natrium (Na), Chlor (Cl), Silizium (Si) Selen (Se) und Vanadium (V), wobei deren essenzielle Bedeutung kulturabhängig ist (Grusak 2001). Mikronährstoffmängel sind in der menschlichen Gesundheit wichtige Ursachen für verstärkte Krankheitsanfälligkeit und Sterblichkeit (Lal 2016). Die Bodengesundheit ist entsprechend unbestreitbar verknüpft mit der menschlichen Gesundheit (Albrecht 1945, 1957; Pepper 2013; Brevik und Sauer 2015; Lal 2016). So sollte der Gesundheitszustand von Boden, Pflanze, Tier, Mensch und Ökosystem nicht getrennt betrachtet, sondern ist immer miteinander verknüpft werden (Lal 2016). Unterschiedliche Parameter sind wichtige Merkmale für die Gesundheit, Qualität und Funktionsfähigkeit des Bodens und entsprechend für das Leben auf dieser Erde (vgl. Abb. 1).

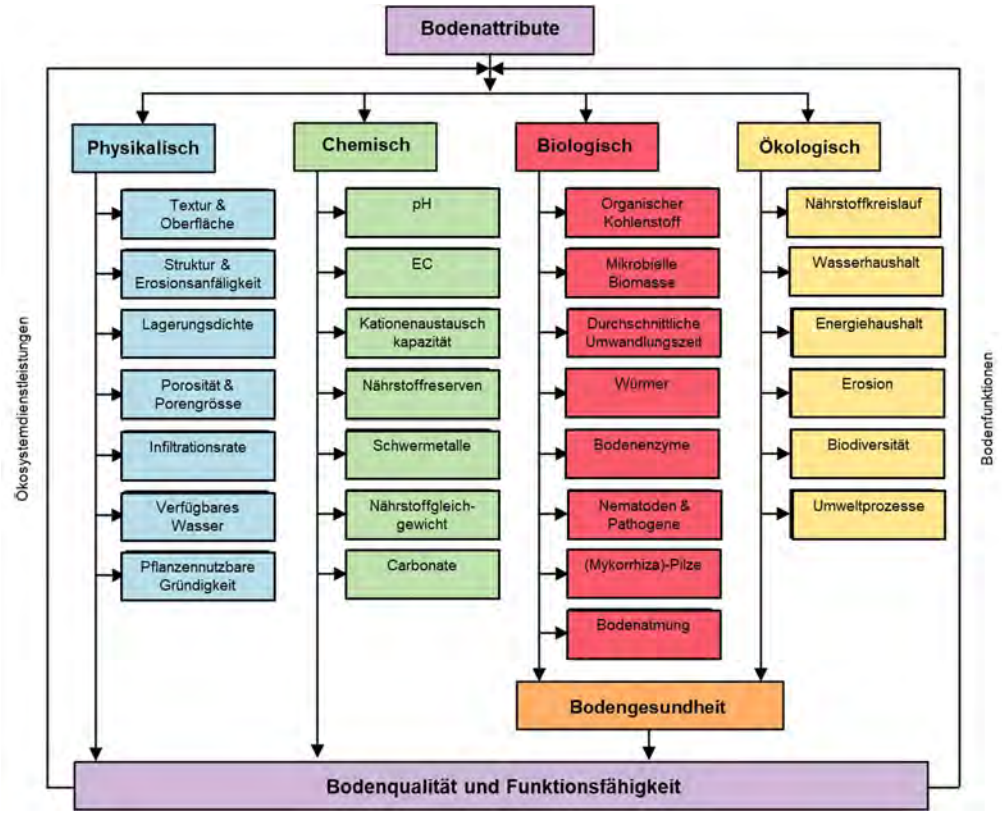


Abb. 1: Bodenattribute als Indikator für Bodengesundheit (Quelle: nach Lal 2016, eigene Übersetzung)

Ein bekannter Begriff, definiert durch Dr. Elaine R. Ingham, welcher die komplexen Interaktionen im Boden erklärt, ist das «Soil Foodweb», das sogenannte Bodennahrungsnetz (vgl. Abb. 2). Ein gesundes Bodennahrungsnetz hat die Fähigkeit durch seine hohe Anzahl an Bakterien, Pilzen, Protozoen und Nematoden, Pathogene zu bekämpfen (Ingham 2004; Lowenfels et al. 2020, 19). Weiter können diese Bakterien und Pilze Nährstoffe im Boden zurückhalten und deren Auswaschung oder Abschwemmung

verhindern (Ingham 2004; Lowenfels et al. 2020, 17–18). Protozoen und Nematoden ernähren sich von den Bakterien und Pilzen, wobei daraus pflanzenverfügbare Nährstoffe entstehen (Ingham 2004; Lowenfels et al. 2020, 17). Mikro-Arthropoden und Würmer ernähren sich von allen möglichen Bodenlebewesen und helfen somit auch beim Nährstoffumwandlungsprozess mit (Ingham 2004). Damit die Pflanzen diese Nährstoffe aufnehmen können, locken sie mit ihren Wurzelausscheidungen die Bakterien und Pilze an, worauf deren Räuber folgen (Ingham 2004; Lowenfels et al. 2020, 17). Im Zentrum steht dabei die Pflanze, die mit ihren Exsudaten die Population von Pilzen und Bakterien je nach Bedarf steuern kann (Lowenfels et al. 2020, 17). Weiter sorgt ein gesundes Bodennahrungsnetz für eine gute Bodenstruktur und Wasserhaltefähigkeit (Ingham 2004). Eine starke Bodenbearbeitung und unbewachsener Boden führt zu einer Schädigung des Bodenlebens und gleichzeitig der Bodenfruchtbarkeit (Näser 2021, 135).

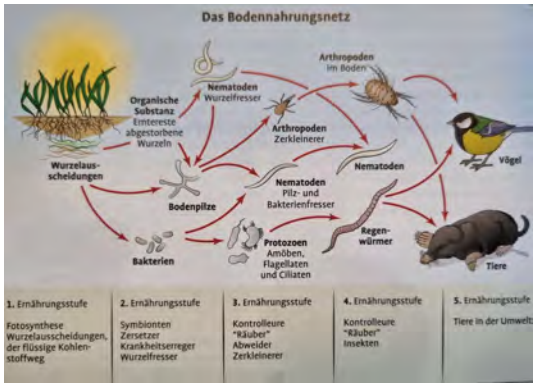


Abb. 2: Bodennahrungsnetz in Anlehnung an Elaine Ingham (Quelle: Näser 2021, 134)

Anhand von regelmässigen Bodenproben kann das Nährstoffvorkommen im Boden überprüft werden. Die ideale Zusammensetzung eines Bodens hat nach Kinsey (2014, 17) 45-50% Mineralien, je 25% Luft und Wasser und 5% Humus. Mit einer richtigen Mineralienzusammensetzung und einem Mindesthumusgehalt kann der Luft- und Wasseranteil im Boden ins Optimum gebracht werden (Kinsey 2014, 61). Humus hat eine Schlüsselfunktion in der Haltekapazität von Wasser und Nährstoffen, so können demzufolge humusreiche Böden besser mit Trockenheit umgehen (Kinsey 2014, 64). Humus weist zudem ein dreifach höheres Nährstoffhaltevermögen gegenüber Ton auf und kann Stickstoff, Phosphor, Schwefel und Bor festhalten (Kinsey 2014, 65). Zu den weiteren Vorteilen von Humus zählen die Verbesserung der physikalischen Struktur, Erhöhung der Wasserinfiltration, verbesserte Bodengare und Krümelstruktur, hohe Pufferkapazität und eine hohe Absorptions- und Austauschkapazität (Kinsey 2014, 65). Die Bodenstruktur ist unabdingbar mit dem Porenvolumen gekoppelt (Kinsey 2014, 62). So reduzieren Verdichtungen das Porenvolumen und durch die aneroben Bedingungen können unter anderem Mikroorganismen die Ernterückstände nicht mehr richtig abbauen, was sich direkt auf den Humusgehalt widerspiegelt (Kinsey 2014, 67).

2.2.1 Nährstoffinteraktionen & pH im Boden

Jedes Nährelement hat einen Einfluss auf ein anderes und steht so in Abhängigkeit des Gesamten (vgl. Abb. 3) (Kinsey 2014, 56). Das Gesetz des Minimums von Justus Liebig sagt, dass Pflanzenerträge durch den meist limitierenden Faktor reguliert werden und erst dieser Faktor korrigiert werden muss, um höhere Erträge zu generieren, auch wenn alle anderen Faktoren im Überfluss vorhanden sind (Wallace 1993). Das Gesetz des Maximums von André Voisin sagt zudem, dass bei einer Überdüngung eines

Nährstoffes die Wirkung ein anderer wichtiger Nährstoff verringert wird, was zu Ertragseinbussen führt (Kinsey 2014, 56).

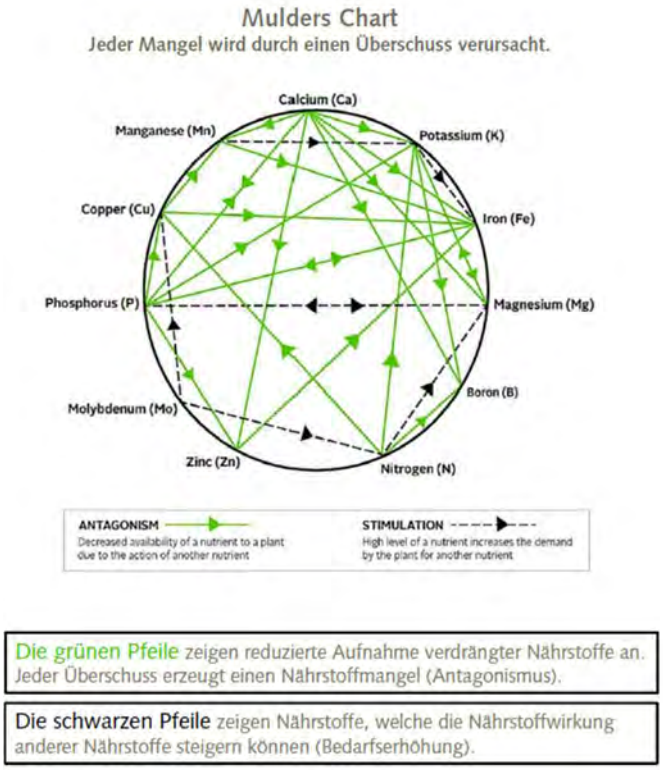


Abb. 3: Mulders Chart - Beziehungen zwischen Nährstoffen (Quelle: (Plantahof 2022))

2.2.1.1 Boden-pH

Anhand des pH-Wertes kann keine vollständige Aussage über den Zustand und die Fruchtbarkeit eines Bodens gemacht werden (Kinsey 2014, 68). Da der pH mit zwei Methoden gemessen werden kann (Wasserextraktion H_2O oder Calcium-/Kaliumchlorid CaCl/KCl) ist es wichtig zu wissen, welche Messmethode angewendet wurde (Hübscher 2023, persönliche Mitteilung). Die Differenz der zwei pH-Messmethoden beträgt zwischen 0.5-1, sprich ein Boden mit einem pH-Wert nach H_20-Verfahren von 7, hat bei der CaCl-Methode einen Wert von 6-6.5 (Kinsey 2014, 68). Ein gut belebter Boden weist einen Unterschied zwischen den beiden pH-Methoden von ca. 0.5 auf (Näser 2021, 176). Eine höhere Differenz deutet auf eine Abnahme des Bodenlebens hin (Näser 2021). Beim pH-Wert handelt es sich um eine logarithmische Skala was bedeutet, dass von einem neutralen pH von 7 zu einem pH 6 die Zunahme der Säure sich verzehnfacht, zu pH 5 verhundertfacht (Kinsey 2014, 72). Einfluss auf den Boden-pH haben hauptsächlich die vier Kationen Calcium, Magnesium, Kalium und Natrium (Kinsey 2014, 68). Hohe Anteile an Natrium im Boden sorgen für hohe pH-Werte (Kinsey 2014, 68). So kann Natrium den pH-Wert des Bodens um ein vierfaches mehr verändern als Calcium es kann (Näser 2021, 23). Auch Kalium zeigt eine weitaus grössere pH-Beeinflussung als Calcium und Magnesium auf (Kinsey 2014, 68). So hat Kalium einen zweimal höheren Einfluss auf den pH als Calcium (Näser 2021, 22). Magnesium hat ebenso die Fähigkeit, den pH 1.67 Mal stärker als Calcium zu steigern (Kinsey 2014, 68). Wird nur der pH gemessen, können Kalkmängel im Boden leicht übersehen werden (Näser 2021, 23). Ein idealer Boden hat nach (Kinsey 2014, 50) einen pH-Wert von ca. 6.3, da sich bei einem gesunden, funktionierenden Boden der pH zwischen 6 und 6.5 einpendelt. Bei einem pH tiefer als 6 werden Pilze bevorteilt, während sich bei einem höheren pH die Bakterien wohler fühlen - somit stellt sich bei einem pH zwischen 6 und 6.5 ein ausgewogenes Verhältnis von beiden ein (Kinsey 2014, 53).

2.2.1.2 Makronährstoffe

Stickstoff wird von Pflanzen fürs Wachstum und die Entwicklung benötigt (Kali Akademie ohne Datum). Er ist Hauptbestandteil von Proteinen und Aminosäuren, sowie Bestandteil von Pigmentstoffen und Enzymen (NovaCropControl 2023a). Stickstoff ist ein Baustein vom Chlorophyl und von Nukleinsäuren (DNA,RNA) (Kali Akademie ohne Datum). Stickstoffüberschüsse mindern die Qualität des Ernteprodukts und zeigen einen erhöhten Befall durch Schaderreger (Zorn et al. 2016, 47). Stickstoffüberschüsse haben Auswirkungen auf Kalium und Calcium (Hörner 2020c).

Phosphor ist wichtig für die Zucker- und Stärkebildung, eine gute Jugendentwicklung, die Bestockung und die Bewurzelung (NovaCropControl 2023a). Es ist Bestandteil vieler Verbindungen und zentral bei Ab-, Auf- und Umbaureaktionen der Fett-, Eiweiss-, Kohlenhydrat- und Vitaminsynthese, wodurch der gesamte Pflanzenstoffwechsel von Phosphor abhängig ist (Kali Akademie ohne Datum). Überschüsse an Phosphor können unter anderem Zink-, Eisen-, Calcium-, Bor-, Kupfer-, Kalium- und Manganmängel auslösen (Zorn et al. 2016, 47). Phosphormängel können bei Trockenheit, Verschlämmungen, Verdichtungen oder Kälte auch auf gut versorgten Böden auftreten (Zorn et al. 2016, 24). In zu sauren und zu alkalischen Böden wird Phosphor festgelegt (Zorn et al. 2016, 24).

Kalium ist ein wichtiger Katalysator, sowie für Zucker- und Stärketransport verantwortlich (Hörner 2020b). Kalium hilft bei der Photosynthese und stellt die Grundlage für die Ausbildung von Zellwänden dar (Kinsey 2014, 188). Kalium ist im Stoffwechsel an der Aktivierung von mehr als 50 Enzymen beteiligt (Kali Akademie ohne Datum). Bei der Regulierung der Spaltöffnungen, der Stomatas, spielt Kalium eine essenzielle Rolle und damit auch beim Gasaustausch und der Regulierung vom Wasserhaushalt (Kinsey 2014, 190; Hörner 2020b). Durch das Kalium werden Ertragsparameter, wie Stängel- und Blätterdicke, sowie Grösse und Anzahl Früchte, wie auch die Kornfüllung bestimmt (Hörner 2020b). Bei Beständen mit guter Kalium-Versorgung zeigen sich verbesserte Winterhärte und Lagerfähigkeit (Hörner 2020b). Laut Kinsey (2014, 23) kann Kalium gut etwas angereichert sein, jedoch keine exzessiven Gehalte, da diese Bor binden und Mangan verdrängen. Vorallem bei Obstbäumen können zu hohe Kalium-Gehalte zu Magnesium- und Calciummangel führen (Zorn et al. 2016, 47–48).

Calcium wird von anderen Elementen benötigt, um überhaupt in die Pflanze zu kommen, aktiviert Enzyme, verringert die Bodenversauerung und fördert die mikrobielle Aktivität (Kinsey 2014, 78). Calcium ist zuständig für die Zellstruktur und die Festigkeit der Zellen (NovaCropControl 2023a). In Kombination mit Kalium ist Calcium wichtig für die Qualität der Ernteprodukte (NovaCropControl 2023a). Der Einsatz von Kalk fördert durch die erhöhte mikrobielle Aktivität den Abbau von Ernteresten, die Symbiose von Leguminosen und hat eine Steigerung der Phosphor- und Molybdän Verfügbarkeit zur Folge (Kinsey 2014, 79). Erhöhte Stickstoffdüngung kann Calcium auswaschen. Calcium wird durch den Transpirationssog aufgenommen, daher kann es bei langanhaltender Trockenheit zu einer Mangelsituation kommen (Zorn et al. 2016, 38).

Magnesium ist ein Bestandteil vom Chlorophyll und entsprechend zentral für die Photosynthese (Kinsey 2014). Es hilft zudem beim Phosphat-Stoffwechsel und ist verantwortlich für die Aktivierung von Enzymsystemen (Kinsey 2014, 91). Magnesium reguliert den Energiehaushalt und ist Baustein der Ribosome und des Zellkerns (Kali Akademie ohne Datum). Zudem braucht es Magnesium für die

Stickstoffsynthese in der Pflanze, denn es hilft dabei Nitrat in Proteine umzuwandeln (NovaCropControl 2023a). Je niedriger die Temperatur, desto mehr Mühe hat die Pflanze Magnesium aufzunehmen (NovaCropControl 2023a). Zusammen mit dem Calcium hat das Magnesium eine Schlüsselrolle in Bezug auf Luft und Wasser im Boden (Kinsey 2014, 91). Magnesium hält den Boden zusammen, führt bei Überschüssen aber zu Trockenrissen und bei Nässe zu klebrigen Böden (Kinsey 2014, 91). Zu viel Magnesium im Boden führt dazu, dass die Pflanzen dieses nicht mehr aufnehmen können (Kinsey 2014, 93). Weiter stört zu viel Magnesium das Calcium-/Magnesiumgleichgewicht und kann zusätzlich die Kalium-Aufnahme der Pflanze beeinträchtigen (Zorn et al. 2016, 48). Magnesiummangel tritt vorallem auf sauren Böden mit einer tiefen Kationenaustauschkapazität (KAK) und einem zu hohen Calcium-/Magnesium- und Kalium-/Magnesiumverhältnis auf (Zorn et al. 2016, 26).

Schwefel ist wichtig für die Umwandlung von Nitrat in Aminosäuren und Proteine (NovaCropControl 2023a). Weiter ist der Schwefel Bestandteil von wichtigen Enzymen und Vitaminen, sowie dient als Katalysator in der Pflanze (NovaCropControl 2023a). Er spielt zudem eine Rolle bei der Produktion von pflanzeneigenen Abwehrstoffen, sowie sekundären Pflanzenstoffen und steigert die Stickstoffeffizienz (Kali Akademie ohne Datum). Bei zu hohen Stickstoffmengen, kann es auf gefährdeten Standorten zu Schwefelmangel kommen (Zorn et al. 2016, 34). Zuviel Schwefel hat einen negativen Einfluss auf das Molybdän (Hörner 2020c).

2.2.1.3 Mikronährstoffe

Bor ist wichtig für die Zuckerbildung und den Zuckertransport (NovaCropControl 2023a). Mit dem Calcium ist es zuständig für den Aufbau der Zellwände, steuert zudem gerade auch die Calcium Aufnahme (NovaCropControl 2023a). Durch die Bildung von zellwandstabilisierenden Kohlenhydraten verbessert es die Membranstabilität (Kali Akademie ohne Datum). Bor fördert das Pflanzenwachstum durch Beeinflussung der Zellteilung und hat eine regulierende Funktion in der RNA-Bildung (Kali Akademie ohne Datum). Eine gute Versorgung mit Bor spiegelt sich in der Pollen- und Blütenqualität wieder (NovaCropControl 2023a). Bor wird wie Calcium mittels Transpirationssog aufgenommen (Zorn et al. 2016, 40). Daher kann sich auch bei normaler Borversorgung im Boden nach längerer Trockenheit Bormangel zeigen (Zorn et al. 2016, 40). Bormangel tritt hauptsächlich bei hohen pH-Werten auf (Zorn et al. 2016, 41). Bor hat die beste Verfügbarkeit zwischen pH 5-7 und wird leicht ausgewaschen (Kinsey 2014, 254).

Molybdän ist essenziell für das Nitrat-Reduktase-Enzym (Kinsey 2014, 256; NovaCropControl 2023a). Molybdänmangel zeigt sich bei neutralen bis sauren Böden (Zorn et al. 2016, 42). Die Knöllchenbakterien der Leguminosen haben einen erhöhten Molybdän-Bedarf (Zorn et al. 2016, 42). Die beste Verfügbarkeit zeigt sich bei einem pH von 7-8.5 (Kinsey 2014, 254). Je höher die organische Substanz, desto mehr wird Molybdän blockiert und kann nicht aufgenommen werden (NovaCropControl 2023a). Überschüsse an Molybdän zeigen sich an goldigen bis orange-gelben Chlorosen an jungen Blättern, Knospenstau, verdickten Stängel und absterbende alte Blätter (Zorn et al. 2016, 49).

Eisen ist im Jugendstadium wichtig für die Bildung von Chlorophyll (NovaCropControl 2023a). Eisenmangel zeigt sich hauptsächlich auf sehr kalkhaltigen Böden (Kinsey 2014, 252). Die beste Verfügbarkeit zeigt sich zwischen pH 4-6.5, wobei Eisen bei einem pH über 6.5 festgelegt wird (Kinsey 2014, 254). Aufnahmeeinschränkungen können bei überhöhtem Phosphor- und Mangangehalt bestehen (NovaCropControl 2023a).

Kupfer ist wichtig in der Photosynthese, Bestandteil vieler Enzyme und hilft bei der Abwehr von Pilzen (NovaCropControl 2023a). Kupfer ist an der Bindung von Sauerstoffradikalen involviert und hilft dabei, diese unschädlich zu machen (Kali Akademie ohne Datum). Weiter ist es wichtig bei der Lignifizierung und für die Knöllchenbakterien von Leguminosen (Kali Akademie ohne Datum). Aufgrund der starken Bindung an Humusstoffe, zeigt sich Kupfermangel eher bei zunehmendem Humusanteil (Zorn et al. 2016, 36). Die beste Kupfer-Verfügbarkeit zeigt sich bei pH 5-7 (Kinsey 2014, 254). Bei Kupferüberschüssen kann die Aufnahme von Phosphor und Zink eingeschränkt werden (NovaCropControl 2023a). Im Gegenzug kann ein zu hoher Phosphorgehalt die Kupferaufnahme blockieren (NovaCropControl 2023a).

Mangan ist wichtig für die Saatgutqualität und die Vitalität der Pflanze (NovaCropControl 2023a). Weiter ist Mangan ein Aktivator für Enzymprozesse, trägt zur Photosynthese bei und hilft bei der Nährstoffumwandlung (NovaCropControl 2023a). Mangan ist ein wichtiger Bestandteil bei der Fettsäurebiosynthese, fördert die Bildung von Seitenwurzeln und ist an der Bindung von Sauerstoffradikalen beteiligt (Kali Akademie ohne Datum). Ohne Mangan kann im Boden keine Nitratreduktion ablaufen (Kali Akademie ohne Datum) . Durch Steuerung des Kohlenhydratstoffwechsels kann Mangan den Energiehaushalt beeinflussen, sowie aktiviert durch seinen Einfluss auf die Zellstreckung das Pflanzenwachstum (Kali Akademie ohne Datum). Manganmängel treten meistens auf alkalischen Böden auf, verstärkt durch Trockenheit und hohen Kalium- und Magnesiumgehalte (Zorn et al. 2016, 30). Kinsey (2014, 252) ergänzt, dass auch wassergesättigte Böden mit einem hohen pH Manganmangel auslösen können. Die beste Verfügbarkeit von Mangan findet sich bei pH 5-6.5 (Kinsey 2014, 254).Manganüberschüsse finden sich hauptsächlich auf sauren Böden, können aufgrund deren Aufnahmehemmung von Calcium, Magnesium, Eisen, Kupfer und Zink jedoch meistens nur schwer an der Pflanze identifiziert werden (Zorn et al. 2016, 49).

Zink ist wichtig für die Bildung von Eiweissen und für die Atmung der Pflanze (NovaCropControl 2023a). Es ist Bestandteil vieler Enzyme und hat einen Einfluss auf verschiedenste Stoffwechselprozesse (Kali Akademie ohne Datum). Als Bestandteil der RNA-Polymerase hat es Einfluss auf die RNA- und Proteinbildung. Hassan et al. (2020) weisen zudem auf die wesentliche bisher unterbewertete Rolle von Zink in Bezug auf Trockenheitsstress hin. Zinkmangel zeigt sich verstärkt bei pH von 6.5-8, da mit steigendem pH die bereits eingeschränkte Beweglichkeit noch mehr abnimmt (Zorn et al. 2016, 44).Laut Kinsey (2014, 255) zeigt sich die beste Zink-Verfügbarkeit bei einem pH von 5-7.

Silizium zählt bei den meisten Pflanzen nicht zu den essenziellen Nährstoffen, zeigt jedoch trotzdem bei Aufnahme eine bessere Krankheitsabwehr, Trockenheit- und Schwermetalltoleranz, sowie bessere Qualität und höhere Erträge (Richmond und Sussman 2003). Silizium ist wichtig für die Zellfestigkeit, puffert Salze, fördert die Calciumaufnahme und hilft bei der Krankheitsunterdrückung (NovaCropControl 2023a). Hörner (2020c) deklariert Silizium als das vergessene Element und weist auf seine Wichtigkeit hin: Resistenzsteigerung gegenüber Schädlingen und Krankheiten, Photonen- und Energietransport, verbesserte Umwandlung der Erntereste im Boden, Wasserhaltekapazität (1 Teil Silizium hält 300 Teile Wasser), nährstoffregulierend, hilft bei der Aufnahme von Stickstoff, Kalium und Phosphor, verminderte Aufnahme von toxischen Elementen und bindet überschüssiges Nitrat.

Natrium zählt bei den meisten Pflanzen nicht zu den essenziellen Nährelementen (Hörner 2020b). Eine grosse Rolle spielt die Anreicherung von Natrium im Boden, welche durch Bewässerung, Evaporation, und natriumhaltige Düngemittel gefördert wird (Hörner 2020b). Übersteigt die Natrium-Basensättigung die vom Kalium, nimmt die Pflanze Natrium statt Kalium auf (Hörner 2020b). Übersteigt die Basensättigung von Natrium und Kalium zusammen 10%, führt dies zu einer Blockierung der Manganaufnahme in der Pflanze (Kinsey 2014, 240). Weiter verdrängt Natrium das Calcium, was zu einer verschlechterten Bodenstruktur führt (Hörner 2020b). Zusätzlich zu Kalium und Calcium verdrängt Natrium auch Magnesium (Zorn et al. 2016, 51). Bakterien werden durch Natriumüberschüsse in der Rhizosphäre zerstörrt und Wurzelzellen platzen auf (Hörner 2020b). Eine Hemmung der Wasseraufnahme führt bei Natriumüberschüssen zur physiologischen Vertrocknung der Pflanze (Zorn et al. 2016, 51). Aluminiumüberschüsse in Böden treten vor allem bei tiefen pH-Werten <5 auf (Zorn et al. 2016, 50). Wurzeln werden durch Überschüsse von Aluminium-Ionen geschädigt, wodurch die Calcium-, Magnesium- und Phosphoraufnahme gehemmt wird (Zorn et al. 2016, 50).Überschüsse zeigen sich an kleingeratenen und in der Entwicklung zurückgebliebene Pflanzen (Zorn et al. 2016). Chloridüberschüsse im Boden zeigen sich anhand Blattrandverbrennungen (Zorn et al. 2016, 49). Sie können die Aufnahme von Nitrat, Schwefel und Phosphor hemmen (NovaCropControl 2023a).

2.2.2 Kationenaustauschkapazität (KAK) und Basensättigung

Ton-/Humuskomplexe, sogenannte Bodenkolloide, sind negativ geladene Bodenteilchen (Lowenfels et al. 2020, 29; Näser 2021, 174). Diese negative Ladung zieht positiv geladen Ionen, sogenannte Kationen, an (Kinsey 2014, 34). Dazu gehören Calcium, Magnesium, Kalium, Natrium, Eisen, Aluminium und Wasserstoff (Lowenfels et al. 2020, 29). Pflanzen nehmen Nährstoffe unter anderem mittels ihren Wurzelhaaren auf, wobei diese mit den Bodenkolloiden einen Austausch eingehen und Wasserstoff-Ionen gegen Nährstoffkationen austauschen (Lowenfels et al. 2020, 29). Die Kationenaustauschkapazität (KAK) gibt daher Auskunft über die Menge an Austauschplätzen und entsprechend die Nährstoffaufnahmefähigkeit eines Bodens (Lowenfels et al. 2020, 29). Es wird zudem zwischen austauschbaren basenbildenden Kationen (Calcium, Magnesium, Kalium und Natrium), sowie den säurebildenden Kationen (Wasserstoff, Aluminium und Eisen) unterschieden (Labor Ins ohne Datum). Humus hat gegenüber Ton eine vielfach höhere Kationenaustauschkapazität (Näser 2021, 174). Sand und Lehm haben eine relativ tiefe KAK aufgrund ihrer grösseren Partikel, die weniger durch elektrische Ladung beeinflusst werden (Lowenfels et al. 2020, 29). Die KAK ist zusätzlich vom pH abhängig, sprich bei einem hohen pH ist auch de KAK höher (Labor Ins ohne Datum). In der Literatur wird die KAK teilweise immer noch mit meq/100g angegeben, wobei dies laut WBF (2020) nicht mehr den SI-Normen entspricht. Neu wird die KAK in cmol/kg Boden angegeben, was hundertste Mol positive Ladung pro Kilogramm Boden entspricht (WBF 2020). Die Werte lassen sich jedoch übertragen und keine Umrechnung ist erforderlich (WBF 2020). Es wird zudem nicht in allen Labors das gleiche Vorgehen für die Bestimmung der KAK und der Basensättigung angewendet (Hübscher 2023, persönliche Mitteilung). Dies macht Vergleiche zwischen den Bodenanalysen umso schwieriger.

Die Basensättigung entspricht dem prozentualen Anteil der basischen Kationen an der KAK. Nach der Bestimmung der Kationenaustauschkapazität, folgt die Bestimmung der Basensättigung, also die Prozentanteile der einzelnen Basen (Kinsey 2014, 53). Durch ihre zweifache positive Ladung sind Calcium und Magnesium dominanter, wenn es um die Platzbesetzung der freien Ladeplätze der Bodenkolloide geht (Kinsey 2014, 38).

Kinsey (2014, 34) bemängelt, dass viele Boden-Labors den Tongehalt nicht messen, sondern durch eine Fühlprobe bestimmen. Somit wird die Kationenaustauschkapazität und die Basensättigung nur anhand einer ungefähren Schätzung vom Tongehalt gemacht, der neben dem Humus die negativen Andockstellen für die Kationen bietet (Kinsey 2014, 34). Weiter werden nicht bei allen Labors die totale KAK gemessen, sondern gewisse Kationen, wie z.B. Natrium weggelassen, was nicht der totalen Austauschkapazität entspricht (Kinsey 2014, 36).

Erstmals wurde Ende des Jahr 1800 von Oskar Loew ein ideales Calcium zu Magnesium Verhältnis im Boden angesprochen (Kopittke und Menzies 2007). Untersuchungen von Lipman (1916) ergaben, dass ein spezifisches Calcium-Magnesium-Verhältnis nicht eine grundlegende Basis für besseres Pflanzenwachstum darstellt. Moser (1933) beschäftigte sich mit dem Thema und führte eigene Versuche durch, welche keine Korrelationen zwischen einem Ca-/Mg-Verhältnis in Bezug auf Ertrag ergaben. Er bemerkte jedoch, dass Erträge vom Calciumvorkommen im Boden abhängig waren und in Böden mit viel Magnesium, Ertragseinbussen aufgrund Ca-Mangel zurückzuführen waren (Moser 1933). Die in den USA geläufige Bodenanalyse nach dem «basischen Kationensättigungsverhältnis» (basic cation saturation ratio BCSR) wurde ab den 1940er Jahren von Bear und Toth ins Leben gerufen (vgl. Bear und Toth 1948). Währen den Jahren wurden diese Verhältnisse durch verschiedene Persönlichkeiten angepasst (vgl. Tab. 2).

Tab. 2: Unterschiedliche Basensättigungsverhältnisse (Quelle: nach Bear und Toth 1948; Graham 1959, 13; Albrecht 1975; Kinsey 2014, 54–55, eigene Darstellung)

Quelle	KAK Ca	KAK Mg	KAK K	KAK H	Ratio Ca/Mg	Ratio Ca/K	Ratio Ca/H	Ratio Mg/K
Bear und Toth 1948	65%	10%	5%	20%	6.5:1	13:1	3.25:1	2:1
Graham 1959	65-85%	6-12%	2-5%	-	5-14:1	2.5-13:1	-	1.2-6:1
Albrecht 1975	60-75%	10-20%	2-5%	10%	3-7.5:1	12-37.5:1	6-7.5:1	2-10:1
Kinsey 2014	60% Sandböden 70% Tonböden	10% Tonböden 20% Sandböden	4-5%	10-15%	3:1 Sandböden 7:1 Tonböden	13:1 Sandböden 15:1 Tonböden	4-6:1 Sandböden 5-7:1 Tonböden	2-2.5:1 Sandböden 4-5:1 Tonböden

Kopittke und Menzies (2007) kritisieren jedoch den fehlenden Einbezug des pH-Wertes in den Studien von Albrecht. Verschiedene Studien wurden in Bezug auf das ideale Basensättigungsverhältnis durchgeführt, kamen gesamthaft jedoch zur Erkenntnis, dass Erträge nicht von einem spezifischen Ca-/Mg-Verhältnis abhängig sind (Chaganti und Culman 2017). So stellt Moser (1933) keine signifikante Korrelation zwischen Ca-/Mg-Verhältnis und Ertrag her, sondern erklärt die Ertragssteigerungen durch erhöhte Verfügbarkeit des Calciums im Boden. Hunter et al. (1943) stellen fest, dass Luzerne ohne Ertragseinbussen ein variables Ca-/Mg-Verhältnis tolerieren kann, sofern genügen Ca und K vorhanden ist. Weitere Untersuchungen zeigen auch ein paar Jahre später keine Effekte auf Ertrag und Wurzelgewicht bei der Luzerne (Hunter 1949). Bei Versuchen mit Weissklee stellen Giddens und Toth (1951) keine Ertragsveränderungen durch verändertes Ca-/Mg-Verhältnis fest, sondern nur erhöhte Aufnahme von Ca, Mg und K, wenn deren Verfügbarkeit erhöht wurde. Auch Simson et al. (1979) stellen weder bei Mais und Luzerne, noch Fox und Piekielek (1984) bei Mais eine Ertragssteigerung fest. So wurde auch weder bei Hirse noch bei Luzerne von Eckert und McLean (1981) bei einem bestimmten Ca-/Mg-Verhältnis Ertragssteigerungen beobachtet, sondern diese wurden auf höhere pH-Werte im Boden zurückgeführt. McLean et al. (1983) konnten bei ihrem 6-jährigen Versuch mit sechs Kulturen nur geringe Verbindungen zwischen Ertrag und Ca-/Mg- und Mg-/K-Verhältnis feststellen, wobei kein spezifisches Verhältnis bessere Erträge hervorbrachte. Rehm und Sorensen (1985) konnten bei unterschiedlichen Mg-/K-Verhältnissen keine Ertragssteigerungen feststellen. Es zeigte sich jedoch, dass die Mg-Aufnahme bei erhöhtem K

vermindert war, während umgekehrt kein Einfluss beobachtet wurde (Rehm und Sorensen 1985). Untersuchungen von Reid (1996) zeigten Ertragssteigerungen aufgrund erhöhtem pH durch Kalkung mit dem Optimum bei 6.5, jedoch kein Einfluss durch ein spezifisches Ca-/Mg-Verhältnis. Auch zeigten weder die Trockensubstanz von Wurzel- und Sprossgewichte signifikante Unterschiede zwischen unterschiedlichen Ca-/Mg-Verhältnissen (Favaretto et al. 2008). Neue Studien untersuchten in einem 6-jährigen Mais- und Sojaversuch das Ca-/Mg-Verhältnis unter Einbezug von pH und fanden keinen Unterschied in Ertrag bezogen auf das Verhältnis, jedoch eine Korrelation zwischen höherem pH und höheren Maiserträgen (Leiva Soto et al. 2023). Weiter konnten im gleichen Versuch keine, durch ein ideales Ca-/Mg-Verhältnis, verbesserten Bodenstrukturen, Aggregatbildung oder Wasserinfiltration festgestellt werden (Chaganti et al. 2021). Unterschiede fanden sich jedoch in der Unkrautunterdrückung, welche bei einer Calciumerhöhung signifikante Erfolge zeigte, während bei einer Magnesiumerhöhung die Unkräuter zunahmen (Soto 2022). Wird spezifisch nach einem gewünschten Ca-/Mg-Verhältnis gedüngt, kann dies leicht zu Überschüssen und Mängel führen, auch wenn theoretisch das ideale Verhältnis erreicht wäre (Gaspar und Laboski 2016; Chaganti und Culman 2017). In unterschiedlichen Studien wurde zudem die Wirtschaftlichkeit einer solchen Düngung nach BCSR untersucht, wobei im Vergleich zu kulturspezifischer Düngung, diese sich jeweils als teuerste herausstelle, ohne dabei Ertragssteigerungen zu verzeichnen (Olson et al. 1982; McLean et al. 1983). Empfohlen wird daher, dass Kationen moderat und kulturgerecht im Boden vorkommen sollen, nicht aber ein spezifisches Verhältnis deren (McLean et al. 1983; Gaspar und Laboski 2016).

Die meisten dieser wissenschaftlichen Versuche fokussieren sich mehrheitlich auf Ertragsunterschiede und statistisch nachweisbare Faktoren. Trotz deren ernüchternden Schlussfolgerungen, wenden laut Zwickle et al. (2014) viele biologische aber auch konventionelle Betriebe in den USA diese Analyse nach BCSR an. Durch Umfragen stellte sich heraus, dass Landwirte Verbesserungen in Unkrautbekämpfung, verbessertes Wachstum und Qualitätsparameter feststellen (Zwickle et al. 2014). Neal Kinsey, ehemaliger Schüler von Albrecht, wendet seit Jahren diese Methode an und erzählt in seinem Buch von 40 Jahren Erfahrung und Erfolgen damit (vgl. Kinsey 2014). Sein Prinzip lautet «Dünge den Boden und lasse den Boden die Pflanze ernähren» (Kinsey 2014, 9). Bei einem richtig einstellten Ca-/Mg-Verhältnis sind die Mikronährstoffe in ihrer besten verfügbaren Form im Boden vorhanden, unter der Bedingung, dass Sie dort auch vorhanden sind (Kinsey 2014, 57). Auch Dietmar Näser, Agraringenieur und Autor des Buches «Regenerative Landwirtschaft» zeigt sich von der sogenannten «Kinsey-Albrecht-Analyse» überzeugt (vgl. Näser 2021).

2.2.3 Boden-Chromatographie

Die Boden-Chromatographie ist eine Möglichkeit die Qualität des Bodens ohne Hilfe eines Labors zu beurteilen (Ford et al. 2021). Ehrenfried E. Pfeiffer entwickelte die sogenannte «Pfeiffer's Circular Chromotography» (PCC), eine qualitative Methode, um Böden zu bewerten (Ford et al. 2021). Eine Bodenprobe wird aufgelöst und von einem speziellen Papier aufgesogen (Rosén 2022). Durch Kapillar- und Gravitationskräfte fliessen unterschiedlich schwere Komponente unterschiedlich weit auf dem Papier und daraus entstehen verschieden Zonen (Rosén 2022). Durch diese Zonen und das entstandene Muster kann ein Boden unter anderem auf Nährstoffe, Humus und mikrobielle Aktivität beurteilt werden (Rosén 2022). Während für das die Herstellung von Boden-Chromas gut dokumentiere Anleitungen vorliegen, fehlen robuste und standardisierte Vorgehen für deren Interpretation (Khemani et al. 2008). Weiter sind gründliche Überprüfungen der Methode in Bezug auf deren Aussagekraft von Bodenparameter beschränkt

(Khemani et al. 2008; Kokornaczyk et al. 2017). Kokornaczyk et al. (2017) fanden bei der Evaluation von 16 Bodenproben eine starke Korrelation zwischen den Muster und dem Humusgehalt, Gesamtstickstoff und verfügbarer Phosphor. Nach Kokornaczyk et al. (2017) sind starke radiale Eigenschaften, wie ausgeprägte Zacken und Zackentäler Hinweise auf einen gesunden Boden, während konzentrische Merkmale, wie die Anzahl konzentrische Kreise, auf eine schlechtere Bodengesundheit hinweisen. Ford et al. (2021) untersuchten an 343 Bodenproben in Australien den Zusammenhang zwischen Merkmalen der Boden-Chromas und quantitativen Messwerten (pH, Kohlenstoffgehalt, mikrobielle Aktivität und Diversität, Salz). Eine Korrelation zwischen Kohlenstoffgehalt und mikrobieller Aktivität wurde zwar festgestellt, zeigten sich jedoch nicht wie angenommen anhand stärkeren radialen Ausprägungen oder anhand dem Radius der mittleren Zone (Ford et al. 2021). Die zentrale und innere Zone gibt Auskunft über das Vorkommen von Mineralien, da diese aufgrund des Gewichtes am wenigsten weit wandern (Ford et al. 2021). Die mittlere Zone gibt Auskunft über Proteine, organischen Kohlenstoff und organisches Material, während die äussere Zone Indikationen zur mikrobiellen Aktivität, sowie anhand der «Wolkenbildung» zur Nährstoffverfügbarkeit hergeben (Ford et al. 2021). Eine höhere Anzahl Zackentäler sind ein Indiz auf erhöhte organische Materie und Nährstoffe und sofern zonenüberlappend, diese im Boden eingebaut sind (Ford et al. 2021). Durch eine höhere Anzahl Zackentäler ist auch die Anzahl Zacken grösser, daher gilt laut Ford et al. (2021) auch dort das Indiz zur erhöhten organischen Materie und Nährstoffe, sowie deutet generell auf einen gesunden Boden hin. Warme Farben, wie gelb, gold, rot, orange und beige, sowie starke Farbintensität deuten auf einen gesunden Boden hin (Ford et al. 2021). Kältere Farben, wie grau, dunkelbraun und bläulich, zeigen sich bei eher schwacher mikrobieller Aktivität (Ford et al. 2021). Eine hohe Anzahl konzentrische Ringe deuten auf einen Überschuss an löslichen Nährstoffen hin (Ford et al. 2021). Eine verlässliche Interpretationsvorlage für Boden-Chromas zu erstellen ist laut Ford et al. (2021) schwierig, vor allem wenn dabei quantitativ vorgegangen werden will. Follador (2015) auf der anderen Seite sieht die Interpretation von Boden- oder Kompost-Chromas aus einem holistischen und ganzheitlichen Blickwinkel, wobei nicht Prozentangaben oder genaue Zahlen wichtig sind, sondern qualitativ bewertet wird, welche Prozesse und Interaktionen im Boden und Kompost vorgehen. Das genaue Herstellungsverfahren von Boden-Chroms wird in Kapitel 3.2.10.3 beschrieben.

2.2.4 microBIOMETER® als Messinstrument der mikrobiellen Aktivität

Eine funktionierende Bodenmikrobiologie spielt mit ihren zahlreichen Leistungen eine essenzielle Rolle für die Bodengesundheit (Neff 2000). Möglichkeiten, den Zustand und Veränderungen der Bodenmikrobiologie festzustellen sind vorhanden, wobei es sich einerseits um Aktivitätsmessungen und anderseits um Populationsdifferenzierungsmessungen handelt (vgl. Abb. 4) (Neff 2000). Unterschiedliche Methoden geben dabei die Möglichkeit, die Mikrobiologie im Boden von verschiedenen Seiten zu betrachten (Neff 2000). Möglichkeiten, den Boden selbstständig auf seine mikrobiologische Aktivität zu testen sind begrenzt. Mittels eines Mikroskops können Mikroorganismen ausgezählt werden. Die Genauigkeit davon ist jedoch von den Fähigkeiten des Mikroskopierers abhängig und mit Fehlern behaftet (Neff 2000). Es braucht dementsprechend Übung.

Die Firma Prolific Earth Sciences® aus Montgomery in den USA hat aufgrund dieser begrenzten Möglichkeiten für «on-farm» Tests zur mikrobiellen Aktivität im Jahr 2008 den microBIOMETER® auf den Markt gebracht (microBIOMETER ohne Datum[b]). Die mikrobielle Biomasse wird im Test von der Bodenlösung getrennt und durch die Trübung dieser Flüssigkeit wird die Biomasse bestimmt (Sain 2022). Sain (2022) weist in seiner Analyse von verschiedenen Tests zur Bestimmung der mikrobiellen Aktivität darauf hin,

dass der microBIOMETER® nur ein Bruchteil der Kosten und der Zeit im Vergleich zu anderen Tests in Tennessee beträgt. So kann innerhalb von 30 Minuten ein Boden, Kompost oder auch Komposttee analysiert werden. Sain (2022) bemängelt jedoch, dass von der Firma keine unabhängige Verifizierung der Resultate vorgenommen wird, wie es bei Labors üblich ist. In seinem Versuch mit Baumwolle hat Sain (2022) den microBIOMETER® mit zwei Labors verglichen, die auch die mikrobielle Biomasse messen, jedoch einerseits mittels Chloroform-Fumigation-Extraktion (CFE) und anderseits mittels substrat-induzierter Respiration (SIR). Zwischen der CFE- und der SIR-Methode besteht nachweislich eine positive Korrelation (Wang et al. 2003 und Vásquez-Murrieta et al. 2006 in Sain 2022). Sain (2022) stellte fest, dass der microBIOMETER® eine höhere Abweichung der Resultate aufwies als SIR und CFE. Keine der drei Messmethoden korrelierten jedoch miteinander (Sain 2022). Sain (2022) erachtet in seinem Versuch den microBIOMETER® als keine zuverlässige Methode, um die mikrobielle Aktivität des Bodens und dessen Zustand zu eruieren. Aufgrund der Methodik des Tests wird davon ausgegangen, dass alle Bodenpartikel von der mikrobiellen Fraktion getrennt werden und die Flüssigkeit frei von jeglichen Mineralien und organischen Fraktionen ist (Sain 2022). Ist dem nicht so, wird das Testresultat verfälscht (Sain 2022). In einem anderen Versuch, wurde von Gordon (2021) der microBIOMETER® auf Böden von Gründüngungsversuchen getestet. Verglichen wurde der mikrobielle Kohlenstoff im Boden des microBIOMETER® mit fünf weiteren Methoden (Gordon 2021). Eine Korrelation zwischen dem microBIOMETER® und Bodenprotein, sowie reaktivem Kohlenstoff im Boden konnte festgestellt werden (Gordon 2021). Laut Gordon (2021) braucht es noch weitere Untersuchungen, damit festgestellt werden kann, wie nützlich und aussagekräftig der microBIOMETER® in der Praxis ist.

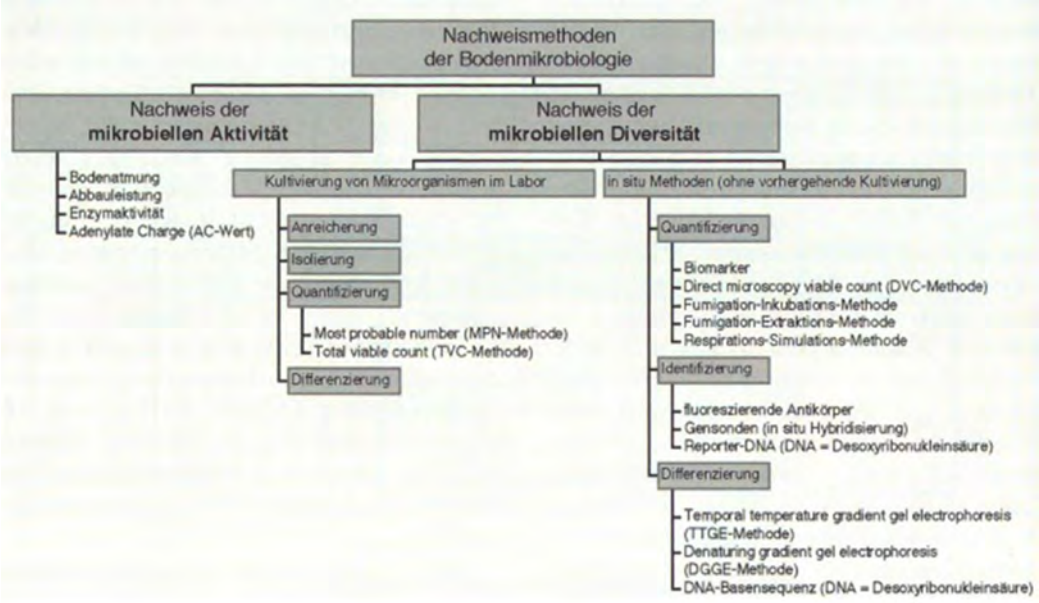


Abb. 4: Nachweismethoden der Bodenmikrobiologie (Quelle: Neff 2000)

2.3 Pflanzengesundheit und Messparameter Blattsaft

John Kempf ist Gründer von Advancing Eco Agriculture, Agronom, Advokat der Regenerativen Landwirtschaft, sowie Autor aus den USA. Auf seinen Beobachtungen basiert die Pyramide der Pflanzengesundheit, wobei Böden und Pflanzen eine vollständige Resistenz gegenüber Krankheiten und Schädlingen entwickeln können, sobald ihr Gesundheitszustand verbessert wird (vgl. Abb. 5) (Bisaz 2020; Näser 2021, 149). Kempf (2019) ist zudem der Meinung, dass aufgrund von gesunden Pflanzen gesunder Boden entsteht und nicht umgekehrt, denn ohne Pflanzen wäre aus dem Muttergestein niemals Boden

entstanden. In den ersten zwei Stufen wird durch eine ausgewogene Nährstoffversorgung das biochemische Profil der Pflanze und damit die passive Immunität verbessert (Bisaz 2020). Durch eine gesteigerte Photosyntheserate kann die Pflanze einfache Zucker in komplexere Kohlenhydrate, wie Zellulose, Lignin, Pektine und Stärke umwandeln (Hörner 2020c; Näser 2021, 150). Dadurch ist die Pflanze weniger anfällig gegenüber bodenbürtigen Pilzen, wie *Vericilium*, *Fusarium* und *Rhizoctonia* (Näser 2021, 150). Dies kann laut Näser (2021, 150) durch Komposttеegaben im frühen Wachstum und bei Stress, kurzer Vegetationspause zwischen Kulturen, Einsatz von Pflanzenfermenten bei Bodenbearbeitung und Unterbodenlockerung, sowie Gründüngungen und Flächenrotte erreicht werden. Die Kulturen sind in der ersten Phase auf eine gute Verfügbarkeit von Calcium, Silizium, Mangan, Stickstoff und Phosphor angewiesen (Näser 2021, 150). Überprüfungen einer vollständigen Photosynthese sind anhand einer hohen Auflaufrate (85-95%), normalen BRIX-Werten, an einem weissen Wurzelhals/Halmbasis und grosszügigem Erdanhang der Wurzeln zu beobachten (Näser 2021, 150). Kempf (2019) fügt zudem an, dass das Potenzial jeder Pflanze in ihrer Photosyntheseleistung noch enorm gesteigert werden kann und nur ca. 20% des möglichen Potenzials beträgt. In der zweiten Phase kann die Pflanze alle löslichen Stickstoffverbindungen innerhalb eines 24-stündigen Fotozyklus in Eiweisse umwandeln und zeigt entsprechend im Pflanzensaft kein Nitrat und Ammonium mehr an (Näser 2021, 151). Die Pflanze sondert durch das erhöhte Energieniveau, welches anhand der höheren elektrischen Leitfähigkeit zu beobachten ist, mehr Zucker über die Wurzeln aus und aktiviert das Bodenleben (Näser 2021, 151). Durch deren Mobilisierung von Mineralien und Mikronährstoffen kann die Pflanze diese als Coenzyme zur vollständigen Proteinbildung nutzen (Näser 2021, 151). Mit der Abnahme des löslichen Aminosäuren-Gehalts zeigt die Pflanze weniger Anfälligkeit auf Schädlinge, die sich von einfachen Proteinmolekülen ernähren, wie beispielsweise Larven der Nachtfalter und saugende Insekten (Hörner 2020c; Näser 2021, 151). Laut Näser (2021, 151) und Hörner (2020c) ist für diese Stufe die Versorgung mit Magnesium, Schwefel, Molybdän und Bor wichtig, wobei Bor als zusätzliche Schädlingsresistenz eingesetzt wird. Die BRIX-Werte sollten steigen, Nitratwerte im Blattsaft und Boden sinken, sowie verminderter Unkrautwuchs und Algenfilm auf der Bodenoberfläche ersichtlich sein (Näser 2021). In der dritten und vierten Phase erreichen die Pflanzen einen Energieüberschuss, welcher im ersten Schritt ans Wurzelsystem und die Bodenbiologie abgegeben wird (Bisaz 2020). In dieser Phase ist eine diverse aktive Bodenbiologie und ein funktionierender Stoffwechsel in der Rhizosphäre von grosser Wichtigkeit, damit der Pflanze durch mikrobielle Metaboliten die nötige Energie zur Lipidbildung zur Verfügung gestellt werden kann (Näser 2021, 152). Durch die Lipidbildung verdickt sich die Epidermis und verstärken sich die Zellmembrane, wodurch die Pflanze widerstandfähiger gegenüber Pathogenen Pilzen, wie Mehltau und Rost wird (Näser 2021, 152). Erhöhten Blattglanz, einer Zunahme der Leitfähigkeit im Blattsaft und Boden, stärkerer Bewurzelung, abnehmenden Verunkrautung und hohe Qualität des Erntegut sind laut Näser (2021, 152) Indizien, dass die Pflanze ihre überschüssige Energie in Lipiden speichern kann. In der vierten Phase kann die Pflanze aufgrund hoher Futterwerte sekundäre Pflanzeninhaltsstoffe und/oder ätherische Öle produzieren, welche sie vor Parasiten und UV-Strahlen schützt (Bisaz 2020). Durch antibiotische Merkmale wird zudem die Verdauung von Schädlingen gehemmt (Näser 2021, 162). Weiter kann die Pflanze mittels dem richtigen Mikrobioms antimikrobielle Sekundärmetaboliten ausschütten und sich so auch gegen Insekten mit einem besseren Verdauungssystem, wie z.B. Käfer, Wanzen aber auch Nematoden und Viren schützen (Näser 2021, 153). Die Widerstandsfähigkeit von Pflanzen, die die Phase 4 erreicht haben ist sehr hoch (Näser 2021, 153). Komposttеeapplikationen, vielfältige Gründüngungen und Flächenrotten helfen laut Näser (2021, 150–153) bei jeder Stufe der Pyramide.

Abb. 5: Die Pyramide Pflanzengesundheit nach John Kempf (Quelle: Biokräuterei ohne Datum)

Der BRIX-Wert wird durch ein Refraktometer bestimmt und gibt die Nährstoffdichte der gelösten Stoffe an (Näser 2021, 173). Diese gelösten Stoffe bestehen mehrheitlich aus dem von der Pflanze assimilierten Zucker (Näser 2021, 173). Geringe Anteile machen gelöste organischen Stoffen und Nährsalzen aus, die für eine unscharfe Brechungsgrenze beim Ablesen des BRIX-Wertes sorgen (Näser 2021, 173). Je unschärfer diese Linie ist, desto höher ist die Nährstoffaufnahme der Pflanze (Näser 2021, 173). Mehrheitlich wird damit die Calcium-Versorgung definiert, da Calcium als Schlüsselmineral gilt (Hörner 2020a). Hohe BRIX-Werte deuten nicht nur auf einen hohen Zuckergehalt und entsprechend eine hohe Stoffwechselleistung, sondern weisen auch auf einen hohen Anteil gebundener Nährstoffe hin (Hörner 2020a). Kulturen mit einem BRIX ab 12%, gemessen zu allen Tageszeiten und in allen Pflanzenteilen, zeigen erhöhte Widerstandsfähigkeit (Näser 2021, 171). Einzig bei Trockenheit ist bei hohen BRIX-Werten die elektrische Leitfähigkeit mitzumessen (Hörner 2020a). Ist diese über 12mS/cm hat die Pflanze mit dem Bodenwasser hohe konzentrierte Mengen an Nitrat, Kalium und anderen Salzen aufgenommen (Hörner 2020a). Hohe BRIX-Werte korrelieren zudem mit der Haltbarkeit eines Produkts (Hörner 2020a). Auch Liu et al. (2004) stellten eine mittlere positive Korrelation zwischen Haltbarkeit und BRIX bei Melonen fest. Weiter gibt es Korrelationen zwischen Geschmack/Süsse von Kirschen und höheren BRIX-Werten (Guyer et al. 1993).

Im Pflanzensaft zeigt der pH das Säure-Basen-Verhältnis der Pflanze an (Näser 2021, 118). Die Anionen (N, P, S) und Kationen (Ca, Mg, K, Na) sind in Balance bei einem Pflanzensaft-pH von ca. 6.4 (Näser 2021, 118). Bei diesem pH kann von einer hohen Stoffwechselaktivität in der Pflanze ausgegangen werden, welche zugleich eine positive Auswirkung auf das Bodenleben hat (Näser 2021, 118). Ein zu tiefer Blattsaft-pH kann auf Mängel beim Calcium, Magnesium oder Kalium, wie auch auf Stickstoff- und Schwerfelüberschüsse hinweisen (Näser 2021, 118). Bei einem Blattsaft-pH über 6.4 kann ein Phosphor-, Stickstoff- oder Schwefelmangel vorliegen (Näser 2021, 118). Bei einem pH im Blattsaft über 6.4, steigt das Risiko eines Insektenbefalls, während bei einem tieferen pH als 6.4 erhöhte Gefährdung für Pilzbefall bestehen kann (Hörner 2020c). Ein Pflanzensaft-pH von 6.4 spiegelt laut Prof. Bruce Taino die ideale elektromagnetische Frequenz der Pflanze wieder (Hörner 2020c; Kempf 2021). Hörner (2020c) erwähnt jedoch auch die kulturspezifischen Unterschiede, wobei Beeren einen tieferen Pflanzensaft-pH aufweisen. Laut Cornelissen et al. (2011) hat jede Pflanzenart die Fähigkeit den pH in ihren Zellen unabhängig des Boden-pH zu steuern. So zeigten sich im Versuch zwischen den einzelnen Arten Unterschiede in deren Blatt-pH (Cornelissen et al. 2011).

Im Pflanzensaft dient laut Näser (2021, 118) der EC dabei, das Nährstoffaufnahmevermögen der Pflanze zu beurteilen. Normwerte zwischen 2-12mS/cm sind für die meisten Kulturen stimmig (Näser 2021, 118). Ein tiefer EC im Blattsaft In Kombination mit tiefen BRIX-Werten deutet auf eine verminderte Photosynthesefähigkeit aufgrund Nährstoffmangel hin (Näser 2021, 118). Ein zu hoher EC im Blattsaft hingegen führt dazu, dass Nährstoffe nicht gebunden werden können und kann ein Indiz auf Überdüngung sein (Näser 2021, 118). Ein hoher Blattsaft-EC kann auf hohe Werte an Nitrat-Stickstoff hinweisen (Sait 2008).

Basierend auf Forschungsversuche von Dr. Carey Reams, können aus BRIX, EC und pH im Pflanzensaft bereits gewisse Schlussfolgerungen getroffen werden (vgl. Tab. 3).

Tab. 3: Interpretation Blattsaftmessungen aus BRIX, pH und EC (Quelle: (Nimmrichter 2021))

Interpretationshilfe Brix-, pH-Wert und elektr. Leitfähigkeit im Blattsaft

Brix (> 12)	Elektr. Leitfähigkeit (2.000–12.000 µS)	pH (6,4)	Interpretation **Beachten Sie: Wenn die Dinge nicht so sind, wie sie sein sollten, schauen Sie nach anderen Faktoren, wie Bodenverdichtungen, Unkrautbewuchs, um herauszufinden, was dem Boden fehlt.**
hoch	optimal	optimal	Gute Balance in der mikrobiellen Aktivität des Bodens. Es kann eine gute Qualität erwartet werden.
niedrig	niedrig	niedrig	Ionen fehlen. Kann eine Folge des Fehlens der mikrobiellen Aktivität im Boden sein. Elemente, die als Träger in den Boden wirken, wie **Stickstoff und Phosphor**, können fehlen. Es kann auch **Kalium oder Natrium** fehlen. Untersuchen Sie den Boden nach Verdichtungen, angezeigt durch das aus dem Gleichgewicht geratene **Calcium-zu-Magnesium-Verhältnis** (optimal 7:1)
niedrig	niedrig	hoch	Ionen fehlen. Kann eine Folge des Fehlens der mikrobiellen Aktivität im Boden sein. Elemente, die als Träger in den Boden wirken, wie **Stickstoff und Phosphor**, können fehlen. Es kann auch ein **Mangel an Phosphat, Sulfat, Acetat oder Huminsäuren** bestehen.
niedrig	hoch	niedrig	Ionen nicht gebunden (komplexiert). Kann eine Folge des Fehlens der mikrobiellen Aktivität im Boden sein. Säure produzierende Elemente oder Ionen sind in zu großen Mengen vorhanden und nicht gebunden (komplexiert). Es können **Calcium, Magnesium, Kalium oder Natrium** fehlen. Es könnten Düngemittel mit **hoher Salzkonzentration gestreut** worden sein.
niedrig	hoch	hoch	Ionen nicht gebunden (komplexiert). Kann eine Folge des Fehlens der mikrobiellen Aktivität im Boden sein. Elemente oder Ionen wie **Nitrat-Stickstoff** sind auf **zu hohem Niveau** und nicht gebunden („im Komplex"). Es können **Phosphat, Sulfate oder Magnesium** fehlen.
2.000–12.000 µS = 2,0–12,0 mS			

Quelle: Khan, R. M. 2009: A Practical Guide to Leaf Sap an Soil Water Analysis. 222 Research and Development, Mooketsi, South Africa

Im Blattsaft sind möglichst tiefe Nitrat-Werte gewünscht, da Stickstoff dabei in gebundener Form vorliegt (Hörner 2020b). Hohe Nitratwerte im Blattsaft und geringe BRIX-Werte führen zu verstärktem Schädlingsbefall (Hörner 2020b; NovaCropControl 2023a). Durch die Verlagerung von Kalium in die jungen Blätter, zeigen diese normalerweise den idealen Kalium-Gehalt an, wodurch optimalerweise Blattsaftmessungen bei jungen und alten Blättern vorgenommen werden sollten (Hörner 2020b). Ist der K-Gehalt in den älteren Blättern mehr als10% niedriger als in den jungen Blättern, zeigt dies auf eine K-Mangel hin. Weitere Zeichen für einen K-Mangel sind kleinere, farblosere Früchte mit wenig Geschmack (Hörner 2020b). Erhöhte Stickstoffgaben können zu einem K-Mangel führen (Hörner 2020b). Zeigen die älteren Blätter höhere K-Gehalte gegenüber den jüngeren, deutet dies auf einen K-Überschuss hin, was zugleich zu Mängel bei Magnesium, Bor, Calcium und Natrium führen kann (Hörner 2020b). Ein Kaliumüberschuss ist an aufgeplatzten Früchten zu beobachten (NovaCropControl 2023a). Kalium und Calcium hemmen sich gegenseitig in der Aufnahme des anderen – so ist in der Jugendentwicklung Augenmerk auf genügend Calcium zu legen, während in der Korn- und Fruchtfüllung Kalium wichtiger wird (Hörner

2020b; NovaCropControl 2023a). Natrium wird zwar nur in geringen Mengen von der Pflanze benötig, kann durch die Mobilität im Boden leicht aufgenommen werden (Hörner 2020b). Calcium ist in der Pflanze nicht mobil, entsprechend zeigen sich Mängel an den jungen Blättern (NovaCropControl 2023a). Ist der pH im Pflanzensaft >7, wird in den alten Blättern Phosphor fixiert (NovaCropControl 2023a). Erhöhte Siliziumwerte zeigen sich laut NovaCropControl (2023a) nicht als problematisch. Die Blattsaftgehalte von Silizium sind ein Indiz für die biologische Aktivität im Boden (Hörner 2020c). Mangan ist in der Pflanze im Jugendstadium immer etwas tiefer, erhöht sich mit dem Wachstum (NovaCropControl 2023a).

2.4 Messparameter Bodenaufschwemmung (pH, EC)

Anhand der Bodenaufschwemmung der Rhizosphäre kann viel über die Aktivität der Pflanze ausgesagt werden (Näser 2021, 119). Die Rhizosphäre wird als Bodenvolumen unmittelbar um lebende Wurzeln herum definiert, wobei eine direkte Beeinflussung der Wurzelausscheidungen besteht (Hiltner 1904) in Gregory 2006). Die Rhizosphäre wird als wichtigstes Gebilde in Bezug auf Qualität und Quantität von Lebensmittel, sowie als vielfältigster Lebensraum auf der Erde angesehen (Hinsinger et al. 2009b). Die Interaktionen zwischen der Pflanzenwurzel und dem Bodenleben sind komplex und jede Wurzel scheint ihre eigene, einzigartige, sich konstant verändernde Rhizosphäre in chemischer und biologischer Zusammensetzung zu haben (Jones und Hinsinger 2008). Die mikrobielle Aktivität ist um ein Tausendfaches in dieser Zone, rund 1-2mm um die Pflanzenwurzel, erhöht (Näser 2021, 176). Der pH der Rhizosphäre kann durch die Pflanzenwurzel und Mikroorganismen verändert werden, wodurch dieser markant tiefer oder höher gegenüber dem Oberboden-pH sein kann (Hinsinger et al. 2009a).

Mit einer Komposttee-Applikation sollen laut Näser (2021, 119) der pH- und EC-Wert der Bodenaufschwemmung steigen. Bereits eine Stunde nach der Applikation können Veränderungen in der Bodenaufschwemmung messbar sein, da höhere Mengen an Wurzelexsudaten ausgeschieden werden und dadurch die Nährstoffverfügbarkeit ansteigt (Näser 2021, 121). Für eine Bodenaufschwemmung wird im gleichen Verhältnis destilliertes Wasser mit Erde aus der Rhizosphäre vermischt und etwas vermörsert (Näser 2021, 119). Dies entspricht dem aktuellen pH-Wert, der die Pflanzenwurzel im Boden antrifft. Mittels einer Kaliumchlorid-Lösung (KCl), welcher eine Art Stress für die Bodenmikroben simulieren soll, kann zudem der potenzielle pH-Wert des Bodens eruiert werden (Näser 2021, 120). Zwischen diesen beiden pH-Messungen sollte der Unterschied weniger als 0.5 sein, wobei der KCl-pH-Wert grundsätzlich tiefer ist (Näser 2021, 120). Der pH in der Rhizosphäre kann sich stark vom Boden-pH unterscheiden, hauptsächlich aufgrund des Kationen- und Anionenaustauschs mit der Wurzel (Custos et al. 2020). Nehmen Pflanzen Stickstoff hauptsächlich in Nitratform (NO_3^-) auf, zeigt sich eine Steigung des pH in der Rhizosphäre, während bei Ammonium (NH_4^+) es zu einer Senkung kommt (Nye 1981).

Die elektrische Leitfähigkeit beträgt in einem fruchtbaren Boden zwischen 0.2-0.4mS/cm, im Gewächshaus teilweise bis 0.6mS/cm (Näser 2021, 121). Düngung erhöht den EC-Wert, während in unlöslicher Form gebundene Nährstoffe aufgrund fehlender mikrobielle Aktivität einen tiefen EC-Wert widerspiegeln (Näser 2021, 121). Sind die EC-Werte in der Bodenlösung unter 0.2mS/cm, können von der Pflanze, aufgrund fehlender Energie im Boden keine Nährstoffe mehr aufgenommen werden (Sait 2008; Hörner 2020c). Beim Wachstumsbeginn ist ein EC in der Bodenlösung von mindestens 0.2mS/cm nötig, während für die Blüte mindestens 0.6mS/cm vorhanden sein sollten (Sait 2008; Hörner 2020c). Bei einem

EC-Wert von >1.2mS/cm kann dies auf Salzstress hindeuten, entweder aufgrund Überdüngung oder zu hohem Salzgehalt im Boden und entsprechend zu Wachstumsdepressionen führen (Sait 2008; Hörner 2020c; Näser 2021, 122). Mais kann dank seiner Membran an der Wurzelspitze unnötige Nährstoffaufnahmen vermeiden und somit auch mit hohen EC-Werten umgehen (Näser 2021, 122).

2.5 Infrarot-Temperaturmessungen Kultur

Mittels einer Infrarot-Temperaturmessung kann an heissen Tagen die Differenz zwischen Blatttemperatur und Umgebungstemperatur gemessen werden. Die Temperatur der Blattoberfläche verändert sich im direkten Zusammenhang mit der Lufttemperatur, der Sonneneinstrahlung, sowie der Luftfeuchtigkeit (Näser 2021, 124). Ein weiterer Komponent ist die Wasserverfügbarkeit im Boden, da sich Pflanzen durch Transpiration mittels der geöffneten Stomas abkühlen (Näser 2021, 124). Ist die Wasserverfügbarkeit gestört, sei dies beispielsweise durch Verschlämmung oder Verdichtungen, kann dies trotz feuchtem Unterboden zu Trockenheitserscheinungen und höherer Blatttemperatur führen (Costa et al. 2013; Näser 2021, 125). Hat das Blatt eine gleiche oder tiefere Temperatur verglichen zur Umgebungstemperatur, deutet dies auf eine gesunde und gut mit Wasser versorgte Pflanze hin (Gardner et al. 1981; Hörner 2020b; Näser 2021, 126). Zeigt die Blatttemperatur mehr als +4˚C zur Umgebungstemperatur hat sie Stress (Hörner 2020b; Näser 2021, 126).

3 Material und Methoden

3.1 Literaturrecherche

Für die vorliegenden Arbeit wurde eine Literaturrecherche mit den bibliographischen Datenbanken «OVID» und «Web of Science» betrieben. Zusätzlich wurde «Google Scholar» beigezogen und im Bibliothekenkataolg «Swisscovery» nach Büchern und Artikeln gesucht.

3.2 Hauptversuch Einfluss pH-Senker im Komposttee auf Gewächshauskulturen

In den folgenden Unterkapiteln wird detailliert auf Material und Methoden des Hauptversuches, dem Kernstück dieser Arbeit, eingegangen. Von Januar bis April 2023 wurde für dessen Durchführung ein Gewächshaus in Gempenach benützt, um den Einfluss eines pH-Senkers im Komposttee auf die Kulturen Radiesli und Spinat zu untersuchen. Neben dem Verfahren von Komposttee mit pH-Senker wurden noch drei weitere Verfahren angewendet. Während der Vegetationszeit wurden vier Applikationen vorgenommen und verschiedene Messungen durchgeführt, sowie zur Ernte diverse Ertragsparameter bonitiert.

3.2.1 Versuchsstandort

Der Hauptversuch wurde im Gewächshaus des Bio-Betriebes von Markus und Yvonne Fuchs in Gempenach, Kanton Freiburg angelegt. Die Umstellung auf Bio wurde im Jahr 2020 vorgenommen (Fuchs 2023a, persönliche Mitteilung). Der Betrieb ist hauptsächlich auf die Gemüseproduktion ausgerichtet (Fuchs 2023a, persönliche Mitteilung). Das Gewächshaus ist in sechs Felder unterteilt, welche «Schiff» genannt werden (Fuchs 2023a, persönliche Mitteilung). Für den Versuch wurde das nordöstlichste Schiff von Markus Fuchs zur Verfügung gestellt (vgl. Abb. 6). Das Gewächshaus hat ein Bewässerungssystem, welches hauptsächlich vom Regenwassertank gespiesen wird (Fuchs 2023a, persönliche Mitteilung). Eine Heizung wäre vorhanden, wird jedoch vom Betriebsleiter nicht mehr eingesetzt (Fuchs 2023a,

persönliche Mitteilung). Nach der Ernte des Versuches wurde der Ertragsausfall berechnet, welcher aufgrund des Versuches für den Betriebsleiter entstanden ist (vgl. Anhang 1, S. 3).

Abb. 6: Situationsplan Versuchsstandort mit Versuchsparzelle (rot), Betrieb Fuchs in Gempenach (Quelle: Bundesamt für Landestopografie swisstopo 2023)

3.2.2 Versuchskulturen

Für den Hauptversuch wurden die zwei Kulturen Spinat und Radiesli gewählt. Gründe dafür waren vorallem die kurze Vegetationsperiode beider Kulturen, da der Betriebsleiter in der Woche 14/15 die Versuchsparzelle für Tomaten benötigte. Markus Fuchs baut zudem bereits seit Jahren Spinat an und ist mechanisch dafür eingerichtet (Fuchs 2023a, persönliche Mitteilung). Den Spinat vermarktet er hauptsächlich durch die Terraviva AG in Kerzers (Fuchs 2023a, persönliche Mitteilung). Die Radiesli hingegen wurden speziell für diesen Versuch von ihm angebaut. Da die Saat mittels einer Handsämaschine erfolgte, konnten die Flächen mit Radiesli ausgesät werden, die mit dem Traktor schwer zugänglich waren oder nicht mehr eine Traktorsämaschinenbreite betrugen. Die für den Versuch nicht benötigte oder übrig gebliebene, vermarktbare Ware konnte vom Betriebsleiter an die Terraviva AG abgeliefert werden.

Beide Kulturen gehören taxonomisch unterschiedlichen Familien an. So gehört der Spinat (*Spinacia oleracea* L.) zur Familie der Fuchsschwanzgewächsen (Amaranthaceae) und wird als Blattgemüse konsumiert (Wikipedia 2023b). Das Radieschen (*Raphanus sativus var. Sativus* L.) ist der Familie der Kreuzblütler (Brassicaceae) zugehörig und wird vorallem für den Verzehr der Knolle angebaut, wobei das Blattgrün roh oder gekocht auch verwendet werden kann (Wikipedia 2023a). Mittels diesen beiden unterschiedlichen Kulturen, konnte der Effekt der Verfahren kulturübergreifend analysiert werden.

3.2.3 Versuchsaufbau und Verfahren

Der Kleinparzellenversuch wurde als «randomized complete block design» (RCBD) aufgebaut. Dieser Versuchsaufbau wird in Feldversuchen häufig angewendet (Scheidegger ohne Datum). Das Ziel des Hauptversuches war, die Wirkung des Einsatzes eines pH-Senkers im Komposttee zu untersuchen. Dadurch stellt Komposttee der Faktor des Versuches dar.

3.2.3.1 Versuchsdesign & Wiederholungen

In einem RCBD werden Blöcke gebildet, wobei in jedem Block jedes Verfahren nur einmal vorkommt (Scheidegger ohne Datum). Die Blöcke entsprechen zugleich den Wiederholungen. Gemäss Scheidegger (ohne Datum) werden in Feldversuchen normalerweise vier Wiederholungen gemacht. Desto mehr

Wiederholungen, desto kleinere Verfahrensunterschiede können statistisch analysiert werden und desto kleiner wird der Versuchsfehler (Scheidegger ohne Datum).

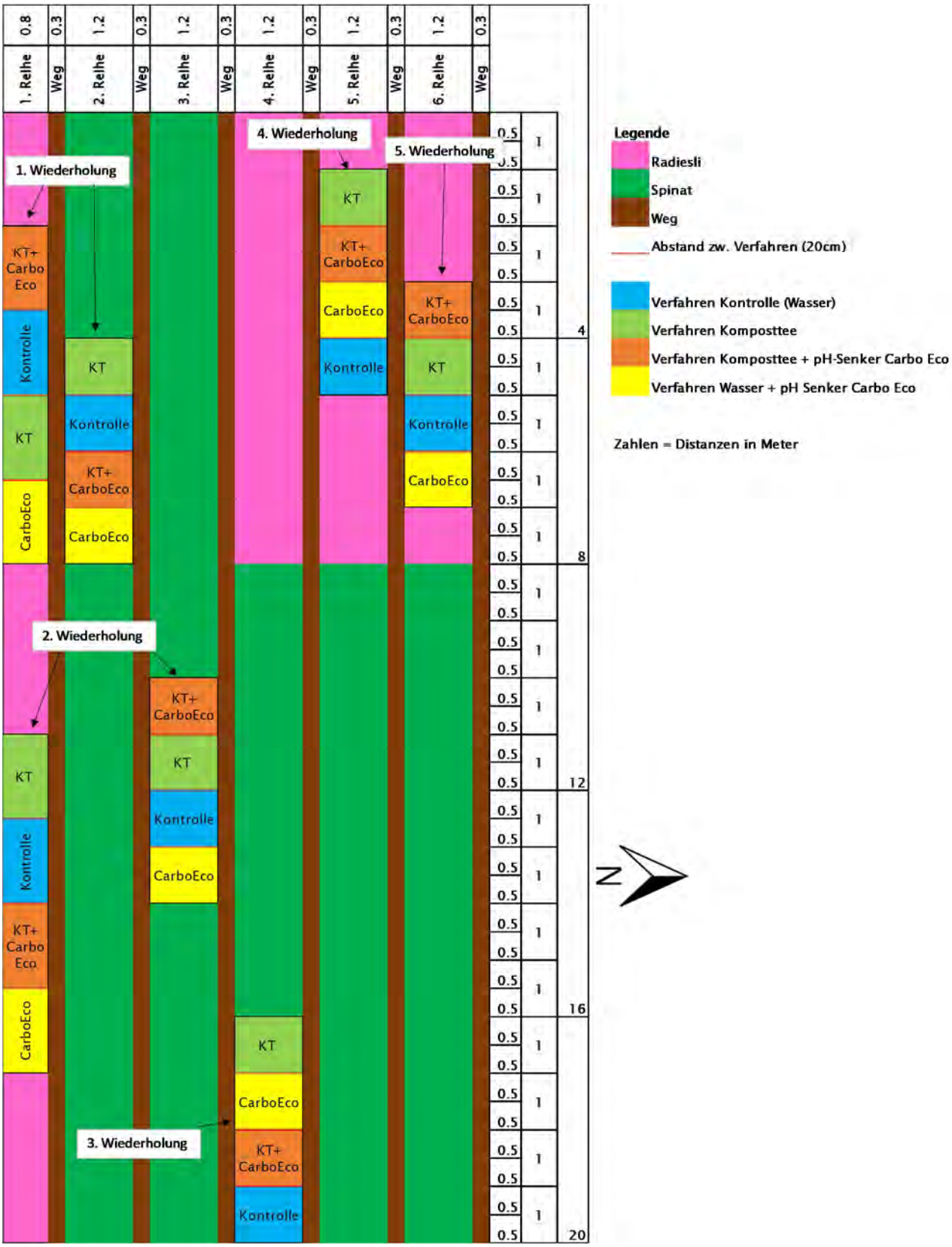
Aufgrund der Breite des Schiffes konnten fünf Reihen mit dem Traktor gesät werden und eine Randreihe blieb übrig für die Handsämaschine. Anhand der gesäten Fläche und nach Absprache mit dem Betreuer, Dominik Füglistaller, wurde entschieden, fünf Wiederholungen pro Kultur zu machen. Diese Wiederholungen dienten zur statistischen Auswertung der Ertragsparameter. Zudem wurde pro Kultur eine sechste Wiederholung angelegt, um Blattsaft- und Bodenaufschwemmungsmessungen vornehmen zu können, ohne dabei die Ertragsmessungen zu beinträchtigen.

Der gesamte Versuchsaufbau bestand entsprechend aus zwei Kulturen à vier Verfahren (vgl. Kapitel 3.2.3.2) à 6 Wiederholungen, was insgesamt 48 Kleinparzellen ergab (vgl. Abb. 7). Die minimale Parzellengrösse für einen Versuch unterscheidet sich von Kultur zu Kultur. So wird beispielsweise gemäss Reents (2006) für Spinat eine Mindestfläche von 6m^2 pro Parzelle angegeben. Es findet sich jedoch keine Spezifikation für den Versuchsanbau im Gewächshaus. Für Radieschen hingegen gibt Potsweiler (2006) an, dass unter Glas 2m^2 pro Plot benötigt werden. In Absprache mit dem Betreuer, Dominik Füglistaller, wurde eine Mindestgrösse pro Parzelle von 1m^2 festgelegt. Aufgrund der Beetbreite von 1.2m in Reihe 2 – 6 wurde entschieden, dass die Parzellengrösse für alle 48 Kleinparzellen 1.2m^2 beträgt. In der 1. Reihe, welche nur 0.8m breit war, wurde die Länge der Parzellen auf 1.5m angepasst, um die Fläche von 1.2m^2 zu erreichen. In den jeweiligen Blöcken, respektive Wiederholungen, wurden zwischen den einzelnen Verfahren jeweils eine Spritzschutzzone von 20cm eingebaut, damit das Risiko von Drift verringert werden konnte.

Die Anordnung der Verfahren innerhalb der Wiederholungen wurde mit dem Zufallszahlprinzip im Excel vorgenommen (vgl. Anhang 2, S. 4). Von der kleinsten zur grössten Zahl wurde die Reihenfolge von oben nach unten in der Wiederholung festgelegt.

Die fünf ertragsrelevanten Wiederholungen im Spinat wurden auf die fünf Spinatreihen verteilt, wobei jede Wiederholung jeweils versetzt zur vorherigen angesetzt wurde (vgl. Abb. 7). Die sechste Wiederholung wurde am unteren Ende der ersten Spinatreihe angesetzt, damit der Weg zur Blattmassenbeschaffung möglichst kurz war. Bei den Radiesli wurden drei ertragsrelevante Wiederholungen in der ersten Reihe angesetzt, die restlichen zwei in den Reihen fünf und sechs (vgl. Abb. 7). Es wurde keine Wiederholung in der vierten Reihe gemacht, da bei der Planung des Versuchsdesign diese Reihe irrtümlicherweise als reine Spinatreihe angesehen wurde. Die sechste Wiederholung wurde wie beim Spinat am unteren Ende der ersten Reihe angesetzt. Somit waren die beiden sechsten Wiederholungen praktisch gegenüber einander, was die Probeentnahmen für die Messungen von Blattsaft und Bodenaufschwemmung vereinfachte.

Die Parzellen wurden alle am 12. Februar 2023 mit orangen Markierstäben abgesteckt und mit den Verfahren beschriftet (vgl. Abb. 8).


1. Reihe
2. Reihe
3. Reihe
4. Reihe
5. Reihe
6. Reihe
Weg
1. Wiederholung
2. Wiederholung
3. Wiederholung
4. Wiederholung
5. Wiederholung
KT+ Carbo Eco
Kontrolle
KT
CarboEco
KT+ CarboEco
Legende
Radiesli
Spinat
Weg
Abstand zw. Verfahren (20cm)
Verfahren Kontrolle (Wasser)
Verfahren Komposttee
Verfahren Komposttee + pH-Senker Carbo Eco
Verfahren Wasser + pH Senker Carbo Eco
Zahlen = Distanzen in Meter
N

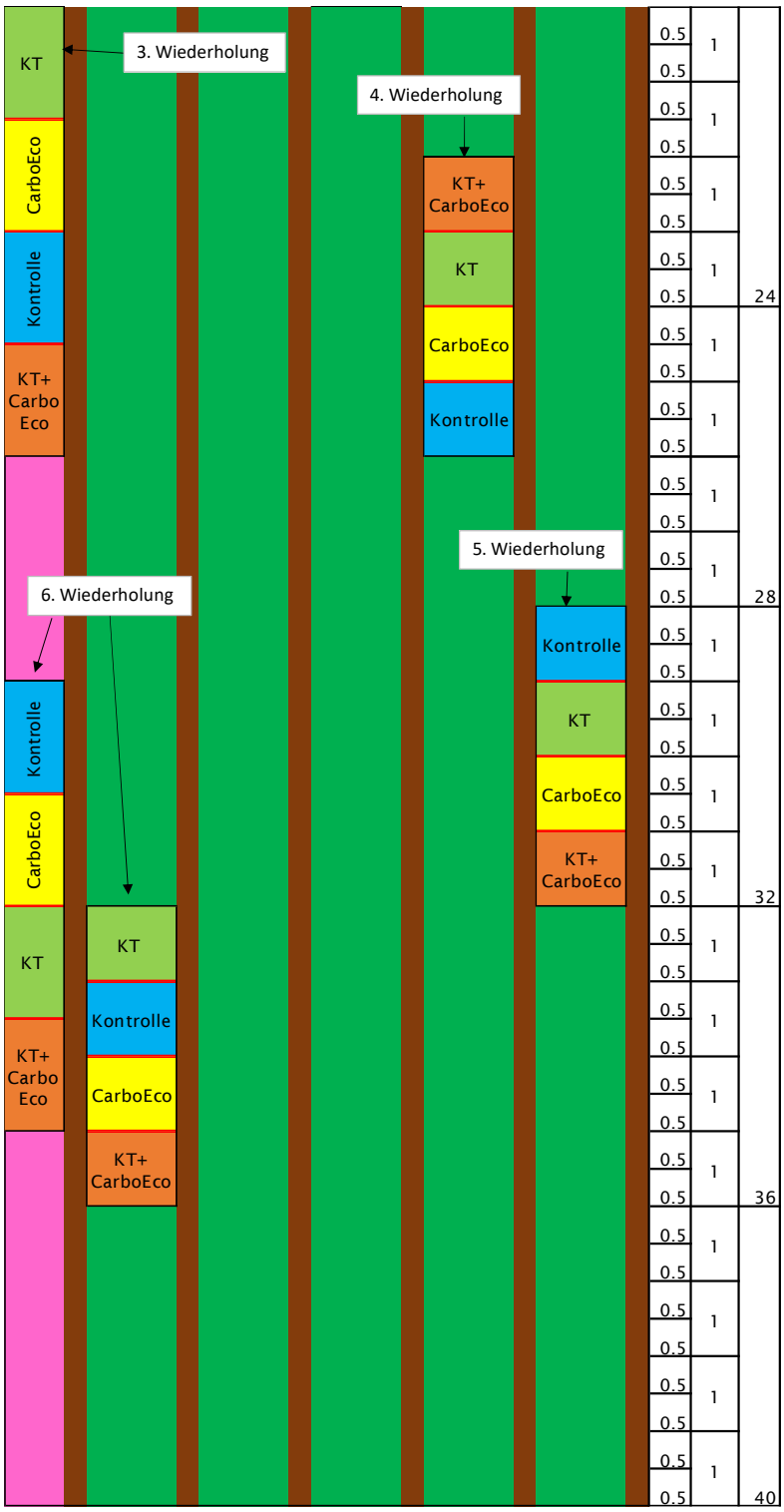


Abb. 7: Versuchsdesign Gewächshausversuch (Quelle: Eigene Darstellung)

Abb. 8: Abgesteckte Versuchsparzellen (Quelle: Eigene Aufnahme)

3.2.3.2 Verfahren

Nach Absprache mit dem Co-Betreuer, Adrian Rubi, wurden vier verschiedene Verfahren festgelegt. Das Merkblatt zum pH-Senker CarboEco findet sich im Anhang 68, S. 108. Den Verfahren wurde jeweils eine Farbe zugewiesen, damit durch die Arbeit hindurch, eine einheitliche Übersicht generiert werden konnte (vgl. Tab. 4).

Tab. 4: Verfahrensbeschrieb Hauptversuch (Quelle: Eigene Darstellung)

Verfahren «Kontrolle»: Bei der «Kontrolle» wurde Regenwasser appliziert.
Verfahren «Komposttee» (KT): Beim Verfahren «Komposttee» wurde der nach Kapitel 3.2.6.1 hergestellte Komposttee im Verhältnis 1:2 mit Regenwasser verdünnt appliziert.
Verfahren «Komposttee + pH-Senker» (KT_CE): Beim Verfahren «Komposttee + pH-Senker» wurde der nach Kapitel 3.2.6.1 hergestellte Komposttee im Verhältnis 1:2 mit Regenwasser verdünnt. Danach wurde durch graduelle Zugabe des pH-Senkers, Carbo-Eco, der pH mittels konstanter pH-Messung (vgl. Kapitel 3.2.6.3) auf einen Messbereich zwischen 6 und 6.5 gebracht.
Verfahren «pH-Senker» (CE): Aufgrund des Mangangehaltes von 3% im pH-Senker Carbo-Eco (vgl. Kapitel 2.1.3.1.1), wurde dieses Verfahren in den Versuch einbezogen. So kann eruiert werden, ob der Mangangehalt des pH-Senkers an sich eine Wirkung zeigt, auch ohne dessen Beigabe zum Komposttee. Carbo-Eco wurde im Verfahren «pH-Senker» graduell dem Regenwasser beigemischt, bis der pH mittels konstanter pH-Messung (vgl. Kapitel 3.2.6.3) auf einen Messbereich zwischen 6 und 6.5 gebracht werden konnte.

Allen Verfahren wurde jeweils die gleiche Flüssigkeitsmenge appliziert (vgl. Kapitel 3.2.6.2). Für alle Verfahren wurde Regenwasser, welches auf dem Betrieb von Markus Fuchs gesammelt wird, verwendet. Nicht jeder Betrieb hat einen Regenwassertank, einige sind Quellen oder der Wasserversorgung angeschlossen. Es wurde diskutiert, ob destilliertes Wasser verwendet werden sollte, jedoch entspricht dies nicht der Praxisanwendung. Somit wurde für den Betrieb von Markus Fuchs die praxisgetreue Variante des Regenwassers gewählt. Für das Regenwasser wurde keine Wasseranalyse gemacht, jedoch wurden bei jeder Applikationsherstellung die Parameter pH, EC und Redox gemessen (vgl. Kapitel 3.2.6.3).

3.2.4 Kulturführung

Der Betriebsleiter war zuständig für jegliche Kulturführungsmassnahmen, welche er nach seinem Gutdünken durchführte. In einem Versuchsjournal wurden alle wichtigen Arbeitsschritte in Bezug auf die Kulturführung, wie auch auf den Versuchsablauf detailliert notiert (vgl. Anhang 3, S. 5-7). Eine kurze Zusammenfassung zur Kulturführung findet sich in den folgenden Unterkapiteln. Jegliche Angaben in Bezug auf die Kulturführung stammen vom Betriebsleiter persönlich.

3.2.4.1 Bodenprobe START

Vor der Bodenbearbeitung des Betriebsleiters, wurde am 09. Januar 2023 über das Schiff eine Bodenprobe genommen. Dazu wurde das Schiff ungefähr 30-mal mit einem Bodenstecher auf 20cm tief beprobt, was eine Mischprobe ergab. Diese wurde daraufhin sofort eingefroren (-18°C) und mit den Bodenproben nach der Ernte (vgl. Kapitel 3.2.10) ans Labor Ins eingeschickt. Insgesamt wurde die Probe in drei Teile unterteilt, um neben der Bodenanalyse noch eine Stickstoff- und Kohlenstoffanalyse mit dem CHN-Analyzer (vgl 3.2.10.2) und ein Boden-Chroma (vgl. Kapitel 3.2.10.3) zu machen. Es handelt sich beim Bodentyp um einen schwach humosen, stark lehmigen Sand (vgl. Anhang 31, S.47).

3.2.4.2 Saatbettvorbereitung & Grunddüngung

Die Vorkultur auf dem Schiff war Nüsslersalat. Als Bodenbearbeitung wurde am 10. Januar 2023 die Spatenmaschine eingesetzt und zusätzlich noch eine Durchfahrt mit der Kreiselegge gemacht. Es wurde zudem eine Grunddüngung von 40kg Azocor 105 (10.5% N, 1.5% P_2O_5, 1% K_2O) und 15kg Kieserit (15% Mg, 20% S) auf das Schiff vorgenommen. Auf eine Hektare umgerechnet, entspricht dies einer Menge von ca. 1000kg Azocor 105, was 105kg N, 15kg P_2O_5 und 10kg K_2O ergibt. Die 15kg Kieserit ergeben ca. 390kg/ha, was 58.5kg Mg und 78kg S pro ha entsprechen. In der Nährstoffbilanz wird beim Stickstoff mit 70% verfügbarem Stickstoff gerechnet (N_{verf}). Entsprechend wären es nur 73.5kg N_{verf}/ha, der kurz- oder mittelfristig der Pflanze zur Verfügung steht.

3.2.4.3 Saat

Die Saat wurde am 11. Januar 2023 durchgeführt. Der Spinat wurde maschinell mit einer Drillsämaschine gesät, während die Radiesli-Saat mit einer Handsämaschine gemacht wurde (vgl. Abb. 9). Die Spinatsorte war Sunangel RZ, die Radieslisorte war Belsay RZ. Die angestrebte Saatdichte betrug beim Spinat ca. 6 Millionen Samen/ha und bei den Radiesli ca. 1.5 Millionen Samen/ha. Die angestrebte Saattiefe war beim Spinat 2.5cm und bei den Radiesli knapp 1.5cm. Bei beiden Saatverfahren wurde mit einer Walze rückverfestigt.

Abb. 9: Saat Spinat und Radiesli (Quelle: Fuchs 2023b, persönliche Mitteilung)

Empfohlen wird laut Reents (2006, 83) beim Spinat eine Bestandesdichte von 250-300 Pflanzen/m^2 und eine Saattiefe von 2-3cm. Gründe für die doppelte empfohlene Saatmenge sind einerseits der Verkauf als Baby-Spinat, sowie die manuelle Unkrautbekämpfung mit dem Laubrechen.

Bei den Radiesli ist die empfohlene Bestandesdichte bei 250-300 Pflanzen/m^2 und eine Saattiefe von 1-1.5cm wird angestrebt (Potsweiler 2006, 156). Die tiefere, reele ausgebrachte Saatmenge ist auf den Einsatz der Handsämaschine zurückzuführen.

3.2.4.4 Pflegemassnahmen & Bewässerung

Nach der Saat wurde am 12. Januar 2023 ca. 15mm Wasser gegeben. Im März wurde zudem an zwei weiteren Daten 7.5mm und 10mm bewässert. Beim Spinat wurde das Unkraut einmal abgeflammt und zweimal mit dem Laubrechen gestriegelt. Dies vorallem um die Vogelmiere (*Stellaria media* L.) zu bekämpfen, welche bei zu hohem Vorkommen in der Charge bei der Ablieferung an die Terraviva AG zu Abweisung des Postens führen kann.

3.2.5 Komposttee Rezeptur EDAPRO

Für den Hauptversuch wurde mit einer Braumaschine von EDAPRO und deren zugehörigen Komposttee-rezeptur gearbeitet. Adrian Rubi, Co-Betreuer diese Arbeit, ist gleichzeitig Co-Gründer der EDAPRO GmbH.

Die Rezeptur setzt sich einerseits aus dem Mikrobensubstrat «EdaBiom», anderseits aus der Mikrobennahrung «EdaBiom+» zusammen (EDAPRO ohne Datum[d]). Im «EdaBiom» sind die nötigen Mikroorganismen (Bakterien, Pilze, Protozoen, Nematoden) für den Kompostteebrauvorgang vorhanden und es stellt den Kompost-Komponenten dar (EDAPRO ohne Datum[i]). Im «EdaBiom+» sind Zutaten enthalten, die als Nahrung und zur Förderung der im «EdaBiom» enthaltenen Mikroorganismen dienen (EDAPRO ohne Datum[h]).

Das Mikrobensubstrat setzt sich aus Kompost aus aerob gelenkter Mietenkompostierung und Wurmkompost zusammen und wird von Freddy Abächerli (Bionika AG) in Edlibach produziert (Rubi 2023c, persönliche Mitteilung). Es wird im Verhältnis 50:50 Bionika KEX-Kompost mit Wurmkompost gemischt (Rubi 2023c, persönliche Mitteilung). Analysen zum Kompost von Freddy Abächerli wurden per E-Mail angefragt und sind zusätzlich zu Kressetests und Chromas vorhanden, wurden jedoch aufgrund des bereits umfangreichen Anhangs nicht eingefügt. Bei Bedarf können diese nachgereicht werden.

In der Mikrobennahrung (EdaBiom+) sind folgende Komponente enthalten, welche nach ihrem Mengenanteil in der Mischung geordnet sind (Rubi 2023b, persönliche Mitteilung):

1. Luzernemehl
2. Huminsäure/Leonardit (Pow Humus)
3. Algenmehl/Braunalgen (*Ascophyllum nodosum*)
4. Leinsamenmehl
5. Steinmehl (BioLit Ultrafein)
6. Kräuter Mix

Das Mikrobensubstrat (EdaBiom), wie auch die Mikrobennahrung (EdaBiom+) enthalten Nährstoffe, welche auf der Etikette deklariert werden (vgl. Tab. 5; Anhang 4, S. 8).

Tab. 5: Nährstoffanalyse Mikrobensubstrat «EdaBiom» und Mikrobennahrung "EdaBiom+" (Quelle: nach Rubi 2023b, persönliche Mitteilung, verändert)

«EdaBiom»	«EdaBiom+»	Nährstoffformel	Nährstoff
0.7%	2.1%	N	Gesamtstickstoff
0.4%	0.5%	P_2O_5	Phosphat
0.9%	5.3%	K_2O	Kali
	1.8%	CaO	Calciumoxid
>3%		Ca	Calcium
	0.9%	MgO	Magnesiumoxid
0.4%		Mg	Magensium
	1.9%	Na_2O	Natriumoxid
	1.8%	SO_3	Schwefeltrioxid
	78%	OS	Organische Substanz
<30%		Corg	Organisch gebundener Kohlenstoff
<0.9mS		EC	Elektrische Leitfähigkeit

Die Aufwandmenge vom Mikrobensubstrat und der Mikrobennahrung sind auf das jeweilige Volumen der Kompostteemaschine ausgerichtet (EDAPRO ohne Datum[i]).

3.2.6 Herstellungs-, Messungs- und Ausbringungsprozesse der Verfahren

3.2.6.1 Komposttee Herstellung

Für die Herstellung des Komposttees wurde eine 40l-Maschine von EDAPRO zur Verfügung gestellt, sowie alle nötigen Zutaten gemäss Kapitel 3.2.5 (vgl. Abb. 10). Für Spezifikationen zu den sogenannten «EdaLife»-Brausystemen wird auf die Website von EDAPRO (www.edapro.ch) verwiesen. Es sollte beachtet werden, dass die 40l-Maschine eine Spezialanfertigung ist, das Brausystem sich jedoch ausser vom Volumen her nicht von den «EdaLife V60-V400» unterscheidet. Der Komposttee wird im belüfteten Verfahren hergestellt (ACT). Mit einer Luftpumpe wird kontinuierlich Luft ins Brausystem gepumpt und durch die zwei Steigrohre entsteht ein Strudel (EDAPRO ohne Datum[b]).

Die Maschine wurde auf dem Betrieb von Markus Fuchs in einem beheizbaren Lagerraum installiert, den er unter anderem für die Vorkeimung von Kartoffeln oder für die Anzucht von Gemüsesetzlingen benützt. Teilweise war der Raum während dem Brauvorgang geheizt, teilweise nicht. Die Maschine selbst hat eine integrierte Heizung, welche für alle Brauvorgänge auf 20°C eingestellt wurde. Die Herstellung des Komposttees erfolgte in den Monaten Februar und März, entsprechend war die Aussentemperatur unter 20°C (vgl. Abb. 33). Durch den Einsatz der Heizung konnte der Brauvorgang immer bei der gleichen Temperatur durchgeführt werden und somit eine Verfälschung der Resultate durch Einwirkungen der Brautemperatur vermieden werden.

Abb. 10: Kompostteemaschine EDAPRO 40l (Quelle: Eigene Aufnahme)

Die Herstellung für den Komposttee lief jeweils in vier Teilen ab:

1) Zeitpunkt 1: Wasser einfüllen + Start Wasserbelüftung
    a. Position aller Hebel und Absperrhähne kontrollieren, Luftschlauch anschliessen & Luftpumpe starten
    b. Behälter mit Regenwasser bis zum unteren Rand des Steigrohr-Auslasses füllen, Deckel schliessen
    c. Heizung einschalten und auf 20°C einstellen
    d. Für mindestens 24 Stunden Wasser im Wirbelstrom (Wirbelrichtung links) zirkulieren lassen (vgl. Abb. 11)
2) Zeitpunkt 2: Mikrobensubstrat + Mikrobennahrung beifügen (mind. 24h nach Zeitpunkt 1)

a. Mikrobennahrung «EdaBiom+» in den Strudel geben (0.2l) (vgl. Abb. 12)
b. Mikrobensubstrat «EdaBiom» langsam in den Strudel einrieseln lassen (1.2l), Deckel schliessen (vgl. Abb. 13)
c. Für mind. 24 Stunden Brauprozess laufen lassen (vgl. Abb. 14)

3) Zeitpunkt 3: Benötigte Applikationsmenge abfüllen + Messungen machen
   a. Luftpumpe fürs Abfüllen weiterlaufen lassen
   b. Mit Filterbeutel und Abfüllrohr einen Kessel Komposttee abfüllen (vgl. Abb. 15)
   c. Maschine weiterlaufen lassen ⇨ Messungen machen für die Herstellung der restlichen Verfahren (vgl. Kapitel 3.2.6.3)
   d. Nicht benötigte Menge Komposttee wieder in die Maschine geben und weiterlaufen lassen
4) Zeitpunkt 4: Abfüllen und Waschen der Maschine
   a. Abfüllen des Komposttees mit dem Filterbeutel (40 Mesh) und Abfüllrohr (restlicher Komposttee wurde für den Eigengebrauch verwendet)
   b. Reinigung Maschine gemäss Instruktionen EDAPRO

Abb. 11: Wasserwirbel Brausystem (Quelle: Eigene Aufnahme)

Abb. 12: Zugabe "Edabiom+" (Quelle: Eigene Aufnahme)

Abb. 13: Zugabe "Edabiom" (Quelle: Eigene Aufnahme)

Abb. 14: Brauprozess mit Schaumbildung (Quelle: Eigene Aufnahme)

Abb. 15: Abfüllen Komposttee (Quelle: Eigene Aufnahme)

Genau Angaben zur Herstellung des Komposttees während dem Versuch in Bezug auf Zeitpunkt Wassereinfüllung, Dauer der Belüftung, Zeitpunkt Zugabe Kompost und Zeitpunkt Messungen und Ausbringung sind im Versuchsjournal im Anhang 3, S. 5-7 zu finden. Es wurde immer eine Wasserbelüftungsdauer und eine Braudauer von mindestens 24 Stunden eingehalten. Die Wasserbelüftungsdauer variierte zwischen 24 und 34.5 Stunden, während die Braudauer zwischen 25 und 30.5 Stunden dauerte. Es wurde keine Wasserprobe vom Regenwasser genommen. Der Sauerstoffgehalt wurde für diesen Versuch nicht gemessen. Der Sauerstoffgehalt während des Brauvorgangs im «EdaLife»-Brausystem wurde von EDAPRO getestet und entspricht, bei Einhaltung der Rezeptur, zu jeder Zeit über 6ppm (vgl. EDAPRO ohne Datum[9]).

3.2.6.2 Mengenberechnungen Applikationsverfahren und Ausbringtechnik

Die Applikationsmenge vom Komposttee bestimmte gleichzeitig die Applikationsmenge aller Verfahren, da überall die gleiche Menge appliziert wurde. Die unverdünnte zu applizierende Menge Komposttee, wurde auf 300l/ha festgelegt und eine Verdünnung von 1:1 bis maximal 1:3 empfohlen (Rubi 2023a, persönliche Mitteilung). Eine wichtige Komponente der Blattspritzung ist die Benetzungsfläche, welche mindestens 70-75% betragen sollte (Rubi 2023a, persönliche Mitteilung). Anhand dieser Angaben wurde die Verdünnungsmenge erprobt, damit genügend Flüssigkeit vorhanden war, um eine grösstmögliche Blattbenetzung zu erreichen.

Eine Akku-Rückenspritze der Marke Birchmeier (Modell REC15) wurde für die Applikationen eingesetzt (vgl. Abb. 16). Mit einer akkubetriebenen Spritze kann der gleichmässige Druck sichergestellt werden. Obwohl ein Spritzbalken mit orangen Luft-Injektor-Flachstrahldüsen (ID-120-01C) mitgegeben wurde, wie auch bereits Erprobungen zur Ausbringmenge damit vorgenommen wurden, stellte sich bei der ersten Applikation heraus, dass diese Düsen zu fein für den Komposttee waren und verstopften. Dennoch resultierte daraus die nötige Verdünnungsmenge. Die Eruierung der Verdünnungsmenge wurde bei der Reinigung der Spritze durchgeführt, da diese vorher unter anderem für Pflanzenschutzmittelapplikationen angewendet wurde. Daher wurde die Spritze zuerst zweimal für 24 Stunden mit EM (Effektive Mikroorganismen) eingeweicht und danach jeweils gut mit Wasser gespült. Beim zweiten Reinigungsvorgang mit EM wurde mit dem Spritzbalken, der 1m breit war, ein Rechteck von 1m x 1.2m besprüht und dabei die Zeit gemessen, die es für eine gute Bedeckung brauchte (vgl. Abb. 17). Der Druck betrug dabei die empfohlenen 2bar (vgl. Rubi 2023a, persönliche Mitteilung). Danach wurden an den vier Düsen jeweils ein Behälter angehängt, und wiederum die gleiche Zeitspanne gemessen (vgl. Abb. 18). Daraus resultierte eine Applikationsmenge von ca. 100ml, welche pro Versuchsparzelle gespritzt werden sollte, um eine gute Blattbedeckung zu gewährleisten (vgl. Abb. 19).

Abb. 16: Rückenspritze (Quelle: Eigene Aufnahme)

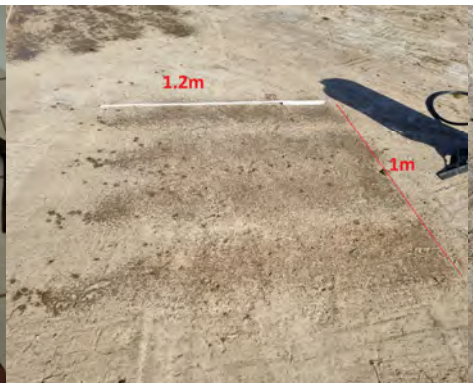


Abb. 17: Spritzfläche (Quelle: Eigene Aufnahme)

Abb. 18: Spritzmengenmessung (Quelle: Eigene Aufnahme)

Abb. 19: Eruierte Spritzmenge (Quelle: Eigene Aufnahme)

Anhand dieser 100ml konnte der Verdünnungsgrad des Komposttees, wie auch die benötigte Gesamtmenge berechnet werden (vgl. Tab. 6). Die detailliertere Berechnung findet sich im Anhang 5, S.9.

Tab. 6: Berechnung Applikationsmenge inkl. Verdünnung (Quelle: Eigene Darstellung)

Berechnung pro Plot		
Plotgrösse 1.2mx1m	1.2	m2
	300	l/ha
Applikationsmenge unverdünnt Komposttee	30	ml/m2
Applikationsmenge auf Plot unverdünnt Komposttee	36	ml
Applikationsmenge auf Plot wenn verdünnt 1:2	108	ml
Berechnung pro Verfahren		
Applikationsmenge für 12 Plots unverdünnt Komposttee (= 1 Verfahren in 2 Kulturen à 6 Wiederholungen)	432	ml
Zugabe Wasser für Verdünnung 1:2	864	ml
Totale Applikationsmenge für 12 Plots	1269	ml
Real abgemessene Menge (inkl. Reserve) pro Verfahren		
Menge an unverdünntem Komposttee	666	ml
Zugabe Wasser für Verdünnung 1:2	1333	ml

Da aufgrund der Verstopfungsproblematik nicht der Sprühbalken, sondern das Sprührohr mit der Regulierdüse verwendet wurde, musste erneut anhand der Stoppuhr eruiert werden, wie viele Sekunden es brauchte, um 108ml auszubringen. Diese Messung wurde bei jedem Verfahren einzeln gemacht, da je nach Spritzbrühe die Flüssigkeit einfacher und schneller zur Düse austrat. Der Druck wurde immer bei 2bar beibehalten.

3.2.6.3 Messungen (pH, EC, Redox) und Fertigstellung Applikationsverfahren

Wie in Kapitel 3.2.3.2 bereits beschrieben, wurden für den Hauptversuch vier Verfahren ausgewählt. Mit der ermittelten Menge an Komposttee unverdünnt, die es gemäss dem vorherigen Kapitel für die zwei Kompostee-Verfahren benötigte, sowie der Gesamtmenge, die für die zwei restlichen Verfahren von Wichtigkeit war, konnten die Messungen und Zugaben der Zusätzen erfolgen.

Dafür wurde in einem ersten Schritt in zwei Kessel je 0.666l an Komposttee abgefüllt (vgl. Kapitel 3.2.6.1). In zwei weiteren Kessel wurde je 2l Regenwasser abgemessen (vgl. Abb. 20). Bei den beiden Komposttee-Kesseln wurde noch je 1.333l Regenwasser zugefüllt.

Abb. 20: Fertigstellung Applikationsverfahren (Quelle: Eigene Aufnahme)

Abb. 21: Messgerät pH/EC/Redox (Quelle: Eigene Aufnahme)

Für die pH-, EC- und Redoxpotenzialmessungen wurde der Multifunktions-pH-Meter PCE-PHD 1 (PCE Instruments) eingesetzt (vgl. Abb. 21). Vor und nach jeder Messung wurden die drei Sonden jeweils mit destilliertem Wasser gereinigt. Die pH-Sonde wurde vor jedem Brauvorgang mit pH 4, 7 und 10 kalibriert. Für die beiden anderen Sonden wurden keine Kalibrierungsflüssigkeiten mitgegeben. Für die Messungen und die Fertigstellung der Verfahrensflüssigkeiten, wurde wie folgt vorgegangen:

1) pH-Messung vom Komposttee unverdünnt, verdünnt und vom Regenwasser

2) pH-Messung beim Verfahren «Komposttee + pH-Senker» (KT_CE), währenddessen mit einer Pipette tröpfchenweise das Additiv (CarboEco) zugegeben wurde, bis der pH einen Wert um 6.3 erreichte
3) pH Messung beim Verfahren «pH-Senker» (CE) während mit einer Pipette tröpfchenweise das Additiv zugegeben wurde, bis der pH einen Wert um 6.3 erreichte
4) EC- und Redoxpotenzialmessungen von allen vier Verfahren, wie auch vom Komposttee unverdünnt

Die Messresultate finden sich im Anhang 6, S. 10.

3.2.6.4 Anzahl Applikationen, Reihenfolge & Intervall

Die erste Applikation erfolgte im Keimblattstadium der Kulturen am 12. Februar 2023 (vgl. Tab. 7). Danach folgten im 2-Wochen-Rhythmus drei weitere Applikationen mit der letzten am 26. März 2023. Die Reihenfolge wurde bei allen Applikationen gleich gehandhabt:

1) Verfahren «Kontrolle»
2) Verfahren «Komposttee»
3) Verfahren «Komposttee mit pH-Senker» (KT_CE)
4) Verfahren «pH-Senker) (CE)

Mittels dieser Reihenfolge musste nur zwischen Nr. 3 und 4 die Rückenspritze mit Regenwasser gereinigt werden.

Tab. 7: Kulturgrösse bei Applikationszeitpunkt (Quelle: Eigene Darstellung, eigen Aufnahmen)

1. Applikation 12.02.2023	**2. Applikation 26.02.2023**	**3. Applikation 12.03.2023**	**4. Applikation 26.03.2023**
Abb. 22: Kultur bei 1. Applikation	Abb. 23: Kultur bei 2. Applikation	Abb. 24: Kultur bei 3. Applikation	Abb. 25: Kultur bei 4. Applikation

3.2.7 Erhebungen während Vegetationsperiode

Sobald die Kulturen eine gewisse Blattmasse gebildet hatten, konnten Blattsaft- und Temperaturmessungen vorgenommen, wie auch die Pflanzengesundheit beobachtet werden. Ausser der Temperaturmessung starteten die Erhebungen zum Zeitpunkt der 3. Applikation am 12. März 2023. Weitere Erhebungen, inklusive der Temperaturmessung wurden bei der 4. Applikation, sowie zwei Mal vor der Ernte, am 31. März 2023 und am 2. April 2023 durchgeführt. So konnten genug Werte für eine statistische Auswertung sichergestellt werden. BRIX, Blattsaftmessungen mit dem Horiba-LaquaTwin-Gerät und Bodenaufschwemmungsmessungen (pH & EC) wurden zudem zu den beiden Applikationszeitpunkten 3 und 4 jeweils vor und nach der Applikation durchgeführt. Das Ziel dabei war, Veränderungen und Unterschiede im Pflanzensaft nach Ausbringung der verschiedenen Verfahren festzustellen. Für diese Erhebungen wurde jeweils Blatt- und Bodenmaterial aus der Wiederholung 6 entnommen.

3.2.7.1 Vorgehen Pflanzensaftpressung

Für jedes Verfahren wurde pro Kultur eine Handvoll Blattmasse zufällig über die Versuchsparzelle gesammelt, wobei die Ränder vermieden wurden. Die Blattmasse wurde zuerst im Mörser bearbeitet, damit möglichst alle Zellen zerstört wurden (vgl. Abb. 26). Darauf folgte die Pressung mit einer Schraubstockpressen-Eigenkreation, welche von der HAFL zur Verfügung gestellt wurde. Der extrahierte Blattsaft wurde in ein Röhrchen gefüllt, wovon mit einer Pipette abgezogen werden konnte. Die Messungen wurden jeweils unmittelbar nach der Blattsaftextraktion durchgeführt. Bei den Pflanzensaftpressungen und Messungen wurde jeweils immer nur ein Verfahren einer Kultur gleichzeitig bearbeitet, damit der Pflanzensaft bei allen Messungen frisch war und somit der Versuchsfehler reduziert werden konnte. Weiter wurden alle gebrauchten Materialien mit destilliertem Wasser gereinigt, bevor die nächste Pressung erfolgte.

Abb. 26: Vorgehen Pflanzensaftpressung (Quelle: Eigene Aufnahmen)

3.2.7.2 BRIX und Calcium-Verfügbarkeit

Um den BRIX im Pflanzensaft zu messen und gleichzeitig anhand der Linie zu erkenne, ob eine genügend gute Ca-Verfügbarkeit vorhanden ist, wurde ein BRIX-Gerät der Marke ATAGO (Masters Serie) mit einem Messbereich von 0-33% und automatischer Temperaturkompensation (ATC) benützt. Der in Kapitel 3.2.7.1 extrahierte Pflanzensaft wurde mit einer Pipette auf das Prisma aufgetragen, die Tageslichtklappe geschlossen und durch das Okular den Messwert an der Skala abgelesen (vgl. Abb. 27). Es wurde zudem geschaut, wie sauber und scharf, respektive verwaschen, unscharf und schwer abzulesen die Trennlinie war, welche eine Indikation auf die Calciumversorgung der Pflanze liefert. Jeder BRIX-Messung wurde gleichzeitig ein Ca-Versorgungswert zugewiesen, der von 1 (sehr schlecht, scharfe und saubere Linie) bis 5 (sehr gut, schwer abzulesen, sehr unscharfe und verwaschene Linie) reichte (vgl. Abb.

28 und Abb. 29). Die Bilder zu allen BRIX-Messungen finden sich im Anhang 7, S. 11-16. Das Prisma wurde nach jeder Messung mit destilliertem Wasser gereinigt.

Abb. 27: Applikation Pflanzensaft auf BRIX-Messgerät (Quelle: Eigene Aufnahme)

Abb. 28: Ca-Versorgungswert 2 (schlecht) (Quelle: Eigene Aufnahme)

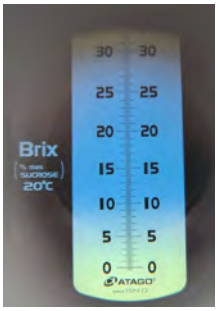


Abb. 29: Ca-Versorgungswert 5 (sehr gut) (Quelle: Eigene Aufnahme)

3.2.7.3 Pflanzensaftmessungen

Durch die Horiba-LaquaTwin-Geräte, welche von der HAFL zur Verfügung gestellt wurden, konnte direkt im Feld mit dem frisch gepressten Pflanzensaft (vgl. Kapitel 3.2.7.1) folgende Parameter gemessen werden: pH, EC, Kalium, Calcium, Natrium und Nitrat (vgl. Abb. 30). Die Geräte und Hilfsmittel wurden nach jeder Messung mit destilliertem Wasser gereinigt. Die Resultate der letzten Messungen mit den Horiba-LaquaTwin-Geräten (02.04.2023) werden zusätzlich mit den Pflanzensaftmessungen von NovaCropControl verglichen (vgl. Kapitel 4.1.4). Dieser Vergleich soll aufzeigen, wie genau der Feldkoffer von Horiba im Vergleich zur Laboranalyse ist. Die Messresultate der Horiba-Blattsaftmessungen finden sich im Anhang 8-13, S. 17-22. Die Geräte wurden für jeden Messtag instruktionsgemäss kalibriert.

Abb. 30: Horiba-LaquaTwin-Geräte für Pflanzensaftanalyse (Quelle: Eigene Aufnahme)

3.2.7.4 Herstellung Bodenaufschwemmung und Messungen

Um herauszufinden, ob die Verfahren einen Einfluss auf die Rhizosphäre der Pflanze haben, wurde beim Spinat jeweils eine Bodenaufschwemmung hergestellt. Dabei wurde pro Verfahren mindestens eine Pflanze ausgegraben und die Erde um die Wurzeln herum in einen Behälter abgestreift (vgl. Abb. 31). Es wurde ungefähr die gleiche Menge destilliertes Wasser zugegeben und etwas verrührt (vgl. Abb. 32). Mithilfe der Horiba-LaquaTwin-Messgeräte wurde der pH & EC gemessen. Die Messgeräte und Hilfsmittel wurden nach dem Gebrauch mit destilliertem Wasser gereinigt. Die Messwerte der Bodenaufschwemmung finden sich im Anhang 14, S. 23.

Abb. 31: Ausgrabung Wurzel
für Herstellung Bodenaufschwemmung
(Quelle: Eigene Aufnahme)

Abb. 32: Herstellung Bodenaufschwemmung
(Quelle: Eigene Aufnahme)

3.2.7.5 Infrarot-Thermometer zur Messung des Stressfaktors

Für die Temperaturmessungen wurde ein Infrarot-Thermometer der Marke Bosch (Modell PTD1) verwendet. Die Messung wurde bei beiden Kulturen in der Wiederholung 6 vorgenommen. Anhand eines weissen Blattes wurde zuerst die Umgebungstemperatur evaluiert. Für eine präzise Messung, muss der Infrarotstrahl in einem senkrechten Winkel auf die Blatt- und Bodenoberfläche auftreffen (Hörner 2020b). Es sollte zudem darauf geachtet werden, dass im Körperschatten gemessen, respektive das Sonnenlicht im Rücken gehalten wird (Hörner 2020b). Folgende Temperaturmessungen wurden vorgenommen:

- Lufttemperatur
- Bodentemperatur
- Blatttemperatur Kulturpflanze
    - Jüngere Blätter
    - Ältere Blätter
- Blatttemperatur Unkraut

Jede Messung wurde pro Kultur und pro Verfahren vierfach wiederholt. Die Temperaturmessungen finden sich im Anhang 15-16, S. 24-25.

3.2.7.6 Pflanzengesundheit

Während der Vegetationszeit der Kulturen wurde bei allen Applikations- und Messzeitpunkten der Pflanzenbestand auf allfällige Krankheiten oder Schädlinge kontrolliert.

Bei den Radiesli werden laut Potsweiler (2006, 157) in Versuchen die Pflanzenbestände unter anderem auf Falschen Mehltau (*Hyaloperonospora parasitica*), die kleine Kohlfliege (*Delia radicum*), Erdflöhe, Wurzeltöterpilz (*Rhizoctonia solani*) und Kohlernie untersucht.

Beim Spinat sind es der Falsche Mehltau (*Peronospora farinosa spinaciae*), Wurzelbräune (*Colletotrichum dematium*) und die, durch Blattläuse übertragenen Viren Gelbfleckigkeit/Gurkenmosaikvirus, Mildes Rübenvergilbungsvirus (BMYV) und Rübenmosaikvirus (BtMV), die bei Versuchen bonitiert werden (Reents 2006, 84–85).

Da keine Krankheiten und Schädlinge während der Vegetationsperiode auftauchten, wurde keine Boniturliste erstellt und somit auch keine Auswertungen darüber gemacht. Es wurde entsprechend auf ein

Unterkapitel der Pflanzengesundheit bei den Ergebnissen verzichtet. Wie gesund eine Pflanze ist, kann sich anhand der Temperaturunterschiede zur Luft und durch die Pflanzensaftwerte zeigen. Daher werden diese Parameter in Bezug auf die Pflanzengesundheit interpretiert.

3.2.7.7 Wetter Gempenach während Brau-, Applikations- und Messzeitpunkten

Wie bereits in Kapitel 2.3 erwähnt, können unter anderem Wetterwechsel einen Einfluss auf die BRIX-Messung haben. Weiter spielt die Umgebungstemperatur und vor allem die Bodentemperatur eine Rolle im Hinblick auf die Aktivität von Mikroorganismen. Während der Versuchsperiode war der Wetterverlauf in Gempenach zu den Applikations- und Messzeitpunkten sehr wechselhaft (vgl. Abb. 33). Von der zweiten Applikation an kam jeweils während dem Brauvorgang oder gerade danach eine Kaltfront und starke Winde, sowie Regen. So auch bei der Messung vom 31. März 2023, als das Sturmtief «Mathis» über die Schweiz fegte (vgl. MeteoSchweiz 2023).

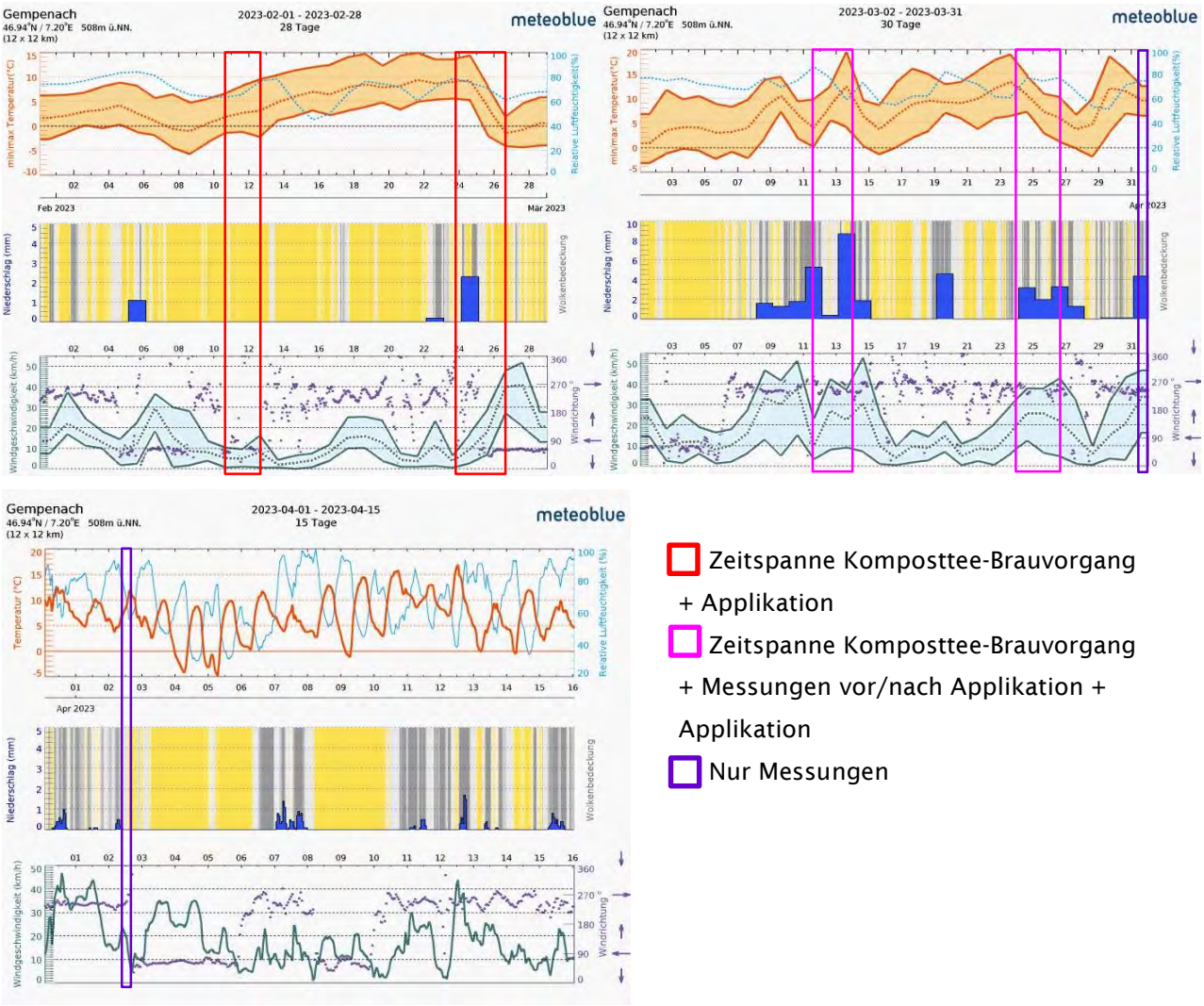


Abb. 33: Wetterverlauf Gempenach während Versuch (Quelle: nach meteoblue 2023, verändert)

3.2.8 Ernte

Die Ernte der Radiesli fand am 03. April 2023 und die vom Spinat am 04. April 2023 statt. Jeweils vor 9 Uhr morgens wurde eine Mischprobe pro Verfahren und Kultur genommen, um für eine Blattsaftanalyse an NovaCropControl in den Niederlanden einzusenden. Die Mischprobe durfte nur aus Blättern

bestehen, sowie ein Gewicht von max. 150g umfassen (EDAPRO ohne Datum[c]). Sorgfältig wurde pro Verfahren in jeder Wiederholung ca. 30g gesammelt, abgewogen und in ein bereits vorbeschrifteter Zip-Lock-Beutel gegeben (vgl. Abb. 34). Am 03. April 2023 wurden die Beutel in einer Kühltasche und im Kühlraum des Betriebes zwischengelagert. Am 04. April 2023 wurde nach der Probeentnahme der Spinat-Blattmasse die Beutel in einer Kartonkiste eingepackt und gut verschlossen. Bei 8.30 Uhr wurde die Kiste auf der Post aufgegeben. Die Resultate der Pflanzensaftanalysen von NovaCropControl finden sich im Anhang 17-24, S. 26-33.

Abb. 34: Probeentnahme für Blattsaftanalyse NovaCropControl (Quelle: Eigene Aufnahme)

Um Fehlerquellen bezüglich Vermischungen vorzubeugen, wurde für jedes Verfahren eine IFCO-Kiste und ein Becken angeschrieben, welche bei der zu erntenden Wiederholung ausgelegt wurden (vgl. Abb. 35). Daraufhin wurde an einem repräsentativen Ort in der Versuchsparzelle ein, zu einem Rechteck geformter, Doppelmeter ausgelegt (vgl. Abb. 36). Die daraus entstandene Fläche von 0.24m^2 (60cm x 40cm), entsprach der Ernteparzelle. Es wurde versucht so weit als möglich, diese in der Mitte der Versuchsparzelle anzulegen, damit der Randeffekt vermieden werden konnte. War die Mitte jedoch nicht repräsentativ, wurde auch die Randregion einbezogen. Alle Ernteparzellen wurden fotografiert und finden sich im Anhang 25, S. 34-36.

Abb. 35: Auslegeordnung Erntevorgehen (Quelle: Eigene Aufnahme)

Abb. 36: Platzierung Ernteparzelle mit Doppelmeter (Quelle: Eigene Aufnahmen)

Um den Doppelmeter herum, wurde die Blattmasse etwas zu Boden gedrückt, um somit klar abzugrenzen, welche Pflanzen noch zur Ernteparzelle gehören (vgl. Abb. 36). Entscheidend war dabei die Position der Wurzel. War diese noch unterhalb des Meters, dann gehörte die Pflanze noch dazu. War die Wurzel

bereits ausserhalb des Meters, dann gehörte die Pflanze nicht mehr dazu, auch wenn die Blätter oberirdisch in der Ernteparzelle hinüber reichten.

3.2.9 Ertrags- und Qualitätserhebungen

Gewisse Parameter wurden zeitgleich auf dem Feld gemessen und notiert. Andere wurden abgepackt und zu einem späteren Zeitpunkt erhoben. In den folgenden Unterkapiteln wird auf das Vorgehen der einzelnen Erhebungen näher eingegangen. Alle Verfahren innerhalb einer Kultur und Wiederholung wurden immer separat geerntet und Messungen vorgenommen.

3.2.9.1 Wurzelmasse & Bodenprobe Rhizosphäre

Als erstes wurden aus der festgelegten Ernteparzelle jeweils vorsichtig 20 Pflanzen inklusive deren Wurzeln ausgegraben. Von den Wurzeln wurde vorsichtig ein Teil der Erde in ein Röhrchen abgestreift, um zu einem späteren Zeitpunkt mit Adrian Rubi die Rhizosphäre der verschiedenen Verfahren unter dem Mikroskop anzuschauen. Diese Rhizosphären-Bodenprobe wurde Verfahrens- und Kulturgetrennt gemacht und eingefroren. Aus Zeitgründen und aufgrund der bereits vorhandenen Menge an Daten, wurde diese Mikroskop-Auswertung schlussendlich nicht gemacht.

Die ausgegrabenen Pflanzen mit ihren Wurzeln wurden auf ein Brett ausgelegt und fotografiert (vgl. Abb. 37). Diese Abbildungen finden sich alle im Anhang 26, S. 37-42. Die Blattmasse wurde abgetrennt und in ein separates Becken gelegt für die Blattmassenmessung (vgl. Kapitel 3.2.9.2). Für spätere Erhebungen wurden die abgetrennten Wurzeln in einen beschrifteten Zip-Lock-Sack gegeben (vgl. Abb. 37). Die Wurzelmasse wurde bis zur Weiterverarbeitung eingefroren, damit keine Fäulnis entstehen konnte.

Abb. 37: Ernte Wurzelmasse (Quelle: Eigene Aufnahme)

Für die Bonituren der Wurzellänge und des Wurzelgewichts wurden diese sorgfältig mit Hilfe eines Küchensiebs gewaschen, damit Erde entfernt werden konnte (vgl. Abb. 38). Danach wurden die Wurzeln gemessen, auf eine Serviette ausgelegt und fotografiert. Alle Aufnahmen der Wurzelmessungen sind im Anhang 26, S. 37-42, sowie die Boniturtabelle der Wurzellänge und deren Gewicht im Anhang 27-28, S. 43-44 ersichtlich.

Abb. 38: Waschvorgang und Messung Wurzellänge (Quelle: Eigene Aufnahmen)

Die Wurzeln wurden für einige Tage auf der Bodenheizung getrocknet. An der HAFL wurden die Wurzeln pro Wiederholung, Kultur und Verfahren einzeln mit der analytischen Laborwaage der Marke Mettler, (Modell AT 400) gewogen. Zuerst wurde die Schale gewogen und auf 0 gestellt, danach wurden die Wurzeln eingefüllt und erneut gewogen (vgl. Abb. 39).

Abb. 39: Wiegevorgang Wurzeln (Quelle: Eigene Aufnahmen)

3.2.9.2 Blattmasse

Beim Spinat wurde die restliche oberirdische Blattmasse der Ernteparzelle knapp bodeneben mit einem Messer abgeschnitten und gewogen (vgl. Abb. 40).

Abb. 40: Spinat-Versuchsparzellen nach Ernte (Quelle: Eigene Aufnahme)

Die Spinat-Blattmasse aus der Ernteparzelle, wie auch aus den gesamten Versuchsparzellen wurde vollständig geerntet, in IFCO-Kisten gefüllt und grösstenteils für den Eigenverbrauch weiterverwendet.

Bei den Radiesli wurden in der Ernteparzelle alle Knollen geerntet und gleichzeitig die oberirdische Blattmasse abgeschnitten, in einen separaten Behälter gefüllt und gewogen (vgl. Abb. 41). Das Blattgrün der Ernteparzellen landete auf dem Kompost des Betriebes. Die restlichen Radiesli der Versuchsparzellen wurde entweder vom Betriebsleiter geerntet und verkauft (wenn Verfahren «Kontrolle» und «pH-Senker») oder für den Eigenverbrauch (wenn Verfahren «Komposttee» und «Komposttee mit pH-Senker» mitgenommen. Die Ernteerhebungen zur Blattmasse und Knollen der Radiesli finden sich im Anhang 29, S. 45, zur Blattmasse vom Spinat im Anhang 30, S. 46.

Abb. 41: Ernte Radiesli-Blattgrün und Knollen (Quelle: Eigene Aufnahme)

3.2.9.3 Knollengewicht Radiesli

Bei den Radiesli wird hauptsächlich die Knolle gegessen, das Blattgrün erfährt weniger grosser Beliebtheit. Radiesli werden normalerweise im Bund verkauft und die Knollen müssen eine gewisse Grösse haben. Laut Potsweiler (2006, 159) müssen marktfähige Knollen einen Mindestdurchmesser von 15mm aufweisen, ansonsten werden sie als nicht-marktfähig bonitiert. Bei der Bonitur der marktfähigen Knollen wurde bei diesem Versuch jedoch nicht der Durchmesser gemessen, sondern nach Insturktionen des Betriebsleiter eine optische Bonitur durchgeführt. Es wurden alle Knollen der Ernteparzelle gezählt und gewogen, wie auch die Knollen, die als nicht-marktfähig eingestuft wurden (vgl. Abb. 42). Daraus konnte eine Gesamtanzahl marktfähiger Knollen und deren Gewicht eruiert werden. Bei allen Knollen wurden jeweils vor der Wägung die Wurzeln abgeschnitten.

Abb. 42: Wägen marktfähiger (links) und nicht-marktfähiger (rechts) Radiesli Knollen (Quellen: Eigene Aufnahmen)

3.2.10 Bodenprobe

Anhand von Bodenproben wurde analysiert, ob die Verfahren einen Einfluss auf verschiedene Bodenparameter haben. Wie bereits in Kapitel 3.2.4.1 erläutert, wurde im Vorfeld des Versuches eine Bodenprobe START über das ganze Schiff genommen. Nach der Ernte beider Kulturen, wurden am 4. April 2023 pro Verfahren eine Mischprobe über alle Wiederholungen gestochen. Hierbei wurden aus Kostengründen die Kulturen nicht separiert. Jede Mischprobe wurde in drei Plastikbeutel abgefüllt und angeschrieben. Dies aufgrund der drei Analysen, die später gemacht wurden (vgl. Kapitel 3.2.10.1, 3.2.10.2, 3.2.10.3). Die Lagerung erfolgte bis zur Weiterbearbeitung im Gefrierschrank (-18˚C).

3.2.10.1 Labor Ins

Alle oben erwähnten Bodenproben wurden am 05. April 2023 ans Labor Ins geschickt. Es wurde im Vorfeld mit dem Geschäftsführer, Pascal Hübscher, ein Rabatt von 25% ausgehandelt. Mit dem Betreuer, Dominik Füglistaller, wurde zudem abgesprochen, dass aufgrund dieser Kosteneinsparungen die «Premium KAK Plus» Analyse inklusive Natrium und zusätzlich noch Schwefel mineralisch (S_{min}) gemacht werden kann. Im Kapitel 2.2.2 wurde bereits detailliert auf die Kationenaustauschkapazität eingegangen. Die Resultate der S_{min}-Analysen wurden am 14. April 2023 und die der «Premium KAK Plus» inkl. Na am 21. April 2023 via E-Mail kommuniziert. Alle Resultate vom Labor Ins finden sich im Anhang 31-36, S. 47-63.

3.2.10.2 Stickstoff- und Kohlenstoffanalyse mit CHN-Analyzer

Die bei -18˚C gefrorenen Bodenproben wurden aus der Gefriertruhe genommen und bei Raumtemperatur über zwei Tage in den Plastiksäcken aufgetaut. Zur Trockensubstanz (TS)-Bestimmung der Proben wurde wie folgt vorgegangen: Der Trockenschrank wurde auf 105˚C eingestellt. Für die Berechnung der TS wurde eine Excel-Tabelle verwendet (vgl. Tab. 8). Zuerst wurde die leere Schale gewogen, deren

Nummer und das zugehörige Verfahren notiert und das Gewicht in der Spalte «Tara eingetragen». Danach wurde die Schale mit der Bodenprobe gefüllt, wieder gewogen und in der Spalte «Einwaage» das Gewicht eingetragen. Nach dem Trocknungsvorgang (24 Stunden bei 105˚C), wurde nochmals das Gewicht der Schale inklusive der getrockneten Erde eruiert und in der Spalte «Brutto» eingetragen. Die Schalen wurden während dem Trocknungsvorgang nicht gewendet. Für die Bestimmung der Trockensubstanz (TS) wurde dem «Brutto»-Gewicht das «Tara» abgezogen und durch das «Einwaage»-Gewicht mit abgezogenem «Tara» dividiert.

Tab. 8: CHN-Analyse TS-Bestimmung (Quelle: Eigene Darstellung)

TS-Bestimmung CHN-Analyse					
Code Probe	Monika Versuch		**gemssene Laborwerte**		
Nr. Schale für TS	**Probenname**	% TS	Tara	Einwaage	Brutto
163	CE	**84.9**	400.4	706.7	660.4
105	KT	**84.7**	401.2	733.3	682.4
63	KT + CE	**84.6**	398.1	728.7	677.8
113	Start	**80.6**	403.6	711.4	651.8
117	Kontrolle	**85.0**	401.9	730.5	681.3

Das getrocknete Probematerial wurden gesiebt (2 mm Sieb) und in der Kugelmühle (Retsch ZM 200, Deutschland) zu einem Pulver (<0.5mm) gemahlen. Kurz vor der Analyse wurden die pulverisierten Proben für ca. eine Stunde im Trockenschrank bei 105˚C nachgetrocknet und im Exsikkator abgekühlt, bevor die Stickstoffanalyse durchgeführt wurde. Somit konnte von einem TS-Gehalt der eingewogenen Proben von 100% ausgegangen werden. Die Stickstoffbestimmung erfolgte gemäss dem HAFL-internen Protokoll von Sperling (2019) mittels CHN-Analyzer (Series 628, Leco, Deutschland). Pro Verfahren wurden Doppelbestimmungen durchgeführt. Die Werte an Kohlenstoff und Stickstoff wurden sowohl absolut als auch relativ (in % der eingewogenen Masse) ausgeben. Zusätzlich wurde das C/N-Verhältnis gegeben. Die Resultate und Berechnungen dazu finden sich im Anhang 37, S. 64. Die Ergebnisse werden aufgrund der bereits umfangreichen Arbeit nicht weiter diskutiert.

3.2.10.3 Boden-Chroma

Die Bodenproben wurden aus dem Gefrierschrank (-18˚C) genommen und davon ca. 20g mit einem Löffel in fünf separate Behälter abgewogen. Für ca. zwei Wochen wurden die Bodenproben bei Raumtemperatur getrocknet und gelegentlich geschüttelt. Die Herstellung der Chromas erfolgte in folgenden Schritten nach der Anleitung von Bodenluft GmbH (2019).

1. Mit einer Pinzette werden Steinchen und Pflanzenreste aus der Probe entfernt. Danach wird die Probe gemörsert und mit einem Teesieb 5g in saubere, mit destilliertem Wasser ausgespülte und dem Verfahren beschriftete Erlenmeyerkolben abgesiebt (vgl. Abb. 43)

Abb. 43: Step 1 Bodenchroma: Säubern, Mörsern, Sieben, Abwägen (Quelle: Eigene Aufnahmen)

2. Pro Chroma wird eine einprozentige Natriumhydroxid-Lösung (NaOH) frisch hergestellt, indem 0.5g NaOH-Granulat in 50ml destilliertem Wasser aufgelöst werden. Diese hergestellte NaOH-Lösung wird auf die bereits abgefüllte Bodenprobe (vgl. 1. Schritt) gegeben
3. Nun erfolgte der Schüttelvorgang:
    a. In harmonischer Bewegung, den Kolben sechsmal links im Kreis drehen und sechsmal rechts, dieses Vorgehen sechsmal nacheinander wiederholen
    b. Den Kolben hinstellen und nach zehn Minuten erneut nach a) vorgehen
    c. Den Kolben hinstellen und nach einer Stunde erneut nach a) vorgehen
    d. Die Probe danach für mindestens fünf bis sechs Stunden ruhen lassen
4. Vorbereitung des Filterpapiers (Whatman 4) (vgl. Abb. 44):
    a. Stanzung Mittelloch (Ø 2mm) und Anzeichnen von jeweils zwei Bleistiftmarkierungen (4cm und 6cm vom Mittelloch entfernt)
    b. Herstellung «Docht» aus Filterpapier und Einstecken in Mittelloch der Filterscheibe (Überstand oben ca. 6-8mm)
    c. Herstellung 0.5% Silbernitratlösung (1.5ml pro Probe) ⇨ Abfüllen in Porzellantiegel
    d. Porzellantiegel wird in Petrischale gestellt, Filterscheibe mit Docht nach unten in Mitte des Porzellantiegels stellen, so dass Silbernitratlösung gleichmässig aufgesaugt werden kann, bis zum 1. Bleistiftpunkt (4cm). Filterscheibe wegnehmen, Docht vorsichtig herausziehen und Filterscheibe auf sauberes Blatt Papier im Dunkeln zum Trocknen legen

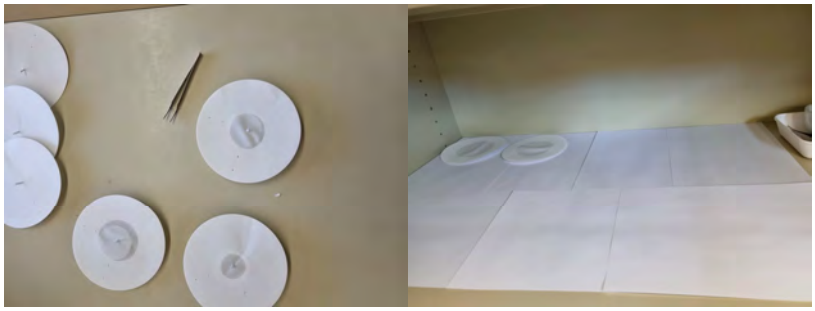


Abb. 44: Vorbereitung und Trocknung Filterpapier Chroma-Test (Quelle: Eigene Aufnahmen)

5. Testvorgang, Trocknung & Lagerung (vgl. Abb. 45)
    a. Für die optimale Temperatur (18-24 Grad) und Luftfeuchtigkeit (70-80%) wurde ein Klimaschrank vorbereitet
    b. Dekantieren der klaren Probeflüssigkeit von Schritt 3 (ohne Bodensatz)
    c. 5ml Probeflüssigkeit in eine Porzellanschale geben, die in einer Petrischale liegt
    d. Filterscheiben von Schritt 4 mit neuem Docht versehen und auf Petrischale legen ⇨ in Klimaschrank stellen
    e. Aufsaugen der Probeflüssigkeit bis zum 2. Bleistiftpunkt (6cm), Filterscheibe wegnehmen, Docht vorsichtig herausziehen, auf sauberem Blatt Papier bei diffusen Lichtverhältnissen und Zimmertemperatur trocken lassen
    f. Gelegentliches Wenden während ca. 2 Wochen, ohne direkte Sonneneinstrahlung und bei Zimmertemperatur
    g. Chromas zwischen zwei sauberen Papieren eingelegt, können jahrelang aufbewahrt werden

Abb. 45: Herstellung und Trocknung Chromas (Quelle: Eigene Aufnahmen)

Die getrockneten Chromas finden sich im Anhang 38-42, S. 65-69. Für die Interpretation der Boden-Chromas wurde eine kurze Rückmeldung von Rafah al Naser, Assistentin an der HAFL und Instruktorin bei der Erstellung der Boden-Chromas dieser Arbeit gegeben. Weiter wurde von Lorenz Rieger, Co-Inhaber EDAPRO und Freddy Abächerli, Geschäftsführer Verora AG und Bionika AG eine Interpretation abgegeben. Die E-Mails dazu finden sich im Anhang 43-45, S. 70-72. Angefragt wurde zudem Reto Pola, Gründer, Inhaber und Geschäftsführer von der Bodenluft GmbH und gleichzeitig Verfasser, der für die Herstellung der Boden-Chromas und Interpretation benötigten Unterlagen. Seine Interpretation findet sich in Anhang 69, S. 109-115.

3.2.11 Auswertung Hauptversuch

3.2.11.1 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung wurde mit der Software R (Version 4.2.0) gemacht. Für alle Auswertungen wurden die Pakete «readxl» (Wickham und Bryan 2023), «lmerTest» (Kuznetsova et al. 2017), «sjplot» (Lüdecke 2023), «car» (Fox und Weisberg 2019), «multcomp» (Bretz et al. 2017), «multcompview» (Graves et al. 2023), «emmeans» (Lenth 2023) und «ggpubr» (Kassambara 2023) installiert. Beim Vergleich der Verfahrensflüssigkeiten (vgl. Kapitel 4.1.1), wurden für die Korrelationsmatrix zusätzlich noch die Pakete «dplyr» (Wickham et al. 2023), «tidyverse» (Wickham et al. 2019) und corrplot (Wei und Simko 2021) benötigt. Es wurde für die Auswertung überall mit einem linearen Modell mit fixen Effekten gearbeitet. Als statistisch signifikant wurden Werte mit einem p-Wert von ≤0.05 festgelegt. Signifikanzen werden in Grafiken mit sich unterscheidenden Buchstaben angegeben. So sind a und b signifikant unterschiedlich, während ab keinen signifikanten Unterschied zu a oder zu b aufweist. Die Modelvoraussetzungen wurden mit diagnostischen Plots überprüft, welche alle mittels der RScripts und den dazugehörigen Excel-Tabellen im separaten, elektronischen Anhang aufgerufen werden können.

3.2.11.2 Deskriptive Auswertung

Wo keine Wiederholungen der Versuchsparameter gemacht wurden, war der Einsatz der Software R nicht möglich, um statistisch signifikante Unterschiede festzustellen. Daher wurde nach Empfehlung von Alexander Burren, wissenschaftlicher Mitarbeiter und Statistik-Lehrer an der HAFL auf eine deskriptive Auswertung anhand von Diagrammen ausgewichen.

3.3 Nebenversuche

In den Nebenversuchen ging es nicht um die Auswirkung von Komposttee auf Pflanzen sondern darum, wie sich die Messwerte pH, EC und Redox in verschiedenen, in der Praxis hoch diskutierten Verfahren

verändern. Weiter wurde der Einsatz des microBIOMETER® (vgl. Kapitel 2.2.4) auf dessen Praxistauglichkeit getestet. Die Nebenversuche wurden zwischen dem 06. Juli und 14. Juli 2023 am Wohnort der Verfasserin dieser Arbeit durchgeführt. Für die Versuche wurde Quellwasser verwendet. Einige der Versuche wurden mit dem bereits im Hauptversuch verwendeten EDAPRO-Brausystem durchgeführt und zusätzlich mit dem Brausystem der Vortex Energie GmbH aus Österreich und dessen Rezeptur auf verschiedene Parameter verglichen. Ein Versuch wurde nur mit dem Brausystem aus Österreich durchgeführt. Es war immer nur eine Maschine gleichzeitig in Betrieb. Das Versuchsjournal zu den Nebenversuchen findet sich im Anhang 46, S. 73. Die Heizung wurde aufgrund der warmen Sommertemperaturen in keinem der Versuche benutzt (vgl. Tab. 9). Die Wassertemperatur betrug beim Einfüllen der Maschine ca. 18 Grad und erwärmte sich mit der Aussentemperatur während dem Belüftungs- und Brauvorgang auf 22 – 25 Grad. Diese Temperaturen konnten dem Multifunktions-pH-Meter, der bereits im Hauptversuch benützt wurde, abgelesen werden. Die pH-Sonde wurde während den Nebenversuchen dreimal auf pH 7, pH 4 und pH 10 kalibriert (06.07.2023, 11.07.2023 und 13.07.2023). Vor und nach jeder Messung wurden die pH-, EC- und Redoxsonden mit destilliertem Wasser gereinigt. Für diese Nebenversuche wurden keine Wiederholungen vorgenommen.

Tab. 9: Daten Wetterstation Wünnewil (Quelle: Wetter-Wuennewil 2023)

Date	Temp Ø	Temp Max	Temp Min	Rain
6. Jul 2023 00h	19.1°C	25.1°C	13.0°C	2.8mm
7. Jul 2023 00h	21.1°C	29.6°C	11.8°C	0.0mm
8. Jul 2023 00h	21.3°C	28.7°C	16.2°C	11.0mm
9. Jul 2023 00h	23.6°C	33.1°C	14.7°C	0.0mm
10. Jul 2023 00h	24.4°C	30.6°C	17.7°C	0.4mm
11. Jul 2023 00h	24.9°C	35.6°C	17.2°C	7.8mm
12. Jul 2023 00h	20.5°C	25.3°C	17.1°C	15.8mm
13. Jul 2023 00h	19.3°C	24.7°C	14.4°C	5.8mm
14. Jul 2023 00h	20.4°C	28.7°C	11.1°C	0.0mm

3.3.1 Einsatz microBIOMETER® & Einfluss Wasserbelüftung von Komposttee zweier Brausysteme

In diesem Nebenversuch wurde untersucht, welchen Einfluss das Brausystem (Maschine & Rezeptur) und die Wasserbelüftung (ohne/mit) vor der Zugabe von Kompost auf die Messwerte pH, EC und Redox haben. Zusätzlich dazu wurde mit dem microBIOMETER® einerseits dessen Genauigkeit anhand mehrerer Wiederholungen der gleichen Charge getestet, anderseits ob allfällige Unterschiede in der mikrobiellen Aktivität zwischen den Brausystemen und den Verfahren bestehen. Die Wirbelrichtung wurde dabei auf links festgelegt, gleich wie im Hauptversuch.

3.3.1.1 Brausystem & Rezeptur

Für diesen Nebenversuch wurden die zwei Brausysteme der EDAPRO GmbH und Vortex Energie GmbH einander gegenübergestellt. Beide Brausysteme funktionieren im belüftenden Verfahren (ACT).

3.3.1.1.1 EDAPRO

Für die Details zum Brausystem von EDAPRO und dessen Rezeptur wird auf das Kapitel 3.2.5 und 3.2.6.1 verwiesen.

3.3.1.1.2 VORTEX

Die für den Nebenversuch verwendete Maschine der Firma Vortex Energie GmbH aus Haibach ob der Donau, wird nachfolgend nur noch VORTEX genannt. Es ist das Model G50 und hat ein Fassungsvermögen von 50l (vgl. Abb. 46). Mithilfe eines Kompressors wird Luft eingeblasen und durch die Bauart ein

Strudel generiert. Die Maschine wurde inklusive den in der Praxis dazu verwendeten Zutaten zur Verfügung gestellt. Grösstenteils wird die Rezeptur nach den Angaben der Firma Vortex Energie GmbH eingehalten (Jöhr 2023a, persönliche Mitteilung). Einziger Komponent, der vom Originalrezept geändert wurde, war der Austausch der Zuckerrohrmelasse durch Bio-Luzernepellets, aufgrund deren zu engen Bakterienvielfalt (Jöhr 2023a, persönliche Mitteilung). Für die Herstellung von 50l Komposttee wurden 0.5l mehrjähriger Komost, 0.2l Luzerne Pellets, 10g Steinmehl (Zeolith), 3g Bio-Aktiv Pflanze (Steinsalz) und 50g Malzkeimdünger benötigt (Jöhr 2023a, persönliche Mitteilung). Die Original-Zutaten dazu werden in der Schweiz von EM-Schweiz und die Luzerne Pellets von der Mühle Rytz in Biberen bezogen (Jöhr 2023a, persönliche Mitteilung).

Abb. 46: Brausystem VORTEX (Quelle: Eigene Aufnahme)

3.3.1.2 Verfahren mit/ohne Wasserbelüftung vor Brauvorgang

Bei beiden Brausystemen wurde im Verfahren «mit Wasserbelüftung» das Wasser für 24 Stunden in der Maschine zirkulieren gelassen, bevor der Kompost und die restlichen Zutaten hinzugefügt wurden. Messungen zu pH, EC und Redox wurden als erstes beim Einfüllen gemacht, bevor die Maschine gestartet wurde. Danach wurde nach der 24-stündigen Belüftungszeit die gleichen Messungen einerseits im Wirbel, anderseits in einem Plastik-Zentrifugenröhrchen gemacht. Hierbei wurde das Röhrchen mit dem belüfteten Wasser gefüllt und zur Seite gestellt. In der Zwischenzeit wurde die pH-Messung im Wirbel gemacht (vgl. Abb. 47). Danach folgte die pH-Messung im Röhrchen. Das gleiche wurde für die Messung mit der Redox- und EC-Sonde vorgenommen. So wollte eruiert werden, welchen Einfluss auf die Messwerte die direkte Verwirbelung hat und welche Werte sich für die Flüssigkeit einpendeln, die dann schlussendlich ausgebracht wird wenn keine Verwirbelung mehr besteht. Nach diesen Messungen wurde, nach maschinenspezifischer Rezeptur, der Kompost und die restlichen Zutaten dazugegeben. Weitere 24 Stunden später wurden die gleichen Messungen nochmals durchgeführt.

Beim Verfahren «ohne Wasserbelüftung» wurde bei beiden Brausystemen die Messungen zu pH, EC und Redox nach dem Einfüllen des Wassers und vor dem Start der Maschine durchgeführt. Danach wurde, nach maschinenspezifischer Rezeptur, der Kompost und die restlichen Zutaten dazugegeben. 24 Stunden später wurden die gleichen Messungen, dasselbe Vorgehen wie oben, einerseits im Wirbel, anderseits in einem Plastik-Zentrifugenröhrchen absolviert (vgl. Abb. 47). Die Messergebnisse der Nebenversuche finden sich im Anhang 47, S. 74.

Abb. 47: Messungen im Wirbel und Zentrifugenröhrchen (Quelle: Eigene Aufnahmen)

3.3.1.3 microBIOMETER®

Nach der Beendigung des Brauvorgangs und den vorgenommenen Messungen gemäss Kapitel 3.3.1.2 wurde in einem Messbecher Komposttee abgeschöpft, welcher für die Messungen mit dem microBIOMETER® verwendet wurde. Der restliche Komposttee wurde für den Eigengebrauch verwendet. Der microBIOMETER® wurde von Adrian Rubi, Co-Gründer EDAPRO und Co-Betreuer dieser Arbeit bereitgestellt. Anhand der Anleitung von microBIOMETER (ohne Datum[a]) wurden pro Kompostteecharge fünf Wiederholungen gemacht. Aufgrund der Anzahl beigelegten Testkarten, reichte es beim letzten Verfahren, «EDAPRO ohne Belüften» nur für vier Wiederholungen. Die Anzahl Wiederholungen sollte ein Indiz auf die Genauigkeit des Gerätes geben, wie auch aufzeigen, ob Unterschiede zwischen den Verfahren und den Brausystemen in Bezug auf mikrobielle Aktivität festzustellen waren. Alle nötigen Behälter und Zutaten waren bereits im Koffer vorhanden, dazu gehörte ein Rührstab, Pipetten, Messbehälter, Plastikröhrchen, Extraktionspulver, Testkarten und Hintergrundkarten.

In ein Plastikröhrchen wurde 9ml Komposttee abgefüllt. Diesem wurde ein Beutel Extraktionspulver beigemischt, mit elektrischen Rührstab für 30 Sekunden gemixt und für fünf Minuten stehengelassen (vgl. Abb. 48). Danach wurde mit dem unteren Ende des Röhrchens ein paar Mal auf eine harte Oberfläche geklopft und für weitere 15 Minuten stehengelassen. Mit der Pipette wurde etwas Flüssigkeit abgezogen (ohne Feststoffe) und drei Tropfen auf die Mitte des geschachtelten, grau-melierten Kreises appliziert. Die Testkarte wurde auf die Hintergrundkarte gelegt und weitere zwei Minuten später wurde mithilfe des microBIOMETER®-App ein Foto der Testkarte gemacht und direkt daraus die mikrobielle Vielfalt angezeigt. Alle fotografierten Testkarten sind im Anhang 48, S. 75 aufgeführt.

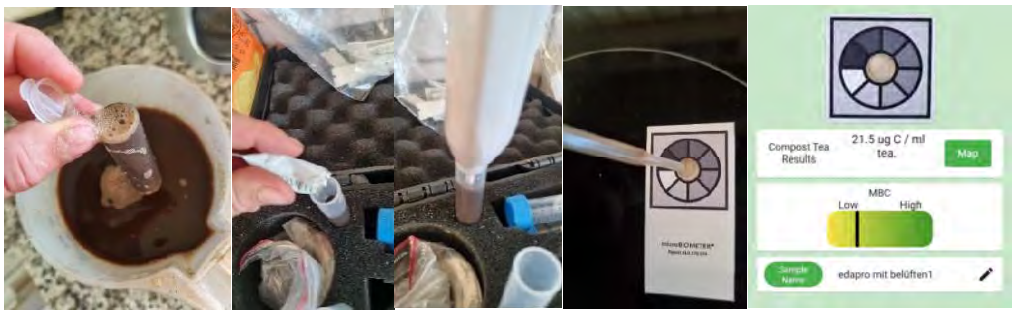


Abb. 48: Test Mikrobiometer (Quelle: Eigene Aufnahmen)

3.3.2 Einfluss Wirbelrichtung auf pH, EC und Redoxpotenzial von Quellwasser

Ein weiterer zu untersuchender Punkt war die Wirbelrichtung beim Brauvorgang. Für den Wirbelrichtungsversuch wurde nur mit dem Brausystem von Vortex Energie GmbH gearbeitet (vgl. Kapitel 3.3.1.1.2). Die Wirbelrichtung kann manuell verändert werden, indem beide Endstücke der

Ausflussrohre gedreht werden. Das Brausystem wurde einmal mit der Wirbelrichtung links und einmal mit der Wirbelrichtung rechts getestet (vgl. Abb. 49). Messungen zu pH, EC und Redox wurden als erstes beim Einfüllen gemacht, bevor die Maschine gestartet wurde. Danach wurde nach der 24-stündigen Belüftungszeit die gleichen Messungen einerseits im Wirbel, anderseits in einem Plastik-Zentrifugenröhrchen gemacht. Hierbei wurde das Röhrchen mit dem belüfteten Wasser gefüllt und zur Seite gestellt. In der Zwischenzeit wurde die pH-Messung im Wirbel gemacht (vgl. Abb. 47). Danach wurde die pH-Messung im Röhrchen gemacht. Das gleiche wurde für die Messung mit der Redox- und EC-Sonde vorgenommen. Die Resultate hierzu finden sich im Anhang 47, S. 74.

Abb. 49: v.l.n.r. Wirbelrichtung links und rechts (Quelle: Eigene Aufnahme)

3.3.3 Auswertung Nebenversuche

Aufgrund der fehlenden Wiederholungen wurden die meisten Messungen der Nebenversuche mittels deskriptiver Analyse ausgewertet. Beim microBIOMETER® konnte aufgrund der vorgenommenen Wiederholungen jeder Charge eine statistische Auswertung durchgeführt werden. Dabei wurde mit der Software R (Version 4.2.0) und den Paketen «readxl» (Wickham und Bryan 2023), «lmerTest» (Kuznetsova et al. 2017), «sjplot» (Lüdecke 2023), «car» (Fox und Weisberg 2019), «multcomp» (Bretz et al. 2017), «multcompview» (Graves et al. 2023), «emmeans» (Lenth 2023) und «ggpubr» (Kassambara 2023) gearbeitet. Die Auswertung wurde anhand eines linearen Modells mit fixen Effekten vorgenommen. Als statistisch signifikant wurden Werte mit einem p-Wert von ≤0.05 festgelegt. Signifikanzen werden in Grafiken mit sich unterscheidenden Buchstaben angegeben. So sind a und b signifikant unterschiedlich, während ab keinen signifikanten Unterschied zu a oder zu b aufweist. Die Modelvoraussetzungen wurden mit diagnostischen Plots überprüft, welche alle mittels der RScripts und den dazugehörigen Excel-Tabellen im separaten, elektronischen Anhang aufgerufen werden können.

3.4 Umfrage in der Praxis zur Herstellung und Applikation von Komposttee

Anhand von Umfragen bei regelmässigen Komposttee anwender*innen wurde ein Überblick zur gängigen Praxis geschaffen. Durch Simon Jöhr, Ressortleiter Beratung, Berater Biolandbau und Betriebswirtschaft INFORAMA Waldhof, sowie Berater und Kursleiter bei Regenerativ Schweiz, konnten einige Kontaktangaben von Umfrageteilnehmer*innen generiert werden. Weitere wurden durch die WhatsApp Gruppe «Regenerative Selbsthilfegruppe» gefunden. Total füllten 12 Umfrageteilnehmer*innen die im Word generierte Umfrage per E-Mail aus (vgl. Anhang 49-60, S. 76-100. Diese Umfragen lieferten zusätzlich zur Literaturrecherche und dem Versuch weitere Informationskomponente für die Erstellung eines Merkblattes in Bezug auf die Anwendung von Komposttee (vgl. Kapitel 4.2.3).

3.5 Wirtschaftlichkeitsberechnung Komposttee

Mittels der Deckungsbeiträge «DBKAT»-Excel-Version von Agridea mit den Zahlen vom 2022 wurde die Wirtschaftlichkeitsberechnung für Komposttee an Winterweizen TOP im ÖLN intensiv, Extenso IP-Suisse und Bio kalkuliert. Hinzugefügt wurde einerseits die Komponente «Komposttee» unter der Rubrik Pflanzenschutz, wobei mit einer bis drei Behandlung(en) gerechnet wurde. Die Kosten für den Komposttee berechneten sich anhand der Aufwandsmenge (l/ha) und dem Literpreis von Komposttee (CHF/l). Es wurde mit den Kosten der zwei, in dieser Arbeit angewendeten, Rezepturen gerechnet. Als weitere Komponenten wurden bei den variablen Kosten die Ausbringungskosten des Komposttees, sowie dessen Herstellungskosten berechnet. Für diese wurde aus dem Agroscope Kostenkatalog 2022 der Richtwert für einen 80-PS Traktor (Code 1004) genommen (vgl. Agroscope 2022). Es wurde mit einem Zeitaufwand von 30 Minuten/ha gerechnet, um den Komposttee auszubringen. Für die Anbaufeldspritze wurde eine Spritze mit 15m Balken und 800l Fass (Code 5154) gewählt, welche bereits im DBKAT Excel für Pflanzenschutzmassnahmen verwendet wurde (vgl. Agroscope 2022). Bei den Herstellungskosten des Komposttees wurde mit den Anschaffungskosten einer 500l-Chromstahl-Maschine gerechnet und einer Abschreibungsdauer von 30 Jahren. Es wurde weiter angenommen, dass die Maschine bei einer Applikation jährlich eine Auslastung von 3 Chargen, bei 2 Applikationen eine von 6 Chargen und bei 3 Applikationen eine von 9 Chargen hat. Die Anschaffungskosten von Kompostteemaschinen variieren in einem extrem breiten Spektrum und sind nicht im Agroscope Kostenkatalog aufgelistet. Es wurde daher mit Aussagen von Simon Jöhr und Adrian Rubi gearbeitet (vgl. Jöhr 2023b, persönliche Mitteilung; Rubi 2023e, persönliche Mitteilung). Die Berechnungen zur Wirtschaftlichkeit finden sich im Anhang 61-66, S. 101-106.

4 Ergebnisse

In den folgenden Unterkapiteln wird auf die Ergebnisse der Versuche und Methoden aus dem Kapitel 3 näher eingegangen. Es erfolgt eine Aufteilung in die Haupt- und Nebenversuche, wie auch zu den zusätzlich untersuchten Parametern. Aufgrund der zahlreichen Vergleiche wird einerseits zu Beginn jedes Teilkapitels eine kurze Zusammenfassung der zu folgenden Ergebnisse gemacht. Details zu den genauen Signifikanzen oder Unterschiede, finden sich beim jeweiligen Unterkapitel. Zusätzlich findet sich am Ende jedes grösseren Unterkapitels bereits eine Teildiskussion, entsprechend wird im Kapitel 5 nur noch eine übergreifende Gesamtdiskussion gemacht.

4.1 Ergebnisse Hauptversuch Gewächshaus

Die Ergebnisse des Hauptversuches werden zum einen in statistisch ausgewertete Vergleiche unterteilt. Dort wird zuerst auf den Vergleich zwischen den Verfahrensflüssigkeiten in Bezug auf pH, EC und Redoxwerte eingegangen. Danach folgt der Vergleich der Messungen während der Vegetationsperiode, welche kulturspezifisch nochmals unterteilt werden. Darauffolgend werden die Ertragsparameter, wiederum kulturspezifisch getrennt, analysiert. Aufgrund fehlender Wiederholungen, werden gewisse Messungen deskriptiv beurteilt. Dies bezieht sich auf die Pflanzensaftanalysen von NovaCropControl im Vergleich zu den Blattsaftmessungen mit den Horiba-LaquaTwin-Geräten und den Bodenproben vom Labor Ins. Am Schluss folgt das Boden-Chroma, welches grösstenteils auf Interpretationen von Fachpersonen beruht. Es werden ab jetzt, wo vorhanden, nur noch die Abkürzungen der Verfahren genannt.

4.1.1 Statistischer Vergleich zwischen den Verfahrensflüssigkeiten

Anhand einer Korrelationsmatrix kann eine Visualisierung der Interaktion zwischen den Verfahrensflüssigkeitsmessungen gemacht werden (vgl. Abb. 50). Diese zeigt, dass eine mittlere negative Korrelation von -0.46 zwischen pH und Redox besteht, während die Korrelation zwischen pH und EC (-0.07), sowie zwischen EC und Redox (0.15) sehr klein ist. Mit steigendem pH, sinkt entsprechend der Redox-Wert.

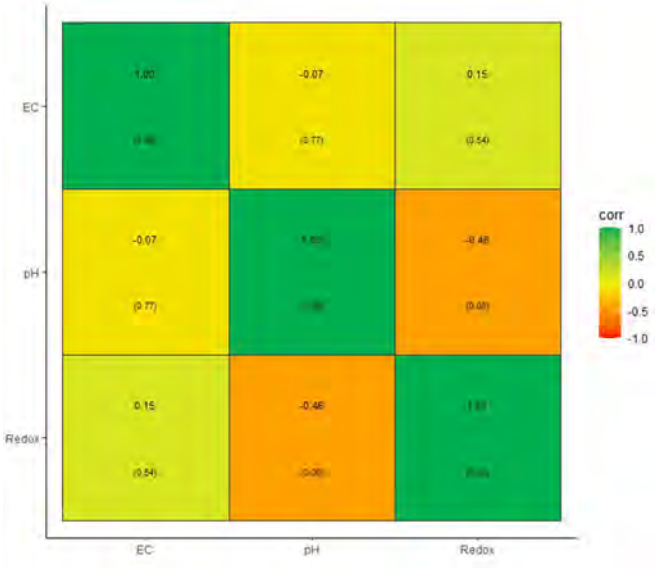


Abb. 50: Korrelationsmatrix zwischen pH, EC und Redox der Verfahrensflüssigkeiten

Die pH-Werte von «CE» und «KT_CE» sind gegenüber der «Kontrolle» signifikant tiefer, während die Werte von «KT» und «Wasser_belueftet» signifikant höher zur «Kontrolle» sind. Der EC-Wert ist bei der «Kontrolle» und «CE» signifikant tiefer als «Wasser_belueftet». «KT» und «KT_CE» zeigen die signifikant höchsten EC-Werte auf. Die Redox-Werte sind bei der «Kontrolle» am tiefsten. Signifikanz höher sind sie bei «KT_CE». Zusätzlich hat das Datum einen Einfluss auf den EC- und den Redoxwert.

4.1.1.1 pH-Vergleich der Verfahrensflüssigkeiten

Alle aufgelisteten Verfahren zeigen anhand des p-Werts, der kleiner als 0.05 ist, einen signifikanten Unterschied zum Referenzverfahren «Kontrolle» (vgl. Tab. 10). Der pH-Wert der Verfahren «CE» und «KT_CE» ist im Mittel 1.38 tiefer als bei der «Kontrolle», während «KT» im Mittel um 0.33 (p=0.01), respektive «Wasser_belueftet» um 0.48 (p=0.002) höher ist. die Die drei aufgelisteten Daten hingegen zeigen weder eine Signifikanz im Vergleich zum Referenzdatum (12.02.2023), welches nicht in Tab. 10 aufgelistet ist, noch untereinander. Die beiden Verfahren «KT_CE» und «CE» (a), unterscheiden sich Folge dessen signifikant vom Verfahren «Kontrolle» (b), welches sich wiederum signifikant von den Verfahren «KT» (c) (p=0.01) und «Wasser_belueftet» (c) (p=0.0017) unterscheidet (vgl. Abb. 51). «CE» und «KT_CE» zeigen gegenüber «KT» und «Wasser_belueftet» mit einem p-Wert von <0.001 klare Signifikanzen auf.

Tab. 10: Fixe Effekte (Lineares Modell)
pH Verfahrensflüssigkeit; Verfahren + Datum

		pH	
Predictors	*Estimates*	*CI*	*p*
(Intercept)	7.77	7.55 – 7.99	**<0.001**
Verfahren [CE]	-1.38	-1.62 – -1.15	**<0.001**
Verfahren [KT]	0.33	0.10 – 0.56	**0.010**
Verfahren [KT_CE]	-1.38	-1.61 – -1.15	**<0.001**
Verfahren [Wasser_belueftet]	0.48	0.22 – 0.74	**0.002**
Datum2023-02-26	-0.03	-0.26 – 0.19	0.749
Datum2023-03-12	0.03	-0.20 – 0.26	0.773
Datum2023-03-26	0.04	-0.19 – 0.26	0.716
Observations	19		
R^2 / R^2 adjusted	0.981 / 0.969		

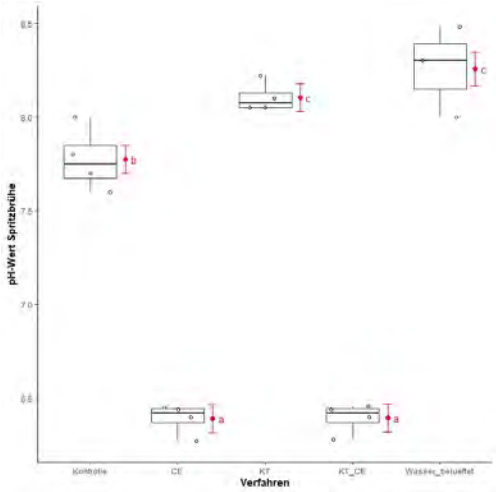


Abb. 51: Effektplot (Lineares Modell)
pH Verfahrensflüssigkeit; Verfahren + Datum

4.1.1.2 EC-Vergleich der Verfahrensflüssigkeiten

Der EC-Wert des Verfahren «KT» ist im Mittel um 0.44 höher als die «Kontrolle» und zeigt einen signifikanten Unterschied (p=<0.01) (vgl. Tab. 11). Dasselbe gilt für das Verfahren «KT_CE (p=<0.01) und «Wasser_belueftet» (p=0.01). Beim Verfahren «CE» konnte keine Signifikanz zur «Kontrolle» festgestellt werden (p=0.694). In Bezug auf das Datum zeigt der 12.03.2023 mit einem p-Wert von 0.001 einen signifikanten Unterschied zum Referenzdatum vom 12.02.2023 auf. Die beiden Verfahren «KT» (c) (p=<0.001) und «KT_CE» (c) (p=<0.001) unterscheiden sich mit ihrem höheren EC zusätzlich signifikant vom Verfahren «Wasser_belueftet» (b), welches sich wiederum signifikant von den Verfahren «Kontrolle» (a) (p=0.01) und «CE» (a) (p=0.018) unterscheidet (vgl. Abb. 52). Weiter zeigen sich zwischen den Daten untereinander weitere Signifikanzen, welche nicht in der Tabelle der fixen Effekte (vgl. Tab. 11) ausgewiesen werden. Das Datum vom 12.03.2023 (c) zeigt nicht nur gegenüber dem Referenzdatum vom 12.02.2023 (ab) einen signifikant höheren EC-Wert, sondern auch gegenüber dem 26.02.2023 (a) (p=<0.0001) (vgl. Abb. 53). Weiter gibt es eine Signifikanz zwischen dem 26.02.2023 (a) und dem 26.03.2023 (b) (p=0.0362), sowie zwischen dem 26.03.2023 (b) und dem 12.03.2023 (c) (p=0.0015).

Tab. 11: Fixe Effekte (Lineares Modell)
EC-Verfahrensflüssigkeit; Verfahren + Datum

		EC	
Predictors	*Estimates*	*CI*	*p*
(Intercept)	0.10	0.05 – 0.14	**0.001**
Verfahren [CE]	0.01	-0.04 – 0.06	0.694
Verfahren [KT]	0.44	0.39 – 0.48	**<0.001**
Verfahren [KT_CE]	0.47	0.42 – 0.52	**<0.001**
Verfahren [Wasser_belueftet]	0.07	0.02 – 0.13	**0.010**
Datum2023-02-26	-0.03	-0.08 – 0.02	0.196
Datum2023-03-12	0.10	0.05 – 0.15	**0.001**
Datum2023-03-26	0.02	-0.03 – 0.06	0.424
Observations	19		
R^2 / R^2 adjusted	0.989 / 0.981		

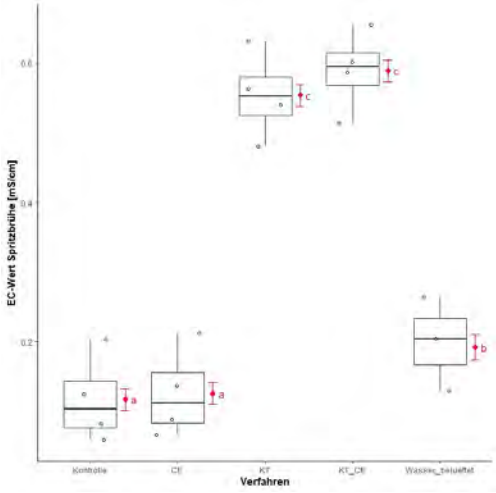


Abb. 52: Effektplot (Lineares Modell)
EC-Verfahrensflüssigkeit; Verfahren + Datum

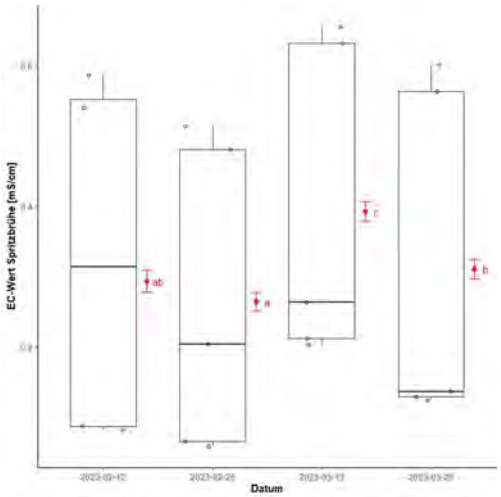


Abb. 53: Effektplot (Lineares Modell) EC-Verfahrensflüssigkeit; Datum

4.1.1.3 Redox-Vergleich der Verfahrensflüssigkeiten

Das Verfahren «KT_CE» zeigt im Mittel einen 52.25 höheren mV-Wert an im Vergleich zur «Kontrolle» (vgl. Tab. 12). Dieser Unterschied ist signifikant (p=0.035). Das Verfahren «KT_CE» (b), unterscheidet sich entsprechend signifikant vom Verfahren «Kontrolle» (a), jedoch nicht von den Verfahren «KT», «CE» und «Wasser_belueftet» (ab) (vgl. Abb. 54). Keines der Daten zeigt einen signifikanten Unterschied zum Referenzdatum vom 12.02.2023, jedoch gibt es eine knappe Signifikanz zwischen dem 26.02.2023 (a) und dem 26.03.2023 (b) (p=0.0415) (vgl. Abb. 55).

Tab. 12: Fixe Effekte (Lineares Modell)
Redox Verfahrensflüssigkeit; Verfahren + Datum

	Redox		
Predictors	*Estimates*	*CI*	*p*
(Intercept)	18.87	-25.83 – 63.58	0.373
Verfahren [CE]	37.75	-10.04 – 85.54	0.110
Verfahren [KT]	6.50	-41.29 – 54.29	0.770
Verfahren [KT_CE]	52.25	4.46 – 100.04	**0.035**
Verfahren [Wasser_belueftet]	17.62	-34.91 – 70.16	0.476
Datum2023-02-26	-19.50	-65.67 – 26.67	0.373
Datum2023-03-12	3.70	-42.47 – 49.87	0.863
Datum2023-03-26	25.30	-20.87 – 71.47	0.253
Observations	19		
R^2 / R^2 adjusted	0.549 / 0.261		

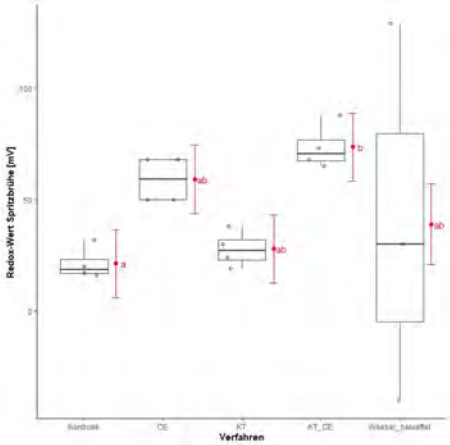


Abb. 54: Effektplot (Lineares Modell)
Redox Verfahrensflüssigkeit; Verfahren + Datum

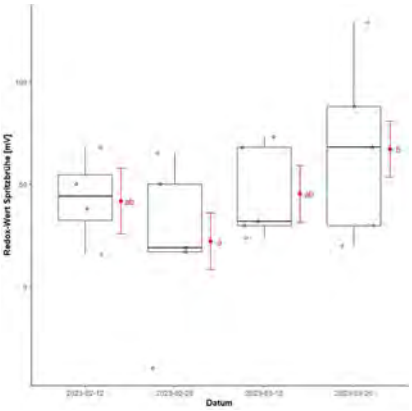


Abb. 55: Effektplot (Lineares Modell) Redox Verfahrensflüssigkeit; Datum

4.1.1.4 Teildiskussion Statistischer Vergleich zwischen den Verfahrensflüssigkeiten

Aufgrund des Einsatzes eines pH-Senkers in den Verfahren «KT_CE» und «CE» war eine dortige Signifikanz, respektive ein weitaus tieferer pH bereits anzunehmen. Während dem Kompostteebrauvorgang steigt der pH der Spritzbrühe etwas an (Rubi 2022, persönliche Mitteilung). Dies wird durch den signifikanten Unterschied zwischen dem Verfahren «KT» und der «Kontrolle» bestätigt. Es zeigt sich jedoch, dass der Anstieg des pH in der Spritzbrühe nicht unbedingt auf die Zugabe des Komposts zurückzuführen ist, sondern auf die Belüftung. Dies zeigt sich bei «Wasser_belueftet», welches sich in der gleichen Signifikanzstufe wie «KT» befindet. Dementsprechend reicht alleine die Verwirbelung des Wassers, um den pH zu erhöhen. Weitere, ähnliche Erkenntnisse dazu folgen in den Nebenversuchen zur Wasserbelüftung (vgl. Kapitel 4.2.1.1 und 4.2.2.1). Der pH ist temperaturabhängig und nimmt mit steigender Temperatur ab (Wiechoczek 2013). Ist der pH-Wert am Neutralpunkt bei 25˚C 7, so beträgt er bei 30˚C 6.92 und bei 20˚C 7.08 (Wiechoczek 2013). Das Wasser für die «Kontrolle» und «CE» wurde direkt vom Regenwassertank genommen und war zu dieser Jahreszeit immer unter der Temperatur der Braumaschine von 20˚C. Daher kann die Temperaturerhöhung des «Wasser_belueftet» nicht Grund für dessen höheren pH sein, sonst wäre er tiefer als die «Kontrolle» und «CE». Eine Erklärung für den erhöhten pH könnte die Veränderung der CO_2-Konzentration sein. Durch die Erhöhung der Oberflächenbewegung mittels einer Verwirbelung, lässt sich das CO_2 im Wasser austreiben und der pH steigt (Aquaristik Profi ohne Datum). Diese Erhöhung ist bei härterem Wasser umso effektiver, da bei steigendem Carbonatgehalt, mehr freies CO_2 gebunden werden kann (Greger 2002).

Der EC-Wert zeigt beim Verfahren «KT» und «KT_CE» signifikante Unterschiede zur «Kontrolle» und «CE» auf. Der EC hat sich auch bei «Wasser_belueftet» signifikant zur «Kontrolle» und «CE» erhöht, was sicherlich auf den Temperaturunterschied zurückgeführt werden kann. Durch eine Temperaturerhöhung steigt laut Dieter et al. (ohne Datum) der EC. Der weitaus höhere EC bei «KT» und «KT_CE» lässt sich ohne Zweifel zusätzlich durch die Zugabe von Kompost und Mikrobenfutter erklären (vgl. Scheuerell und Mahaffee 2006; Pant et al. 2011). Die Unterschiede im Datum sind hauptsächlich auf die Fluktuationen in der «Kontrolle» zurückzuführen, welche zwischen den Daten sehr ausgeprägt waren (vgl. Anhang 6, S. 10). Dies ist sehr wahrscheinlich auf den vorherigen Regen zurückzuführen (vgl. Abb. 33).

Die Effekte der Redox-Erhöhung bei «KT_CE» sind sehr wahrscheinlich auf die Zugabe des pH-Senkers zurückzuführen, da sich der Mittelwert von «CE» näher bei «KT_CE» als bei der «Kontrolle» befindet. Einerseits könnte die darin enthaltene Carbonsäure, anderseits das Mangan als Oxidationsmittel fungieren, wodurch Elektronen aufgenommen werden und das Redox-Potenzial steigt. Dies ist nur eine Annahme. Durch die Zugabe von Sauerstoff im Wasser, steigt das Redox-Potenzial (Gottschalk ohne Datum). Dies würde auch erklären, warum «Wasser_belueftet» und «KT» leicht höhere Redox-Werte als «Kontrolle» aufweisen.

4.1.2 Statistischer Vergleich zwischen Verfahrensmessungen während Vegetationsperiode

Um mittels des Statistikprogramms herauszufinden welche Kombinationen und Interaktionen signifikant waren, wurde bei den Messungen, welche vor (Zeitpunkt 1) und nach (Zeitpunkt 2) der Applikation durchgeführt wurden mit dem AIC-Wert gearbeitet. Das Modell des tiefsten AIC-Wertes wurde gewählt. Die Modelle dazu waren folgende:

- Verfahren + Datum + Zeitpunkt

- Verfahren * Datum + Zeitpunkt
- Verfahren + Datum * Zeitpunkt
- Verfahren * Zeitpunkt + Datum

Bei den Temperaturmessungen wurde wiederum mit dem AIC-Wert gearbeitet, jedoch nur zwei Modelle miteinander verglichen: «Verfahren + Datum» und «Verfahren*Datum*. Der tiefere AIC-Wert legte das Modell fest.

4.1.2.1 Pflanzensaftmessungen Horiba-LaquaTwin-Geräte Radiesli

Der Vergleich der Pflanzensaftmessungen vor und nach der Applikation zeigte beim BRIX nur am zweiten Datum eine generelle signifikante Steigerung zwischen den zwei Messzeitpunkten. Das Verfahren «KT_CE» hat zusätzlich von einer signifikante Bonitursteigerung in der Calciumverfügbarkeit profitiert. Beim pH konnte keine grösseren Unterschiede zwischen den zwei Messzeitpunkten oder den Verfahren festgestellt werden. Das Gleiche gilt für den EC-Wert, den Nitrat-, Kalium- und Natriumgehalt. Diese unterscheiden sich jedoch zudem signifikant zwischen den zwei Messdaten. Der Calciumwert unterscheidet sich auch signifikant zwischen den zwei Daten, zusätzlich dazu aber auch noch mit einer wesentlichen Steigerung zwischen den zwei Messzeitpunkten.

Der Vergleich der vier Pflanzensaftmessungen, welche zwischen den Applikationen, also während der Vegetationsperiode aber nicht direkt nach einer Applikation durchgeführt wurden, zeigt beim BRIX und beim EC-Wert eine signifikante Steigerung des Wertes vom ersten Datum zum zweiten und wiederum zum dritten. Danach stagniert es. Die Boniturnote der Calciumverfügbarkeit von «KT_CE» liegt signifikant unter der «Kontrolle». Der pH-Wert zeigt keine Signifikanzen. Das Verfahren «CE» hat einen signifikant höheren EC- und Calciumwert. Die Calcium- und Natriumwerte zeigen zudem signifikante Unterschiede zwischen den Daten. Zusätzlich ist die «Kontrolle» beim Natrium signifikant höher als das Verfahren «KT_CE». Die Nitrat- und Kaliumwerte zeigen keine Signifikanzen zwischen den Verfahren, jedoch zwischen den Messdaten.

4.1.2.1.1 Blattsaft BRIX und Calcium-Verfügbarkeit **vor & nach** Applikation

Anhand dessen tiefsten AIC-Wert, wurde für den BRIX-Wert das lineare Modell «Verfahren + Zeitpunkt * Datum» gewählt. Keines der Verfahren zeigt gegenüber der «Kontrolle» eine Signifikanz (vgl. Tab. 13, Abb. 57). Beim 26.03.2023 Zeitpunkt 2 zeigt sich gegenüber dem 13.03.2023 Zeitpunkt 2 eine Signifikanz (p=0.016). Das Datum 26.03.2023 (ohne spezifischen Zeitpunkt) ist knapp nicht signifikant zum Referenzdatum 13.03.2023 (p=0.078). Die Messungen vom 13.03.2023 zeigen von Zeitpunkt 1 (ab) zum Zeitpunkt 2 (a) keinen signifikanten Unterschied, liegen aber beim Zeitpunkt 2, sprich bei der Messung nach der Applikation etwas tiefer (vgl. Abb. 56). Die Messung vom 26.03.2023 unterscheidet sich im Zeitpunkt 1 (b) nicht signifikant zum Zeitpunkt 1 vom 13.03.2023 (ab), jedoch signifikant zum Zeitpunkt 2 vom 13.03.2023 (a) (p=0.0215) und zum Zeitpunkt 2 vom 26.03.2023 (c) (p=0.0082). Der BRIX-Wert ist entsprechend beim Zeitpunkt 2 der Messung vom 26.03.2023 nicht gesunken, sondern signifikant gestiegen.

Tab. 13: Fixe Effekte (Lineares Modell) BRIX vor_nach Applikation; Verfahren + Datum * Zeitpunkt Radiesli

	Messwert_BRIX_R		
Predictors	*Estimates*	*CI*	*p*
(Intercept)	3.84	2.51 – 5.18	**<0.001**
Verfahren [CE]	-0.13	-1.55 – 1.30	0.847
Verfahren [KT]	-0.37	-1.80 – 1.05	0.566
Verfahren [KT_CE]	0.12	-1.30 – 1.55	0.847
Datum2023-03-26	1.25	-0.17 – 2.67	0.078
Zeitpunkt [2]	-0.50	-1.92 – 0.92	0.448
Datum2023-03-26:Zeitpunkt2	2.62	0.61 – 4.64	**0.016**
Observations	16		
R^2 / R^2 adjusted	0.836 / 0.726		

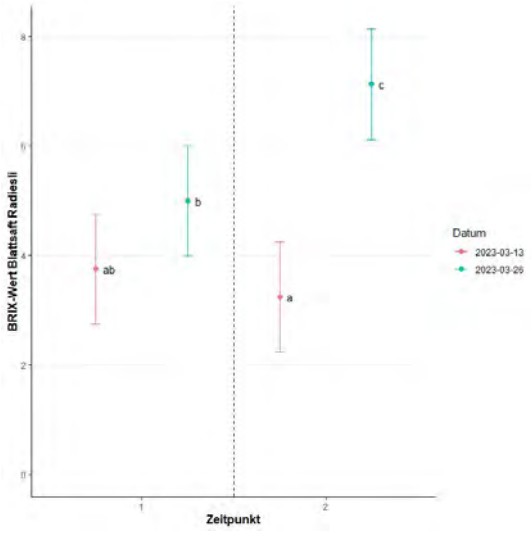


Abb. 56: Effektplot (Lineares Modell) BRIX vor_nach Applikation; Verfahren + Datum * Zeitpunkt Radiesli

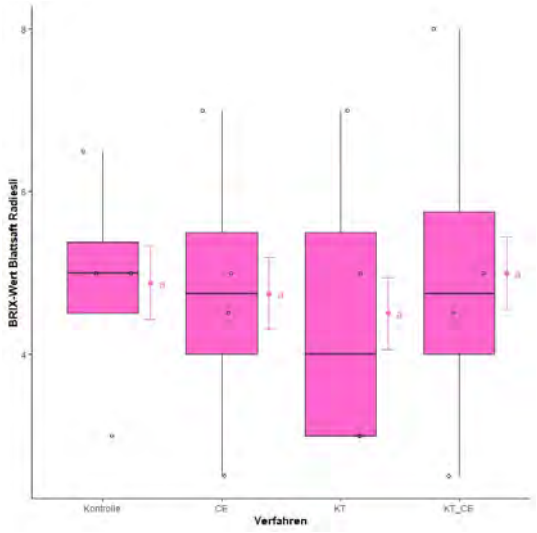


Abb. 57: Effektplot (Lineares Modell) BRIX vor_nach Applikation; Verfahren Radiesli

Anhand dessen tiefsten AIC-Wert, wurde für die Bonitur der Calcium-Verfügbarkeit das lineare Modell «Verfahren * Zeitpunkt + Datum» gewählt. Das Verfahren «KT_CE» wird gegenüber der «Kontrolle» im Mittel um 2.5 tiefer bonitiert (p=0.009) (vgl. Tab. 14). Wohingegen das Verfahren «KT» mit einem p-Wert von 0.07 knapp nicht signifikant ist. Weiter zeigt das Verfahren «KT_CE» vom Zeitpunkt 2 zum Zeitpunkt 1 eine signifikante Bonitureröhung um 3 Punkte an (p=0.019) (vgl. Abb. 58). Während datumsunabhängig beim Zeitpunkt 2 die Verfahren untereinander keinen signifikanten Unterschied aufweisen (b), zeigt sich beim Zeitpunkt 1 ein signifikanter Unterschied zwischen der «Kontrolle» (b) und dem Verfahren «KT_CE» (a) (p=0.0091) (vgl. Abb. 58). Die Boniturnote hat sich einzig beim Verfahren «KT_CE» signifikant zwischen Zeitpunkt 1 und Zeitpunkt 2 geändert, sprich hat sich durch die Applikation wesentlich verbessert (p=0.0091). Die Verfahren zeigen datumsunabhängig keine signifikanten Unterschiede auf, obwohl der adjustierte Mittelwert von «KT_CE» am tiefsten liegt, reicht es mit einem p-Wert von 0.0834, im Vergleich zur «Kontrolle», nicht zur Signifikanz (vgl. Abb. 59).

Tab. 14: Fixe Effekte (Lineares Modell) Ca-Verfügbarkeit vor_nach Applikation; Verfahren * Zeitpunkt + Datum Radiesli

	Ca_Verfuegbarkeit_R		
Predictors	*Estimates*	*CI*	*p*
(Intercept)	4.56	3.32 – 5.81	**<0.001**
Verfahren [CE]	-1.00	-2.66 – 0.66	0.197
Verfahren [KT]	-1.50	-3.16 – 0.16	0.070
Verfahren [KT_CE]	-2.50	-4.16 – -0.84	**0.009**
Zeitpunkt [2]	-0.50	-2.16 – 1.16	0.499
Datum2023-03-26	-0.12	-0.95 – 0.70	0.732
Verfahren [CE] × Zeitpunkt [2]	1.00	-1.34 – 3.34	0.347
Verfahren [KT] × Zeitpunkt [2]	1.50	-0.84 – 3.84	0.174
Verfahren [KT_CE] × Zeitpunkt [2]	3.00	0.66 – 5.34	**0.019**
Observations	16		
R^2 / R^2 adjusted	0.744 / 0.452		

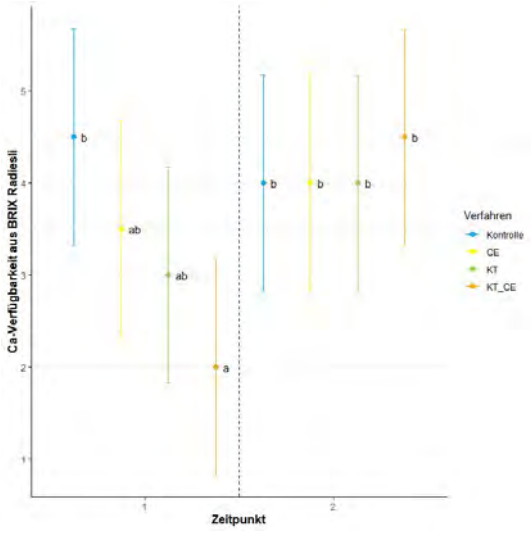


Abb. 58: Effektplot (Lineares Modell) Ca-Verfügbarkeit vor_nach Applikation; Verfahren * Zeitpunkt + Datum Radiesli mit Boniturnote 1=sehr schlecht, 5=sehr gut

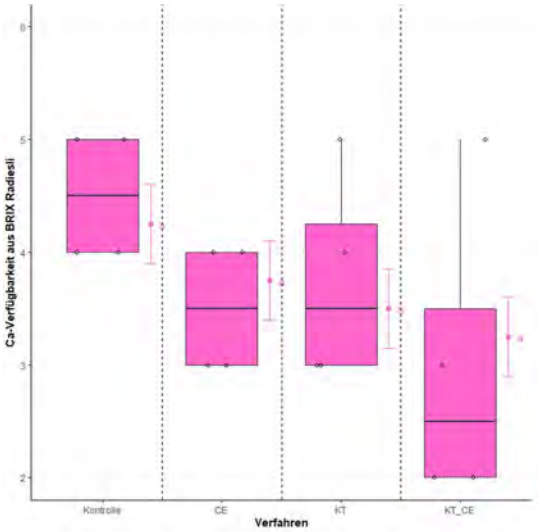


Abb. 59: Effektplot (Lineares Modell) Ca-Verfügbarkeit vor_nach Applikation; Verfahren Radiesli mit Boniturnote 1=sehr schlecht, 5=sehr gut

4.1.2.1.2 Blattsaft BRIX und Calcium-Verfügbarkeit **zwischen** den Applikationen

Der gemessene BRIX-Wert zwischen den Applikationen unterscheidet sich nicht signifikant zwischen den Verfahren (vgl. Tab. 15, Abb. 62). Eine Signifikanz hingegen zeigen die drei Daten gegenüber dem Referenzdatum vom 13.03.2023 (26.03.2023 p=0.041, 31.03.2023 und 02.04.2023 p=<0.001). Während sich das Datum vom 13.03.2023 (a) signifikant vom 26.03.2023 (j) unterscheidet (p=0.041), so zeigen sich anhand der verschiedenen Buchstaben noch weitere, weniger wichtige Interaktionen zwischen den Verfahren an den zwei Daten (vgl. Abb. 60). Die letzten beiden Daten, 31.03.2023 und 02.04.2023, unterscheiden sich weder zwischen den Daten noch zwischen den Verfahren (k), sind jedoch signifikant höher im Vergleich zu den beiden ersten Daten (p=<0.001) (vgl. Abb. 61). Von der ersten zur zweiten (p=0.041), wie auch von der zweiten zur dritten Messung (p=0.0007), ist der BRIX-Wert über alle Verfahren wesentlich gestiegen. Zwischen den zwei letzten Messungen hingegen nicht mehr.

Tab. 15: Fixe Effekte (Lineares Modell) BRIX zwischen Applikationen; Verfahren + Datum Radiesli

	Messwert_BRIX_R		
Predictors	*Estimates*	*CI*	*p*
(Intercept)	3.81	2.70 – 4.92	**<0.001**
Verfahren [CE]	0.25	-0.93 – 1.43	0.645
Verfahren [KT]	-0.25	-1.43 – 0.93	0.645
Verfahren [KT_CE]	-0.25	-1.43 – 0.93	0.645
Datum2023-03-26	1.25	0.07 – 2.43	**0.041**
Datum2023-03-31	3.88	2.69 – 5.06	**<0.001**
Datum2023-04-02	3.63	2.44 – 4.81	**<0.001**
Observations	16		
R^2 / R^2 adjusted	0.897 / 0.828		

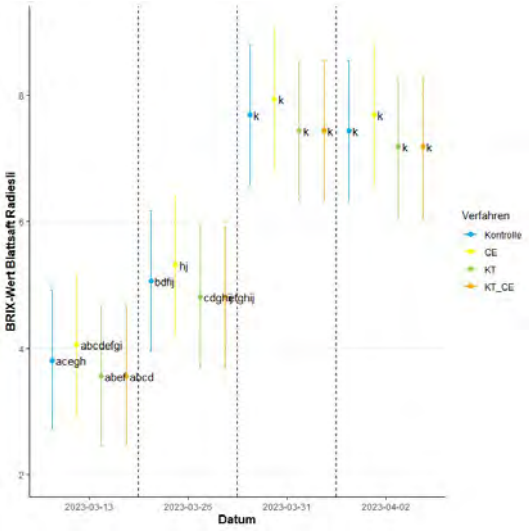


Abb. 60: Effektplot (Lineares Modell) BRIX zwischen Applikationen; Verfahren + Datum Radiesli

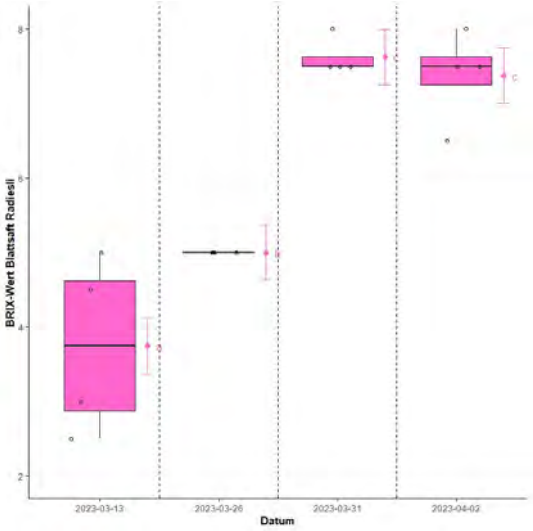


Abb. 61: Effektplot (Lineares Modell) BRIX zwischen Applikationen; Datum Radiesli

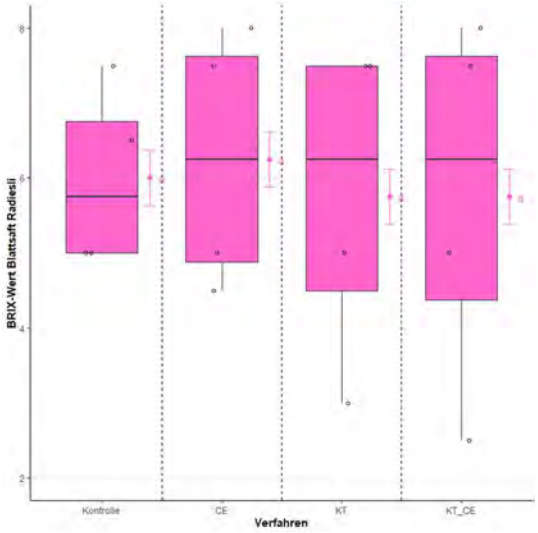


Abb. 62: Effektplot (Lineares Modell) BRIX zwischen Applikationen; Verfahren Radiesli

Die Bonitur der Ca-Verfügbarkeit zeigt zwischen den Applikationen eine Signifikanz des Verfahrens «KT_CE» gegenüber der «Kontrolle» (p=0.015) und dem Datum vom 02.04.2023 gegenüber dem Referenzdatum vom 13.03.2023 (p=0.015) (vgl. Tab. 16). Die Ca-Verfügbarkeit des Verfahrens «KT_CE» (ab; ac; abcd; efgh) liegt bei allen Daten signifikant unterhalb der «Kontrolle» (cdefgh; bdefgh; efgh; i) (p=0.015) (vgl. Abb. 63). Während bei den drei ersten Messungen sich keine grossen Unterschiede zeigen, ist bei der vierten Messung die Ca-Verfügbarkeit wesentlich höher (vgl. Abb. 64). Das Verfahren «KT_CE»(a) zeigt sich auch datumsunabhängig signifikant tiefer in der Boniturnote gegenüber der «Kontrolle» (b) (p=0.015), jedoch nicht im Vergleich zu den anderen Verfahren (vgl. Abb. 65).

Tab. 16: Fixe Effekte (Lineares Modell) Ca-Verfügbarkeit zwischen Applikationen; Verfahren + Datum Radiesli

	Ca_Verfuegbarkeit_R		
Predictors	*Estimates*	*CI*	*p*
(Intercept)	4.06	3.00 – 5.13	**<0.001**
Verfahren [CE]	-1.00	-2.14 – 0.14	0.078
Verfahren [KT]	-0.75	-1.89 – 0.39	0.170
Verfahren [KT_CE]	-1.50	-2.64 – -0.36	**0.015**
Datum2023-03-26	0.00	-1.14 – 1.14	1.000
Datum2023-03-31	0.25	-0.89 – 1.39	0.631
Datum2023-04-02	1.50	0.36 – 2.64	**0.015**
Observations	16		
R^2 / R^2 adjusted	0.704 / 0.507		

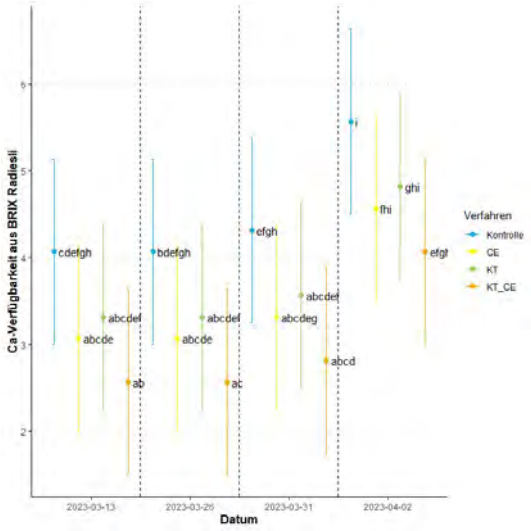


Abb. 63: Effektplot (Lineares Modell) Ca-Verfügbarkeit zwischen Applikationen; Verfahren + Datum Radiesli mit Boniturnote 1=sehr schlecht, 5=sehr gut

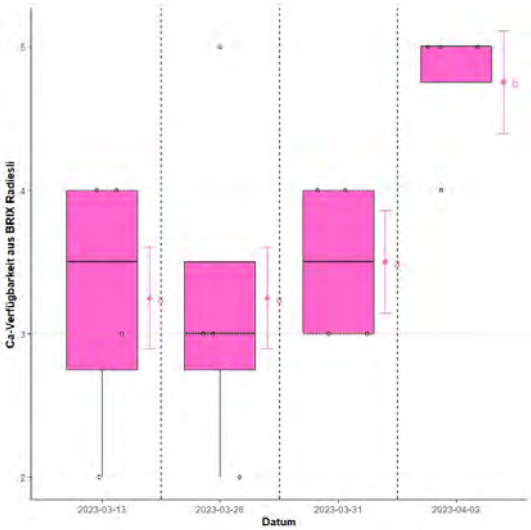


Abb. 64: Effektplot (Lineares Modell) Ca-Verfügbarkeit zwischen Applikationen; Datum Radiesli mit Boniturnote 1=sehr schlecht, 5=sehr gut

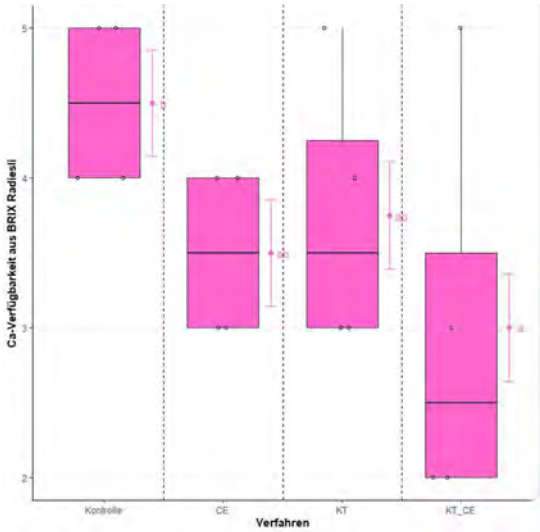


Abb. 65: Effektplot (Lineares Modell) Ca-Verfügbarkeit zwischen Applikationen; Verfahren Radiesli mit Boniturnote 1=sehr schlecht, 5=sehr gut

4.1.2.1.3 Blattsaft pH **vor & nach** Applikation

Der tiefste AIC-Wert zeigte sich beim Modell «Verfahren * Zeitpunkt + Datum». Es wurden jedoch keine Signifikanzen, weder zwischen den Verfahren, Zeitpunkten noch Daten festgestellt (vgl. Tab. 17, Abb. 66).

Tab. 17: Fixe Effekte (Lineares Modell) pH vor_nach Applikation; Verfahren * Zeitpunkt + Datum Radiesli

	Messwert_pH_R		
Predictors	*Estimates*	*CI*	*p*
(Intercept)	6.56	6.36 – 6.75	**<0.001**
Verfahren [CE]	-0.05	-0.31 – 0.21	0.663
Verfahren [KT]	0.05	-0.21 – 0.31	0.663
Verfahren [KT_CE]	0.20	-0.06 – 0.46	0.111
Zeitpunkt [2]	0.20	-0.06 – 0.46	0.111
Datum2023-03-26	-0.11	-0.24 – 0.02	0.080
Verfahren [CE] × Zeitpunkt [2]	-0.05	-0.42 – 0.32	0.757
Verfahren [KT] × Zeitpunkt [2]	-0.10	-0.47 – 0.27	0.540
Verfahren [KT_CE] × Zeitpunkt [2]	-0.30	-0.67 – 0.07	0.095
Observations	16		
R^2 / R^2 adjusted	0.662 / 0.275		

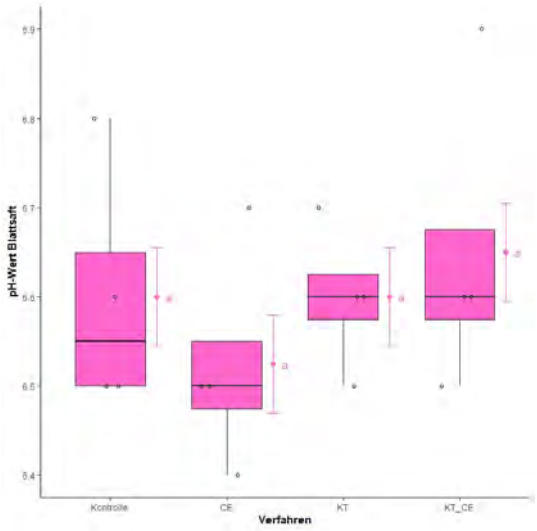


Abb. 66: Effektplot (Lineares Modell) pH vor_nach Applikation; Verfahren Radiesli

4.1.2.1.4 Blattsaft pH **zwischen** Applikationen

Die Verfahren zeigen untereinander keinen signifikanten Unterschied, während die Daten 31.03.2023 (p=0.001) und 02.04.2023 (p=0.004) sich wesentlich vom Referenzdatum 13.03.2023 unterscheiden (vgl. Tab. 18). Während die pH-Werte der ersten zwei Messdaten ähnlich sind, zeigt sich ab der dritten Messung eine wesentliche Senkung des pH im Pflanzensaft bei allen Verfahren (vgl. Abb. 67, Abb. 68). Die letzten zwei Messungen unterscheiden sich wiederum nicht signifikant voneinander. Zwischen den Verfahren zeigen sich keine wesentlichen Unterschiede (vgl. Abb. 69).

Tab. 18: Fixe Effekte (Lineares Modell) pH zwischen Applikationen; Verfahren + Datum Radiesli

	Messwert_pH_R		
Predictors	*Estimates*	*CI*	*p*
(Intercept)	6.56	6.40 – 6.73	**<0.001**
Verfahren [CE]	0.00	-0.17 – 0.17	1.000
Verfahren [KT]	0.03	-0.15 – 0.20	0.754
Verfahren [KT_CE]	0.13	-0.05 – 0.30	0.140
Datum2023-03-26	-0.10	-0.27 – 0.07	0.228
Datum2023-03-31	-0.35	-0.52 – -0.18	**0.001**
Datum2023-04-02	-0.30	-0.47 – -0.13	**0.004**
Observations	16		
R^2 / R^2 adjusted	0.775 / 0.625		

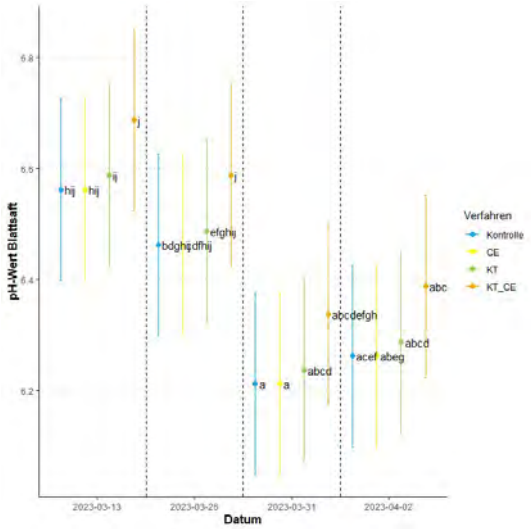


Abb. 67: Effektplot (Lineares Modell) pH zwischen Applikationen; Verfahren + Datum Radiesli

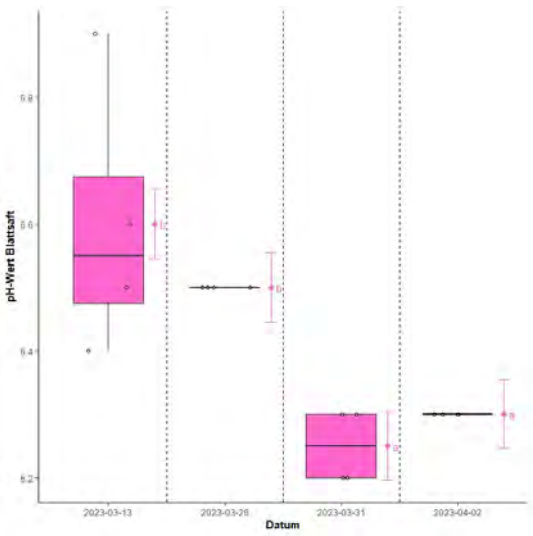


Abb. 68: Effektplot (Lineares Modell) pH zwischen Applikationen; Datum Radiesli

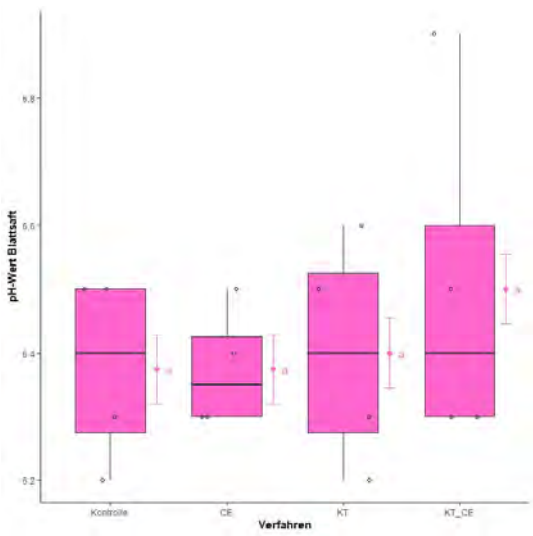


Abb. 69: Effektplot (Lineares Modell) pH zwischen Applikationen; Verfahren Radiesli

4.1.2.1.5 Blattsaft EC **vor & nach** Applikation

Der tiefste AIC-Wert wurde beim Modell «Verfahren + Datum * Zeitpunkt» festgestellt. Während bei den Verfahren kein signifikanter Unterschied festgestellt werden konnte, zeigte das Datum vom 26.03.2023 eine Signifikanz gegenüber dem Referenzdatum 13.03.2023 (p=<0.001) (vgl. Tab. 19). Ersichtlich ist, dass der EC-Wert am 13.03.2023 (a) wesentlich tiefer ist zu beiden Zeitpunkten, als am 26.03.2023 (b) (p=<0.001) (vgl. Abb. 71). Hingegen zeigt sich an beiden Daten keine signifikante Änderung des EC-Wertes von vor der Applikation zu nach der Applikation (Zeitpunkt 1 zu Zeitpunkt 2) (vgl. Abb. 70). Die Verfahren sind untereinander nicht wesentlich unterschiedlich, der EC-Wert von «CE» zeigt einen etwas höheren adjustierten Mittelwert an (vgl. Abb. 72).

Tab. 19: Fixe Effekte (Lineares Modell) EC vor_nach Applikation; Zeitpunkt * Datum + Verfahren Radiesli

	Messwert_EC_R		
Predictors	*Estimates*	*CI*	*p*
(Intercept)	6.91	5.31 – 8.51	**<0.001**
Verfahren [CE]	1.26	-0.46 – 2.97	0.132
Verfahren [KT]	0.62	-1.09 – 2.33	0.432
Verfahren [KT_CE]	0.48	-1.24 – 2.19	0.546
Datum2023-03-26	6.44	4.73 – 8.15	**<0.001**
Zeitpunkt [2]	-0.37	-2.08 – 1.34	0.637
Datum2023-03-26:Zeitpunkt2	1.68	-0.74 – 4.10	0.151
Observations	16		
R^2 / R^2 adjusted	0.955 / 0.925		

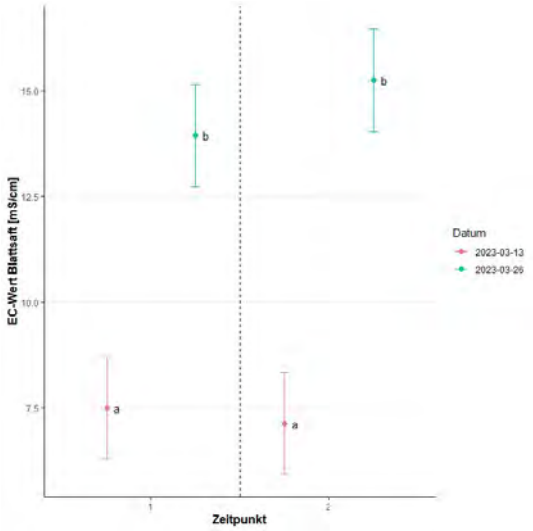


Abb. 70: Effektplot (Lineares Modell) EC vor_nach Applikation; Zeitpunkt * Datum + Verfahren Radiesli

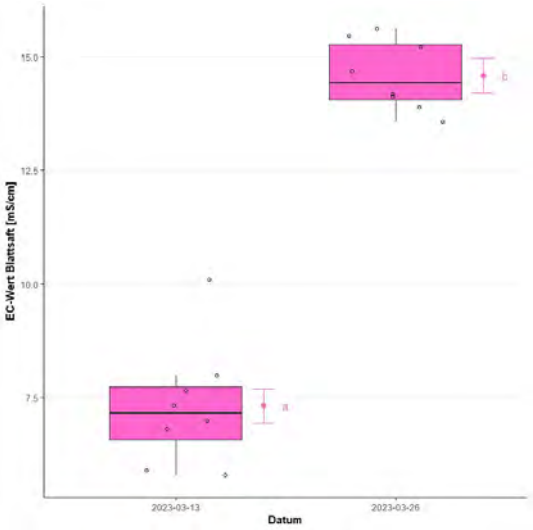


Abb. 71: Effektplot (Lineares Modell) EC vor_nach Applikation; Datum Radiesli

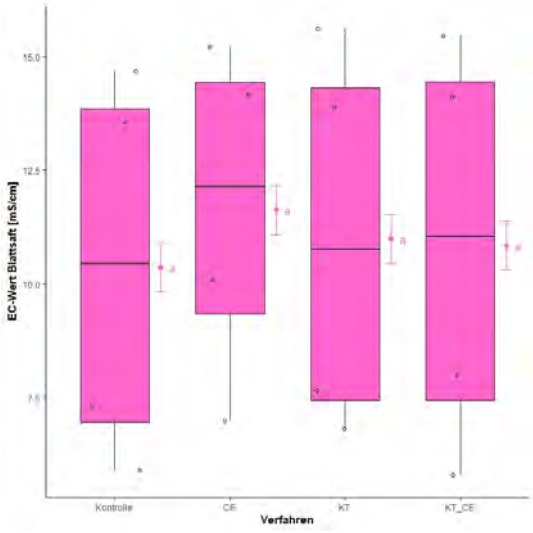


Abb. 72: Effektplot (Lineares Modell) EC vor_nach Applikation; Verfahren Radiesli

4.1.2.1.6 Blattsaft EC **zwischen** Applikationen

Das Verfahren «CE» zeigt bei den vier Messungen zwischen den Applikationen einen signifikant höheren EC-Wert gegenüber der «Kontrolle» (p=0.016) (vgl. Tab. 20). Weiter unterscheiden sich der 26.03.2023, 31.03.2023 und 02.04.2023 wesentlich vom Referenzdatum, 13.03.2023 (p=<0.001). Vom 13.03.2023 (a) zum 26.03.2023 (b) ist der EC-Wert bereits signifikant gestiegen (p=<0.001). Die zwei letzten Messdaten (c), 31.03.2023 (p=0.0016) und 02.04.2023 (p=0.0325), sind nochmals signifikant höher (vgl. Abb. 74). Über alle Messungen gesehen, zeigt das Verfahren «CE» (b) einen wesentlich höheren EC-Wert (vgl. Abb. 75). Die Interaktion von Verfahren * Datum zeigt sich in Abb. 73.

Tab. 20: Fixe Effekte (Lineares Modell) EC zwischen Applikationen; Verfahren + Datum Radiesli

	Messwert_EC_R		
Predictors	*Estimates*	*CI*	*p*
(Intercept)	6.86	5.56 – 8.16	**<0.001**
Verfahren [CE]	1.82	0.43 – 3.21	**0.016**
Verfahren [KT]	0.41	-0.98 – 1.80	0.519
Verfahren [KT_CE]	0.32	-1.07 – 1.71	0.618
Datum2023-03-26	6.44	5.05 – 7.83	**<0.001**
Datum2023-03-31	9.18	7.79 – 10.57	**<0.001**
Datum2023-04-02	7.99	6.60 – 9.38	**<0.001**
Observations	16		
R^2 / R^2 adjusted	0.969 / 0.948		

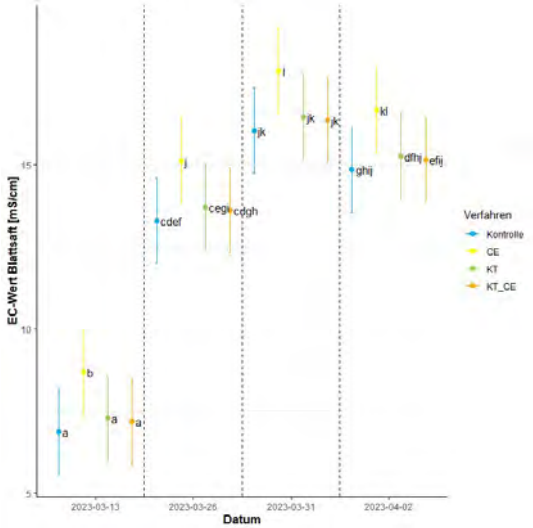


Abb. 73: Effektplot (Lineares Modell) EC zwischen Applikationen; Verfahren + Datum Radiesli

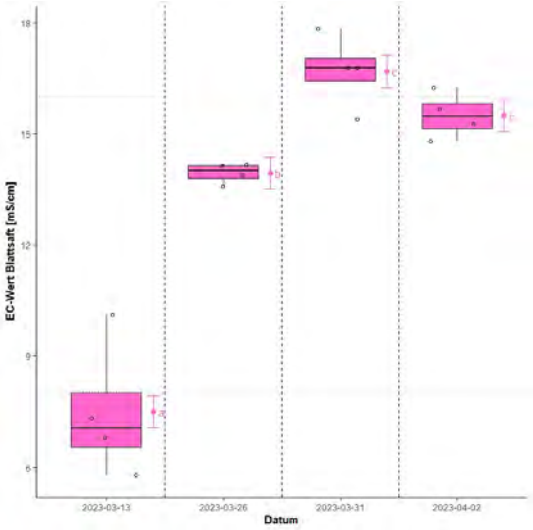


Abb. 74 : Effektplot (Lineares Modell) EC zwischen Applikationen; Datum Radiesli

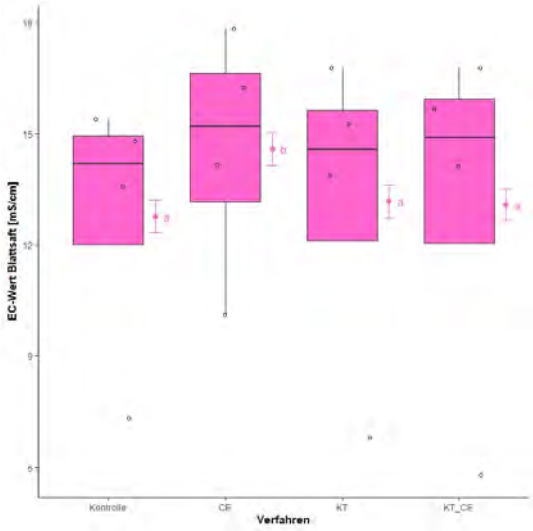


Abb. 75: Effektplot (Lineares Modell) EC zwischen Applikationen; Verfahren Radiesli

4.1.2.1.7 Blattsaft Nitrat **vor & nach** Applikation

Der tiefste AIC-Wert wurde im Modell «Verfahren * Zeitpunkt + Datum» gefunden. Einzige Signifikanz stellt sich jedoch nur beim Datum vom 26.03.2023 gegenüber dem Referenzdatum, 13.03.2023 heraus (p=<0.001) (vgl. Tab. 21). Es zeigen sich keine Signifikanzen zwischen den Verfahren an den zwei Zeitpunkten vor und nach der Applikation (vgl. Abb. 76), noch zwischen den Verfahren generell (vgl. Abb. 78). Eine Signifikanz zeigt sich jedoch zwischen den Daten, mit einem bedeutend höheren Nitratgehalt bei der zweiten Messung (b) (p=<0.001) (vgl. Abb. 77).

Tab. 21: Fixe Effekte (Lineares Modell) Nitrat vor_nach Applikation; Verfahren * Zeitpunkt + Datum Radiesli

	Messwert_NO3_R		
Predictors	*Estimates*	*CI*	*p*
(Intercept)	1194.38	809.58 – 1579.17	**<0.001**
Verfahren [CE]	150.00	-363.06 – 663.06	0.512
Verfahren [KT]	-200.00	-713.06 – 313.06	0.387
Verfahren [KT_CE]	-145.00	-658.06 – 368.06	0.525
Zeitpunkt [2]	50.00	-463.06 – 563.06	0.824
Datum2023-03-26	2211.25	1954.72 – 2467.78	**<0.001**
Verfahren [CE] × Zeitpunkt [2]	-200.00	-925.58 – 525.58	0.535
Verfahren [KT] × Zeitpunkt [2]	250.00	-475.58 – 975.58	0.442
Verfahren [KT_CE] × Zeitpunkt [2]	395.00	-330.58 – 1120.58	0.239
Observations	16		
R^2 / R^2 adjusted	0.984 / 0.965		

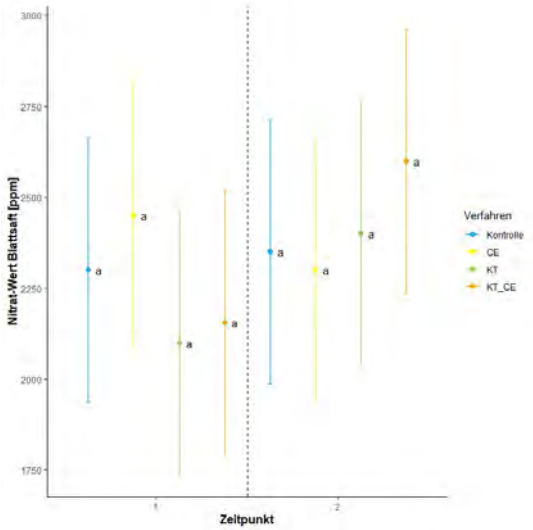


Abb. 76: Effektplot (Lineares Modell) Nitrat vor_nach Applikation; Verfahren * Zeitpunkt + Datum Radiesli

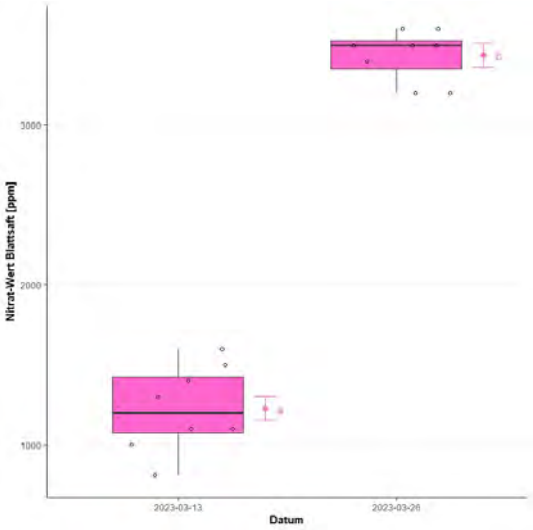


Abb. 77: Effektplot (Lineares Modell) Nitrat vor_nach Applikation; Datum Radiesli

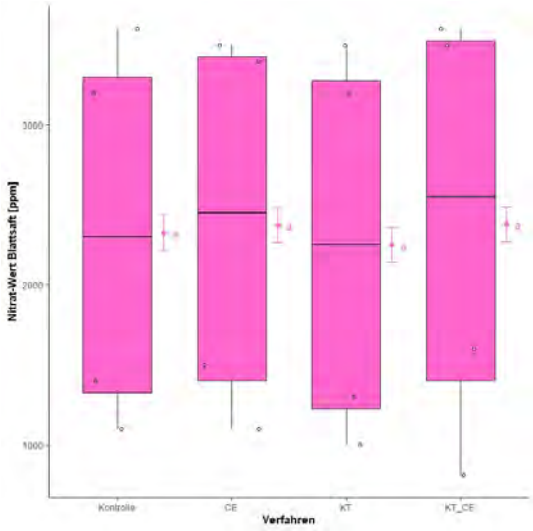


Abb. 78: Effektplot (Lineares Modell) Nitrat vor_nach Applikation; Verfahren Radiesli

4.1.2.1.8 Nitrat **zwischen** Applikationen

Zwischen den Verfahren konnte kein signifikanter Unterschied im Nitratgehalt festgestellt werden (vgl. Tab. 22). Zwischen den Daten hingegen zeigten sich alle drei Daten signifikant unterschiedlich zum Referenzdatum (p=<0.001). Zwischen den Messungen vom 26.03.2023 (b) und 02.04.2023 (b) besteht kein wesentlicher Unterschied, während diese jedoch signifikant höher sind als die Messungen vom 13.03.2023 (p=<0.001) (a) und gleichzeitig signifikant tiefer als die vom 31.03.2023 (c) (p=<0.001) (vgl. Abb. 80). Die Verfahren zeigen keinen wesentlichen Unterschied, wobei zwischen «KT» und «CE» knapp keine Signifikanz festgestellt werden konnte (p=0.0645) (vgl. Abb. 81). Die Interaktion Datum * Verfahren zeigt sich in Abb. 79.

Tab. 22: Fixe Effekte (Lineares Modell) Nitrat zwischen Applikationen; Verfahren + Datum Radiesli

	Messwert_NO3_R		
Predictors	*Estimates*	*CI*	*p*
(Intercept)	1108.12	781.62 – 1434.63	**<0.001**
Verfahren [CE]	275.00	-74.05 – 624.05	0.108
Verfahren [KT]	-50.00	-399.05 – 299.05	0.753
Verfahren [KT_CE]	52.50	-296.55 – 401.55	0.741
Datum2023-03-26	2147.50	1798.45 – 2496.55	**<0.001**
Datum2023-03-31	2897.50	2548.45 – 3246.55	**<0.001**
Datum2023-04-02	2222.50	1873.45 – 2571.55	**<0.001**
Observations	16		
R^2 / R^2 adjusted	0.978 / 0.964		

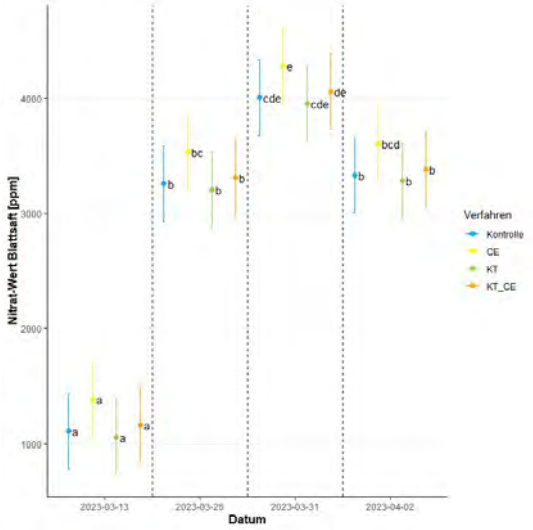


Abb. 79: Effektplot (Lineares Modell) Nitrat zwischen Applikationen; Verfahren + Datum Radiesli

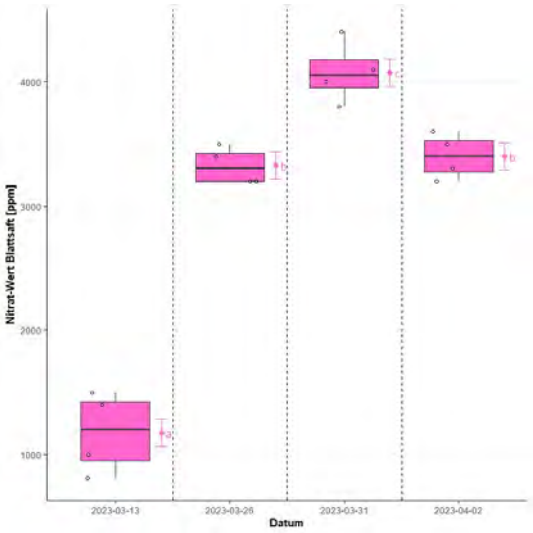


Abb. 80: Effektplot (Lineares Modell) Nitrat zwischen Applikationen; Datum Radiesli

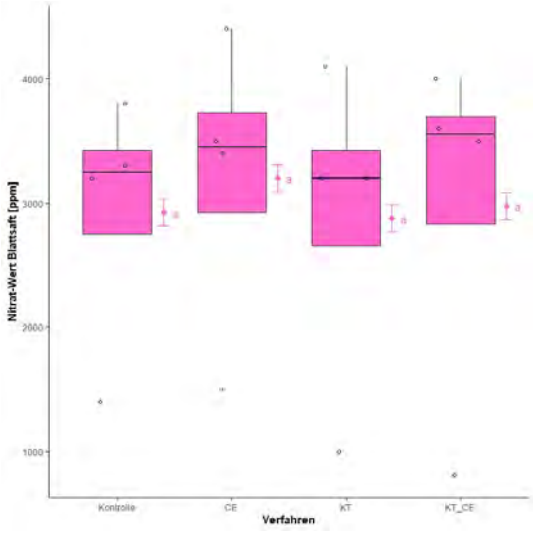


Abb. 81: Effektplot (Lineares Modell) Nitrat zwischen Applikationen; Verfahren Radiesli

4.1.2.1.9 Blattsaft Kalium **vor & nach** Applikation

Der tiefste AIC-Wert zeigte sich beim Modell «Verfahren + Datum * Zeitpunkt». Dabei zeigte sich eine Signifikanz vom 26.03.2023 zum Referenzdatum, 13.03.2023, ab (p=0.043) (vgl. Tab. 23). Es zeigen sich an den jeweiligen Daten keine Signifikanzen zwischen Zeitpunkt 1 und Zeitpunkt 2 ab (vgl. Abb. 82). Der 26.03.2023 (b) zeigt signifikant höhere Kaliumgehalte als der 13.03.2023 (a) (p=0.043) (vgl. Abb. 83). Die Verfahren zeigen keinen wesentlichen Unterschied, wobei «CE» den höchsten adjustierten Mittelwert aufweist (vgl. Abb. 84).

Tab. 23: Fixe Effekte (Lineares Modell) Kalium vor_nach Applikation; Datum * Zeitpunkt + Verfahren Radiesli

		Messwert_K_R	
Predictors	*Estimates*	*CI*	*p*
(Intercept)	1487.50	1016.31 – 1958.69	**<0.001**
Verfahren [CE]	175.00	-328.72 – 678.72	0.452
Verfahren [KT]	-25.00	-528.72 – 478.72	0.913
Verfahren [KT_CE]	-100.00	-603.72 – 403.72	0.664
Datum2023-03-26	525.00	21.28 – 1028.72	**0.043**
Zeitpunkt [2]	-100.00	-603.72 – 403.72	0.664
Datum2023-03-26:Zeitpunkt2	600.00	-112.37 – 1312.37	0.089
Observations	16		
R^2 / R^2 adjusted	0.792 / 0.654		

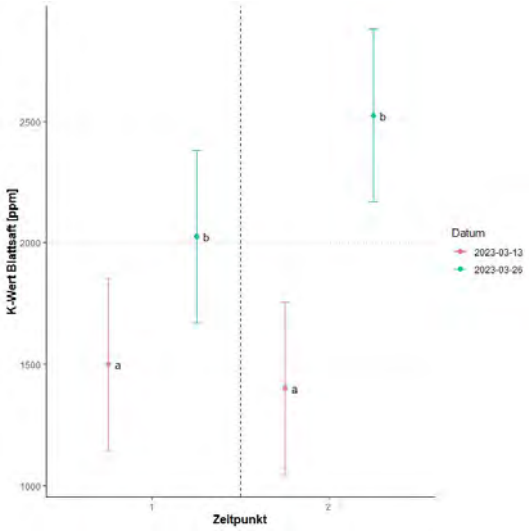


Abb. 82: Effektplot (Lineares Modell) Kalium vor_nach Applikation; Datum * Zeitpunkt + Verfahren Radiesli

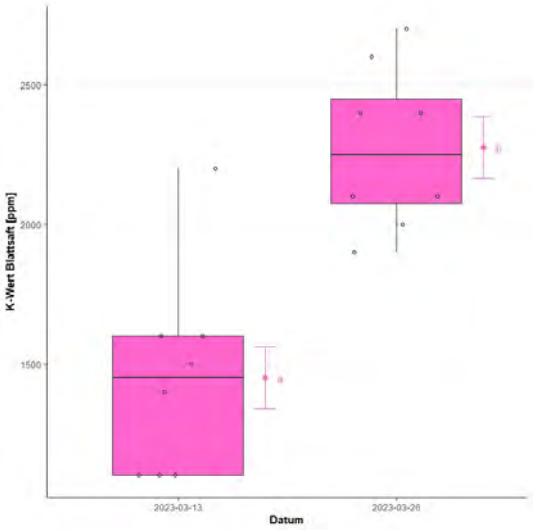


Abb. 83: Effektplot (Lineares Modell) Kalium vor_nach Applikation; Datum Radiesli

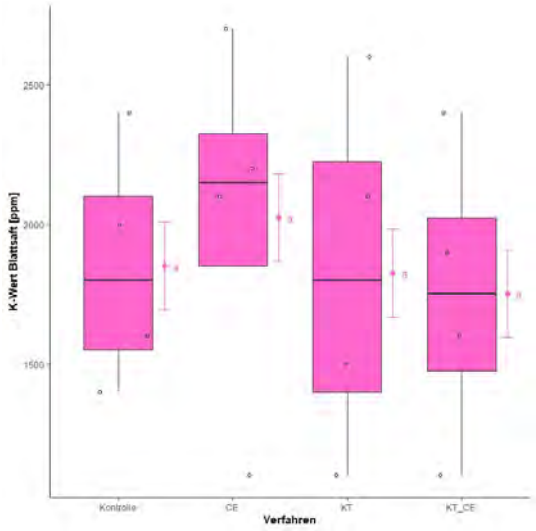


Abb. 84: Effektplot (Lineares Modell) Kalium vor_nach Applikation; Verfahren Radiesli

4.1.2.1.10 Blattsaft Kalium **zwischen** Applikationen

Die Messungen zwischen den Applikationen zeigen beim Kalium keine Signifikanz in Bezug auf die Verfahren (vgl. Tab. 24). Die Daten hingegen heben sich wesentlich vom Referenzdatum, 13.03.2023 ab (p=<0.001-0.038). Der 26.03.2023 (b) unterscheidet sich signifikant vom 13.03.2023 (a) (p=0.038), sowie zusätzlich zu den beiden letzten, 31.03.2023 (c) (p=0.0179) und 02.04.2023 (c) (p=0.0071) (vgl. Abb. 86). Zwischen den Verfahren zeigt sich kein wesentlicher Unterschied, der adjustierte Mittelwert ist beim Verfahren «CE» am höchsten (vgl. Abb. 87).

Tab. 24: Fixe Effekte (Lineares Modell) Kalium zwischen Applikationen; Verfahren + Datum Radiesli

		Messwert_K_R	
Predictors	*Estimates*	*CI*	*p*
(Intercept)	1387.50	929.70 – 1845.30	**<0.001**
Verfahren [CE]	325.00	-164.41 – 814.41	0.167
Verfahren [KT]	125.00	-364.41 – 614.41	0.578
Verfahren [KT_CE]	-0.00	-489.41 – 489.41	1.000
Datum2023-03-26	525.00	35.59 – 1014.41	**0.038**
Datum2023-03-31	1150.00	660.59 – 1639.41	**<0.001**
Datum2023-04-02	1275.00	785.59 – 1764.41	**<0.001**
Observations	16		
R^2 / R^2 adjusted	0.842 / 0.736		

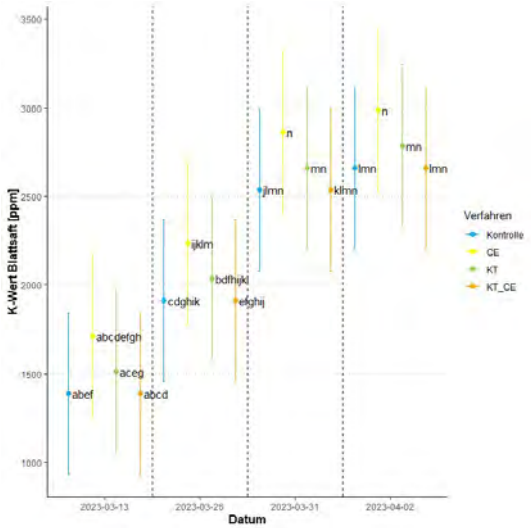


Abb. 85: Effektplot (Lineares Modell) Kalium zwischen Applikationen; Verfahren + Datum Radiesli

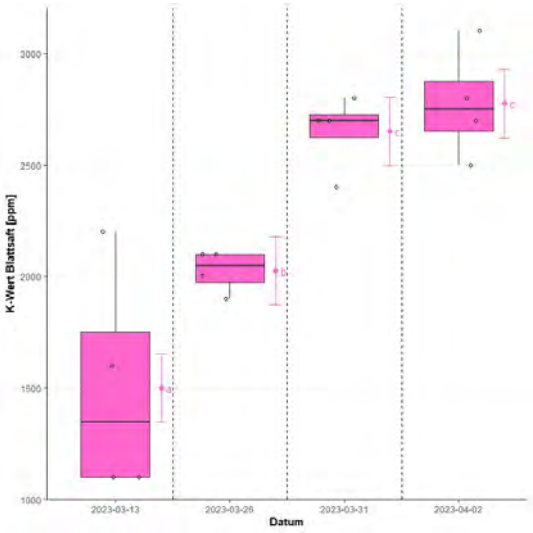


Abb. 86: Effektplot (Lineares Modell) Kalium zwischen Applikationen; Datum Radiesli

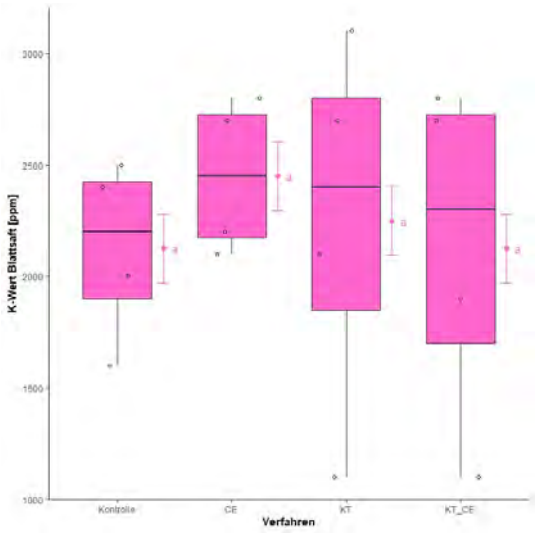


Abb. 87: Effektplot (Lineares Modell) Kalium zwischen Applikationen; Verfahren Radiesli

4.1.2.1.11 Blattsaft Calcium **vor & nach** Applikation

Der tiefste AIC wurde beim Modell «Verfahren * Zeitpunkt + Datum» festgestellt. Es zeigt sich einerseits eine Signifikanz des Verfahrens «CE» gegenüber der «Kontrolle» (p=0.011), sowie vom 26.03.2023 gegenüber dem Referenzdatum, 13.03.2023 (p=<0.001) (vgl. Tab. 25). Das Datum vom 26.03.2023 (b) zeigt einen signifikant höheren Calciumgehalt im Blattsaft gegenüber dem 13.03.2023 (a) (p=<0.001) (vgl. Abb. 89). Weiter zeigt sich, trotz nicht in Tab. 25 ersichtlich, eine Signifikanz zwischen Zeitpunkt 1 und 2, wobei bei der Messung nach der Applikation (b) ein wesentlich höher Calciumgehalt gemessen wurde (p=0.0125) (vgl. Abb. 90). Eine ähnliche Diskrepanz zur Tab. 25 zeigt sich bei den Verfahrensunterschieden. Zusätzlich zum Verfahren «CE» (b), zeigt auch das Verfahren «KT» (b) einen signifikant höheren Calciumgehalt gegenüber der «Kontrolle» (a) an (p=0.0345) (vgl. Abb. 91). Diese Diskrepanzen können bei der Erstellung der Tabelle von Fixen Effekten im linearen Modell auftreten, da mit dieser Variante nicht alle paarweisen Vergleiche abgedeckt werden können (Burren 2023, persönliche Mitteilung).

Tab. 25: Fixe Effekte (Lineares Modell) Calcium vor_nach Applikation; Verfahren * Zeitpunkt + Datum Radiesli

	Messwert_Ca_R		
Predictors	*Estimates*	*CI*	*p*
(Intercept)	537.50	417.78 – 657.22	**<0.001**
Verfahren [CE]	230.00	70.37 – 389.63	**0.011**
Verfahren [KT]	65.00	-94.63 – 224.63	0.368
Verfahren [KT_CE]	30.00	-129.63 – 189.63	0.670
Zeitpunkt [2]	70.00	-89.63 – 229.63	0.334
Datum2023-03-26	675.00	595.19 – 754.81	**<0.001**
Verfahren [CE] × Zeitpunkt [2]	-75.00	-300.75 – 150.75	0.458
Verfahren [KT] × Zeitpunkt [2]	120.00	-105.75 – 345.75	0.249
Verfahren [KT_CE] × Zeitpunkt [2]	125.00	-100.75 – 350.75	0.232
Observations	16		
R^2 / R^2 adjusted	0.984 / 0.966		

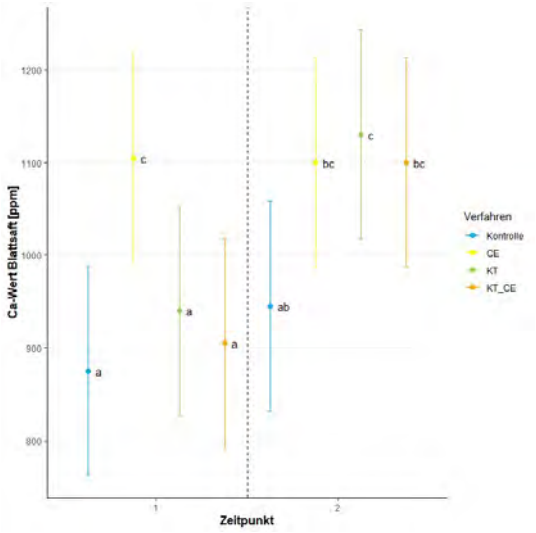


Abb. 88: Effektplot (Lineares Modell) Calcium vor_nach Applikation; Verfahren * Zeitpunkt + Datum Radiesli

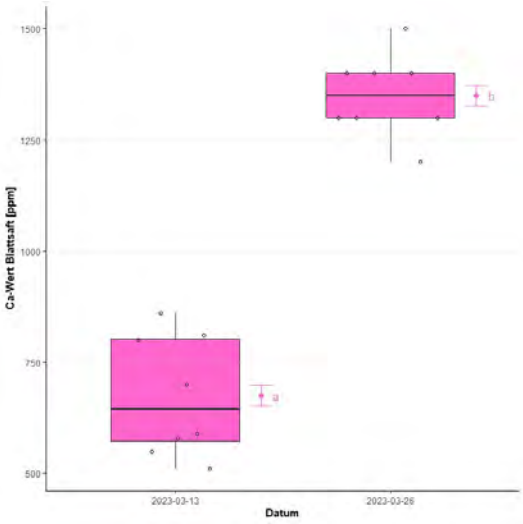


Abb. 89: Effektplot (Lineares Modell) Calcium vor_nach Applikation; Datum Radiesli

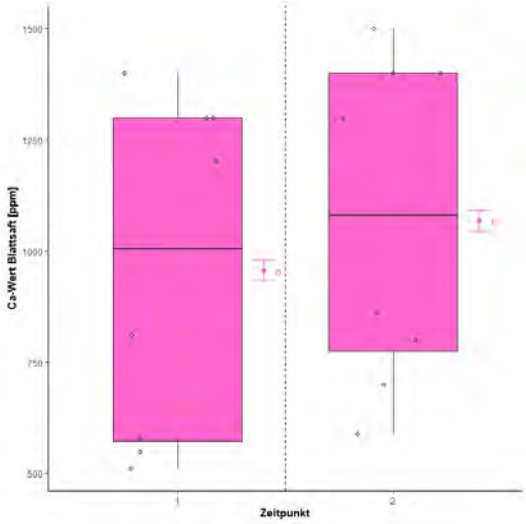


Abb. 90: Effektplot (Lineares Modell) Calcium vor_nach Applikation; Zeitpunkt Radiesli

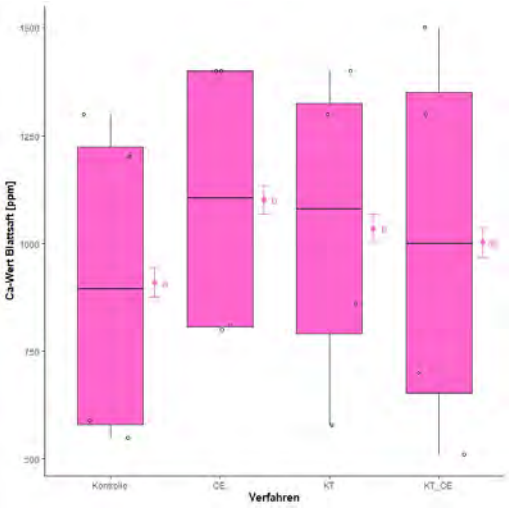


Abb. 91: Effektplot (Lineares Modell) Calcium vor_nach Applikation; Verfahren Radiesli

4.1.2.1.12 Blattsaft Calcium **zwischen** Applikationen

Bei den vier Messungen zwischen den Applikationen zeigt sich das Verfahren «CE» signifikant unterschiedlich zur «Kontrolle» (p=0.002) (vgl. Tab. 26). Zusätzlich bestehen wesentliche Unterschiede zwischen den drei Daten gegenüber dem Referenzdatum, 13.03.2023 (p=<0.001). Der 26.03.2023 (c) unterscheidet sich nicht nur signifikant vom 13.03.2023 (a) (p=<0.001), sondern ist auch signifikant höher gegenüber dem 31.03.2023 und dem 02.04.2023 (b) (p=<0.001) (vgl. Abb. 93). Das Verfahren «CE» (b) weist einen signifikant höheren Calciumwert gegenüber allen Verfahren auf («Kontrolle» p=0.002; «KT» p=0.002; «KT_CE» p=0.001) (vgl. Abb. 94) und ist zugleich auch an allen Daten jeweils signifikant am höchsten (b; f; de; e) (vgl. Abb. 92).

Tab. 26: Fixe Effekte (Lineares Modell) Calcium zwischen Applikationen; Verfahren + Datum Radiesli

	Messwert_Ca_R		
Predictors	*Estimates*	*CI*	*p*
(Intercept)	570.62	488.51 – 652.74	**<0.001**
Verfahren [CE]	170.00	82.21 – 257.79	**0.002**
Verfahren [KT]	5.00	-82.79 – 92.79	0.900
Verfahren [KT_CE]	-7.50	-95.29 – 80.29	0.851
Datum2023-03-26	687.50	599.71 – 775.29	**<0.001**
Datum2023-03-31	402.50	314.71 – 490.29	**<0.001**
Datum2023-04-02	457.50	369.71 – 545.29	**<0.001**
Observations	16		
R^2 / R^2 adjusted	0.975 / 0.959		

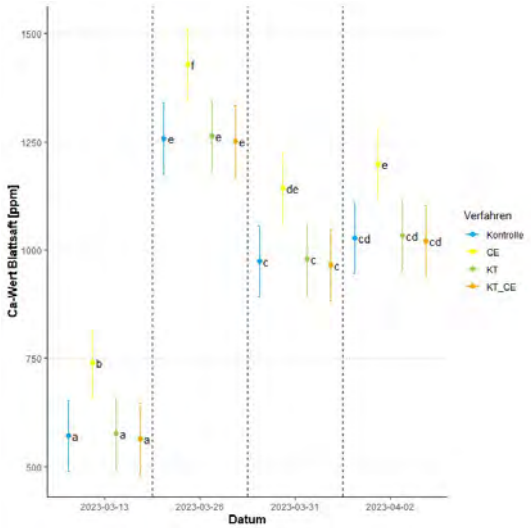


Abb. 92: Effektplot (Lineares Modell) Calcium zwischen Applikationen; Verfahren + Datum Radiesli

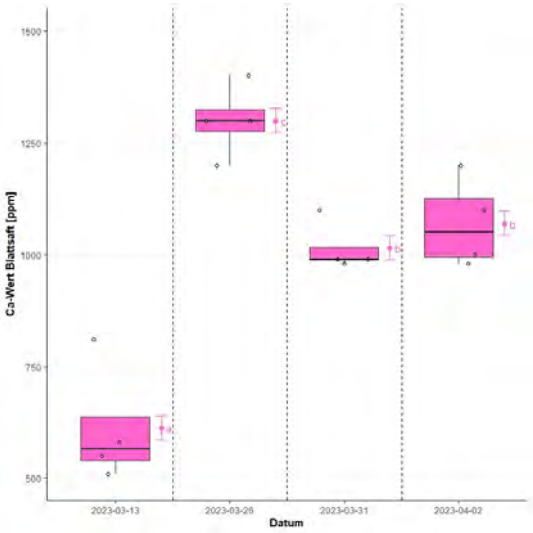


Abb. 93: Effektplot (Lineares Modell) Calcium zwischen Applikationen; Datum Radiesli

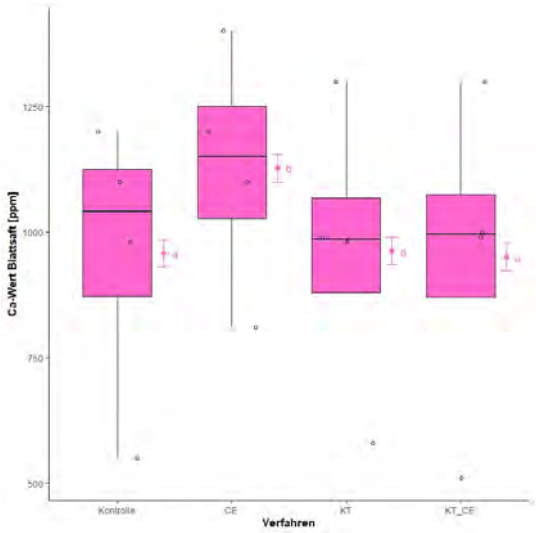


Abb. 94: Effektplot (Lineares Modell) Calcium zwischen Applikationen; Verfahren Radiesli

4.1.2.1.13 Blattsaft Natrium **vor & nach** Applikation

Der tiefste AIC-Wert wurde beim Modell «Verfahren + Datum * Zeitpunkt» gefunden. Eine Signifikanz wurde beim Datum vom 26.03.2023 gegenüber der Referenz vom 13.03.2023 gefunden (p=<0.001) (vgl. Tab. 27). Am 26.03.2023 (b) wurden signifikant höhere Natriumgehalte gemessen als am 13.03.2023 (a) (p=<0.001) (vgl. Abb. 96). Der Zeitpunkt hingegen zeigt keine Signifikanz, wobei beim 26.03.2023 bei der Messung nach der Applikation eine leichte Steigerung festgestellt werden kann (vgl. Abb. 95). Die Verfahren zeigen untereinander keine bedeutenden Abweichungen (vgl. Abb. 97).

Tab. 27: Fixe Effekte (Lineares Modell) Natrium vor_nach Applikation; Datum * Zeitpunkt + Verfahren Radiesli

	Messwert_Na_R		
Predictors	*Estimates*	*CI*	*p*
(Intercept)	157.50	100.31 – 214.69	**<0.001**
Verfahren [CE]	-2.50	-63.64 – 58.64	0.928
Verfahren [KT]	7.50	-53.64 – 68.64	0.788
Verfahren [KT_CE]	-15.00	-76.14 – 46.14	0.592
Datum2023-03-26	355.00	293.86 – 416.14	**<0.001**
Zeitpunkt [2]	-20.00	-81.14 – 41.14	0.478
Datum2023-03-26:Zeitpunkt2	60.00	-26.47 – 146.47	0.151
Observations	16		
R^2 / R^2 adjusted	0.978 / 0.964		

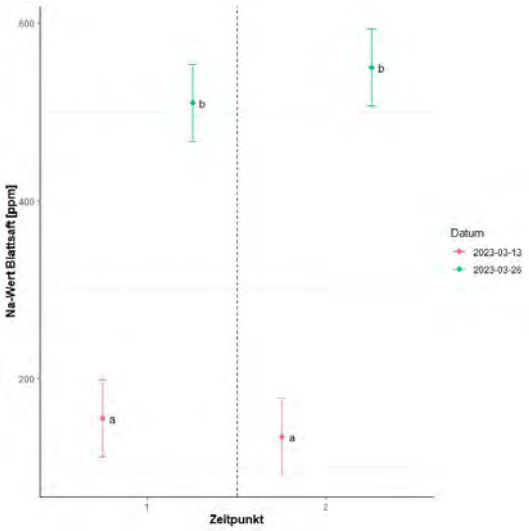


Abb. 95: Effektplot (Lineares Modell) Natrium vor_nach Applikation; Datum * Zeitpunkt + Verfahren Radiesli

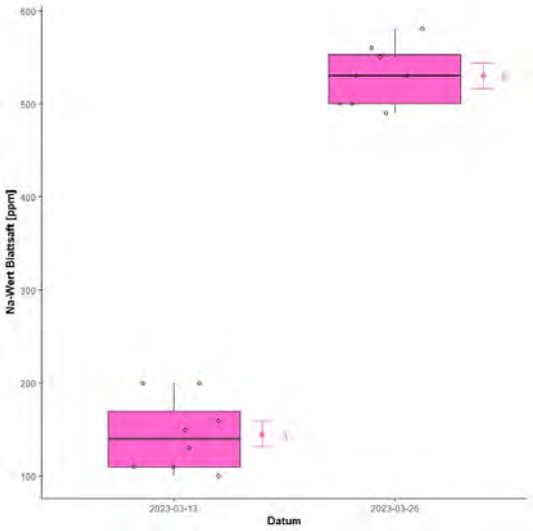


Abb. 96: Effektplot (Lineares Modell) Natrium vor_nach Applikation; Datum Radiesli

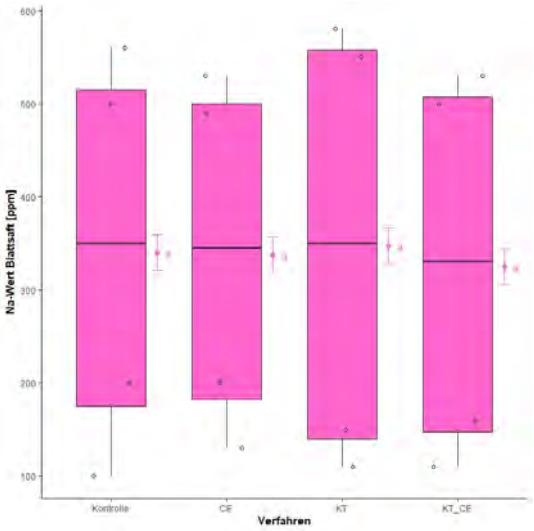


Abb. 97: Effektplot (Lineares Modell) Natrium vor_nach Applikation; Verfahren Radiesli

4.1.2.1.14 Blattsaft Natrium **zwischen** Applikationen:

Das Verfahren «KT_CE» weist gegenüber der «Kontrolle» einen signifikant tieferen Natriumwert auf (p=0.049) (vgl. Tab. 28). Weiter unterscheiden sich die drei Daten deutlich vom Referenzdatum, 13.03.2023 (p=<0.001). Die Natriumgehalte unterscheiden sich zwischen dem 26.03.2023 (c) und 31.03.2023 (c) nicht signifikant voneinander, hingegen sind deutliche Unterschiede zum 13.03.2023 (a) (p=<0.001) und zum 02.04.2023 (b) (p=0.0038-0.049) zu sehen (vgl. Abb. 99). Das Verfahren «KT_CE» (a) zeigt signifikant tiefere Natriumwerte gegenüber der «Kontrolle» (b) (p=0.049) an, jedoch keine eindeutigen Unterschiede zu den anderen Verfahren (vgl. Abb. 100). Die «Kontrolle» zeigt an allen Daten die höchsten Werte, während «KT_CE» die tiefsten Werte zeigt (vgl. Abb. 98).

Tab. 28: Fixe Effekte (Lineares Modell) Natrium zwischen Applikationen; Verfahren + Datum Radiesli

	Messwert_Na_R		
Predictors	*Estimates*	*CI*	*p*
(Intercept)	177.50	130.98 – 224.02	**<0.001**
Verfahren [CE]	-5.00	-54.73 – 44.73	0.825
Verfahren [KT]	-35.00	-84.73 – 14.73	0.146
Verfahren [KT_CE]	-50.00	-99.73 – -0.27	**0.049**
Datum2023-03-26	355.00	305.27 – 404.73	**<0.001**
Datum2023-03-31	390.00	340.27 – 439.73	**<0.001**
Datum2023-04-02	305.00	255.27 – 354.73	**<0.001**
Observations	16		
R^2 / R^2 adjusted	0.978 / 0.964		

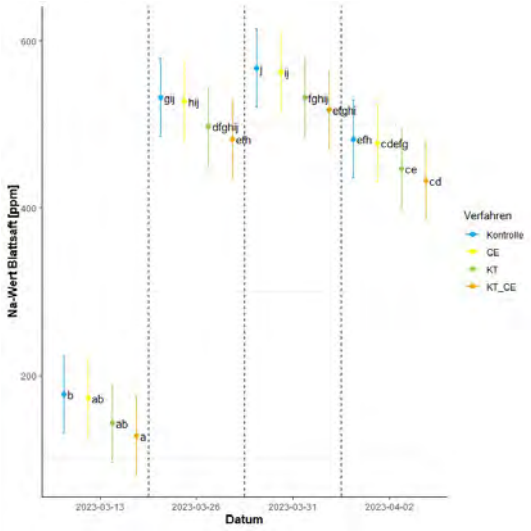


Abb. 98: Effektplot (Lineares Modell) Natrium zwischen Applikationen; Verfahren + Datum Radiesli

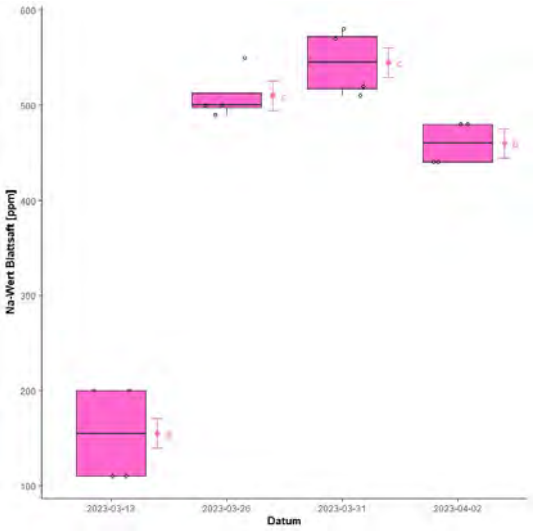


Abb. 99: Effektplot (Lineares Modell) Natrium zwischen Applikationen; Datum Radiesli

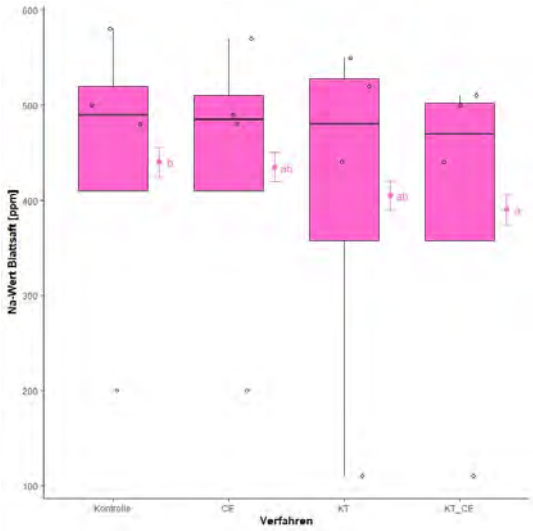


Abb. 100: Effektplot (Lineares Modell) Natrium zwischen Applikationen; Verfahren Radiesli

4.1.2.2 Pflanzensaftmessungen Horiba-LaquaTwin-Geräte Spinat

Der Vergleich der Pflanzensaftmessungen vor und nach der Applikation zeigte beim BRIX nur am zweiten Datum eine generelle signifikante Steigerung zwischen den zwei Messzeitpunkten. Auch am zweiten Datum zeigt sich generell eine signifikant höhere Bonitur bei der Calciumverfügbarkeit. Die Verfahren «KT_CE» und «KT» sind zugleich signifikant tiefer in der Bonitur gegenüber «Kontrolle» und «CE». Der pH, Kalium und Natrium zeigen nur Signifikanzen im Datum, nicht aber im Verfahren. Der EC-Wert zeigt signifikante Unterschiede zwischen den Messdaten, wie auch zwischen «KT_CE», mit wesentlich höheren Werten als «KT». Der Nitratgehalt unterscheidet sich signifikant zwischen den Daten aber auch zwischen «KT_CE» mit wesentlich höheren Gehalten gegenüber der «Kontrolle».

Der Vergleich der vier Pflanzensaftmessungen zwischen den Applikationen zeigt beim BRIX signifikant höheren Werten bei den letzten zwei Messungen verglichen zu den ersten zwei. Verfahrensunterschiede zeigen sich keine. Die Bonitur der Ca-Verfügbarkeit, wie auch das Natrium ergeben keinerlei

Signifikanzen. Die pH-, EC- und Kaliumwerte unterscheiden sich zwischen den Daten signifikant, nicht aber zwischen den Verfahren. Beim Nitrat zeigt die «Kontrolle» die signifikant tiefsten Werte an, wobei «KT_CE und «CE» nochmals signifikant höhere Werte gegenüber «KT» aufweisen.

4.1.2.2.1 Blattsaft BRIX und Calcium-Verfügbarkeit **vor & nach** Applikation

Beim BRIX wurde der tiefste AIC-Wert beim Modell «Verfahren + Datum * Zeitpunkt festgestellt. Signifikanzen zeigten der Zeitpunkt 2 gegenüber dem Referenzzeitpunkt 1 (p=0.017), sowie der 26.03.2023 Zeitpunkt 2 gegenüber dem 13.03.2023 Zeitpunkt 2 (p=0.008) (vgl. Tab. 29). Am 13.03.2023 zeigte die Messung nach der Applikation (Zeitpunkt 2) (a) eine signifikante Abnahme in BRIX gegenüber vor der Applikation (Zeitpunkt 1) (b) (p=0.0171) (vgl. Abb. 101). Am 26.03.2023 wurde zwar eine leichte Erhöhung des BRIX nach der Applikation festgestellt, jedoch keine Signifikanz. Die Verfahren unterscheiden sich nicht wesentlich in ihren BRIX-Werten, ausser dass die adjustierten Mittelwerte bei «CE» und «KT_CE» eher etwas höher liegen (vgl. Abb. 102).

Tab. 29: Fixe Effekte (Lineares Modell) BRIX vor_nach Applikation; Datum * Zeitpunkt + Verfahren Spinat

	Messwert_BRIX_S		
Predictors	*Estimates*	*CI*	*p*
(Intercept)	3.62	2.63 – 4.62	**<0.001**
Verfahren [CE]	0.88	-0.19 – 1.94	0.096
Verfahren [KT]	0.25	-0.82 – 1.32	0.609
Verfahren [KT_CE]	0.88	-0.19 – 1.94	0.096
Datum2023-03-26	-0.25	-1.32 – 0.82	0.609
Zeitpunkt [2]	-1.38	-2.44 – -0.31	**0.017**
Datum2023-03-26:Zeitpunkt2	2.25	0.74 – 3.76	**0.008**
Observations	16		
R^2 / R^2 adjusted	0.729 / 0.548		

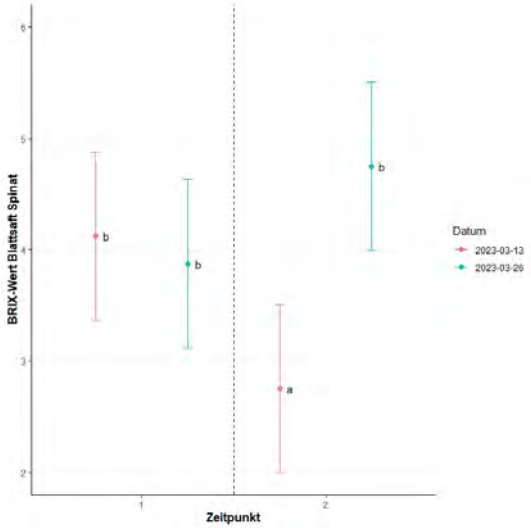


Abb. 101: Effektplot (Lineares Modell) BRIX vor_nach Applikation; Datum * Zeitpunkt + Verfahren Spinat

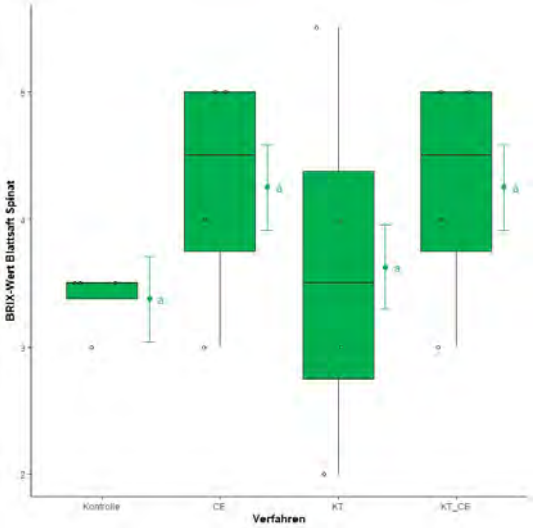


Abb. 102: Effektplot (Lineares Modell) BRIX vor_nach Applikation; Verfahren Spinat

Der tiefste AIC-Wert bei der Ca-Verfügbarkeit zeigte sich im Modell «Verfahren * Datum + Zeitpunkt». Signifikanzen wurden beim Verfahren «KT» (p=0.012) und «KT_CE» (p=0.004) gegenüber der

«Kontrolle», sowie knapp zwischen dem Verfahren «KT_CE» vom 26.03.2023 gegenüber dem 13.03.2023 (p=0.048) festgestellt (vgl. Tab. 30). Wiederum wurden Diskrepanzen aus der Tabelle der Fixen Effekte gefunden, denn auch das Datum zeigt sich als signifikant mit einer höheren Boniturnote am 26.03.2023 (b) (p=0.006) (vgl. Abb. 104). Bei den Verfahren heben sich «Kontrolle» (b) und «CE» (b) deutlich von «KT» (a) (p=0.0041) und «KT_CE» (a) (p=0.0088) ab (vgl. Abb. 105). Die Interaktionen von Datum * Verfahren sind in Abb. 103 ersichtlich.

Tab. 30: Fixe Effekte (Lineares Modell) Ca-Verfügbarkeit vor_nach Applikation; Verfahren * Datum + Zeitpunkt Spinat

	Ca_Verfuegbarkeit_S		
Predictors	*Estimates*	*CI*	*p*
(Intercept)	4.56	3.52 – 5.61	**<0.001**
Verfahren [CE]	-0.00	-1.40 – 1.40	1.000
Verfahren [KT]	-2.00	-3.40 – -0.60	**0.012**
Verfahren [KT_CE]	-2.50	-3.90 – -1.10	**0.004**
Datum2023-03-26	0.50	-0.90 – 1.90	0.425
Zeitpunkt [2]	-0.13	-0.82 – 0.57	0.685
VerfahrenCE:Datum2023-03-26	0.00	-1.97 – 1.97	1.000
VerfahrenKT:Datum2023-03-26	0.50	-1.47 – 2.47	0.568
VerfahrenKT_CE:Datum2023-03-26	2.00	0.03 – 3.97	**0.048**
Observations	16		
R^2 / R^2 adjusted	0.884 / 0.751		

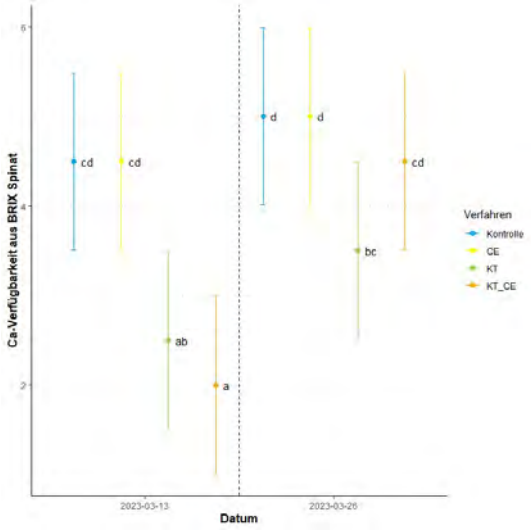


Abb. 103: Effektplot (Lineares Modell) Ca-Verfügbarkeit vor_nach Applikation; Verfahren * Datum + Zeitpunkt Spinat

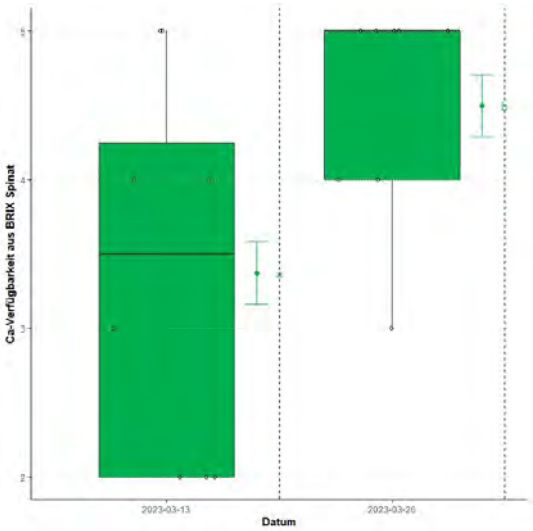


Abb. 104: Effektplot (Lineares Modell) Ca-Verfügbarkeit vor_nach Applikation; Verfahren * Datum + Zeitpunkt Spinat

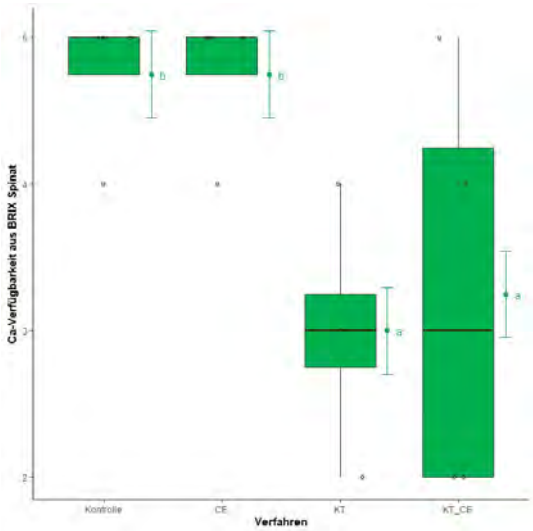


Abb. 105: Effektplot (Lineares Modell) Ca-Verfügbarkeit vor_nach Applikation; Verfahren * Datum + Zeitpunkt Spinat

4.1.2.2.2 Blattsaft BRIX und Calcium-Verfügbarkeit **zwischen** Applikationen

Der gemessen BRIX-Wert unterscheidet sich nicht signifikant zwischen den Verfahren, jedoch zeigen die Daten 31.03.2023 (p=0.002) und 02.04.2023 (p=0.015) signifikant höhere BRIX-Werte gegenüber dem Referenzdatum, 13.03.2023 (vgl. Tab. 31). Während sich zwischen den ersten zwei BRIX-Messungen vom 13.03.2023 und 26.03.2023 (a) keine Signifikanzen abzeichnen, sind die zwei letzten Messungen, 31.03.2023 (b) (p=0.001-0.002) und 02.04.2023 (b) (p=0.0068-0.0151) signifikant höher (vgl. Abb. 107). Zwischen den Verfahren gibt es keine wesentlichen Unterschiede (vgl. Abb. 108). Dass nur die

Daten, nicht aber die Verfahren wesentliche Unterschiede zeigen, ist gut im Effektplot in Abb. 106 ersichtlich.

Tab. 31: Fixe Effekte (Lineares Modell) BRIX zwischen Applikationen; Verfahren + Datum Spinat

	Messwert_BRIX_S		
Predictors	*Estimates*	*CI*	*p*
(Intercept)	3.91	2.85 – 4.97	**<0.001**
Verfahren [CE]	0.38	-0.76 – 1.51	0.473
Verfahren [KT]	0.25	-0.88 – 1.38	0.630
Verfahren [KT_CE]	0.25	-0.88 – 1.38	0.630
Datum2023-03-26	-0.25	-1.38 – 0.88	0.630
Datum2023-03-31	2.13	0.99 – 3.26	**0.002**
Datum2023-04-02	1.50	0.37 – 2.63	**0.015**
Observations	16		
R^2 / R^2 adjusted	0.782 / 0.637		

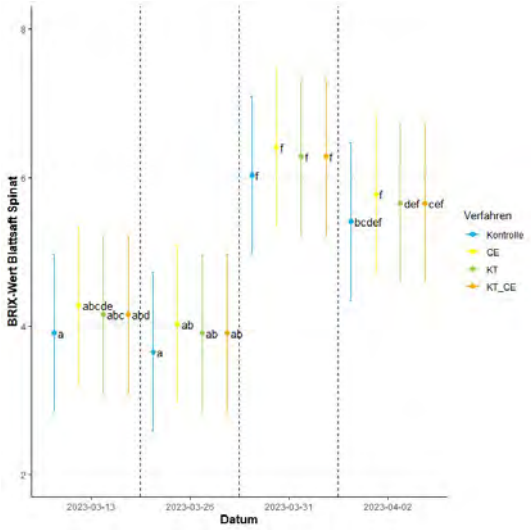


Abb. 106: Effektplot (Lineares Modell) BRIX zwischen Applikationen; Verfahren + Datum Spinat

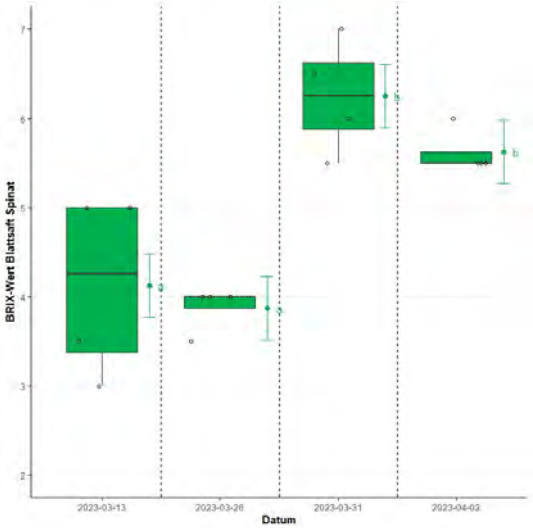


Abb. 107: Effektplot (Lineares Modell) BRIX zwischen Applikationen; Datum Spinat

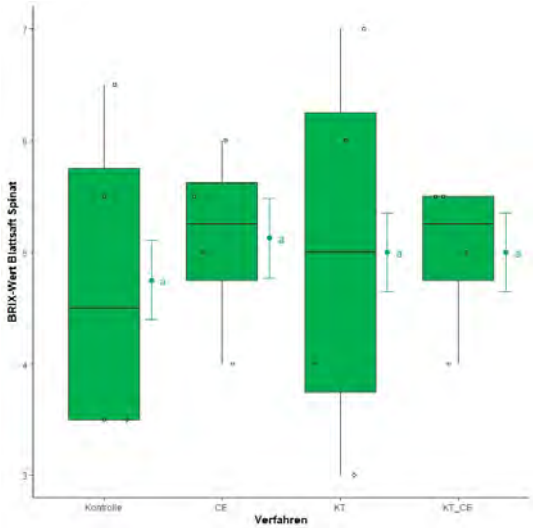


Abb. 108: Effektplot (Lineares Modell) BRIX zwischen Applikationen; Verfahren Spinat

Bei der Calciumverfügbarkeit zeigen sich keinerlei Signifikanzen, weder zwischen Daten noch Verfahren (vgl. Tab. 32). Ersichtlich ist jedoch eine Tendez, dass das Verfahren «CE» aufgrund des höchsten, adjustierten Mittelwertes, generell einen höhere Bonitureinschätzung hat (vgl. Abb. 109).

Tab. 32: Fixe Effekte (Lineares Modell) Ca-Verfügbarkeit zwischen Applikationen; Verfahren + Datum Spinat

	Ca_Verfuegbarkeit_S		
Predictors	*Estimates*	*CI*	*p*
(Intercept)	3.38	1.82 – 4.93	**0.001**
Verfahren [CE]	0.75	-0.91 – 2.41	0.335
Verfahren [KT]	-0.50	-2.16 – 1.16	0.514
Verfahren [KT_CE]	0.25	-1.41 – 1.91	0.742
Datum2023-03-26	1.00	-0.66 – 2.66	0.207
Datum2023-03-31	-0.00	-1.66 – 1.66	1.000
Datum2023-04-02	0.50	-1.16 – 2.16	0.514
Observations	16		
R^2 / R^2 adjusted	0.381 / -0.032		

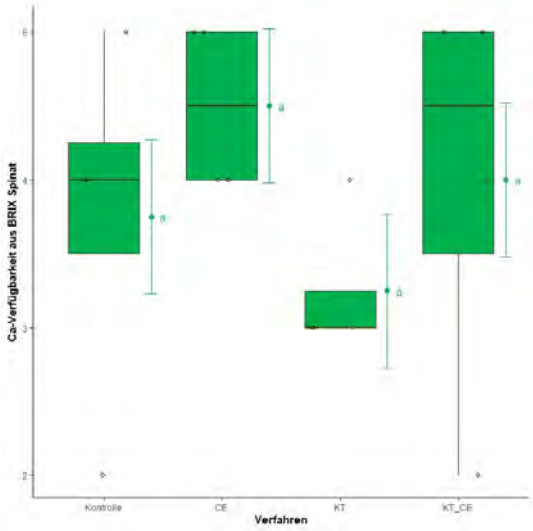


Abb. 109: Effektplot (Lineares Modell) Ca-Verfügbarkeit zwischen Applikationen; Verfahren Spinat

4.1.2.2.3 Blattsaft pH **vor & nach** Applikation

Der tiefste AIC-Wert zeigte sich beim Modell «Verfahren * Datum + Zeitpunkt». Die einzige Signifikanz stellte der 26.03.2023 im Vergleich zum Referenzdatum, 13.03.2023 dar (p=0.001) (vgl. Tab. 33). Der pH-Wert des Blattsaftes war am 26.02.2023 (a) signifikant tiefer gegenüber der ersten Messung (b) (vgl. Abb. 111). Zwischen den Verfahren können keine bedeutenden Unterschiede festgestellt werden (vgl. Abb. 112). Signifikante Unterschiede zwischen den Verfahren sind nur am 13.03.2023 ersichtlich, wobei «CE» (c) (p=0.045) und «KT» (c) (p=0.019) signifikant höhere pH gegenüber «KT_CE» (b) aufweisen (vgl. Abb. 110).

Tab. 33: Fixe Effekte (Lineares Modell) pH vor_nach Applikation; Verfahren * Datum + Zeitpunkt Spinat

	Messwert_pH_S		
Predictors	*Estimates*	*CI*	*p*
(Intercept)	7.11	6.97 – 7.26	**<0.001**
Verfahren [CE]	0.05	-0.14 – 0.24	0.563
Verfahren [KT]	0.10	-0.09 – 0.29	0.264
Verfahren [KT_CE]	-0.15	-0.34 – 0.04	0.111
Datum2023-03-26	-0.45	-0.64 – -0.26	**0.001**
Zeitpunkt [2]	0.07	-0.02 – 0.17	0.111
VerfahrenCE:Datum2023-03-26	0.05	-0.23 – 0.33	0.681
VerfahrenKT:Datum2023-03-26	0.00	-0.28 – 0.28	1.000
VerfahrenKT_CE:Datum2023-03-26	0.25	-0.03 – 0.53	0.069
Observations	16		
R^2 / R^2 adjusted	0.934 / 0.858		

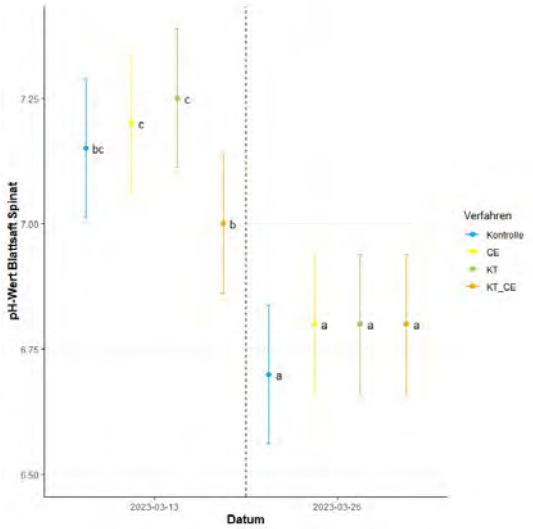


Abb. 110: Effektplot (Lineares Modell) pH vor_nach Applikation; Verfahren * Datum + Zeitpunkt Spinat

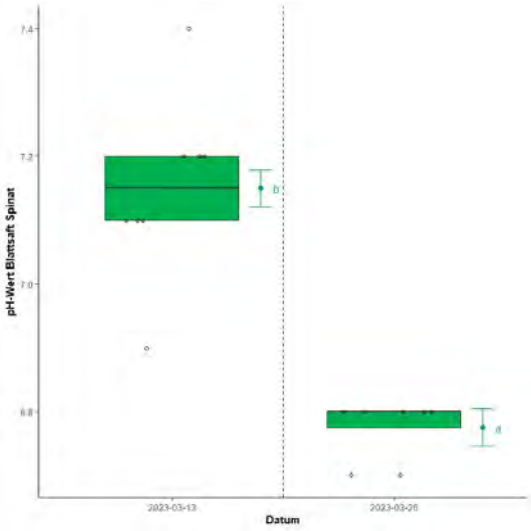


Abb. 111: Effektplot (Lineares Modell) pH vor_nach Applikation; Datum Spinat

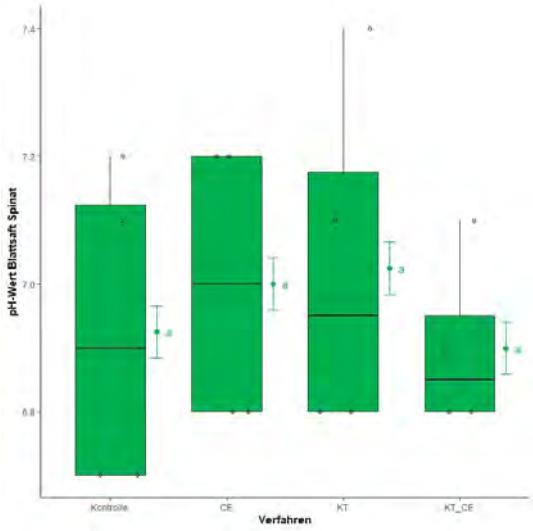


Abb. 112: Effektplot (Lineares Modell) pH vor_nach Applikation; Verfahren Spinat

4.1.2.2.4 Blattsaft pH **zwischen** Applikationen

An allen drei Daten zeigen sich Signifikanzen gegenüber dem Referenzdatum vom 13.03.2023 (p=<0.001) (vgl. Tab. 34). Die Verfahren zeigen keine Signifikanz zur Kontrolle. Der pH-Wert zeigt sich am 13.03.2023 (c) signifikant höher gegenüber dem 26.03.2023 (b) (p=<0.001) und zusätzlich signifikant zu den tiefsten pH an den beiden letzten Messungen (a) (p=<0.001) (vgl. Abb. 114). Zwischen den Verfahren sind keine wesentlichen Unterschiede sichtbar, weder im Gesamten, noch Datumsspezifisch (vgl. Abb. 115, Abb. 113). Tendenziell zeigt das Verfahren «CE» einen höheren adjustierten Mittelwert im Vergleich zu den anderen.

Tab. 34: Fixe Effekte (Lineares Modell) pH zwischen Applikationen; Verfahren + Datum Spinat

	Messwert_pH_S		
Predictors	*Estimates*	*CI*	*p*
(Intercept)	7.05	6.94 – 7.16	**<0.001**
Verfahren [CE]	0.08	-0.04 – 0.19	0.188
Verfahren [KT]	0.03	-0.09 – 0.14	0.647
Verfahren [KT_CE]	0.00	-0.12 – 0.12	1.000
Datum2023-03-26	-0.30	-0.42 – -0.18	**<0.001**
Datum2023-03-31	-0.52	-0.64 – -0.41	**<0.001**
Datum2023-04-02	-0.47	-0.59 – -0.36	**<0.001**
Observations	16		
R^2 / R^2 adjusted	0.932 / 0.887		

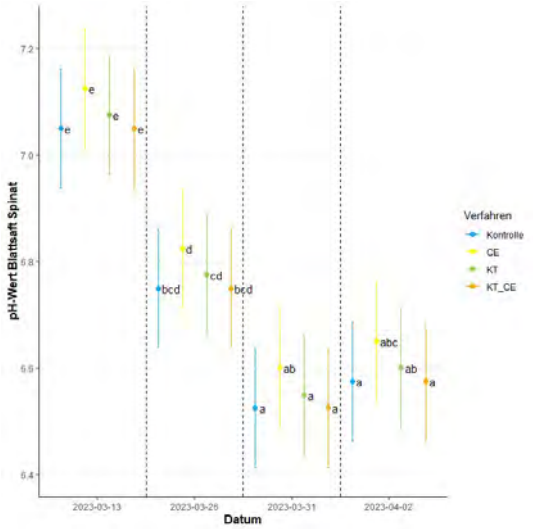


Abb. 113: Effektplot (Lineares Modell) pH zwischen Applikationen; Verfahren + Datum Spinat

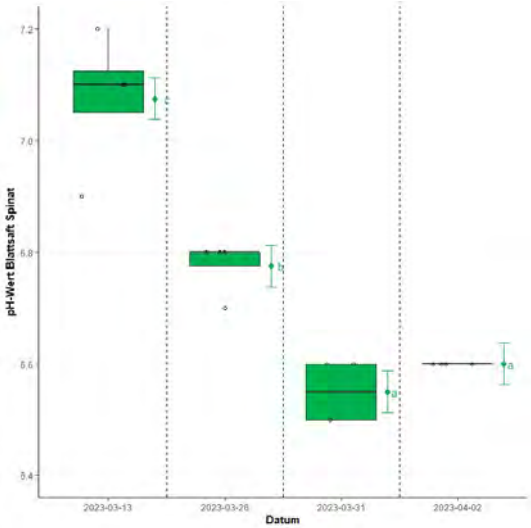


Abb. 114: Effektplot (Lineares Modell) pH zwischen Applikationen; Datum Spinat

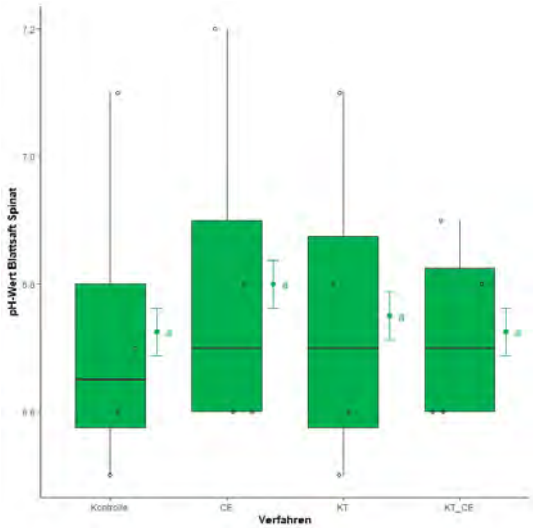


Abb. 115: Effektplot (Lineares Modell) pH zwischen Applikationen; Verfahren Spinat

4.1.2.2.5 Blattsaft EC **vor & nach** Applikation

Der tiefste AIC-Wert wurde beim Modell «Verfahren * Datum + Zeitpunkt» festgestellt. Als Signifikant zeigen sich das Verfahren «KT» gegenüber der «Kontrolle» (p=0.018), das Datum 26.03.2023 gegenüber dem Referenzdatum 13.03.2023 (p=0.001), der Zeitpunkt 2 gegenüber Zeitpunkt 1 (p=0.009) und knapp das Verfahren «KT» am 26.03.2023 gegenüber dem 13.03.2023 (p=0.046) (vgl. Tab. 35). Der EC-Wert ist vom 13.03.2023 (a) zum 26.03.2023 (b) signifikant gestiegen (p=0.001) (vgl. Abb. 117). Weiter zeigt sich ein wesentlicher Unterschied zwischen Zeitpunkt 1 (b) und 2 (a), was bedeutet, dass der EC-Wert nach der Applikation deutlich gesunken ist (p=0.009) (vgl. Abb. 118). Obwohl in Tab. 35 «KT» signifikant unterschiedlich zur «Kontrolle» dargestellt wurde, relativiert es sich im Effektplot wieder, wo nur die Verfahren angeschaut werden, ohne Interaktion mit dem Datum und Zeitpunkt. Es zeigen sich hierbei nun Signifikanzen zwischen «KT_CE» (b) und «KT» (a) (p=0.0052), sowie zu «CE» (a) (p=0.0437) (vgl. Abb. 119). In Abb. 116 ist gut der wesentliche Unterschied zwischen beiden Daten in Bezug auf das Verfahren «KT» ersichtlich.

Tab. 35: Fixe Effekte (Lineares Modell) EC vor_nach Applikation; Verfahren * Datum + Zeitpunkt Spinat

	Messwert_EC_S		
Predictors	*Estimates*	*CI*	*p*
(Intercept)	13.25	11.65 – 14.85	**<0.001**
Verfahren [CE]	-0.24	-2.37 – 1.89	0.798
Verfahren [KT]	-2.76	-4.89 – -0.63	**0.018**
Verfahren [KT_CE]	1.93	-0.20 – 4.06	0.070
Datum2023-03-26	5.12	2.99 – 7.25	**0.001**
Zeitpunkt [2]	-1.63	-2.70 – -0.56	**0.009**
VerfahrenCE:Datum2023-03-26	0.03	-2.99 – 3.05	0.982
VerfahrenKT:Datum2023-03-26	3.09	0.08 – 6.11	**0.046**
VerfahrenKT_CE:Datum2023-03-26	-1.17	-4.19 – 1.84	0.388
Observations	16		
R^2 / R^2 adjusted	0.966 / 0.926		

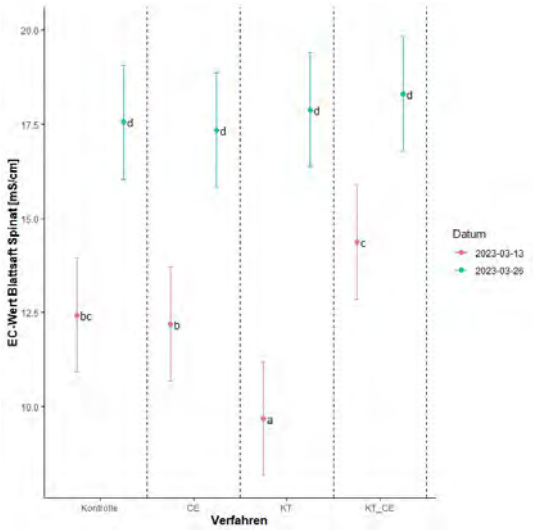


Abb. 116: Effektplot (Lineares Modell) EC vor_nach Applikation; Verfahren * Datum + Zeitpunkt Spinat

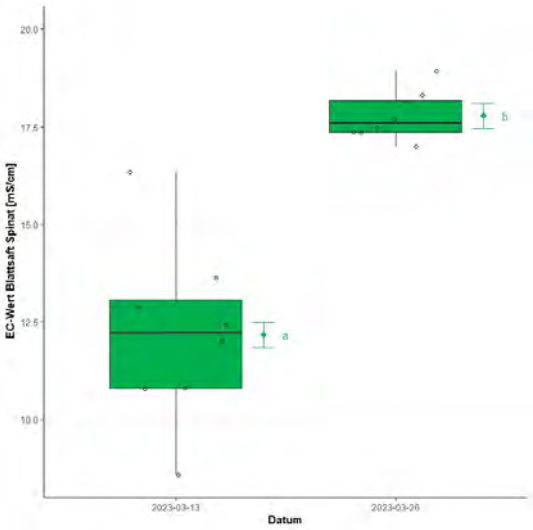


Abb. 117: Effektplot (Lineares Modell) EC vor_nach Applikation; Datum Spinat

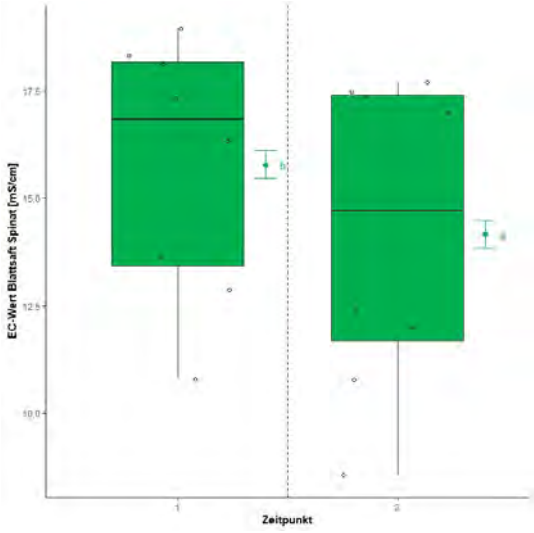


Abb. 118: Effektplot (Lineares Modell) EC vor_nach Applikation; Zeitpunkt Spinat

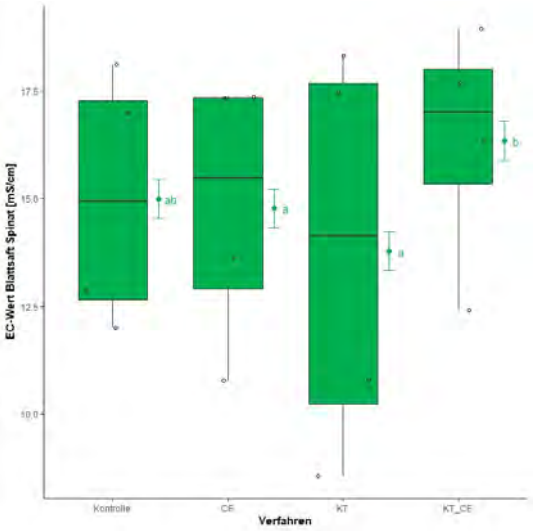


Abb. 119: Effektplot (Lineares Modell) EC vor_nach Applikation; Verfahren Spinat

4.1.2.2.6 Blattsaft EC **zwischen** Applikationen

Die Verfahren unterscheiden sich nicht wesentlich von der «Kontrolle». Hingegen zeigen alle drei Daten eine Signifikanz im Vergleich zum 13.03.2023 (p=0.001-0.004) (vgl. Tab. 36). Es unterscheiden sich zwar alle drei Daten (b) signifikant vom Referenzdatum, 13.03.2023 (a), jedoch nicht untereinander (vgl. Abb. 121). Der EC-Wert ist von der ersten zur zweiten Messung gestiegen, hat danach aber stagniert. Zwischen den Verfahren zeigt sich keine Signifikanz (vgl. Abb. 120, Abb. 122).

Tab. 36: Fixe Effekte (Lineares Modell) EC zwischen Applikationen; Verfahren + Datum Spinat

	Messwert_EC_S		
Predictors	*Estimates*	*CI*	*p*
(Intercept)	13.37	11.45 – 15.30	**<0.001**
Verfahren [CE]	0.08	-1.97 – 2.13	0.932
Verfahren [KT]	-0.64	-2.70 – 1.41	0.496
Verfahren [KT_CE]	0.67	-1.39 – 2.72	0.481
Datum2023-03-26	4.77	2.72 – 6.83	**0.001**
Datum2023-03-31	3.54	1.48 – 5.59	**0.004**
Datum2023-04-02	3.67	1.61 – 5.72	**0.003**
Observations	16		
R^2 / R^2 adjusted	0.787 / 0.645		

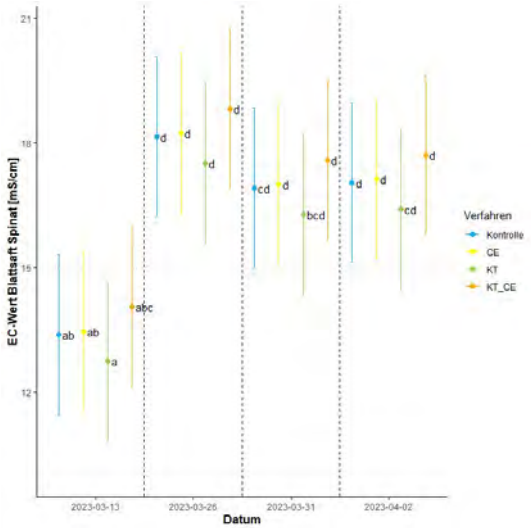


Abb. 120: Effektplot (Lineares Modell) EC zwischen Applikationen; Verfahren + Datum Spinat

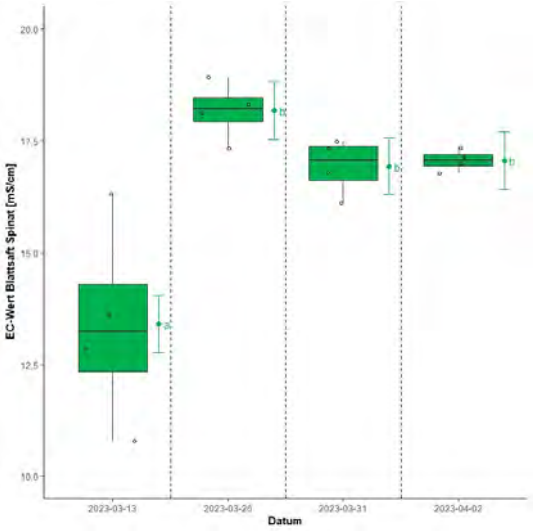


Abb. 121: Effektplot (Lineares Modell) EC zwischen Applikationen; Datum Spinat

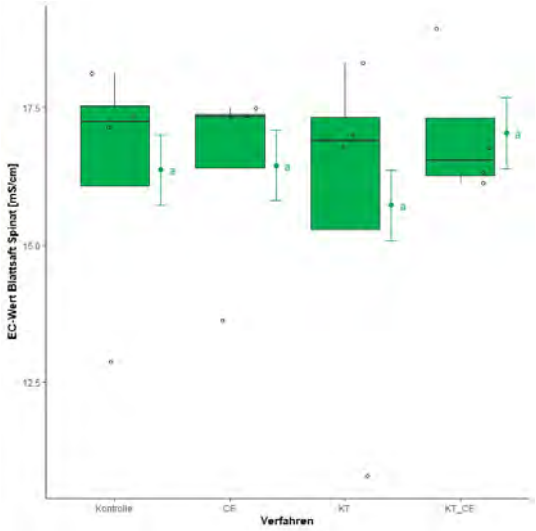


Abb. 122: Effektplot (Lineares Modell) EC zwischen Applikationen; Verfahren Spinat

4.1.2.2.7 Blattsaft Nitrat **vor & nach** Applikation

Der tiefste AIC-Wert wurde beim Modell «Verfahren * Datum + Zeitpunkt» gefunden. Das Datum vom 26.03.2023 zeigt sich signifikant unterschiedlich zum Referenzdatum, 13.03.2023 (p=0.004) (vgl. Tab. 37). Zwei weitere Signifikanzen sind die Verfahren «KT» (p=0.049) und «KT_CE» (p=0.014), welche sich zwischen den zwei Daten signifikant verändern (vgl. Abb. 123). Die Nitratwerte steigen vom 13.03.2023 zum 26.03.2023 signifikant an (p=0.004) (vgl. Abb. 124). Eine weitere Diskrepanz zur Tab. 37 zeigt sich in Abb. 125, wo ersichtlich wird, dass das Verfahren «KT_CE» doch signifikant unterschiedlich zur Kontrolle ist (p=0.0142). Die Interaktion Verfahren * Datum + Zeitpunkt ist in Abb. 123 ersichtlich.

Tab. 37: Fixe Effekte (Lineares Modell) Nitrat vor_nach Applikation; Verfahren * Datum + Zeitpunkt Spinat

	Messwert_NO3_S		
Predictors	*Estimates*	*CI*	*p*
(Intercept)	1787.50	1497.25 – 2077.75	**<0.001**
Verfahren [CE]	-0.00	-387.00 – 387.00	1.000
Verfahren [KT]	-150.00	-537.00 – 237.00	0.390
Verfahren [KT_CE]	0.00	-387.00 – 387.00	1.000
Datum2023-03-26	700.00	313.00 – 1087.00	**0.004**
Zeitpunkt [2]	25.00	-168.50 – 218.50	0.769
VerfahrenCE:Datum2023-03-26	500.00	-47.30 – 1047.30	0.068
VerfahrenKT:Datum2023-03-26	550.00	2.70 – 1097.30	**0.049**
VerfahrenKT_CE:Datum2023-03-26	750.00	202.70 – 1297.30	**0.014**
Observations	16		
R^2 / R^2 adjusted	0.969 / 0.934		

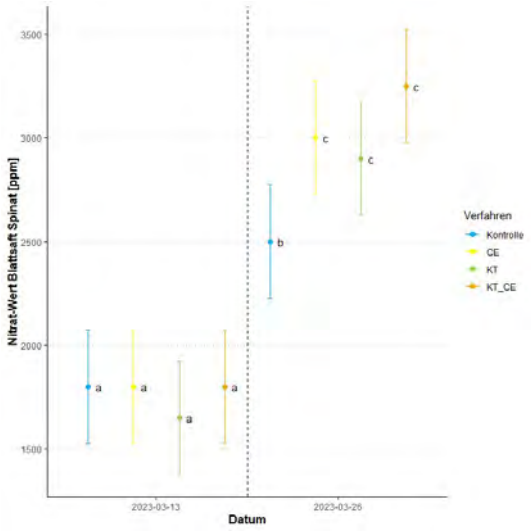


Abb. 123: Effektplot (Lineares Modell) Nitrat vor_nach Applikation; Verfahren * Datum + Zeitpunkt Spinat

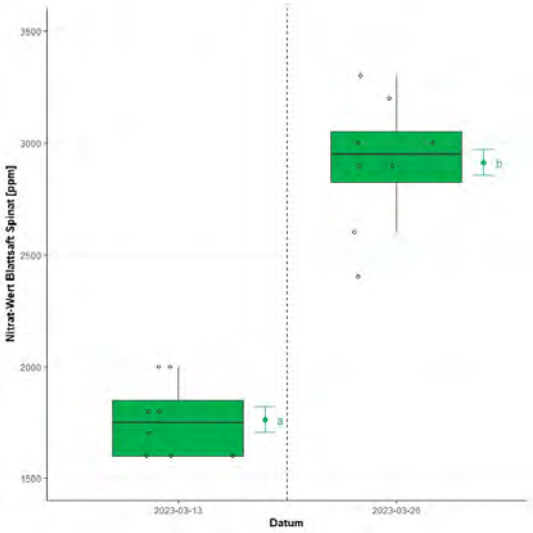


Abb. 124: Effektplot (Lineares Modell) Nitrat vor_nach Applikation; Datum Spinat

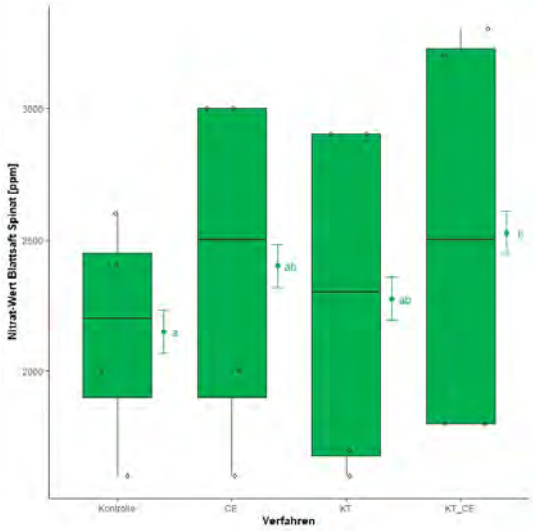


Abb. 125: Effektplot (Lineares Modell) Nitrat vor_nach Applikation; Verfahren Spinat

4.1.2.2.8 Blattsaft Nitrat **zwischen** Applikationen

Bei den vier Nitratmessungen zeigen sich überall Signifikanzen gegenüber der Referenz (p=<0.001-0.01) (vgl. Tab. 38). Die Nitratwerte stiegen nicht nur vom 13.03.2023 (a) zum 26.03.2023 (b) signifikant an, sondern auch ein weiteres Mal zu den zwei letzten Messungen (c) (p=0.0061) an (vgl. Abb. 127). Das Verfahren «KT» (b) zeigt nicht nur zur Kontrolle (a) signifikante Unterschiede, sondern auch zu den zwei Verfahren «CE» (c) und «KT_CE» (c) (p=0.0293), die nochmals wesentlich höhere Werte aufzeigen (vgl. Abb. 128). Die Interaktionen von Datum und Verfahren sind in Abb. 126 ersichtlich.

Tab. 38: Fixe Effekte (Lineares Modell) Nitrat zwischen Applikationen; Verfahren + Datum Spinat

	Messwert_NO3_S		
Predictors	*Estimates*	*CI*	*p*
(Intercept)	1487.50	1323.97 – 1651.03	**<0.001**
Verfahren [CE]	450.00	275.18 – 624.82	**<0.001**
Verfahren [KT]	250.00	75.18 – 424.82	**0.010**
Verfahren [KT_CE]	450.00	275.18 – 624.82	**<0.001**
Datum2023-03-26	1100.00	925.18 – 1274.82	**<0.001**
Datum2023-03-31	1375.00	1200.18 – 1549.82	**<0.001**
Datum2023-04-02	1375.00	1200.18 – 1549.82	**<0.001**
Observations	16		
R^2 / R^2 adjusted	0.981 / 0.969		

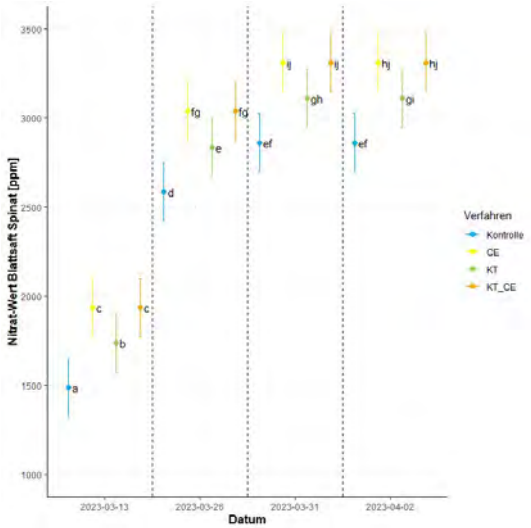


Abb. 126: Effektplot (Lineares Modell) Nitrat zwischen Applikationen; Verfahren + Datum Spinat

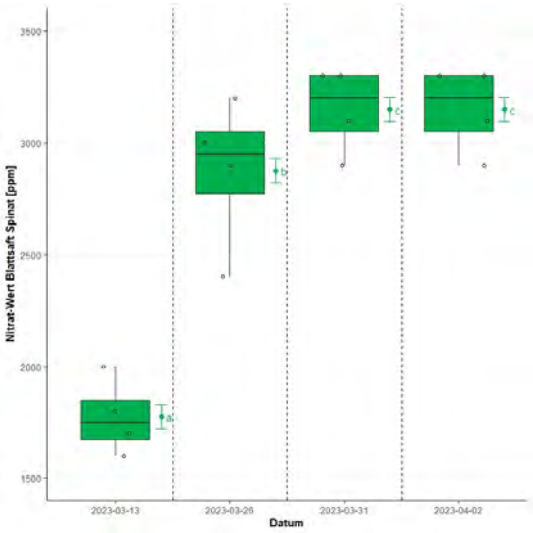


Abb. 127: Effektplot (Lineares Modell) Nitrat zwischen Applikationen; Datum Spinat

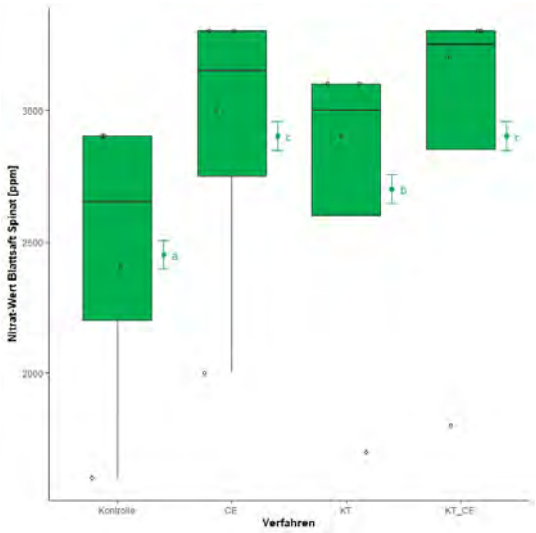


Abb. 128: Effektplot (Lineares Modell) Nitrat zwischen Applikationen; Verfahren Spinat

4.1.2.2.9 Blattsaft Kalium **vor & nach** Applikation

Der tiefste AIC-Wert wurde beim Modell «Verfahren + Datum * Zeitpunkt» festgestellt. Der Zeitpunkt 2 vom 13.03.2023 zeigt sich signifikant tiefer zum Zeitpunkt 1 am gleichen Datum (p=0.004), sowie besteht eine Signifikanz am Zeitpunkt 2 zwischen den zwei Daten (p=0.003) (vgl. Tab. 39, Abb. 129). Die Kaliumwerte steigen vom 13.03.2023 zum 26.03.2023 signifikant an (p=0.0003) (vgl. Abb. 130). Zwischen den Verfahren zeigen sich keine Signifikanzen, mit dem Verfahren «KT» tendenziell dem tiefsten adjustierten Mittelwert (vgl. Abb. 131).

Tab. 39: Fixe Effekte (Lineares Modell) Kalium vor_nach Applikation; Datum * Zeitpunkt + Verfahren Spinat

		Messwert_K_S	
Predictors	*Estimates*	*CI*	*p*
(Intercept)	3787.50	3331.06 – 4243.94	**<0.001**
Verfahren [CE]	-100.00	-587.95 – 387.95	0.654
Verfahren [KT]	-350.00	-837.95 – 137.95	0.139
Verfahren [KT_CE]	-0.00	-487.95 – 487.95	1.000
Datum2023-03-26	225.00	-262.95 – 712.95	0.324
Zeitpunkt [2]	-825.00	-1312.95 – -337.05	**0.004**
Datum2023-03-26:Zeitpunkt2	1250.00	559.93 – 1940.07	**0.003**
Observations	16		
R^2 / R^2 adjusted	0.855 / 0.758		

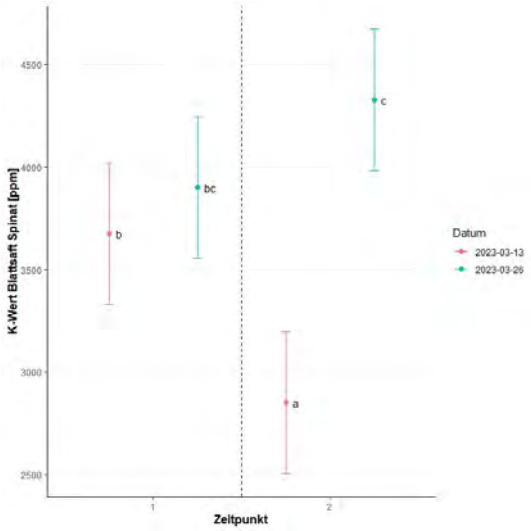


Abb. 129: Effektplot (Lineares Modell) Kalium vor_nach Applikation; Datum * Zeitpunkt + Verfahren Spinat

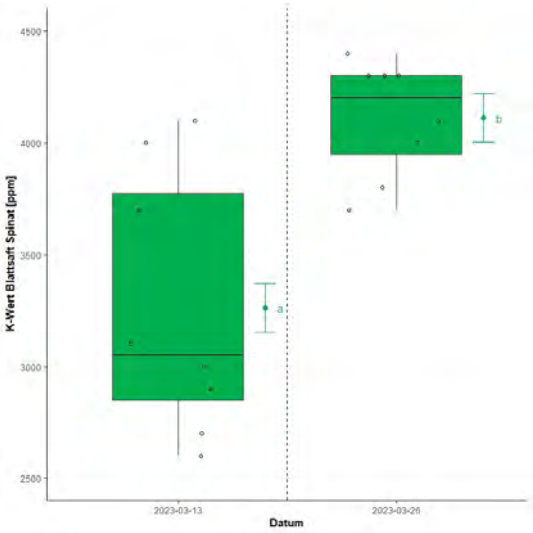


Abb. 130: Effektplot (Lineares Modell) Kalium vor_nach Applikation; Datum Spinat

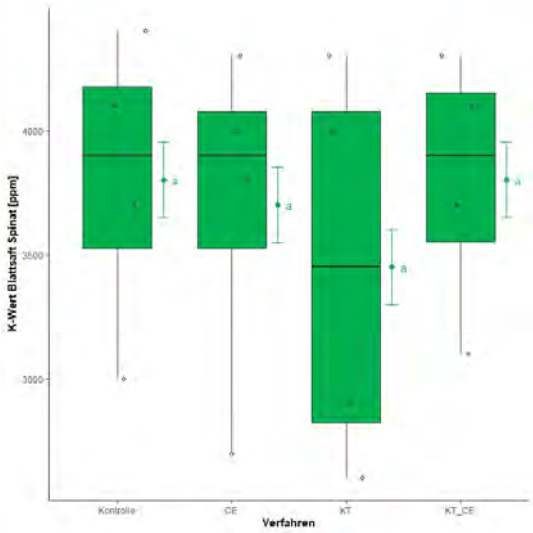


Abb. 131: Effektplot (Lineares Modell) Kalium vor_nach Applikation; Verfahren Spinat

4.1.2.2.10 Blattsaft Kalium **zwischen** Applikationen

Signifikanzen zwischen dem 31.03.2023 (p=<0.001) und dem 02.04.2023 (p=0.005) können im Vergleich zum Referenzdatum, 13.03.2023 festgestellt werden (vgl. Tab. 40). Der Kaliumwert vom 31.03.2023 (c) unterscheidet sich signifikant zu den zwei ersten Messungen (a) (p=<0.001) (vgl. Abb. 133). Weiter ist der Wert vom 31.03.2023 auch signifikant höher als die letzte Messung vom 02.04.2023 (b) (p=0.0412). Zwischen den Verfahren sind keine wesentlichen Unterschiede vorhanden (vgl. Abb. 134). Die Interaktion von Verfahren und Datum sind in Abb. 132 ersichtlich.

Tab. 40: Fixe Effekte (Lineares Modell) Kalium zwischen Applikationen; Verfahren + Datum Spinat

		Messwert_K_S	
Predictors	*Estimates*	*CI*	*p*
(Intercept)	3756.25	3267.41 – 4245.09	**<0.001**
Verfahren [CE]	-25.00	-547.59 – 497.59	0.916
Verfahren [KT]	-225.00	-747.59 – 297.59	0.356
Verfahren [KT_CE]	-75.00	-597.59 – 447.59	0.753
Datum2023-03-26	225.00	-297.59 – 747.59	0.356
Datum2023-03-31	1400.00	877.41 – 1922.59	**<0.001**
Datum2023-04-02	850.00	327.41 – 1372.59	**0.005**
Observations	16		
R^2 / R^2 adjusted	0.837 / 0.728		

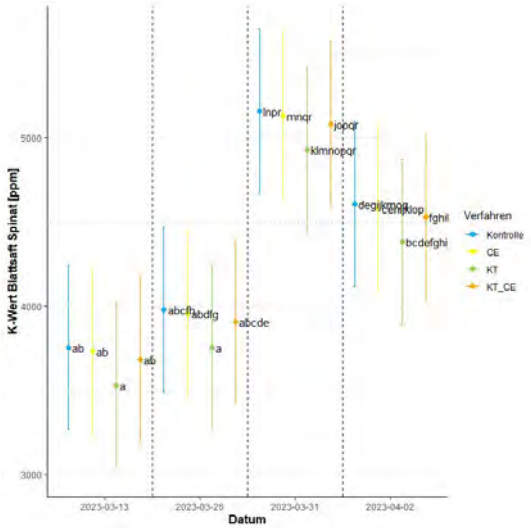


Abb. 132: Effektplot (Lineares Modell) Kalium zwischen Applikationen; Verfahren + Datum Spinat

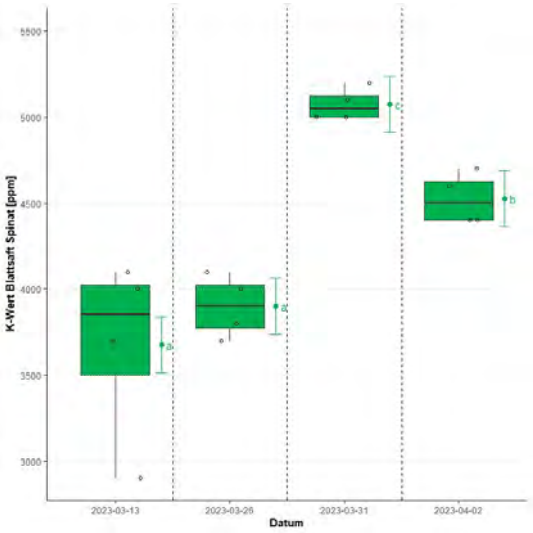


Abb. 133: Effektplot (Lineares Modell) Kalium zwischen Applikationen; Datum Spinat

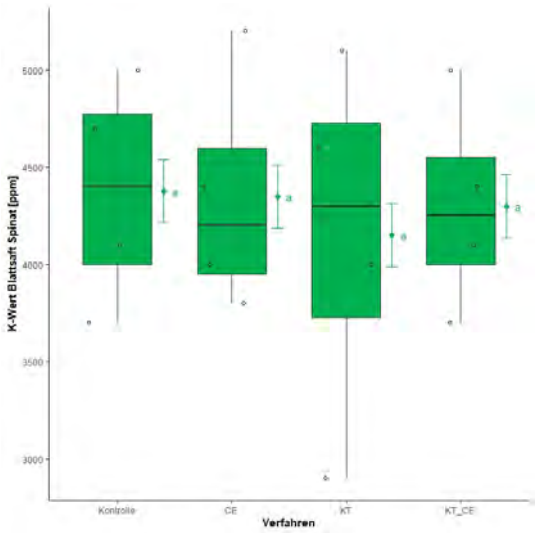


Abb. 134: Effektplot (Lineares Modell) Kalium zwischen Applikationen; Verfahren Spinat

4.1.2.2.11 Blattsaft Calcium

Die Affinität des Horiba-LaquaTwin-Ca-Gerätes war nicht genügend hoch, um im Pflanzensaft vom Spinat Calciumwerte herauszulesen. Es wird hier auf das Kapitel mit den Resultaten von NovaCropControl verwiesen (vgl. Kapitel 4.1.4.3).

4.1.2.2.12 Blattsaft Natrium **vor & nach** Applikation

Der tiefste AIC-Wert wurde beim Modell «Verfahren * Datum + Zeitpunkt» gefunden. Einzige Signifikanz zeigt sich beim Datum vom 26.03.2023 zum Referenzdatum, 13.03.2023 (p=0.026) (vgl. Tab. 41). Der Natriumwert ist zwischen der ersten und zweiten Messung signifikant angestiegen (p=0.026) (vgl. Abb. 136). Zwischen den Verfahren zeigen sich keine wesentlichen Unterschiede vgl. Abb. 137). Die Interaktion zwischen Verfahren und Datum ist in Abb. 135 ersichtlich.

Tab. 41: Fixe Effekte (Lineares Modell) Natrium vor_nach Applikation; Verfahren * Datum + Zeitpunkt Spinat

	Messwert_Na_S		
Predictors	*Estimates*	*CI*	*p*
(Intercept)	49.06	28.02 – 70.10	**0.001**
Verfahren [CE]	7.00	-21.06 – 35.06	0.574
Verfahren [KT]	-7.50	-35.56 – 20.56	0.547
Verfahren [KT_CE]	17.50	-10.56 – 45.56	0.184
Datum2023-03-26	33.50	5.44 – 61.56	**0.026**
Zeitpunkt [2]	-11.12	-25.15 – 2.90	0.103
VerfahrenCE:Datum2023-03-26	-17.50	-57.18 – 22.18	0.332
VerfahrenKT:Datum2023-03-26	23.00	-16.68 – 62.68	0.213
VerfahrenKT_CE:Datum2023-03-26	-18.00	-57.68 – 21.68	0.319
Observations	16		
R^2 / R^2 adjusted	0.849 / 0.677		

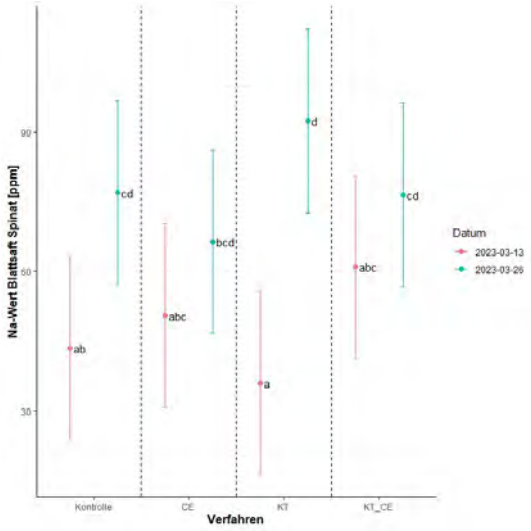


Abb. 135: Effektplot (Lineares Modell) Natrium vor_nach Applikation; Verfahren * Datum + Zeitpunkt Spinat

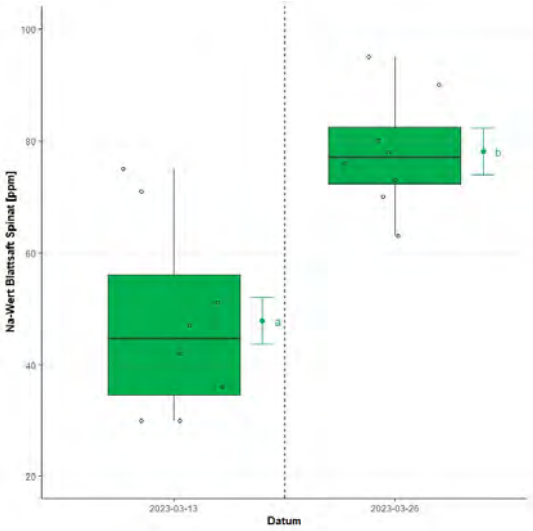


Abb. 136: Effektplot (Lineares Modell) Natrium vor_nach Applikation; Datum Spinat

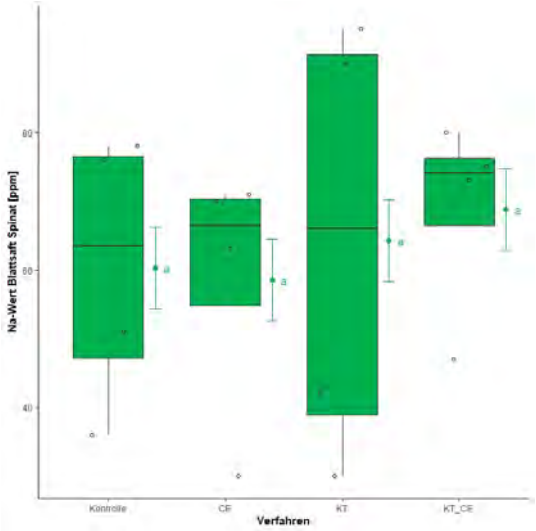


Abb. 137: Effektplot (Lineares Modell) Natrium vor_nach Applikation; Verfahren Spinat

4.1.2.2.13 Blattsaft Natrium **zwischen** Applikationen

Es zeigen sich keine signifikanten Unterschiede, weder zwischen den Verfahren, noch zwischen den unterschiedlichen Messzeitpunkten ab (vgl. Tab. 42, Abb. 138).

Tab. 42: Fixe Effekte (Lineares Modell) Natrium zwischen Applikationen; Verfahren + Datum Spinat

	Messwert_Na_S		
Predictors	*Estimates*	*CI*	*p*
(Intercept)	61.69	42.73 – 80.65	**<0.001**
Verfahren [CE]	-7.25	-27.52 – 13.02	0.439
Verfahren [KT]	-0.50	-20.77 – 19.77	0.957
Verfahren [KT_CE]	-0.00	-20.27 – 20.27	1.000
Datum2023-03-26	17.50	-2.77 – 37.77	0.083
Datum2023-03-31	15.25	-5.02 – 35.52	0.123
Datum2023-04-02	4.50	-15.77 – 24.77	0.628
Observations	16		
R^2 / R^2 adjusted	0.409 / 0.015		

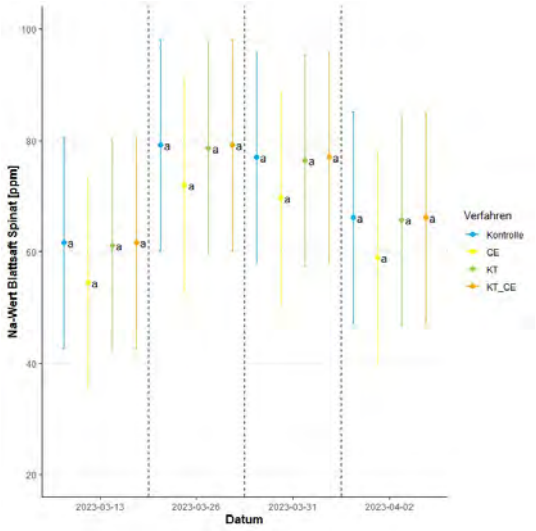


Abb. 138: Effektplot (Lineares Modell) Natrium zwischen Applikationen; Verfahren + Datum Spinat

4.1.2.3 Bodenaufschwemmung Spinat

Der Vergleich der Bodenaufschwemmung zeigt bei den Messungen, welche vor und nach den zwei Applikationen gemacht wurden einen signifikant höheren pH beim Zeitpunkt 2 (nach) gegenüber Zeitpunkt 1 (vor), sowie eine zusätzliche Signifikanz beim Datum. Der EC zeigt sich zwischen den zwei Daten signifikant anders, sowie hat das Verfahren «KT» einen signifikant höheren Wert gegenüber «CE».

Der Vergleich der vier Bodenaufschwemmungsmessungen, welche zwischen den Verfahren vorgenommen wurden zeigt beim pH eine Signifikanz zwischen den Daten, sowie das Verfahren «KT» mit einem signifikant tieferen pH gegenüber «KT_CE». Der EC-Wert zeigt wiederum einen signifikanten Unterschied zwischen den Daten, wie auch zwischen dem Verfahren «KT», welches signifikant höher ist zum Verfahren «CE».

4.1.2.3.1 pH vor & nach Applikation

Der tiefste AIC-Wert wurde beim Modell «Verfahren * Datum + Zeitpunkt» festgestellt. Es wurde zum einen eine Signifikanz vom Datum 26.03.2023 (b) zum Referenzdatum, 13.03.2023 (a) (p=0.001) eruiert (vgl. Tab. 43, Abb. 140). Zum anderen sind Zeitpunkt 2 (b) und Zeitpunkt 1 (a) knapp signifikant unterschiedlich (p=0.05) (vgl.Abb. 141). Zwischen den Verfahren wurden keine wesentlichen Unterschiede festgestellt (vgl. Abb. 142). Die Interaktionen Verfahren und Datum finden sich in Abb. 139.

Tab. 43: Fixe Effekte (Lineares Modell) pH vor_nach Applikation; Verfahren * Datum + Zeitpunkt Boden Spinat

	Messwert_pH_Boden_S		
Predictors	*Estimates*	*CI*	*p*
(Intercept)	7.25	7.10 – 7.40	**<0.001**
Verfahren [CE]	0.10	-0.10 – 0.30	0.275
Verfahren [KT]	0.00	-0.20 – 0.20	1.000
Verfahren [KT_CE]	-0.10	-0.30 – 0.10	0.275
Datum2023-03-26	0.50	0.30 – 0.70	**0.001**
Zeitpunkt [2]	0.10	0.00 – 0.20	**0.050**
VerfahrenCE:Datum2023-03-26	-0.20	-0.48 – 0.08	0.138
VerfahrenKT:Datum2023-03-26	-0.05	-0.33 – 0.23	0.688
VerfahrenKT_CE:Datum2023-03-26	0.15	-0.13 – 0.43	0.250
Observations	16		
R^2 / R^2 adjusted	0.953 / 0.899		

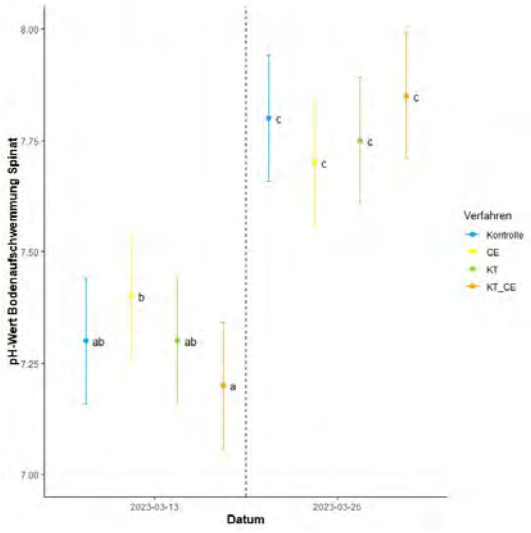


Abb. 139: Effektplot (Lineares Modell) pH vor_nach Applikation; Verfahren * Datum + Zeitpunkt Boden Spinat

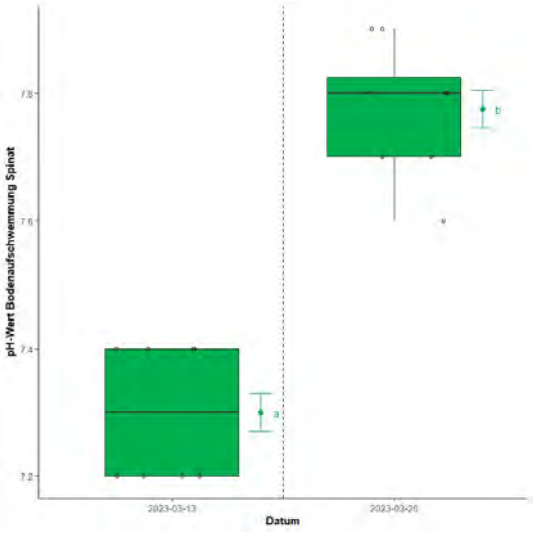


Abb. 140: Effektplot (Lineares Modell) pH vor_nach Applikation; Datum Boden Spinat

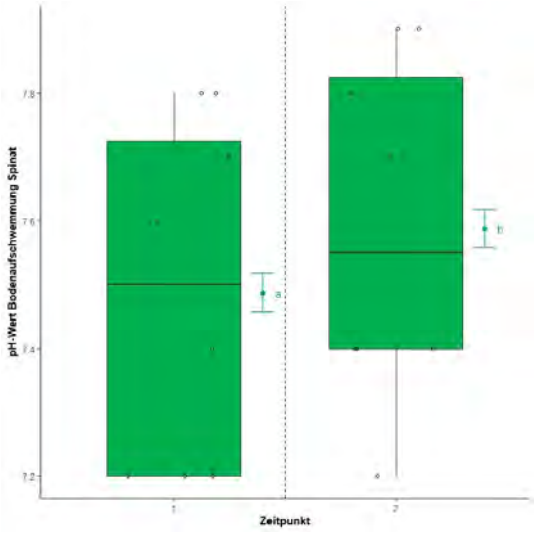


Abb. 141: Effektplot (Lineares Modell) pH vor_nach Applikation; Zeitpunkt Boden Spinat

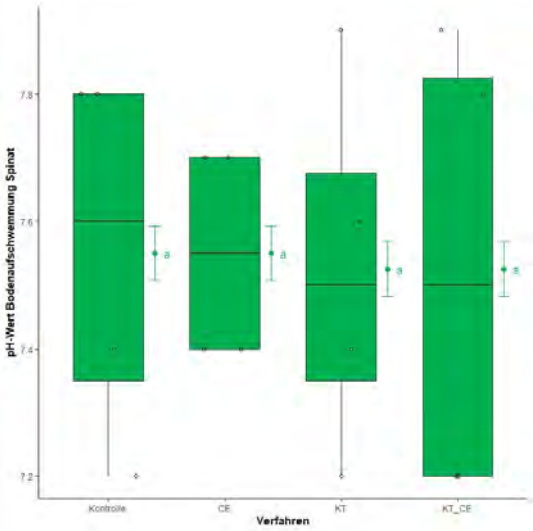


Abb. 142: Effektplot (Lineares Modell) pH vor_nach Applikation; Verfahren Boden Spinat

4.1.2.3.2 pH **zwischen** Applikationen

Die Bodenaufschwemmung zeigt zwischen den Applikationen eine Signifikanz bei den drei Daten verglichen zum Referenzdatum, 13.03.2023 (p=<0.001) (vgl. Tab. 44, Abb. 144). Zusätzlich zeigt sich eine Signifikanz zwischen den Verfahren «KT» (a) und «KT_CE» (b) (p=0.0395) (vgl. Abb. 145). Die Interaktion zwischen Verfahren und Datum ist in Abb. 143 ersichtlich.

Tab. 44: Fixe Effekte (Lineares Modell) pH zwischen Applikationen; Verfahren + Datum Boden Spinat

	Messwert_pH_Boden_S		
Predictors	*Estimates*	*CI*	*p*
(Intercept)	7.27	7.14 – 7.41	**<0.001**
Verfahren [CE]	0.00	-0.14 – 0.14	1.000
Verfahren [KT]	-0.12	-0.27 – 0.02	0.076
Verfahren [KT_CE]	0.03	-0.12 – 0.17	0.698
Datum2023-03-26	0.48	0.33 – 0.62	**<0.001**
Datum2023-03-31	0.35	0.21 – 0.49	**<0.001**
Datum2023-04-02	0.38	0.23 – 0.52	**<0.001**
Observations	16		
R^2 / R^2 adjusted	0.891 / 0.818		

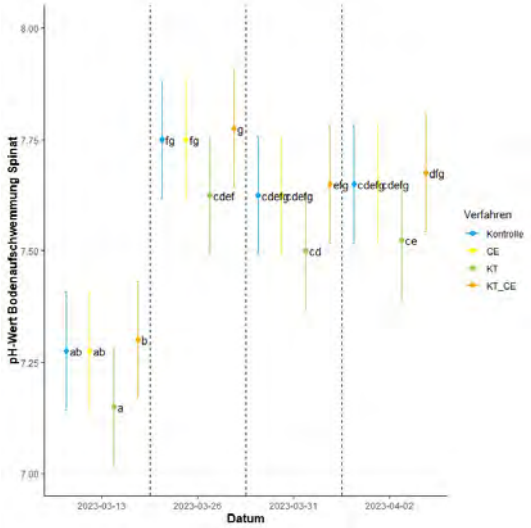


Abb. 143: Effektplot (Lineares Modell) pH zwischen Applikationen; Verfahren + Datum Boden Spinat

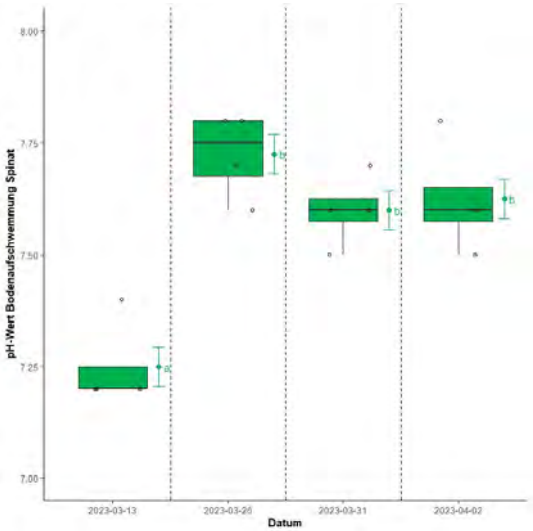


Abb. 144: Effektplot (Lineares Modell) pH zwischen Applikationen; Datum Boden Spinat

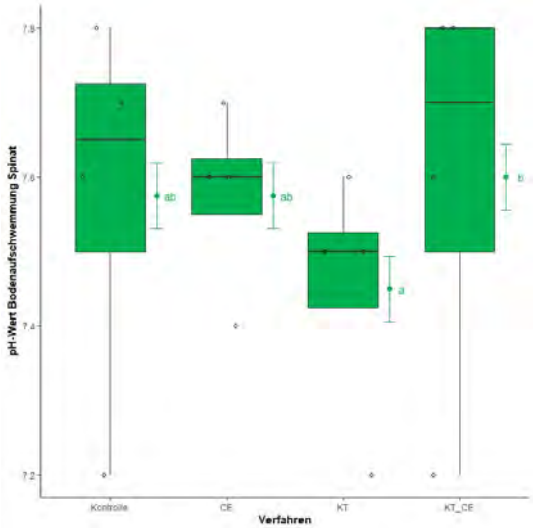


Abb. 145: Effektplot (Lineares Modell) pH zwischen Applikationen; Verfahren Boden Spinat

4.1.2.3.3 EC **vor & nach** Applikation

Der tiefste AIC-Wert wurde mit dem Modell «Datum * Zeitpunkt + Verfahren» eruiert. Es zeigten sich mit dem Modell der fixen Effekte keine Signifikanzen (vgl. Tab. 45). Dennoch wurde beim Datum ein signifikant tieferer EC-Wert bei der zweiten Messung am 26.03.2023 (a) gegenüber der ersten Messung (b) festgestellt (p=0.0008) (vgl. Abb. 147). Eine weitere Signifikanz zeigt sich beim Verfahren «KT» (b) gegenüber «CE» (a) (p=0.0381) (vgl. Abb. 148). Die Interaktion Zeitpunkt und Datum ist in Abb. 146 ersichtlich.

Tab. 45: Fixe Effekte (Lineares Modell) EC vor_nach Applikation; Zeitpunkt * Datum + Verfahren Boden Spinat

	Messwert_EC_Boden_S		
Predictors	*Estimates*	*CI*	*p*
(Intercept)	0.58	0.40 – 0.76	**<0.001**
Verfahren [CE]	-0.06	-0.26 – 0.13	0.465
Verfahren [KT]	0.14	-0.05 – 0.33	0.131
Verfahren [KT_CE]	-0.01	-0.20 – 0.18	0.890
Datum2023-03-26	-0.17	-0.36 – 0.03	0.082
Zeitpunkt [2]	0.03	-0.17 – 0.22	0.770
Datum2023-03-26:Zeitpunkt2	-0.26	-0.53 – 0.01	0.060
Observations	16		
R^2 / R^2 adjusted	0.809 / 0.682		

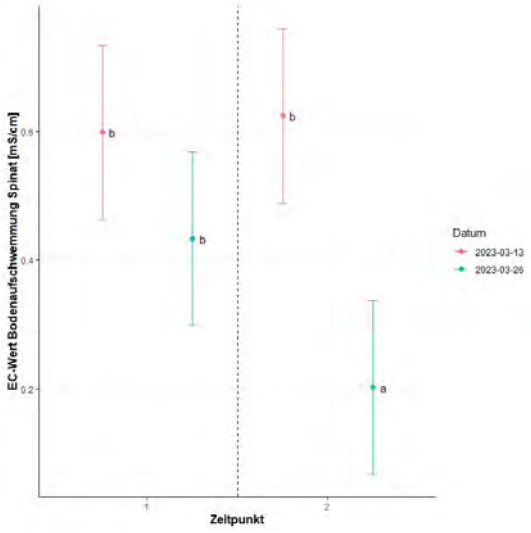


Abb. 146: Effektplot (Lineares Modell) EC vor_nach Applikation; Zeitpunkt * Datum + Verfahren Boden Spinat

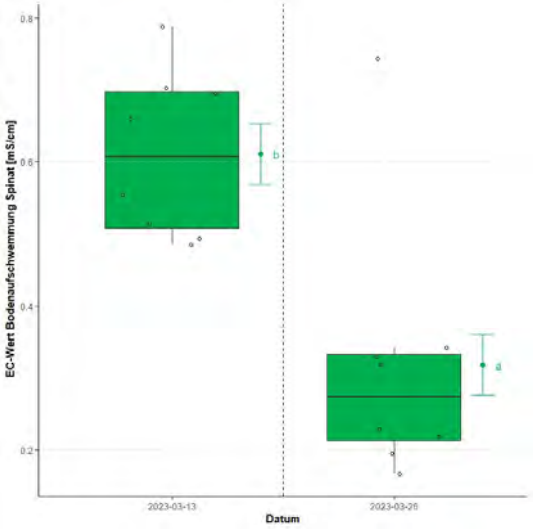


Abb. 147: Effektplot (Lineares Modell) EC vor_nach Applikation; Datum Boden Spinat

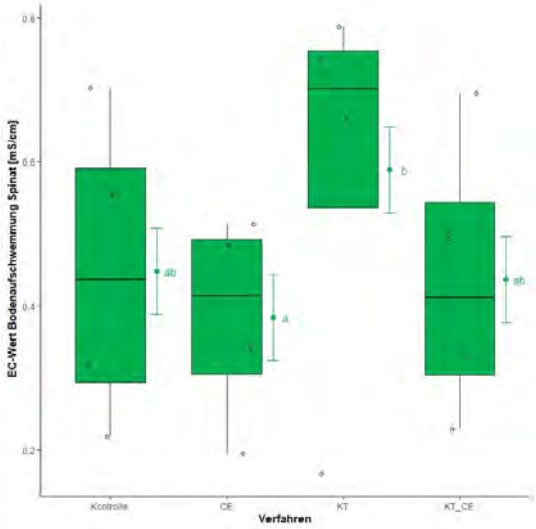


Abb. 148: Effektplot (Lineares Modell) EC vor_nach Applikation; Verfahren Boden Spinat

4.1.2.3.4 EC **zwischen** Applikationen

Es zeigen sich Signifikanzen vom 31.03.2023 (a) (p=0.022) und 02.04.2023 (a) (p=0.008) gegenüber dem Referenzdatum, 13.03.2023 (b), ab (vgl. Tab. 46, Abb. 150). Zusätzlich ergibt sich eine Signifikanz zwischen dem Verfahren «CE» (a) und «KT» (b) (p=0.0356) (vgl. Abb. 151). Die Interaktion Verfahren und Datum ist in Abb. 149 zu sehen.

Tab. 46: Fixe Effekte (Lineares Modell) EC zwischen Applikationen; Verfahren + Datum Boden Spinat

	Messwert_EC_Boden_S		
Predictors	*Estimates*	*CI*	*p*
(Intercept)	0.56	0.40 – 0.73	**<0.001**
Verfahren [CE]	-0.04	-0.21 – 0.14	0.656
Verfahren [KT]	0.15	-0.02 – 0.33	0.075
Verfahren [KT_CE]	0.02	-0.16 – 0.19	0.813
Datum2023-03-26	-0.17	-0.34 – 0.01	0.061
Datum2023-03-31	-0.21	-0.39 – -0.04	**0.022**
Datum2023-04-02	-0.26	-0.43 – -0.08	**0.008**
Observations	16		
R^2 / R^2 adjusted	0.688 / 0.481		

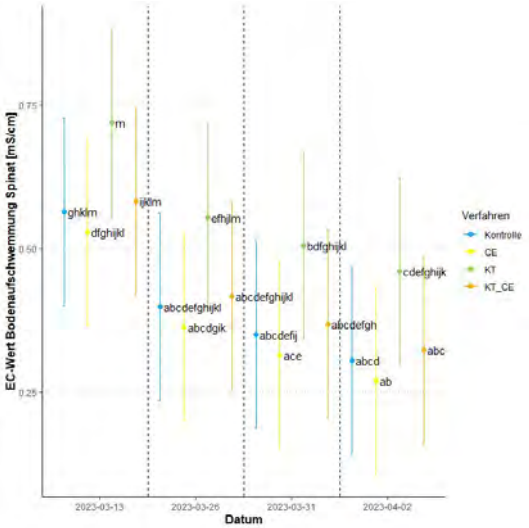


Abb. 149: Effektplot (Lineares Modell) EC zwischen Applikationen; Verfahren + Datum Boden Spinat

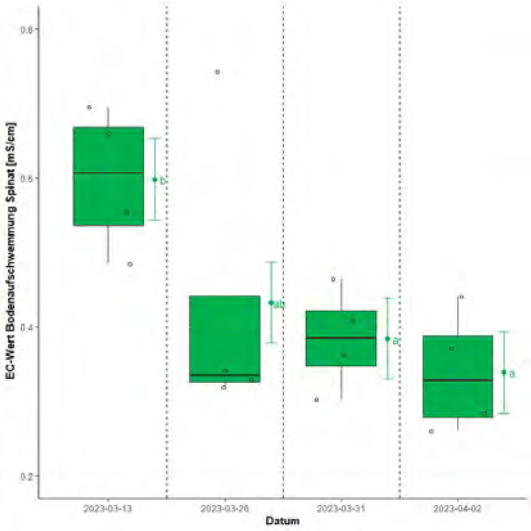


Abb. 150: Effektplot (Lineares Modell) EC zwischen Applikationen; Datum Boden Spinat

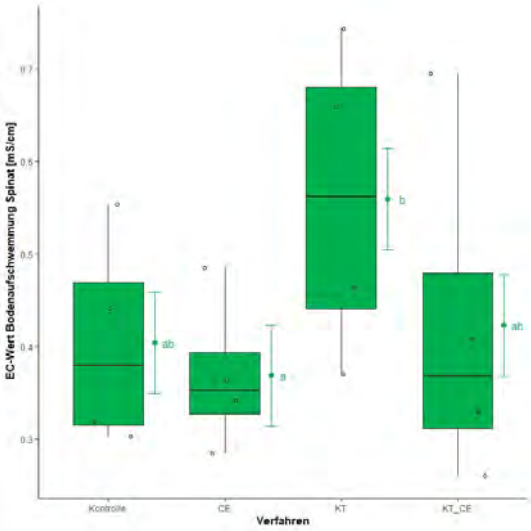


Abb. 151: Effektplot (Lineares Modell) EC zwischen Applikationen; Verfahren Boden Spinat

4.1.2.4 Temperaturunterschiede

Beim Vergleich der Blatttemperatur der jungen Blätter zur Luft zeigt sich, dass beim Radiesli die Verfahren «KT» und «KT_CE» signifikant grössere Temperaturunterschiede aufweisen und eine kühlere Blattoberfläche haben. Beim Spinat zeigt sich diese Signifikanz auch beim Verfahren «KT_CE». Beim Vergleich der Blatttemperatur der älteren Blätter zur Luft zeigt sich beim Radiesli, dass wiederum «KT_CE» und «KT» signifikant grössere Temperaturunterschiede aufweisen und eine kühlere Blattoberfläche haben. Das Verfahren «KT_CE» ist bei Spinat knapp nicht signifikant. Beim Vergleich der Blatttemperatur des Unkrautes zur Luft zeigt sich beim Unkraut im Radiesli-Plot, dass das Verfahren «KT_CE» signifikant grössere Temperaturunterschiede gegenüber der «Kontrolle» aufweist und entsprechend auch die Blatttemperatur des Unkrautes im Vergleich zur «Kontrolle» wesentlich kühler ist. Beim Unkraut in den Spinat-Plots zeigt «KT» eine signifikant kleinere Temperaturdifferenz gegenüber «KT_CE» und «CE» auf.

4.1.2.4.1 Radiesli

Bei den Messungen der **<u>jungen Blätter im Vergleich zur Lufttemperatur</u>** wurde der tiefste AIC-Wert beim Modell «Verfahren * Datum gefunden. Es zeigt sich eine Signifikanz beim Datum 02.04.2023 (b) gegenüber dem Referenzdatum, 26.03.2023 (a) (p=0.009) (vgl. Abb. 153), sowie am 02.04.2023 zwischen dem Verfahren «KT_CE» (a) und «Kontrolle» (cd) (p=0.03) (vgl. Tab. 47, Abb. 152). Zudem zeigt sich eine weitere Signifikanz zwischen den Verfahren «KT» (a) und «Kontrolle» (b) (p=0.0067), «KT_CE» (a) und «Kontrolle» (b) (p=0.0081), «KT» (a) und «CE» (b) (p=0.0028), sowie «KT_CE» (a) und «CE» (b) (p=0.0034) (vgl. Abb. 154). Somit zeigen die Verfahren «KT» und «KT_CE» über alle Daten hinweg die grösste Temperaturdifferenz zur Luft.

Tab. 47: Fixe Effekte (Lineares Modell) Temperaturdifferenz junges Blatt zur Luft; Verfahren * Datum Radiesli

	Diff_Blatt_jung_zu_Luft_R		
Predictors	*Estimates*	*CI*	*p*
(Intercept)	-1.30	-1.86 – -0.74	**<0.001**
Verfahren [CE]	-0.30	-1.09 – 0.49	0.448
Verfahren [KT]	-0.40	-1.19 – 0.39	0.314
Verfahren [KT_CE]	-0.35	-1.14 – 0.44	0.377
Datum2023-03-31	-0.08	-0.87 – 0.72	0.849
Datum2023-04-02	1.08	0.28 – 1.87	**0.009**
VerfahrenCE:Datum2023-03-31	0.73	-0.40 – 1.85	0.199
VerfahrenKT:Datum2023-03-31	0.23	-0.90 – 1.35	0.687
VerfahrenKT_CE:Datum2023-03-31	0.40	-0.72 – 1.52	0.475
VerfahrenCE:Datum2023-04-02	0.40	-0.72 – 1.52	0.475
VerfahrenKT:Datum2023-04-02	-0.97	-2.10 – 0.15	0.087
VerfahrenKT_CE:Datum2023-04-02	-1.25	-2.37 – -0.13	**0.030**
Observations	48		
R^2 / R^2 adjusted	0.556 / 0.420		

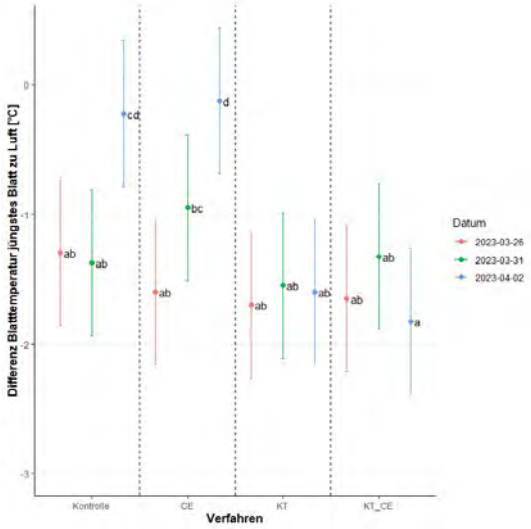


Abb. 152: Effektplot (Lineares Modell) Temperaturdifferenz junges Blatt zur Luft; Verfahren * Datum Radiesli

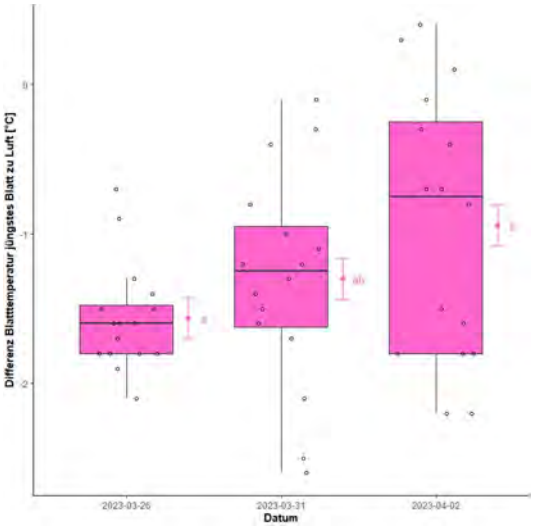


Abb. 153: Effektplot (Lineares Modell) Temperaturdifferenz junges Blatt zur Luft; Datum Radiesli

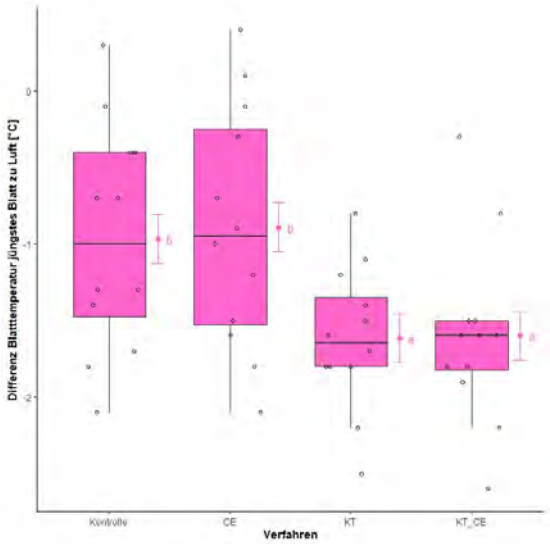


Abb. 154: Effektplot (Lineares Modell) Temperaturdifferenz junges Blatt zur Luft; Verfahren Radiesli

Bei den Messungen der **<u>alten Blätter im Vergleich zur Lufttemperatur</u>** wurde der tiefste AIC-Wert beim Modell «Verfahren * Datum gefunden. Es zeigen sich Signifikanzen zwischen dem 31.03.2023 (a) (p=<0.001), sowie dem 02.04.2023 (c) (p=0.001) und dem Referenzdatum, 26.03.2023 (b) (vgl. Tab. 48, Abb. 156). Die grössten Blatttemperaturdifferenzen wurden entsprechend am 31.03.2023 gemessen. Weiter gibt es wesentliche Unterschiede am 02.04.2023 zwischen dem Verfahren «KT» (b)

(p=0.014), wie auch «KT_CE» (b) (p=0.032) und der «Kontrolle» (c) (vgl. Tab. 48, Abb. 155). Unabhängig des Datums zeigen sich Verfahrenssignifikanzen zwischen «KT» (ab) (p=0.0473), wie auch «KT_CE» (a) (p=0.0024) zur «Kontrolle» (c), sowie zusätzlich «KT_CE» (a) zu «CE» (bc) (p=0.0031) (vgl. Abb. 157).

Tab. 48: Fixe Effekte (Lineares Modell) Temperaturdifferenz altes Blatt zur Luft; Verfahren * Datum Radiesli

	Diff_Blatt_alt_zu_Luft_R		
Predictors	*Estimates*	*CI*	*p*
(Intercept)	-1.40	-1.84 – -0.96	**<0.001**
Verfahren [CE]	-0.23	-0.85 – 0.40	0.472
Verfahren [KT]	-0.18	-0.80 – 0.45	0.575
Verfahren [KT_CE]	-0.48	-1.10 – 0.15	0.133
Datum2023-03-31	-1.55	-2.18 – -0.92	**<0.001**
Datum2023-04-02	1.07	0.45 – 1.70	**0.001**
VerfahrenCE:Datum2023-03-31	0.30	-0.59 – 1.19	0.497
VerfahrenKT:Datum2023-03-31	0.55	-0.34 – 1.44	0.217
VerfahrenKT_CE:Datum2023-03-31	0.65	-0.24 – 1.54	0.146
VerfahrenCE:Datum2023-04-02	0.33	-0.56 – 1.21	0.462
VerfahrenKT:Datum2023-04-02	-1.12	-2.01 – -0.24	**0.014**
VerfahrenKT_CE:Datum2023-04-02	-0.97	-1.86 – -0.09	**0.032**
Observations	48		
R^2 / R^2 adjusted	0.839 / 0.790		

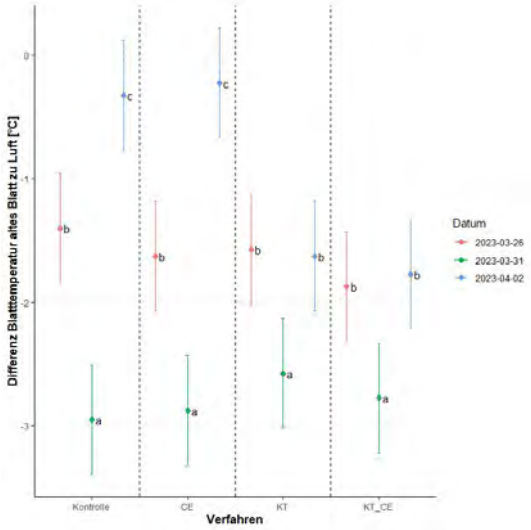


Abb. 155: Effektplot (Lineares Modell) Temperaturdifferenz altes Blatt zur Luft; Verfahren * Datum Radiesli

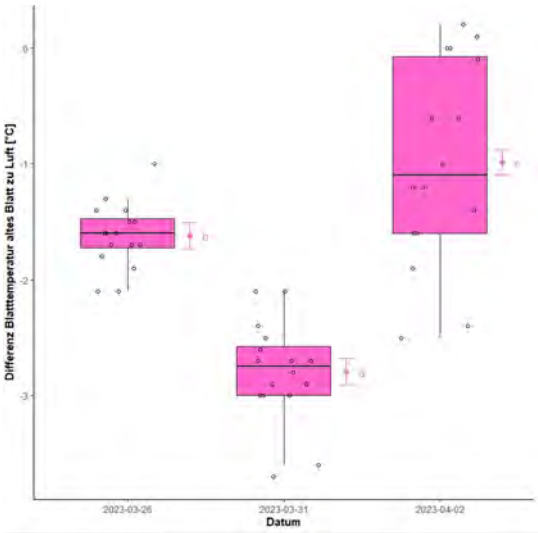


Abb. 156: Effektplot (Lineares Modell) Temperaturdifferenz altes Blatt zur Luft; Datum Radiesli

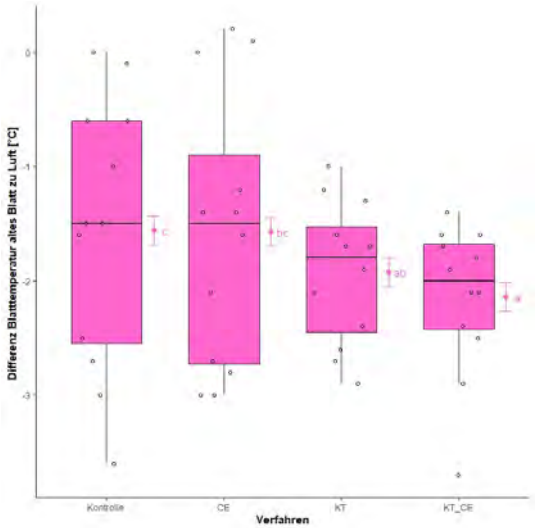


Abb. 157: Effektplot (Lineares Modell) Temperaturdifferenz altes Blatt zur Luft; Verfahren Radiesli

Bei den Messungen der **<u>Unkrautblätter im Vergleich zur Lufttemperatur</u>** wurde der tiefste AIC-Wert beim Modell «Verfahren + Datum gefunden. Signifikanzen zeigen sich zwischen dem Verfahren «KT_CE» (a) und der «Kontrolle» (b) (p=0.012) (vgl. Tab. 49, Abb. 160). Weiter gibt es wesentliche Unterschiede zwischen den beiden letzten Messungen (b) (31.03.2023; p=<0.001 / 02.04.2023; p=0.01) und dem Referenzdatum (a) (vgl. Abb. 159). Die Interaktionen Datum und Verfahren sind in Abb. 158 ersichtlich.

Tab. 49: Fixe Effekte (Lineares Modell) Temperaturdifferenz Unkraut zur Luft; Verfahren + Datum Radiesli

	Diff_Unkraut_zu_Luft_R		
Predictors	*Estimates*	*CI*	*p*
(Intercept)	-0.95	-1.46 – -0.45	**<0.001**
Verfahren [CE]	-0.18	-0.77 – 0.40	0.531
Verfahren [KT]	-0.36	-0.94 – 0.23	0.224
Verfahren [KT_CE]	-0.77	-1.35 – -0.18	**0.012**
Datum2023-03-31	1.18	0.67 – 1.69	**<0.001**
Datum2023-04-02	0.68	0.17 – 1.19	**0.010**
Observations	48		
R^2 / R^2 adjusted	0.415 / 0.346		

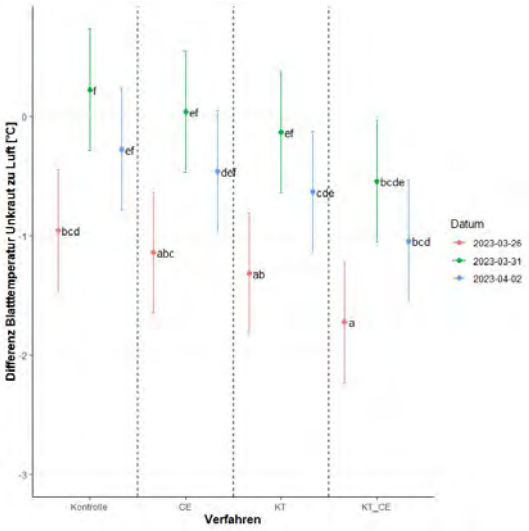


Abb. 158: Effektplot (Lineares Modell) Temperaturdifferenz Unkraut zur Luft; Verfahren + Datum Radiesli

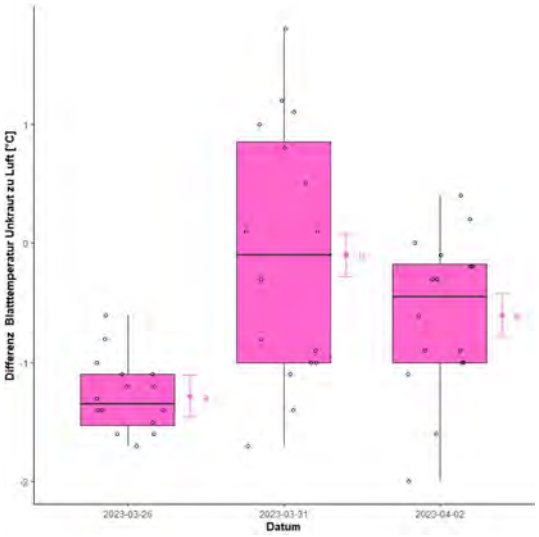


Abb. 159: Effektplot (Lineares Modell) Temperaturdifferenz Unkraut zur Luft; Datum Radiesli

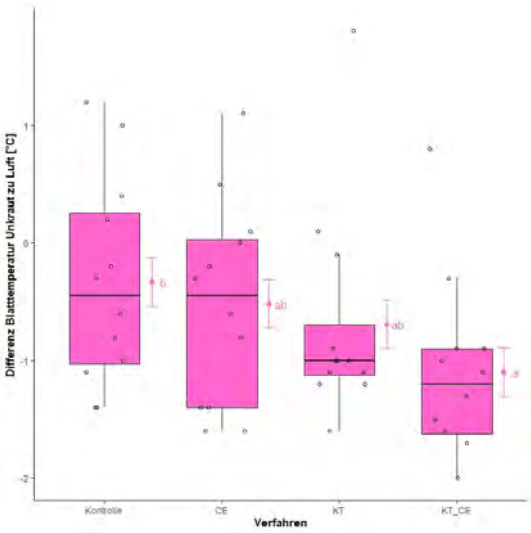


Abb. 160: Effektplot (Lineares Modell) Temperaturdifferenz Unkraut zur Luft; Verfahren Radiesli

4.1.2.4.2 Spinat

Bei den Messungen der **<u>jungen Blätter im Vergleich zur Lufttemperatur</u>** wurde der tiefste AIC-Wert beim Modell «Verfahren * Datum gefunden. Signifikanzen wurden bei den zwei letzten Messungen (31.03.2023 (a); p=0.004 / 02.04.2023 (c); p=0.001) gegenüber dem Referenzdatum (b), 26.03.2023 gefunden, wobei sich diese beiden letzten Daten zusätzlich signifikant voneinander unterscheiden (p=<0.001) (vgl. Tab. 50, Abb. 162). Das Verfahren «KT_CE» (bcd) unterscheidet sich zudem signifikant am 02.04.2023 von der Kontrolle (e) (p=0.04) (vgl. Tab. 50, Abb. 161). Datumsunabhängig zeigt sich «KT_CE» (a) mit signifikant grösser Temperaturdifferenz von Blatt zu Luft gegenüber der «Kontrolle» (b) (p=0.0255), «CE» (b) (p=0.0054) und «KT» (b) (p=0.001) (vgl. Abb. 163).

Tab. 50: Fixe Effekte (Lineares Modell) Temperaturdifferenz junges Blatt zur Luft; Verfahren * Datum Spinat

	Diff_Blatt_jung_zu_Luft_S		
Predictors	*Estimates*	*CI*	*p*
(Intercept)	-2.27	-2.80 – -1.75	**<0.001**
Verfahren [CE]	-0.40	-1.14 – 0.34	0.281
Verfahren [KT]	0.32	-0.42 – 1.07	0.380
Verfahren [KT_CE]	-0.45	-1.19 – 0.29	0.226
Datum2023-03-31	-1.13	-1.87 – -0.38	**0.004**
Datum2023-04-02	1.27	0.53 – 2.02	**0.001**
VerfahrenCE:Datum2023-03-31	1.00	-0.05 – 2.05	0.061
VerfahrenKT:Datum2023-03-31	-0.02	-1.07 – 1.02	0.962
VerfahrenKT_CE:Datum2023-03-31	0.98	-0.07 – 2.02	0.067
VerfahrenCE:Datum2023-04-02	0.60	-0.45 – 1.65	0.253
VerfahrenKT:Datum2023-04-02	-0.15	-1.20 – 0.90	0.773
VerfahrenKT_CE:Datum2023-04-02	-1.10	-2.15 – -0.05	**0.040**
Observations	48		
R^2 / R^2 adjusted	0.790 / 0.725		

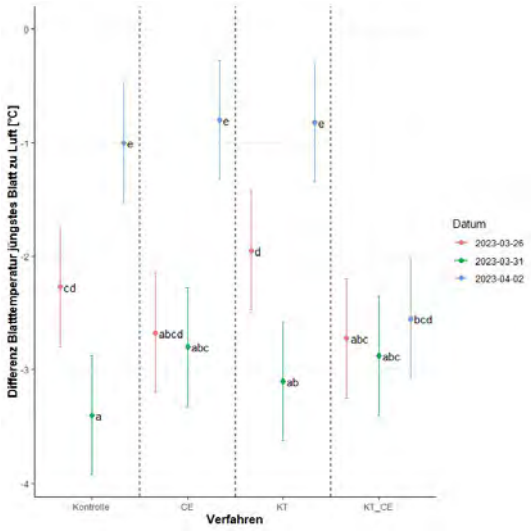


Abb. 161: Effektplot (Lineares Modell) Temperaturdifferenz junges Blatt zur Luft; Verfahren * Datum Spinat

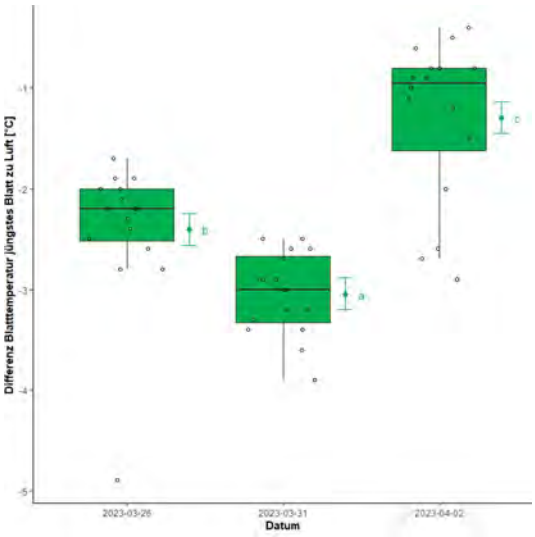


Abb. 162: Effektplot (Lineares Modell) Temperaturdifferenz junges Blatt zur Luft; Datum Spinat

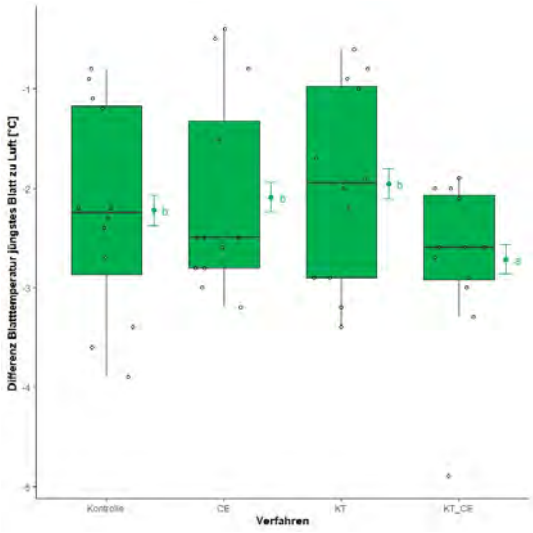


Abb. 163: Effektplot (Lineares Modell) Temperaturdifferenz junges Blatt zur Luft; Verfahren Spinat

Bei den Messungen der **<u>alten Blätter im Vergleich zur Lufttemperatur</u>** wurde der tiefste AIC-Wert beim Modell «Verfahren * Datum gefunden. Signifikanzen wurden bei den zwei letzten Messungen (31.03.2023 (a); p=0.001 / 02.04.2023 (c); p=<0.001) gegenüber dem Referenzdatum (b), 26.03.2023 gefunden, wobei sich diese beiden letzten Daten zusätzlich signifikant voneinander unterscheiden (p=<0.001) (vgl. Tab. 51, Abb. 165). Die Verfahren «CE» (bc) (p=0.04), sowie «KT_CE» (cd) (p=0.015) unterscheiden sich zudem signifikant am 31.03.2023 von der Kontrolle (ab) (vgl. Tab. 51Abb. 164). Zusätzlich unterscheidet sich das Verfahren «KT_CE» (d) am 02.04.2023 signifikant von der «Kontrolle» (e) (p=0.045) (vgl. Tab. 51Abb. 164).). Obwohl das Verfahren «CE» in Tab. 51 als signifikant zur Kontrolle angesehen wird (Verfahren*Datum), zeigt es im Verfahrensvergleich keine Signifikanz, gleich wie die anderen Verfahren (vgl. Abb. 166). Das Verfahren «KT_CE» zeigt den tiefsten adjustierten Mittelwert, bleibt jedoch mit einem p-Wert von 0.0582 knapp nicht signifikant.

Tab. 51: Fixe Effekte (Lineares Modell) Temperaturdifferenz altes Blatt zur Luft; Verfahren * Datum Spinat

	Diff_Blatt_alt_zu_Luft_S		
Predictors	*Estimates*	*CI*	*p*
(Intercept)	-2.10	-2.58 – -1.62	**<0.001**
Verfahren [CE]	-0.73	-1.40 – -0.05	**0.036**
Verfahren [KT]	0.20	-0.47 – 0.87	0.551
Verfahren [KT_CE]	-0.45	-1.12 – 0.22	0.184
Datum2023-03-31	-1.18	-1.85 – -0.50	**0.001**
Datum2023-04-02	1.55	0.88 – 2.22	**<0.001**
VerfahrenCE:Datum2023-03-31	1.00	0.05 – 1.95	**0.040**
VerfahrenKT:Datum2023-03-31	-0.67	-1.63 – 0.28	0.159
VerfahrenKT_CE:Datum2023-03-31	1.20	0.25 – 2.15	**0.015**
VerfahrenCE:Datum2023-04-02	0.93	-0.03 – 1.88	0.057
VerfahrenKT:Datum2023-04-02	-0.57	-1.53 – 0.38	0.229
VerfahrenKT_CE:Datum2023-04-02	-0.97	-1.93 – -0.02	**0.045**
Observations	48		
R^2 / R^2 adjusted	0.865 / 0.824		

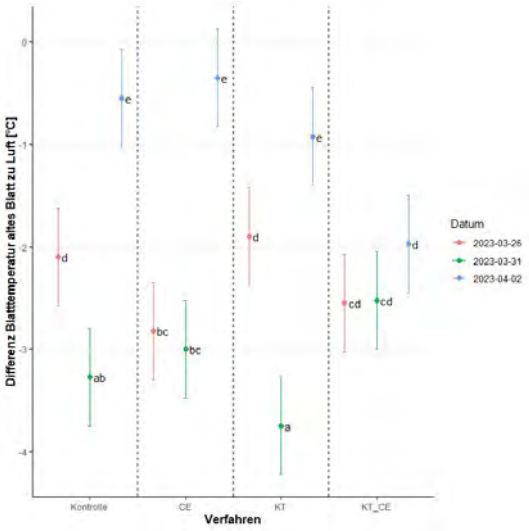


Abb. 164: Effektplot (Lineares Modell) Temperaturdifferenz altes Blatt zur Luft; Verfahren * Datum Spinat

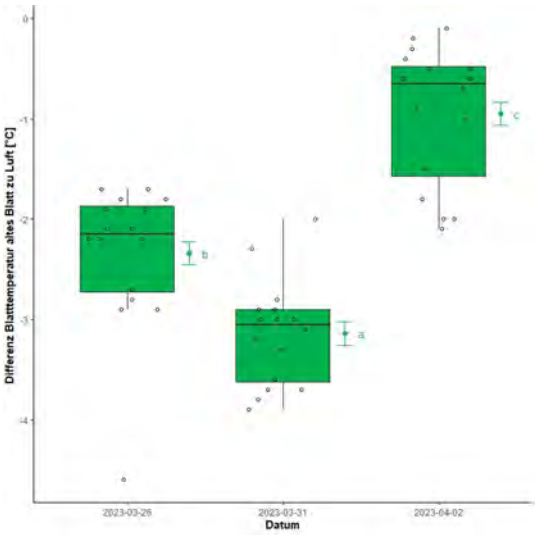


Abb. 165: Effektplot (Lineares Modell) Temperaturdifferenz altes Blatt zur Luft; Datum Spinat

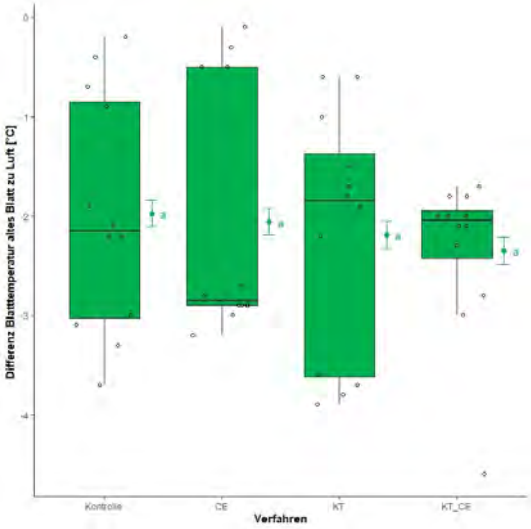


Abb. 166: Effektplot (Lineares Modell) Temperaturdifferenz altes Blatt zur Luft; Verfahren Spinat

Bei den Messungen der **<u>Unkrautblätter im Vergleich zur Lufttemperatur</u>** wurde der tiefste AIC-Wert beim Modell «Verfahren * Datum gefunden. Signifikanzen wurden bei den zwei letzten Messungen (31.03.2023 (a); p=0.033 / 02.04.2023 (c); p=0.017) gegenüber dem Referenzdatum (b), 26.03.2023 gefunden, wobei sich diese beiden letzten Daten zusätzlich signifikant voneinander unterscheiden (p=<0.001) (vgl. Tab. 52, Abb. 168). Das Verfahren «KT» (f) unterscheidet sich zudem signifikant am 02.04.2023 von der Kontrolle (e) (p=0.029) (vgl. Tab. 52, Abb. 167). Datumsunabhängig zeigt sich «KT» (b) mit signifikant tieferen Temperaturdifferenz von Blatt zu Luft gegenüber «CE» und «KT_CE» (a) (p=0.0269) (vgl. Abb. 169).

Tab. 52: Fixe Effekte (Lineares Modell) Temperaturdifferenz Unkraut zur Luft; Verfahren * Datum Spinat

	Diff_Unkraut_zu_Luft_S		
Predictors	*Estimates*	*CI*	*p*
(Intercept)	-2.33	-2.83 – -1.82	**<0.001**
Verfahren [CE]	-0.12	-0.84 – 0.59	0.723
Verfahren [KT]	0.33	-0.39 – 1.04	0.360
Verfahren [KT_CE]	-0.12	-0.84 – 0.59	0.723
Datum2023-03-31	-0.77	-1.49 – -0.06	**0.033**
Datum2023-04-02	0.88	0.16 – 1.59	**0.017**
VerfahrenCE:Datum2023-03-31	-0.08	-1.08 – 0.93	0.881
VerfahrenKT:Datum2023-03-31	-0.95	-1.95 – 0.05	0.063
VerfahrenKT_CE:Datum2023-03-31	0.63	-0.38 – 1.63	0.215
VerfahrenCE:Datum2023-04-02	0.20	-0.80 – 1.20	0.689
VerfahrenKT:Datum2023-04-02	1.12	0.12 – 2.13	**0.029**
VerfahrenKT_CE:Datum2023-04-02	-0.50	-1.50 – 0.50	0.320
Observations	48		
R^2 / R^2 adjusted	0.830 / 0.778		

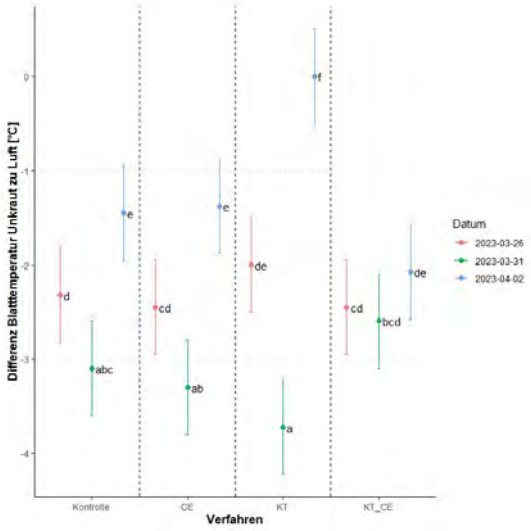


Abb. 167: Effektplot (Lineares Modell) Temperaturdifferenz Unkraut zur Luft; Verfahren * Datum Spinat

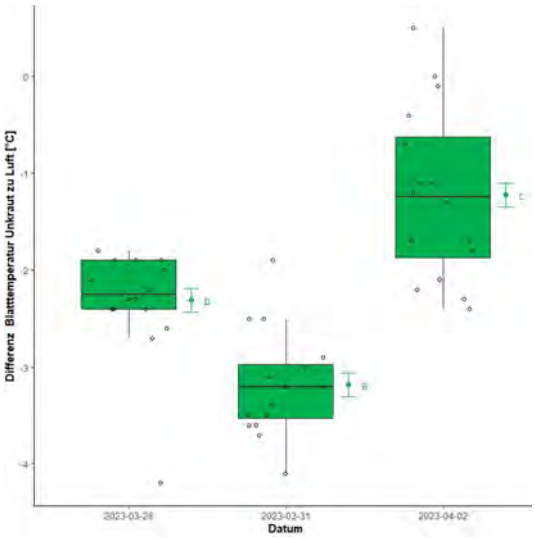


Abb. 168: Effektplot (Lineares Modell) Temperaturdifferenz Unkraut zur Luft; Datum Spinat

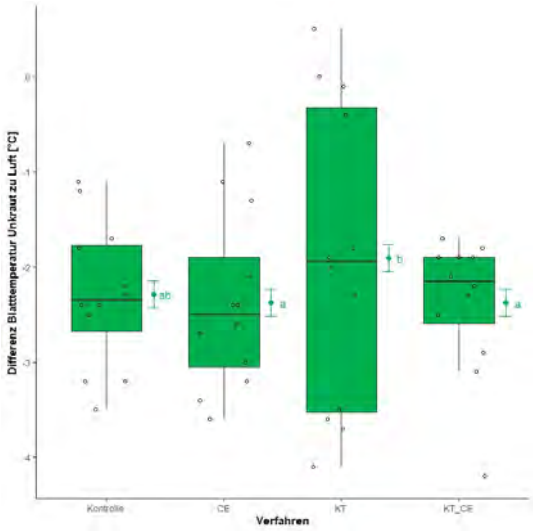


Abb. 169: Effektplot (Lineares Modell) Temperaturdifferenz Unkraut zur Luft; Verfahren Spinat

4.1.2.5 Teildiskussion Statistischer Vergleich zwischen Verfahrensmessungen während Vegetationsperiode

Auf Empfehlung von Simon Jöhr wurde die Blattmasse zuerst gemörsert und dann erst gepresst, um den Saft zu extrahieren (Jöhr 2023a, persönliche Mitteilung). Seinerseits wurde nämlich festgestellt, dass je nach Pflanze das Pressen alleine nicht reicht, um die Zellen genügend zu zerstören und somit die BRIX-Werte viel tiefer liegen. Dieses Vorgehen wird auch von Näser (2021, 113) aufgezeigt. Aufgrund des zeitintensiven Verfahrens dieser Messungen, wurden sie nicht immer zum gleichen, noch zum besten Zeitpunkt durchgeführt. So fluktuieren BRIX-Werte im Tagesverlauf mit höchstem Niveau am frühen Nachmittag aufgrund der bereits erreichten Photosyntheseleistung, während am Abend und durch die Nacht der Zucker eingelagert oder verbraucht wird (Kempf 2020). Zudem reagieren Pflanzen sehr stark auf Wetterveränderungen und spüren Sturmfronten bereits Tage im Voraus mit der Reaktion, Zucker in die Wurzeln einzulagern, um eine schnelle Erholung zu fördern (Kempf 2020). Das Wetter war während des Versuchs sehr wechselhaft und stürmisch, sowie meistens bewölkt oder Regen (vgl. Abb. 33). Die

eher tiefen BRIX-Werte könnten darauf zurückzuführen sein. Laut Näser (2021, 102) sollte die Wirkung vom Komposttee beim BRIX ein bis zwei Stunden nach der Applikation mit einer Erhöhung von 1-2% auf der BRIX-Skala ersichtlich sein. Diese Verbesserung war bei beiden Kulturen am zweiten Datum auch ersichtlich, ausser beim Spinat «Kontrolle», wo der gleiche Wert gemessen wurden. Die BRIX-Messungen nach der Applikation wurden am ersten Datum erst in der Nacht durchgeführt, was sicherlich nicht ideal war. Die bei der «Kontrolle» und «CE» von Radiesli tieferen Werte dieser Messungen deuten jedoch darauf hin, dass die Zuckertransporte innerhalb der Pflanze funktionieren und eine gute Borversorgung vorhanden sein sollte (vgl. Hörner 2020a). Bei Bormangel wird der Zucker in den Blättern gehalten und kann den Mikroorganismen in der Rhizosphäre nicht als Nahrung dienen (Hörner 2020a). Die Radiesli BRIX-Werte von «KT» blieben zwischen der Messung vor und nach der Applikation gleich, während bei «KT_CE» der Wert anstieg. Verglichen mit der Blattsaftanalyse von NovaCropControl (vgl. Kapitel 4.1.4.11) zeigt sich ein Bor-Mangel bei allen Radiesli-Verfahren. Durchschnittliche BRIX-Messwerte bewegen sich laut Murakami et al. (2021) um 8. Diese Werte wurden beim Spinat nie erreicht. Tiefe BRIX-Werte können nach Hörner (2020a) und Näser (2021, 111) mit hohen Nitratgehalten korrelieren, da ein Verdünnungseffekt durch die damit einhergehende Wasseraufnahme entsteht. Verglichen mit dem Nitrat-Optimum von NovaCropControl zeigen sich die Horiba-LaquaTwin-Messungen vom 02. April 2023 im zu hohen Bereich und könnten für diese Erklärung sprechen (vgl. Tab. 79, Tab. 80). Obwohl laut Hörner (2020a) sich ein hoher BRIX-Wert auf den Geschmack widerspiegelt, konnte dies im nebenbei durchgeführten Spinat-Sensoriktest nicht bestätigt werden, da auch die tiefen BRIX-Werte der Verfahren eine unerwartet diverse und aromatischen Geschmack lieferten (vgl. Anhang 67, S. 107). Die BRIX-Werte der Radiesli liegen am letzten Messdatum zwischen 6.5 und 8, zwar etwas höher aber immer noch im Bereich «arm» bis «durchschnittlich», wenn die Angaben zu Kohlgemüse beigezogen werden (vgl. Campbell 2013). Die Calcium-Verfügbarkeit bei der BRIX-Messung zeigt sich beim Radiesli im Verfahren «KT_CE» am tiefsten. Eine Korrelation zu den Blattsaftmessungen mit dem Horiba-Gerät kann jedoch nicht gemacht werden, da bei allen Verfahren die Calcium-Werte ähnlich waren. Verglichen mit dem Optimum von NovaCropControl waren alle Calcium Horiba-Messwerte unterhalb der gewünschten Menge (vgl. Tab. 72, Tab. 73). Bei Spinat konnte das Horiba-Gerät das Calcium nicht detektieren. Spinat ist ein Blattgemüse, das für seine hohen Oxalsäure-Werte bekannt ist (Benway und Weaver 1993). Die Oxalsäure bindet unter anderem das Calcium (Benway und Weaver 1993). Dies kann ein Grund dafür sein, dass das Horiba-Messgerät bei keiner der Messungen einen Ca-Wert aus dem Blattsaft eruieren konnte.

Für die Horiba-LaquaTwin-Geräte wurden vor den Messungen jeweils eine Zweifachkalibration (pH Dreifachkalibration) mit den zugehörigen Kalbrationsflüssigkeiten vorgenommen. Dabei wurden jeweils grössere Abweichungen festgestellt. Entsprechend sollte die Wichtigkeit einer regelmässigen Kalibrierung dieser Geräte hervorgehoben werden. Je nachdem, wie hoch die Werte im Pflanzensaft gehen, stellt sich zusätzlich die Frage, ob eine 150ppm und 2000ppm Kalibration ausreichen. Hohe Korrelationen zwischen dem Kalium- und Natriummessgerät von Horiba-LaquaTwin und einem Atomabsorptionsspektrometriegerät, respektive einem Photometer wurden bei Bananenblättern gefunden (Arunachalam et al. 2020). Beim Nitratmessgerät Horiba-LaquaTwin wurden ebenso hohe Korrelationen bei Pflanzensaft und Bodenaufschwemmung im Vergleich zum automatischen Nasschemie-Analysegeräte gefunden (Peña-Fleitas et al. 2021). Die Eignung des Feldkoffers für die Praxis wird in Kapitel 4.1.4.13 nochmals aufgenommen.

Festgestellt wurde, dass der Einsatz eines pH-Senkers sich nicht automatisch auf den pH-Wert des Blattsaftes auswirkt. Es zeigte sich vielmehr bei beiden Kulturen, dass mit voranschreitender Vegetationsdauer der pH im Blattsaft abnimmmt. Die Verfahren zeigten in beiden Kulturen keine signifikanten Unterschiede in ihrem Blattsaft-pH. Interessanterweise waren beim Radiesli «KT_CE» und beim Spinat «CE» die Verfahren, die den höchsten pH-Mittelwert im Blattsaft zeigten. Die Unterschiede sind jedoch minim. Laut Cornelissen et al. (2011) haben Pflanzen die Fähigkeit ihren pH anhand ihre eigene Optimums zu steuern. Versuche mit einem pH-Senker und unterschiedlichen tiefen bis sehr tiefen pH würden sich anerbieten um herauszufinden, ob überhaupt eine Korrelation zwischen Spritzbrühe-pH und Blattsaft-pH besteht und wie weit diese Steuerung möglich ist.

Es zeigte sich, dass beim Spinat nach einer Applikation der EC-Wert signifikant abnahm. Dieses Muster wiederholte sich jedoch nicht beim Radiesli. Der EC-Wert der Verfahrensflüssigkeit war bei «KT» und «KT_CE» signifikant höher zu den anderen Verfahren. Beim Spinat zeigte sich «KT_CE» vor und nach der Applikation mit einem wesentlich höheren EC-Wert, zusätzlich beim Radiesli das Verfahren «CE». Zwischen den Applikationen hingegen zeigten sich wiederum keine Signifikanzen. Ein höherer EC-Wert in der Spritzbrühe hat demzufolge keine wesentlichen Auswirkungen auf den EC-Wert im Pflanzensaft. Beobachtet wurde eindeutig eine Zunahme des EC-Wertes im Verlauf der Vegetationsperiode. Diese erhöhten EC-Werte könnten laut Näser (2021, 118) darauf hindeuten, dass Nährstoffe nicht gebunden wurden und eine Überdünung vorliegt. Sait (2008) erwähnt zudem mögliche Nitrat-Überschüsse, welche auch bei den tiefen BRIX-Werten eine mögliche Erklärung waren.

Gemäss Tab. 3 kann ein tiefer BRIX, ein hoher EC und ein erhöhter pH auf folgendes deuten: Nicht gebundene Ionen, Fehlendes Bodenleben, Nitrat-Stickstoff auf zu hohem Niveau, Fehlen von Sulfat, Phosphat oder Magnesium. Das Bodenleben wird anhand der Boden-Chroms im Kapitel 4.1.6.1 aufgenommen, deutet aber darauf hin, dass mikrobielle Aktivität vorhanden ist. Der erhöhte Nitrat-Stickstoff wurde bereits mehrmals angesprochen und ist auch tatsächlich aufzufinden. Diese ist bei beiden Kulturen hoch und sollte laut NovaCropControl (2023a) so tief als möglich sein. Zwischen den Verfahren wurde nur beim Spinat «KT_CE» signifikant höhere Werte gemessen. Die Nitratwerte nahmen hauptsächlich zwischen der ersten und der zweiten Messung signifikant zu, was dafürspricht, dass der am 10.01.2023 gedüngte Azocor-Dünger (10.5% N) durch wärmere Temperaturen mineralisiert und pflanzenverfügbar gemacht wurde. Erhöhte Nitratwerte in Kombination mit tiefen BRIX-Werten führen laut Hörner (2020b) zu verstärktem Schädlingsbefall. Da während dem Versuch kein Schädlingsbefall aufzuzeichnen war, kann diese Aussage nicht bewertet werden.

Auch die restlichen Horiba-LaquaTwin Messungen zu den Nährstoffen zeigten mehrheitlich Signifikanzen zwischen den Messdaten und nicht zwischen den Verfahren. Durch das Wachstum der Pflanze und der zunehmenden Mineralisierung im Boden ändert sich die Nährstoffverfügbarkeit im Boden und die Nährstoffzusammensetzung der Pflanze. Eine Differenzierung zwischen alten und jungen Blättern wurde nicht gemacht, da am Anfang sowieso zu wenig Blattmasse dafür vorhanden gewesen wäre. Die Kalium-Werte sind laut der Empfehlung von NovaCropControl tendenziell etwas zu tief. Zu hohe Stickstoffgaben können laut Hörner (2020b) Kalium-Mängel herbeirufen. Die Stickstoffgabe von 73.5kg N_{ver}/ha unterliegt den Düngungsnormen von Spinat im Gewächshaus (100kg N) und übersteigt die von Radiesli (60kg N) (vgl. Sinaj und Richner 2017, 10/8). Möglich ist, dass sich aufgrund der Gewächshaussituation relativ viel Stickstoff angereichert hat, der wenig ausgewaschen wird und so für Überschüsse

sorgen kann. Beim Calcium wurden wie bereits erwähnt, nur beim Radiesli Werte angezeigt. Diese zeigen sich im Vergleich zum Optimum von NovaCropControl etwas zu tief, wobei diese bei «KT» und «KT_CE» nach einer Applikation signifikant anstiegen (vgl. Abb. 88). Dieser Effekt zeigte sich nicht bei «CE» und «Kontrolle». Eine Folgerung daraus könnte sein, dass Komposttee die Calciumwerte in der Pflanze kurzfristig erhöhen kann. Langfristig hingegen konnte der Effekt nicht bestätigt werden, da sich nur «CE» mit erhöhten Calcium-Werten von den restlichen Verfahren abhebt. Mangan kann die Aufnahme von Calcium verbessern (Baab 2015). Der gleiche Effekt zeigt sich jedoch nicht bei «KT_CE». Das Natrium konnte beim Radiesli mit «KT_CE» signifikant gesenkt werden und auch «KT» zeigt tiefere Mittelwerte an. Bei Radiesli sind die Natrium-Werte im Vergleich zum Optimum von NovaCropControl etwas erhöht, während sie beim Spinat schon etwas zu tief sind (vgl. Tab. 77, Tab. 78). Natrium kann Magnesium, Kalium und Calcium verdrängen (Zorn et al. 2016). Solche Verdrängungswirkungen zeigen sich jedoch beim Radiesli keine, auch wenn teilweise die Werte knapp am Optimum sind.

Die pH Bodenaufschwemmung steigt signifikant zwischen vor und nach er Applikation, zeigt jedoch keine verfahrensmässigen Unterschiede dabei. Einerseits wird dadurch die Aussage von Näser (2021, 119) bestätigt, anderseits zeigten auch die anderen Verfahren einen signifikanten Anstieg nach der Applikation und nicht nur die Komposttee-Verfahren. Ab der zweiten Messung ist der pH signifikant höher, stagniert danach. Verfahrensunterschiede zeigen sich zwischen den Messungen zwischen «KT_CE» mit signifikant höherem pH und «KT». «CE» und die «Kontrolle» bewegen sich auf ähnlichem Niveau zwischen den zwei. Entsprechend interessant ist wiederum der Effekt des pH-Senkers im Komposttee, der gleichzeitig einen höheren pH in der Rhizosphäre gegenüber dem normalen Komposttee-Verfahren verursacht. Es ist schwierig, konkrete Erklärungen dafür zu finden, denn die Interaktionen in der Rhizosphäre sind enorm komplex und abhängig von unzähligen Parametern (vgl. Hiltner 1904).

Laut Näser (2021, 121) sollte die Leitfähigkeit der Bodenaufschwemmung nach einer Kompostteeapplikation steigen. Eine signifikante Steigerung war in diesem Versuch jedoch nicht beobachtet worden. Beim zweiten Messdatum wurde sogar ein signifikanter Abfall zwischen Messzeitpunkt vor und nach beobachtet (vgl. Abb. 146). Trotz hohen Salzgehalten im Boden (vgl. Tab. 76) zeigen sich im EC-Wert der Bodenaufschwemmung keine Werte über 0.8mS/cm. Werte über 1.2mS/cm deuten laut Näser (2021, 122) auf Salzstress hin.

Messungsschwankungen wurden zudem beim Temperaturmessgerät festgestellt. Obwohl immer vier Messungen gemacht wurden, konnten sich Bedingungen innerhalb von Minuten aufgrund veränderter Sonneneinwirkung ändern. Zudem war es aufgrund der kühleren Aussentemperaturen schwierig den Hitzestress der Pflanzen zu messen. Es konnten dennoch trotzdem Unterschiede zwischen den einzelnen Verfahren eruiert werden, wobei «KT» und «KT_CE» mit grösseren Temperaturdifferenzen trumpfen konnten. Die Blatttemperaturen waren immer unterhalb der Lufttemperatur, was laut Hörner (2020b) ein gutes Zeichen ist. Ab einer Differenz von Blatt zu Luft von +4°C ist die Pflanze gestresst (Näser 2021, 126). Die Temperaturmessung des Unkrautes zeigt zudem, welche Pflanze sich an diesem Standort wohler fühlt (Hörner 2020b). So kann laut Näser (2021, 107) Unkraut durch vitalisierte Kompostteespritzungen aufgrund sichtbarer Überernährung geschwächt werden. Eine tiefere signifikante Differenz zwischen Blatt und Lufttemperatur beim Unkraut zeigte sich beim Spinat beim Verfahren «KT» gegenüber den restlichen Verfahren. Beim Radiesli zeigte jedoch die «Kontrolle» eine signifikant tiefere

Temperaturdifferenz gegenüber «KT_CE». Hitzestress wurde aufgrund der eher kalten Temperaturen nie festgestellt. Wärmere Monate würden sich für solche Messungen deutlich besser eignen.

4.1.3 Statistischer Vergleich zwischen Verfahren auf Ertragsparameter

Die folgenden Unterkapitel gehen auf die statistischen Vergleiche der Ernteerhebungen beider Kulturen ein, sowie deren Wurzellänge und Wurzelgewicht.

4.1.3.1 Radiesli

Die pro Plot geerntete Blattmasse, total Anzahl Knollen, sowie deren Gewicht, zeigt sich beim Verfahren «KT_CE» signifikant höher gegenüber der «Kontrolle». Das Gleiche gilt für die Anzahl verkäufliche Knollen, wo wiederum «KT_CE» signifikant höher liegt als die «Kontrolle». Beim Gewicht der verkäuflichen Knollen zeigt sich jedoch kein wesentlicher Unterschied mehr. Die Wurzeln von «KT_CE» sind zusätzlich signifikant länger gegenüber dem Verfahren «CE». Deren Gewicht zeigt keinen wesentlichen Unterschied zwischen den Verfahren.

4.1.3.1.1 Knollenanzahl und Knollengewicht

Bei der Auswertung der **totalen Anzahl Knollen** die geerntet wurden pro Erntefenster und Verfahren, zeigt sich eine Signifikanz vom Verfahren «KT_CE» (b) zur «Kontrolle» (a) (p=0.009) (vgl. Tab. 53, Abb. 170). Es wurden entsprechend wesentlich mehr Knollen bei diesem Verfahren geerntet.

Tab. 53: Fixe Effekte (Lineares Modell) Knollenanzahl Total; Verfahren Radiesli

		Anzahl_tot	
Predictors	*Estimates*	*CI*	*p*
(Intercept)	53.40	43.01 – 63.79	**<0.001**
Verfahren [CE]	7.20	-5.54 – 19.94	0.246
Verfahren [KT]	7.00	-5.74 – 19.74	0.258
Verfahren [KT_CE]	18.00	5.26 – 30.74	**0.009**
Random Effects			
σ^2	88.26		
$\tau_{00\ Wdh}$	29.17		
ICC	0.25		
N_{Wdh}	5		
Observations	20		
Marginal R^2 / Conditional R^2	0.271 / 0.452		

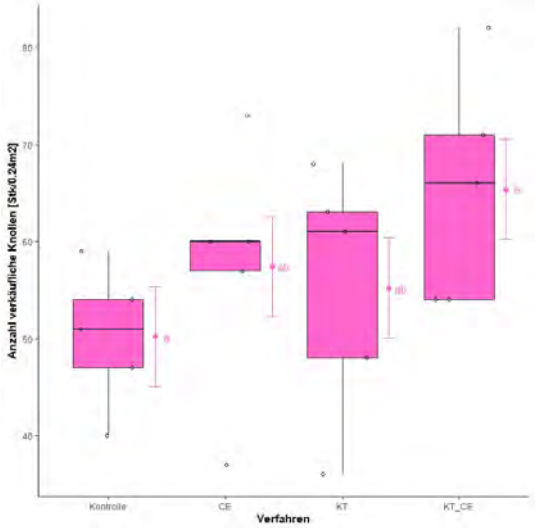


Abb. 170: Effektplot (Lineares Modell) Knollenanzahl Total; Verfahren Radiesli

Bei der Auswertung des **Gesamtgewichts der totalen Anzahl Knollen** die geerntet wurden pro Erntefenster und Verfahren, zeigt sich erneut eine Signifikanz vom Verfahren «KT_CE» (b) zur «Kontrolle» (a) (p=0.03) (vgl. Tab. 54, Abb. 171).

Tab. 54: Fixe Effekte (Lineares Modell) Gewicht totaler Anzahl Knollen; Verfahren Radiesli

		Gewicht_tot	
Predictors	*Estimates*	*CI*	*p*
(Intercept)	600.80	469.92 – 731.68	**<0.001**
Verfahren [CE]	54.00	-50.07 – 158.07	0.284
Verfahren [KT]	43.60	-60.47 – 147.67	0.384
Verfahren [KT_CE]	117.20	13.13 – 221.27	**0.030**
Random Effects			
σ^2	5885.90		
$\tau_{00\ Wdh}$	12734.03		
ICC	0.68		
N_{Wdh}	5		
Observations	20		
Marginal R^2 / Conditional R^2	0.090 / 0.712		

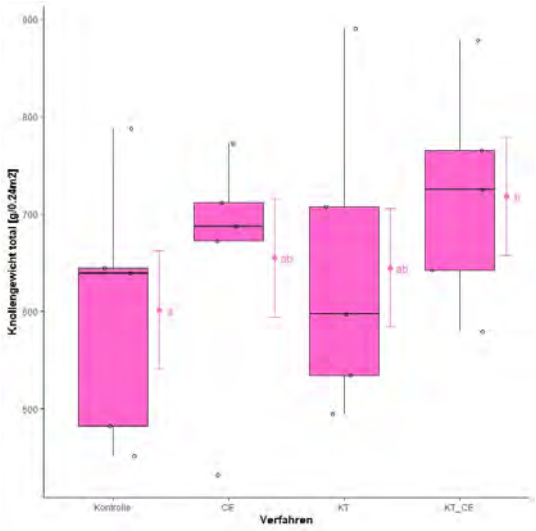


Abb. 171: Effektplot (Lineares Modell) Gewicht totaler Anzahl Knollen; Verfahren Radiesli

Bei der Auswertung der **Anzahl verkäuflicher Knollen**, zeigt sich wiederum eine Signifikanz vom Verfahren «KT_CE» (b) zur «Kontrolle» (a) (p=0.021) (vgl. Tab. 55, Abb. 172).

Tab. 55: Fixe Effekte (Lineares Modell) Anzahl verkäufliche Knollen; Verfahren Radiesli

		Anzahl_verk	
Predictors	*Estimates*	*CI*	*p*
(Intercept)	50.20	39.14 – 61.26	**<0.001**
Verfahren [CE]	7.20	-5.40 – 19.80	0.241
Verfahren [KT]	5.00	-7.60 – 17.60	0.409
Verfahren [KT_CE]	15.20	2.60 – 27.80	**0.021**
Random Effects			
σ^2	86.27		
$\tau_{00\ Wdh}$	46.60		
ICC	0.35		
N_{Wdh}	5		
Observations	20		
Marginal R^2 / Conditional R^2	0.192 / 0.476		

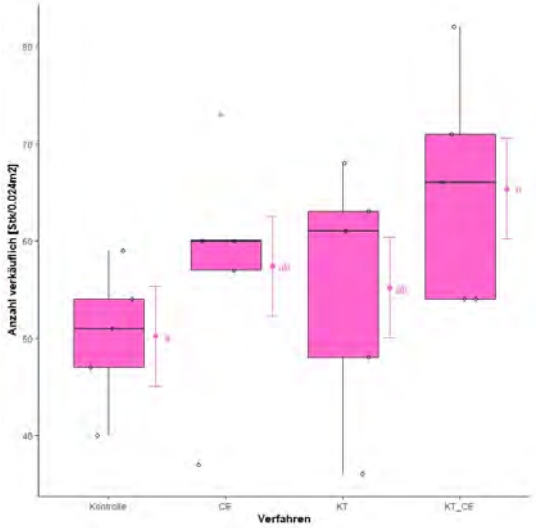


Abb. 172: Effektplot (Lineares Modell) Anzahl verkäufliche Knollen; Verfahren Radiesli

Bei der Auswertung des **Gewichts der verkäuflichen Knollen** zeigt sich keine Signifikanz zwischen den Verfahren (vgl. Tab. 56 Abb. 173). Das Verfahren «KT_CE» zeigt zwar den höchsten adjustierten Mittelwert, ist mit einem p-Wert von 0.0728 im Vergleich zur «Kontrolle» nicht signifikant.

Tab. 56: Fixe Effekte (Lineares Modell) Gewicht verkäufliche Knollen; Verfahren Radiesli

		Gewicht_verk	
Predictors	*Estimates*	*CI*	*p*
(Intercept)	594.80	456.62 – 732.98	**<0.001**
Verfahren [CE]	54.40	-61.86 – 170.66	0.333
Verfahren [KT]	32.20	-84.06 – 148.46	0.562
Verfahren [KT_CE]	106.60	-9.66 – 222.86	0.069
Random Effects			
σ^2	7345.46		
$\tau_{00\ Wdh}$	13408.09		
ICC	0.65		
N_{Wdh}	5		
Observations	20		
Marginal R^2 / Conditional R^2	0.071 / 0.671		

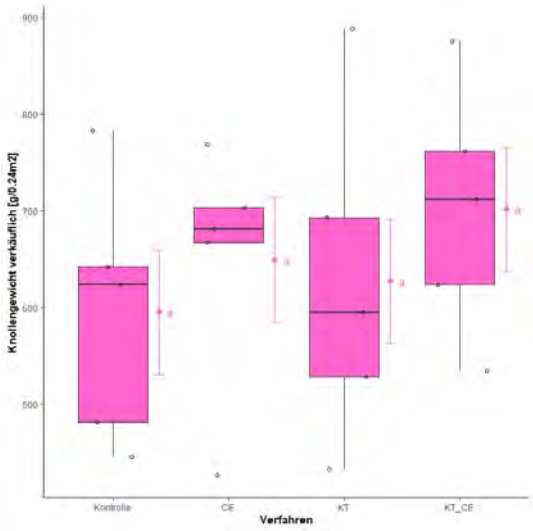


Abb. 173: Effektplot (Lineares Modell) Gewicht verkäufliche Knollen; Verfahren Radiesli

4.1.3.1.2 Wurzellänge und -gewicht

Bei der Auswertung der **Wurzellänge** zeigt sich keine Signifikanz zwischen den Verfahren im Vergleich zur Kontrolle (vgl. Tab. 57). Dennoch kann zwischen dem Verfahren «CE» (a) und «KT_CE» (b) signifikante Unterschiede festgestellt werden (p=0.0032) (vgl. Abb. 174). Die Wurzeln von «KT_CE» sind entsprechend wesentlich länger als bei «CE».

Bei der Auswertung des **Wurzelgewichts** von je 20 Wurzeln, zeigt sich wiederum keine Signifikanz zwischen den Verfahren im Vergleich zur Kontrolle und auch nicht innerhalb der Verfahren (vgl. Tab. 58, Abb. 175). Obwohl die «Kontrolle» den höchsten adjustierten Mittelwert aufweist, zeigt sich mit einem p-Wert von 0.2 kein wesentlicher Unterschied.

Tab. 57: Fixe Effekte (Lineares Modell) Wurzellänge; Verfahren Radiesli

		Laenge_R	
Predictors	*Estimates*	*CI*	*p*
(Intercept)	9.20	8.60 – 9.81	**<0.001**
Verfahren [CE]	-0.45	-0.96 – 0.06	0.083
Verfahren [KT]	-0.11	-0.62 – 0.40	0.671
Verfahren [KT_CE]	0.32	-0.19 – 0.83	0.220
Random Effects			
σ^2	3.35		
$\tau_{00\ Wdh}$	0.31		
ICC	0.08		
N_{Wdh}	5		
Observations	400		
Marginal R^2 / Conditional R^2	0.020 / 0.102		

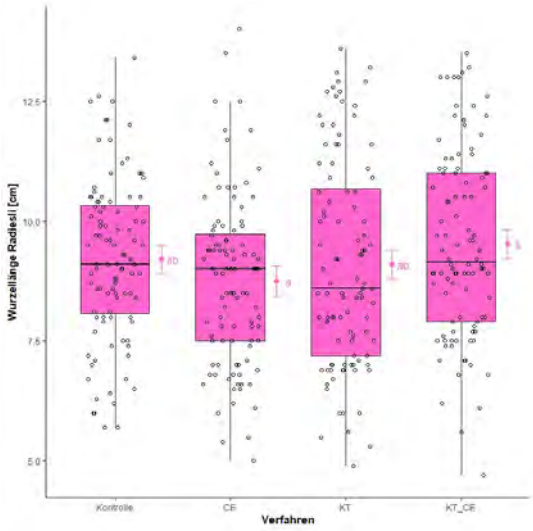


Abb. 174: Effektplot (Lineares Modell) Wurzellänge; Verfahren Radiesli

Tab. 58: Fixe Effekte (Lineares Modell) Wurzelgewicht; Verfahren Radiesli

	Gramm_20Wurzeln_R		
Predictors	*Estimates*	*CI*	*p*
(Intercept)	0.23	0.20 – 0.26	**<0.001**
Verfahren [CE]	-0.02	-0.06 – 0.02	0.270
Verfahren [KT]	-0.02	-0.06 – 0.02	0.269
Verfahren [KT_CE]	-0.02	-0.06 – 0.01	0.198
Random Effects			
σ^2	0.00		
$\tau_{00\ Wdh}$	0.00		
ICC	0.31		
N_{Wdh}	5		
Observations	20		
Marginal R^2 / Conditional R^2	0.076 / 0.364		

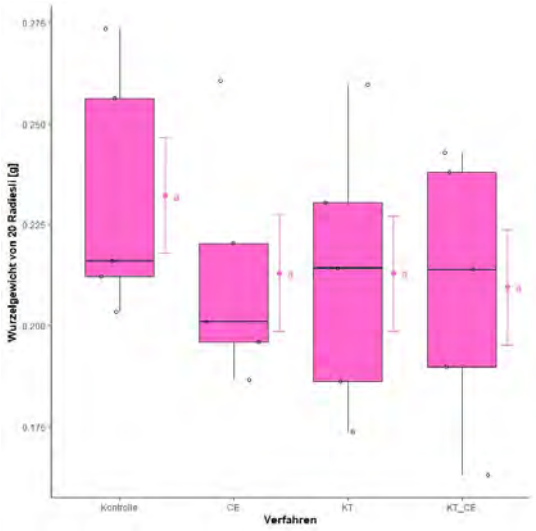


Abb. 175: Effektplot (Lineares Modell) Wurzelgewicht; Verfahren Radiesli

4.1.3.1.3 Blattmasse

Bei der Auswertung des Blattmassengewichts, wurde eine Signifikanz vom Verfahren «KT_CE» (b) gegenüber der «Kontrolle» festgestellt (p=0.041) (vgl. Tab. 59, Abb. 176). Das Blattmassengewicht von «KT_CE» ist entsprechend signifikant höher als bei der «Kontrolle».

Tab. 59: Fixe Effekte (Lineares Modell) Gewicht Blattmasse; Verfahren Radiesli

	Gramm_Blatt_R		
Predictors	*Estimates*	*CI*	*p*
(Intercept)	316.20	241.23 – 391.17	**<0.001**
Verfahren [CE]	32.40	-39.66 – 104.46	0.351
Verfahren [KT]	18.20	-53.86 – 90.26	0.597
Verfahren [KT_CE]	75.60	3.54 – 147.66	**0.041**
Random Effects			
σ^2	2821.92		
$\tau_{00\ Wdh}$	3286.83		
ICC	0.54		
N_{Wdh}	5		
Observations	20		
Marginal R^2 / Conditional R^2	0.118 / 0.593		

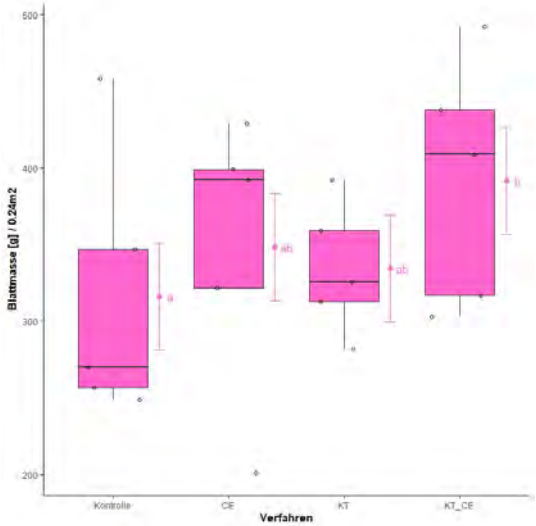


Abb. 176: Effektplot (Lineares Modell) Gewicht Blattmasse; Verfahren Radiesli

4.1.3.2 Spinat

Die Wurzeln der Verfahren «KT» und «KT_CE» sind signifikant länger gegenüber «CE» und «Kontrolle», wobei «CE» wiederum wesentlich länger zur «Kontrolle» ist. Das Wurzelgewicht hat keine Signifikanz. Die Blattmasse zeigt beim Verfahren «KT» und «KT_CE» das signifikant grösste Gewicht.

4.1.3.2.1 Wurzellänge und Wurzelgewicht

Bei der Auswertung der **Wurzellänge** zeigen sich bei allen Verfahren, «CE» (b) (p=0.014), «KT» (c) (p=<0.001), «KT_CE» (c) (p=<0.001), Signifikanz im Vergleich zur Kontrolle (vgl. Tab. 60, Abb. 177).

Zwischen «CE» (b) und «KT» (c), sowie «KT_CE» (c) besteht mit einem p-Wert von <0.001 eine zusätzliche Signifikanz. Entsprechend zeigen «KT» und «KT_CE» die längsten Wurzeln.

Bei der Auswertung des **Wurzelgewichts** von je 20 Wurzeln, zeigte sich keine Signifikanz zwischen den Verfahren im Vergleich zur Kontrolle und auch nicht innerhalb der Verfahren (vgl. Tab. 61, Abb. 178). Obwohl «KT_CE» den höchsten adjustierten Mittelwert aufweist, zeigt sich mit einem p-Wert von 0.2728 kein wesentlicher Unterschied.

Tab. 60: Fixe Effekte (Lineares Modell) Wurzellänge; Verfahren Spinat

	Laenge_S		
Predictors	*Estimates*	*CI*	*p*
(Intercept)	8.50	7.94 – 9.06	**<0.001**
Verfahren [CE]	0.53	0.11 – 0.96	**0.014**
Verfahren [KT]	1.51	1.09 – 1.93	**<0.001**
Verfahren [KT_CE]	1.46	1.03 – 1.88	**<0.001**
Random Effects			
σ^2	2.33		
$\tau_{00\ Wdh}$	0.29		
ICC	0.11		
N_{Wdh}	5		
Observations	400		
Marginal R^2 / Conditional R^2	0.135 / 0.230		

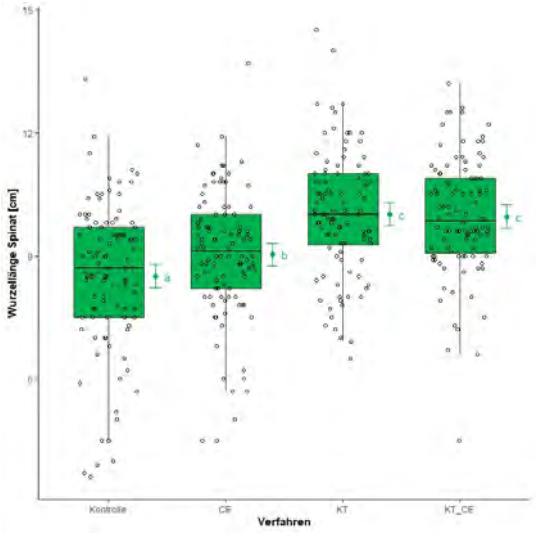


Abb. 177: Effektplot (Lineares Modell) Wurzellänge; Verfahren Spinat

Tab. 61: Fixe Effekte (Lineares Modell) Wurzelgewicht; Verfahren Spinat

	Gramm_20Wurzeln_S		
Predictors	*Estimates*	*CI*	*p*
(Intercept)	0.48	0.36 – 0.60	**<0.001**
Verfahren [CE]	0.01	-0.09 – 0.11	0.786
Verfahren [KT]	0.04	-0.06 – 0.13	0.460
Verfahren [KT_CE]	0.05	-0.05 – 0.15	0.270
Random Effects			
σ^2	0.01		
$\tau_{00\ Wdh}$	0.01		
ICC	0.65		
N_{Wdh}	5		
Observations	20		
Marginal R^2 / Conditional R^2	0.028 / 0.657		

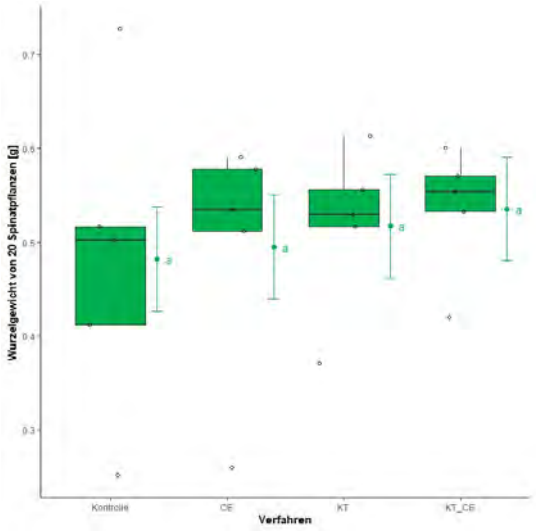


Abb. 178: Effektplot (Lineares Modell) Wurzelgewicht; Verfahren Spinat

4.1.3.2.2 Blattmasse

Bei der Auswertung des Blattmassengewichts, wurde eine Signifikanz vom Verfahren «KT» (b) (p=0.043), sowie «KT_CE» (b) (p=0.029) gegenüber der «Kontrolle» (a) festgestellt (vgl. Tab. 62, Abb. 179). Es besteht zudem eine zusätzliche Signifikanz von «KT» (b) (p=0.0123), sowie «KT_CE» (b) (p=0.0084) gegenüber «CE» (a).

Tab. 62: Fixe Effekte (Lineares Modell) Blattmasse; Verfahren Spinat

	Gramm_Blatt_S		
Predictors	*Estimates*	*CI*	*p*
(Intercept)	729.40	647.96 – 810.84	**<0.001**
Verfahren [CE]	-23.00	-92.07 – 46.07	0.487
Verfahren [KT]	71.80	2.73 – 140.87	**0.043**
Verfahren [KT_CE]	78.40	9.33 – 147.47	**0.029**
Random Effects			
σ^2	2592.69		
$\tau_{00\ Wdh}$	4616.81		
ICC	0.64		
N_{Wdh}	5		
Observations	20		
Marginal R^2 / Conditional R^2	0.221 / 0.720		

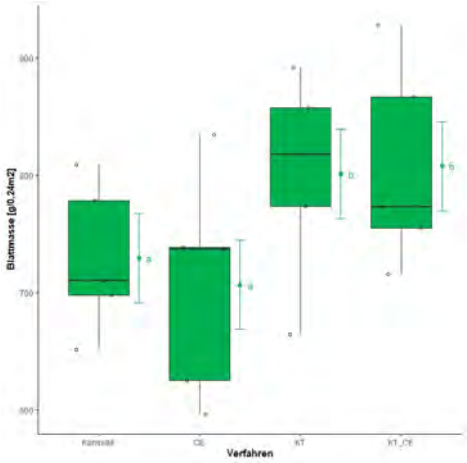


Abb. 179: Effektplot (Lineares Modell) Blattmasse; Verfahren Spinat

4.1.3.3 Teildiskussion statistischer Vergleich zwischen Verfahren auf Ertragsparameter

Die Ertragsparameter, welche gleichzeitig die finanzielle Entschädigung der Kultur bestimmen, sind entsprechend von grosser Wichtigkeit. So konnten beide Kulturen beim Verfahren «KT_CE» signifikant höhere Erträge in Blattmasse und beim Radiesli zusätzlich im Knollenertrag gegenüber der Kontrolle generieren. Zwischen «KT_CE» und «KT» waren die Ertragsunterschiede zu tief, um eine Signifikanz zu generieren. Die höheren Erträge könnten einen Zusammenhang mit den längeren Wurzeln korrelieren, welche bei beiden Verfahren festgestellt wurden. Korrelationen zwischen längeren Wurzelsystemen und Ertrag finden sich in einigen Studien (vgl. Kashiwagi et al. 2006; Kanbar et al. 2009; Svačina et al. 2014).

Auch wenn der Waschvorgang der Wurzeln mit höchster Sorgfalt durchgeführt wurde, kann ein Teil der Feinwurzeln dabei abgetrennt worden sein. Weiter ist ein Wägen von solch feiner, getrockneter Wurzelmasse schwierig, auch wenn die Waage auf tiefe Gewichte eingestellt ist. Dennoch würde sich für die Gewichtsbestimmung von Wurzeln eine grössere Anzahl lohnen, damit bessere Gewichtsdifferenzen bestimmt werden können.

4.1.4 Deskriptiver Vergleich Blattsaftanalysen NovaCropControl mit Bodenanalysen Labor Ins

In den folgenden Unterkapiteln werden die Blattsaftanalysen, welche zu NovaCropControl nach Holland geschickt wurden genauer angeschaut und wo vorhanden, einerseits mit der letzten Horiba-LaquaTwin-Messung, anderseits mit den Bodenproben vom Labor Ins verglichen. Das Horiba-LaquaTwin-Gerät ist mit seiner kompakten Form und einfachen Bedienung fürs Feld geeignet. Es wollte ein Vergleich zum Labor gemacht werden um herauszufinden, ob die beiden Messungen ähnliche Werte aufzeigen und somit der Feldkoffer als zuverlässiges Tool angesehen werden kann. Zusätzlich wurde in dieses Kapitel der Vergleich zu den Bodenproben genommen, um mögliche Interaktionen zwischen Blattsaftgehalt und Entnahme der Nährstoffe aus dem Boden abzulesen.

Zusammenfassend aus den folgenden Kapiteln kann in Bezug auf den Boden gesagt werden, dass der Humusgehalt bei allen Verfahren zugenommen hat, bei der «Kontrolle» am meisten. Das Verfahren «KT» hat am meisten Kalium aus dem Boden genommen. Das Verfahren «KT_CE» hat beim Calcium und Magnesium die meisten Reserven angezapft, während die «Kontrolle» die grösste Menge aus dem

Verfügbaren genommen hat. Beim Phosphor wurden am meisten Reserven vom Verfahren «KT» übriggelassen, währen «Kontrolle» und «KT_CE» am meisten von den Reserven angezapft haben. Der S_{min}-Gehalt hat bei allen Verfahren zugenommen, bei der «Kontrolle» am wenigsten. Mangan hat im Boden überall zu-, ausser beim Verfahren «KT» leicht abgenommen. Beim Zink hat es im Vergleich zu «START» überall weniger im Boden, am meisten ist noch bei «KT» und «KT_CE» vorhanden. Die KAK hat sich beim Calcium überall erhöht, bei der «Kontrolle» am meisten und liegt erneut bei allen Verfahren über dem gewünschten Bereich. Beim Magnesium ist die KAK entweder gleichgeblieben oder gestiegen, wiederum über dem gewünschten Wert. Die KAK des Kaliums ist überall gesunken, am meisten bei «KT_CE» und liegt unter dem gewünschten Bereich.

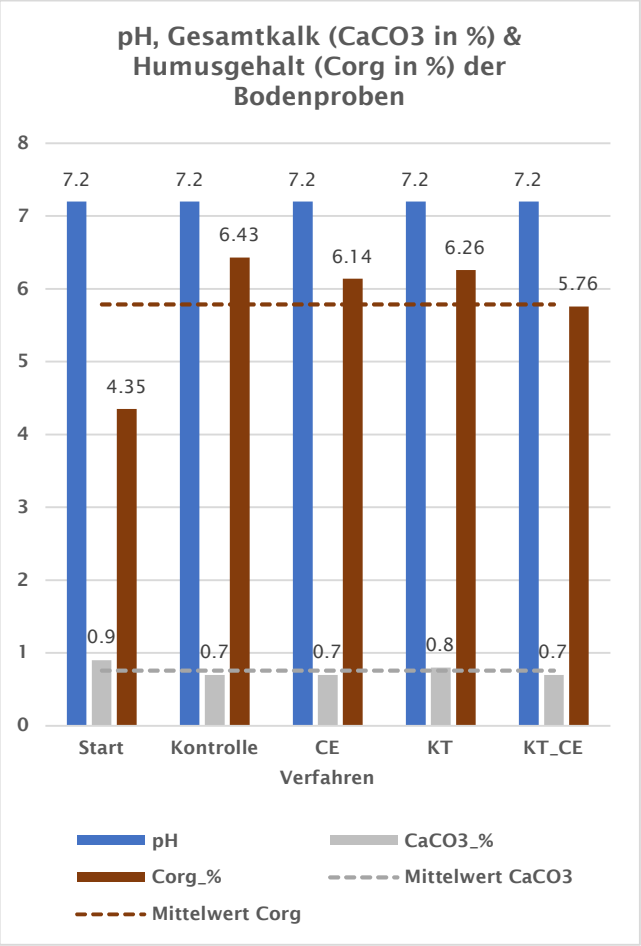
In Bezug auf die Blattsaftmessungen von NovaCropControl (NCC) zeigen sich generell grosse Unterschiede zwischen den Kulturen und zu den Horiba-Messungen. Mehrheitlich befinden sich die Kulturen im optimalen und vielfach auch über dem optimalen Bereich. Bei gewissen Nährstoffen gibt es teilweise aber auch Mängel. Übereinstimmungen zwischen den Kulturen und den Verfahren gibt es einerseits beim Kalium, wo «KT» die tiefsten Werte aufweist, gefolgt von «KT_CE». Beim Natrium und Mangan hat jeweils «KT» den tiefsten Wert. «KT_CE» weist zudem beim Ammonium- und Phosphorgehalt bei beiden Kulturen den tiefsten Wert auf. «KT_CE» zeigt bei beiden Kulturen beim Mangan und Eisen die höchsten Werte. Beim Calcium weist «KT» bei den Radiesli den tiefsten Wert auf, «KT_CE» beim Spinat den höchsten. Beim Nitrat zeigen sich bei «KT_CE» die tiefsten Werte beim Radiesli, jedoch die höchsten beim Spinat. Gewünscht ist ein möglichst tiefer Wert. Bor zeigt sich beim Radiesli im Verfahren «KT_CE» am höchsten.

4.1.4.1 pH, EC, Zucker, $CaCO_3$ und C_{org}

Die Bodenproben unterscheiden sich nicht im pH, nur minim im Gesamtkalk und am meisten im Humusgehalt (vgl. Tab. 63). Der Humusgehalt ist bei allen Verfahren gegenüber «START» gestiegen, am meisten bei der «Kontrolle». Der Zuckergehalt der Blattsaftanalysen liegt bei beiden Kulturen im Optimum, während der pH und EC jeweils zu hoch ist (vgl. Tab. 64, Tab. 65). Der EC-Wert zeigt sich bei den Radiesli am höchsten beim Verfahren «CE», danach bei der «Kontrolle», während es bei Spinat gerade umgekehrt ist. «KT» und «KT_CE» zeigen bei beiden Kulturen die tiefsten EC-Werte auf. Der pH verändert sich durch den Transport, daher ist dieser in der NCC-Blattanalyse weniger von Bedeutung (NovaCropControl 2023a). Beim Horiba-Gerät zeigt sich der pH bei beiden Kulturen im gewünschten Optimum (vgl. Tab. 66). Beim EC zeigt das Horiba-Gerät beim Radiesli im Verfahren «Kontrolle» einen optimalen Wert an, während die restlichen Verfahren darüber sind (vgl. Tab. 67). Beim Spinat zeigt das Horiba-Gerät mehrheitlich höhere Werte als die NCC-Analyse an.

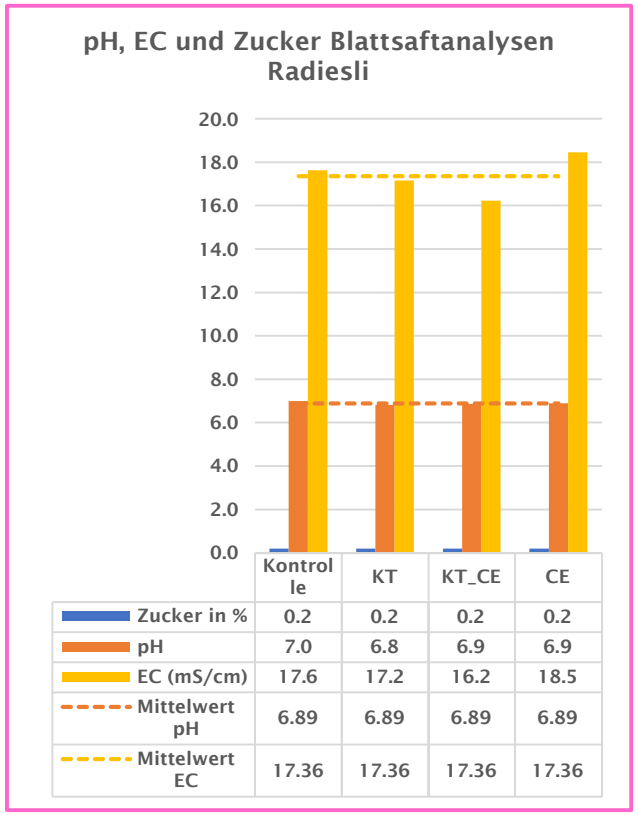
Tab. 63: pH, Gesamtkalk und Humusgehalt Bodenproben Labor Ins

(Quelle: nach Labor Ins 2023, eigene Darstellung)



Tab. 64: pH, EC & Zucker Blattsaftanalysen NCC Radiesli

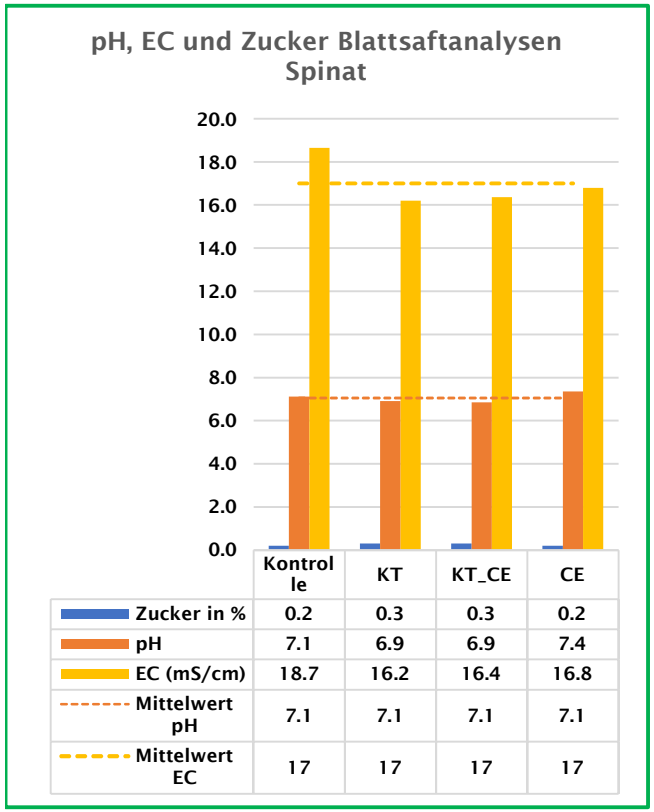
(Quelle: nach NovaCropControl 2023, eigene Darstellung)



Optimum Blattsaftgehalte NCC Radiesli		Range Verfahren
Zucker in %	0.3-0.5	0.2✓
pH	6.1-6.4	6.8-7⇧
EC (mS/cm)	13.5-15.0	16.2-18.5⇧

Tab. 65: pH, EC & Zucker Blattsaftanalysen NCC Spinat

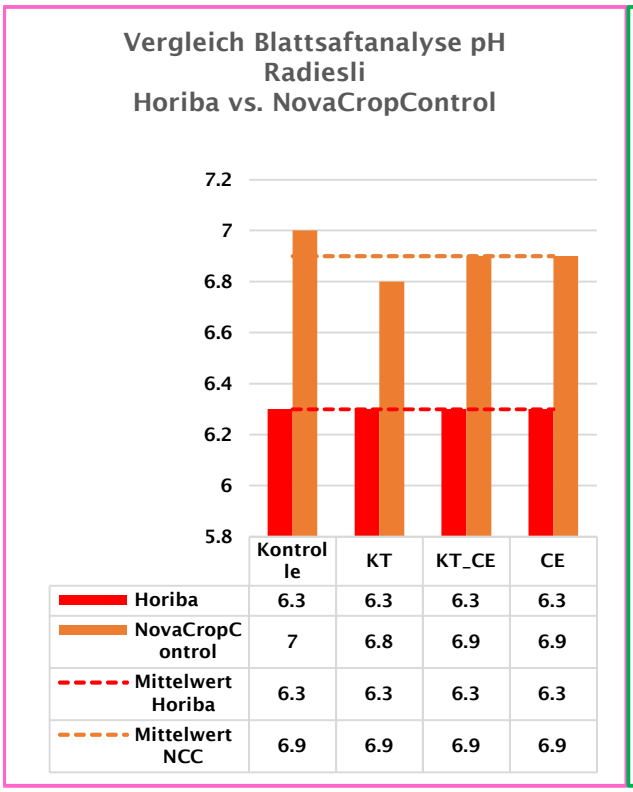
(Quelle: nach NovaCropControl 2023, eigene Darstellung)



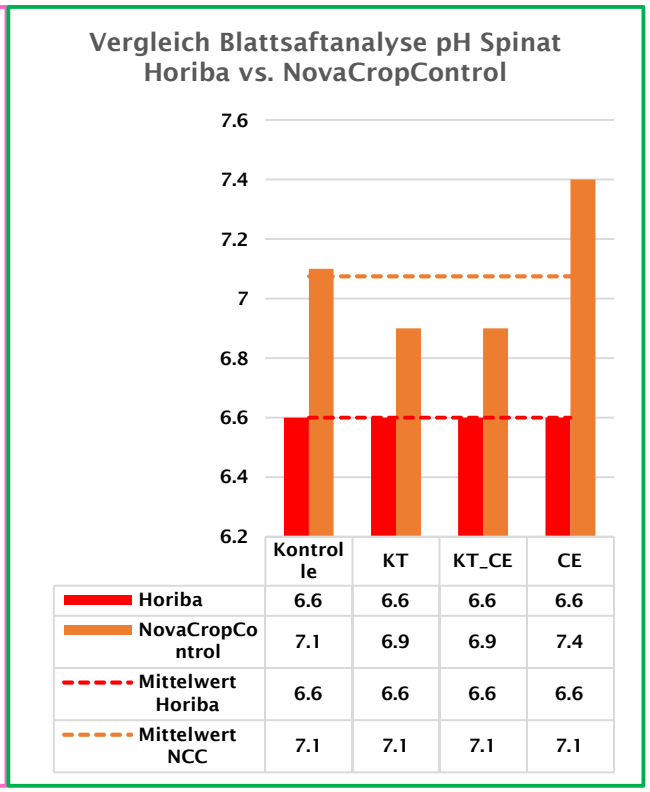
Optimum Blattsaftgehalte NCC Spinat		Range Verfahren
Zucker in %	0.2-0.7	0.2-0.3✓
pH	6.5-6.8	6.9-7.4⇧
EC (mS/cm)	13.1-16.1	16.2-18.7⇧

Tab. 66: Vergleich Blattsaftanalyse NCC & Horiba pH Radiesli + Spinat

(Quelle: nach NovaCropControl 2023, eigene Darstellung)



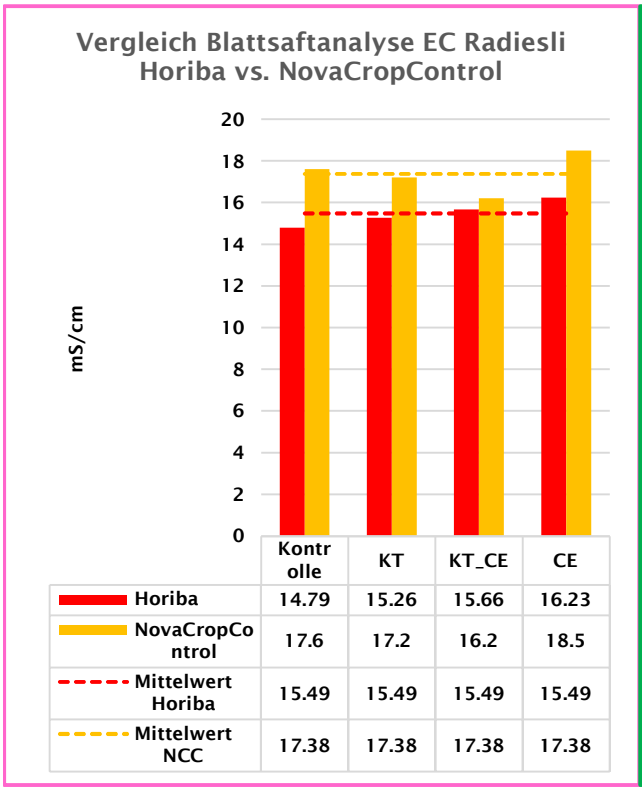
	Kontrolle	KT	KT_CE	CE
Horiba	6.3	6.3	6.3	6.3
NovaCropControl	7	6.8	6.9	6.9
Mittelwert Horiba	6.3	6.3	6.3	6.3
Mittelwert NCC	6.9	6.9	6.9	6.9



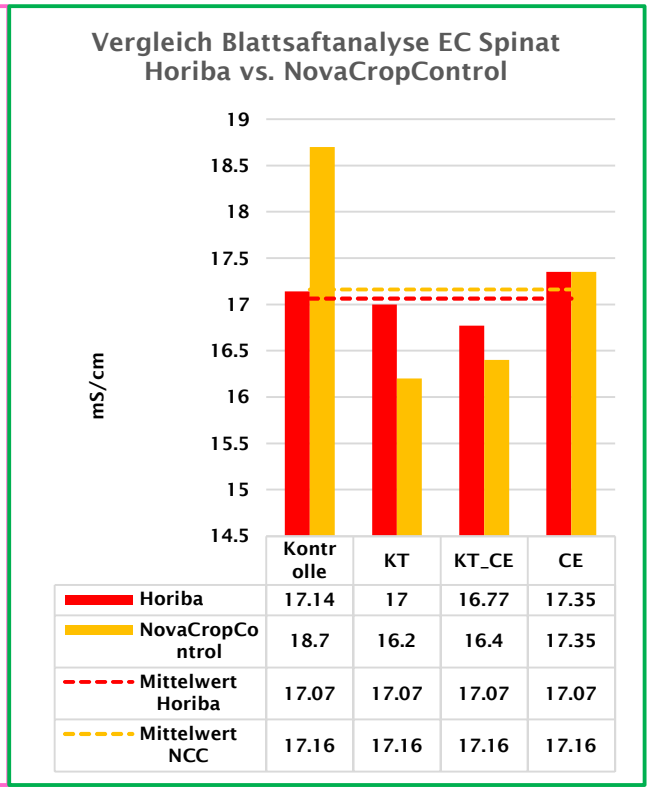
	Kontrolle	KT	KT_CE	CE
Horiba	6.6	6.6	6.6	6.6
NovaCropControl	7.1	6.9	6.9	7.4
Mittelwert Horiba	6.6	6.6	6.6	6.6
Mittelwert NCC	7.1	7.1	7.1	7.1

Tab. 67: Vergleich Blattsaftanalyse NCC & Horiba EC Radiesli + Spinat

(Quelle: nach NovaCropControl 2023, eigene Darstellung)



	Kontrolle	KT	KT_CE	CE
Horiba	14.79	15.26	15.66	16.23
NovaCropControl	17.6	17.2	16.2	18.5
Mittelwert Horiba	15.49	15.49	15.49	15.49
Mittelwert NCC	17.38	17.38	17.38	17.38

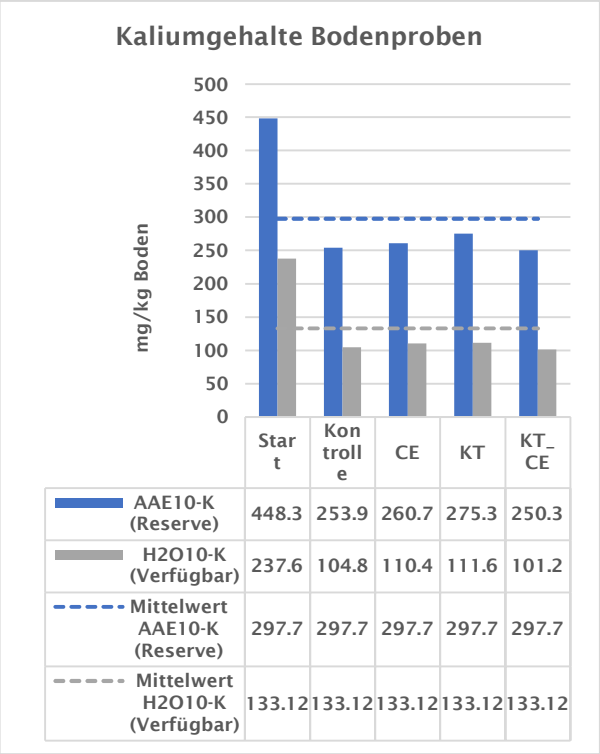


	Kontrolle	KT	KT_CE	CE
Horiba	17.14	17	16.77	17.35
NovaCropControl	18.7	16.2	16.4	17.35
Mittelwert Horiba	17.07	17.07	17.07	17.07
Mittelwert NCC	17.16	17.16	17.16	17.16

4.1.4.2 Kalium

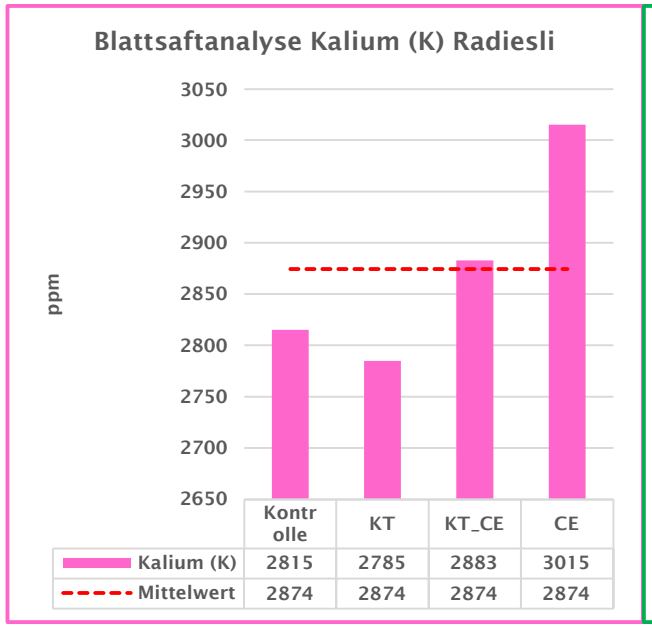
Bei den Bodenproben bewegt sich das Kalium überall im vorrätigen bis angereicherten Bereich (vgl. Anhang 31-36, S. 47-63). Ein organischer Dünger mit unter anderem 1% K_2O wurde vor der Saat ausgebracht (ca. 10kg K_2O/ha) (vgl. Kapitel 3.2.4.2). Kalium wurde von den Reserven und vom Verfügbaren bei allen Verfahren angezapft (vgl. Tab. 68). Am wenigsten bei den Reserven und Verfügbaren hat das Verfahren «KT» dem Boden entzogen. In der Blattsaftanalyse zeigt das Verfahren «KT» jedoch wiederum die tiefsten Kalium-Werte bei beiden Kulturen, während «KT_CE» jeweils am zweithöchsten ist (vgl. Tab. 69). Beim Radiesli sind die Kalium-Werte von allen Verfahren ausser «CE» knapp unter dem Optimum, während beim Spinat alle Verfahren über dem Optimum liegen, mit dem höchsten Wert bei der «Kontrolle». Das Horiba-Gerät zeigt weniger hohe Unterschiede zwischen den einzelnen Verfahren, jedoch im Vergleich zur NCC-Analyse sind alle Werte beim Spinat sehr viel tiefer und grösstenteils etwas tiefer beim Radiesli (vgl. Tab. 70).

Tab. 68: Kalium Bodenproben Labor Ins
(Quelle: nach Labor Ins 2023, eigene Darstellung)

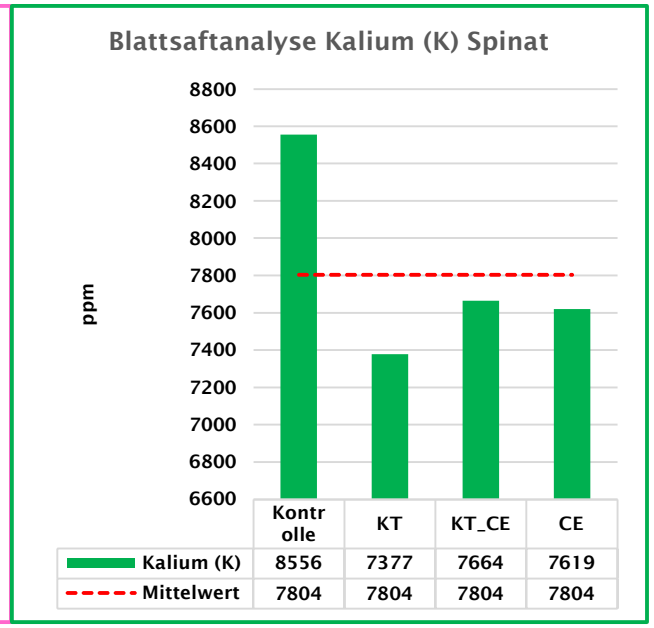


	Start	Kontrolle	CE	KT	KT_CE
AAE10-K (Reserve)	448.3	253.9	260.7	275.3	250.3
H2O10-K (Verfügbar)	237.6	104.8	110.4	111.6	101.2
Mittelwert AAE10-K (Reserve)	297.7	297.7	297.7	297.7	297.7
Mittelwert H2O10-K (Verfügbar)	133.12	133.12	133.12	133.12	133.12

Tab. 69: Kalium Blattsaftanalysen NCC Radiesli + Spinat (Quelle: nach NovaCropControl 2023b, eigene Darstellung)



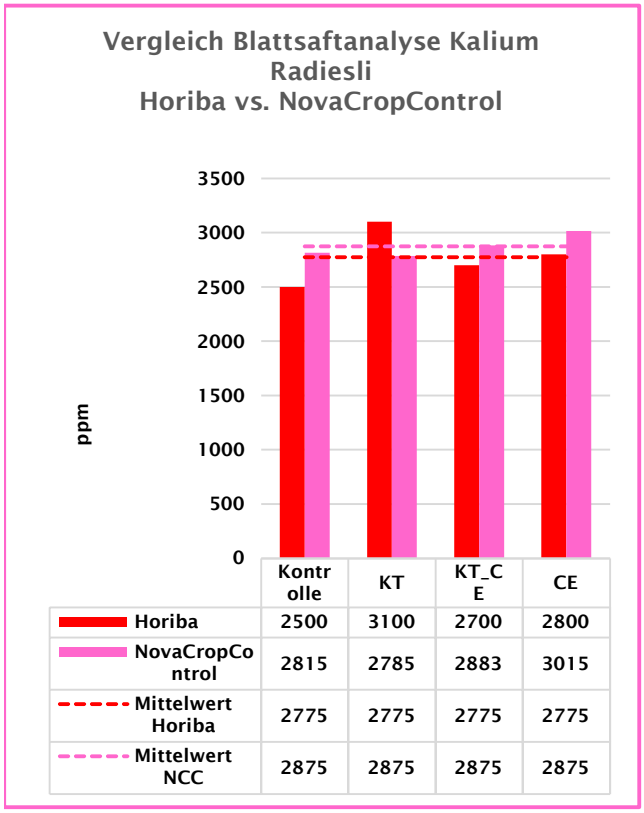
	Kontrolle	KT	KT_CE	CE
Kalium (K)	2815	2785	2883	3015
Mittelwert	2874	2874	2874	2874

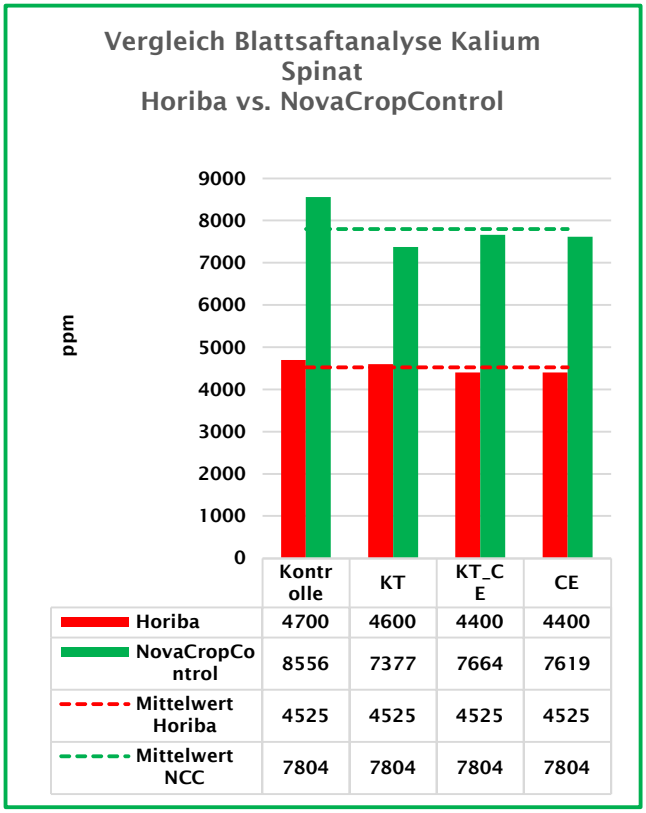


	Kontrolle	KT	KT_CE	CE
Kalium (K)	8556	7377	7664	7619
Mittelwert	7804	7804	7804	7804

Optimum Blattsaftgehalte NCC Kalium		Range Verfahren
Kalium Radiesli ppm	2900-4000	2785-3015⇩✓
Kalium Spinat ppm	5125-7000	7377-8556⇧

Tab. 70: Vergleich Blattsaftanalyse NCC & Horiba Kalium Radiesli + Spinat (Quelle: nach NovaCropControl 2023, eigene Darstellung

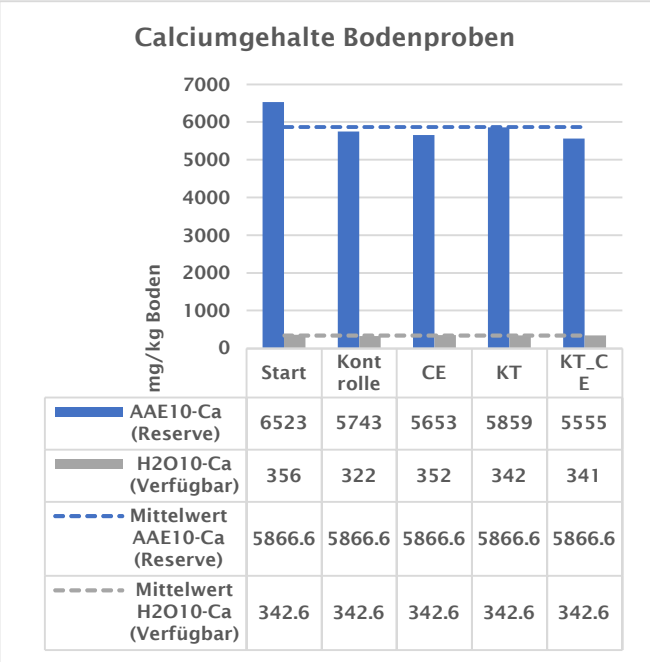




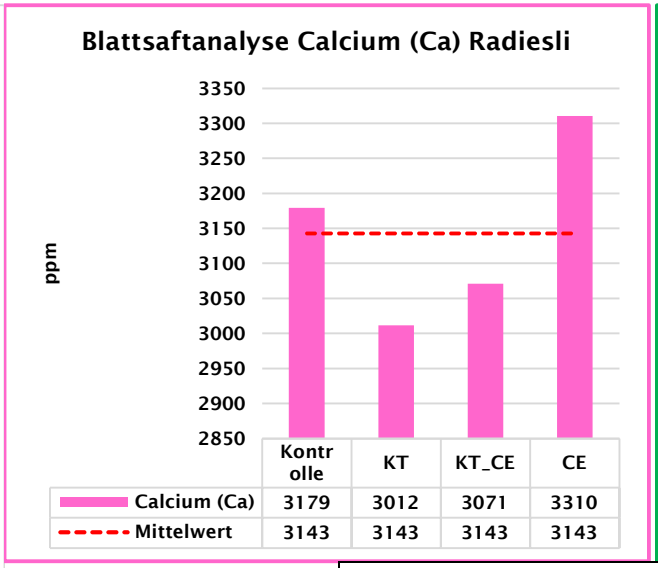
4.1.4.3 Calcium

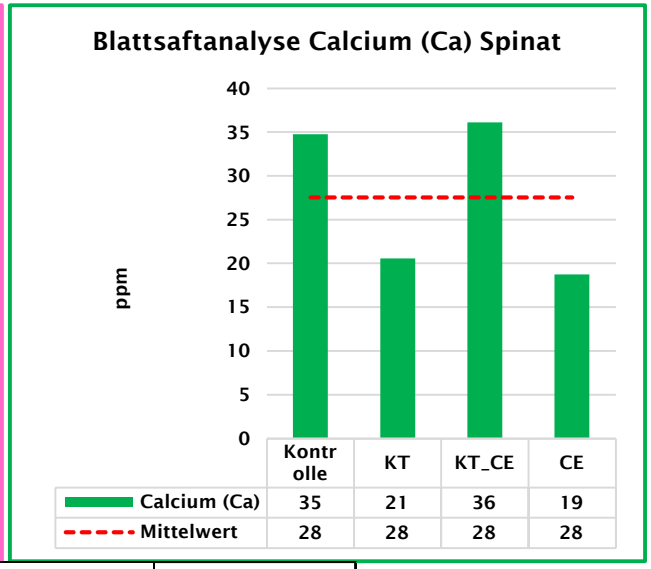
Bei den Bodenproben befindet sich das Calcium überall im genügenden bis angereicherten Bereich (vgl. Anhang 31-36, S. 47-63). Die Reserven wurden beim Verfahren «KT_CE» am meisten angezapft (vgl. Tab. 71). Beim verfügbaren Calcium hat die «Kontrolle» den tiefsten Wert. Verglichen zum Blattsaft zeigt sich beim Verfahren «KT» der tiefste Wert beim Radiesli, welcher jedoch immer noch weit über dem Optimum liegt (vgl. Tab. 72). Beim Spinat ist es aufgrund der tiefen Ca-Menge im Blattsaft schwierig, eine Aussage zu machen. Das Verfahren «KT_CE» zeigt den höchste Ca-Wert. Alle Calcium-Werte, abgesehen von «CE» bewegen sich beim Spinat über dem Optimum. Das Horiba-Messgerät zeigt beim Radiesli deutlich tiefere Messwerte gegenüber der NCC-Analyse an (vgl. Tab. 73). Die Unterschiede innerhalb der Verfahren sind jedoch ähnlich. Beim Spinat wurden beim Horiba-Messgerät kein Calcium gefunden.

Tab. 71: Calcium Bodenproben Labor Ins (Quelle: nach Labor Ins 2023, eigene Darstellung)



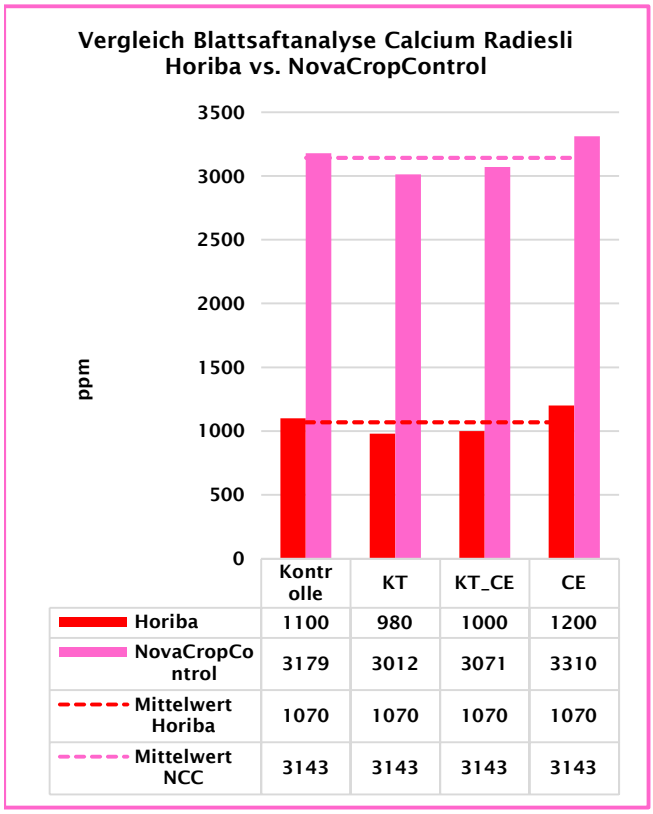
Tab. 72: Calcium Blattsaftanalysen NCC Radiesli + Spinat (Quelle: nach NovaCropControl 2023b, eigene Darstellung)

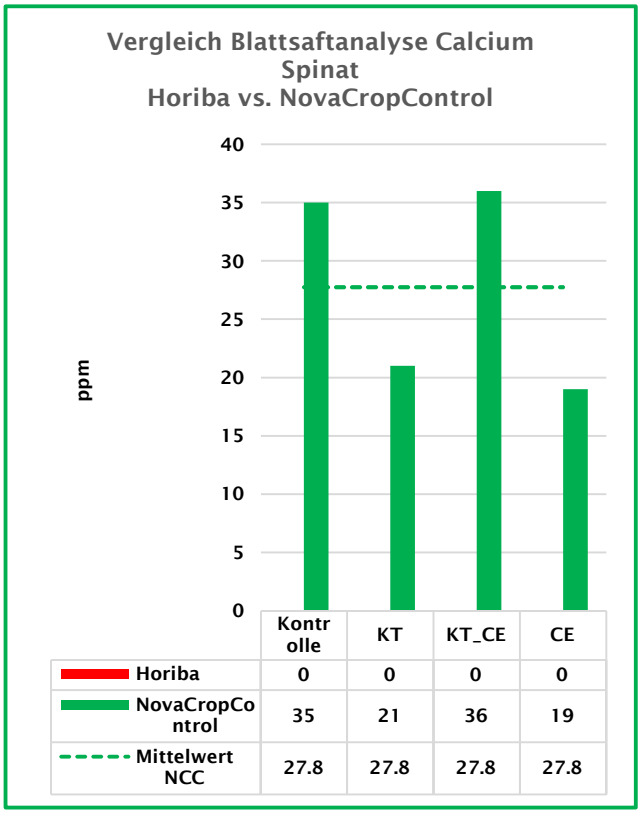




Optimum Blattsaftgehalte NCC Calcium		Range Verfahren
Calcium Radiesli ppm	1600-2750	3012-3310⇧
Calcium Spinat ppm	10-20	19-36✓⇧

Tab. 73: Vergleich Blattsaftanalyse NCC & Horiba Calcium Radiesli + Spinat (Quelle: nach (NovaCropControl 2023b), eigene Darstellung

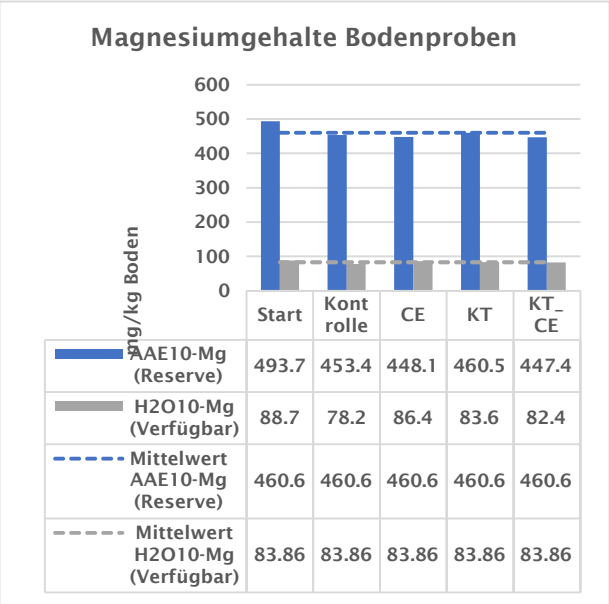




4.1.4.4 Magnesium

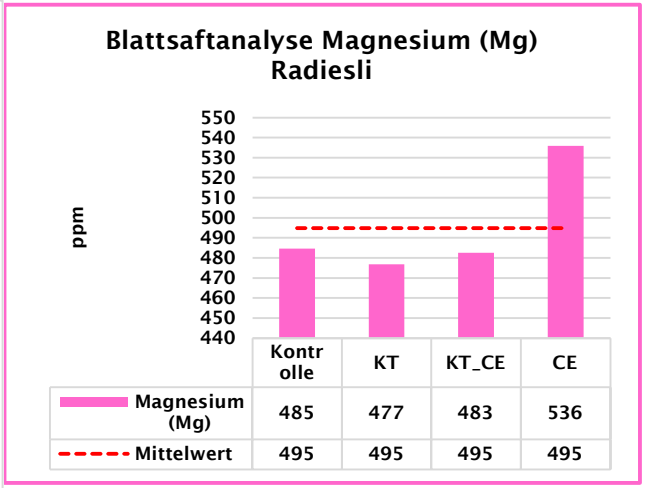
Bei den Bodenproben befindet sich das Magnesium überall im angereicherten Bereich (vgl. Anhang 31-36, S. 47-63). Nach der Bodenbearbeitung wurde Kieserit mit 15% Mg gestreut (ca. 58kg Mg/ha) (vgl. Kapitel 3.2.4.2). Bei allen Verfahren wurde von der Reserve und dem Verfügbaren angezapft, wobei das Verfahren «KT_CE» am meisten von den Reserven und die «Kontrolle» am meisten vom Verfügbaren extrahierte (vgl. Tab. 74). Beim Verfahren «CE» wurden vergleichsweise relativ viel Reserven angezapft, jedoch kaum etwas vom Verfügbaren. In Bezug auf den Blattsaft bewegen sich beim Radiesli die Mg-Werte im Optimum (vgl. Tab. 75). Zwischen den Verfahren zeigt «CE» die mit Abstand höchsten Werte, während sich die anderen Verfahren unter dem Durchschnitt befinden. Magnesium und Calcium sind Antagonisten, jedoch zeigt sich hier kein Einfluss des zu hohen Ca-Gehaltes bei allen Radiesli-Verfahren (vgl. Tab. 72) auf den Mg-Gehalt. Das Verfahren «CE», welches auch den höchsten Ca-Gehalt gemessen hat, zeigt auch beim Magnesium den höchsten Gehalt. Beim Spinat sind die Mg-Werte alle über dem Optimum, mit der «Kontrolle» und «KT_CE», die über dem Durchschnitt liegen, während «KT» und «CE» unter dem Durchschnitt sind.

Tab. 74: Magnesium Bodenproben Labor Ins (Quelle: nach Labor Ins 2023, eigene Darstellung)

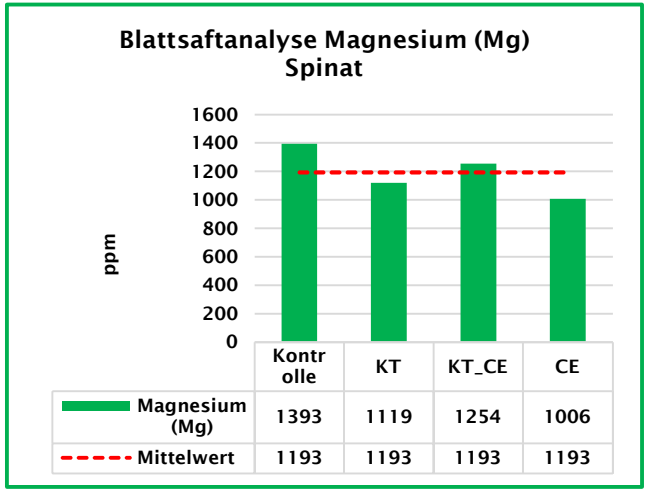


	Start	Kontrolle	CE	KT	KT_CE
AAE10-Mg (Reserve)	493.7	453.4	448.1	460.5	447.4
H2O10-Mg (Verfügbar)	88.7	78.2	86.4	83.6	82.4
Mittelwert AAE10-Mg (Reserve)	460.6	460.6	460.6	460.6	460.6
Mittelwert H2O10-Mg (Verfügbar)	83.86	83.86	83.86	83.86	83.86

Tab. 75: Magnesium Blattsaftanalysen NCC Radiesli + Spinat (Quelle: nach NovaCropControl 2023b, eigene Darstellung)



	Kontrolle	KT	KT_CE	CE
Magnesium (Mg)	485	477	483	536
Mittelwert	495	495	495	495



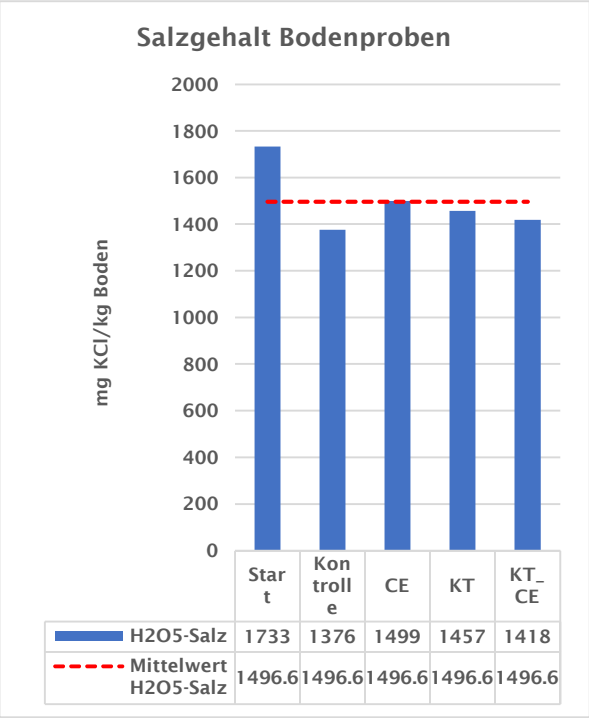
	Kontrolle	KT	KT_CE	CE
Magnesium (Mg)	1393	1119	1254	1006
Mittelwert	1193	1193	1193	1193

Optimum Blattsaftgehalte NCC Magnesium		Range Verfahren
Magnesium Radiesli ppm	330-630	477-536✓
Magnesium Spinat ppm	560-910	1006-1393⇧

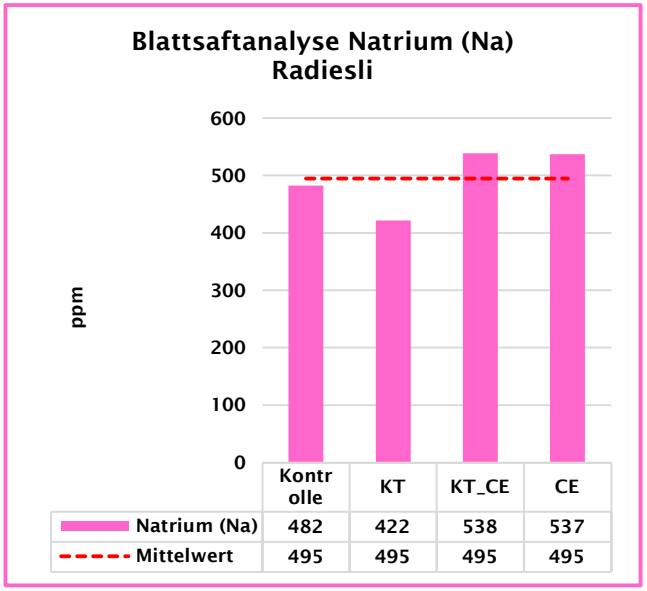
4.1.4.5 Natrium

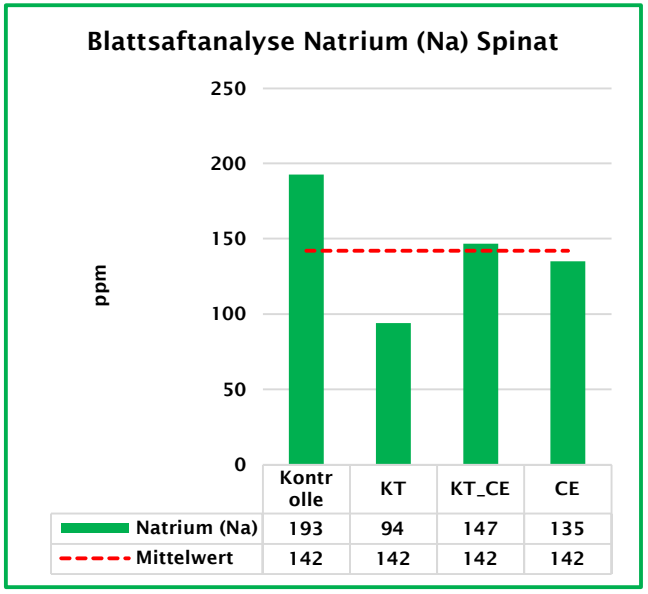
Der Natriumgehalt befindet sich bei den Bodenproben überall im angereicherten Bereich (vgl. Anhang 31-36, S. 47-63). Die Werte haben überall im Vergleich zu «START» abgenommen, bei «CE» am höchsten geblieben (vgl. Tab. 76). In Bezug auf den Blattsaft sind beim Radiesli die Na-Werte alle über dem Optimum, während sie beim Spinat im Optimum liegen (vgl. Tab. 75). Der optimale Bereich beim Spinat ist jedoch auch extrem breit. Zwischen den Verfahren zeigt «KT» bei beiden Kulturen die tiefsten Na-Werte. Die Werte des Horiba-Geräts zeigen beim Radiesli etwas Diskrepanz gegenüber der NCC-Analyse aber sind grundsätzlich relativ ähnlich (vgl. Tab. 78). Beim Spinat sind alle Horiba-Messwerte tiefer als die NCC-Analyse und liegen überall unter dem Optimum. Zudem zeigt es zwischen den Verfahren eine Diskrepanz zur NCC-Analyse.

Tab. 76: Natrium Bodenproben Labor Ins (Quelle: nach Labor Ins 2023, eigene Darstellung)



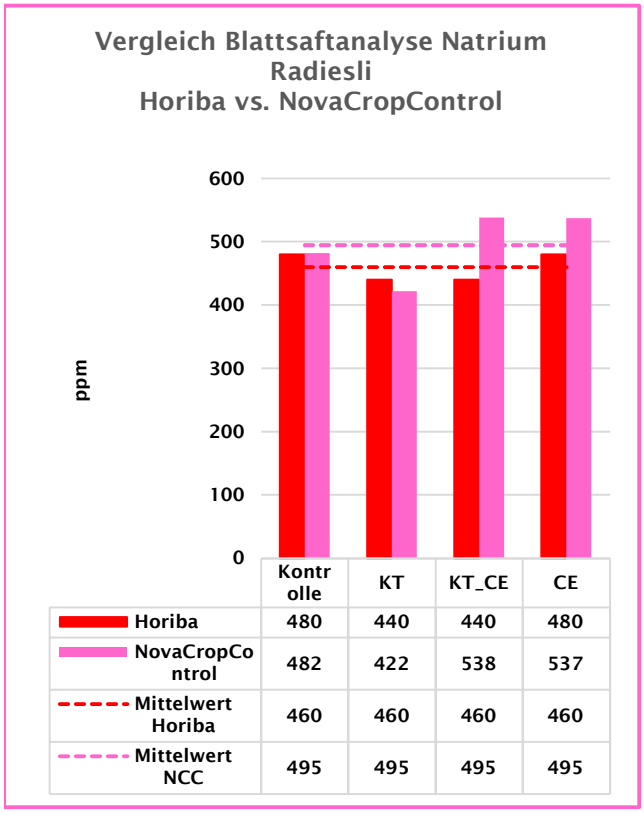
Tab. 77: Natrium Blattsaftanalysen NCC Radiesli + Spinat (Quelle: nach NovaCropControl 2023b, eigene Darstellung)

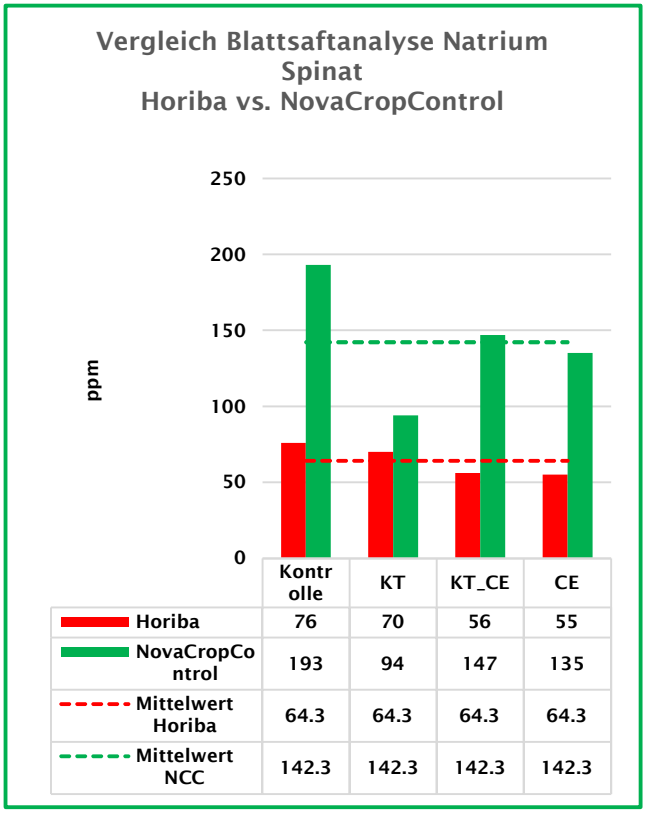




Optimum Blattsaftgehalte NCC Natrium		Range Verfahren
Natrium Radiesli ppm	225-400	422-538⇧
Natrium Spinat ppm	80-654	94-193✓

Tab. 78: Vergleich Blattsaftanalyse NCC & Horiba Natrium Radiesli + Spinat (Quelle: nach NovaCropControl 2023, eigene Darstellung



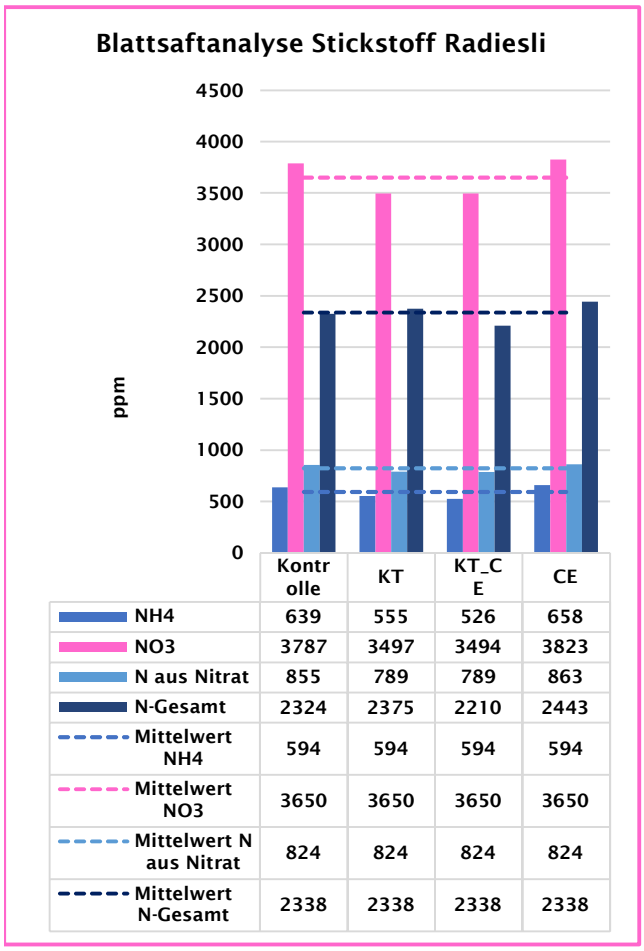


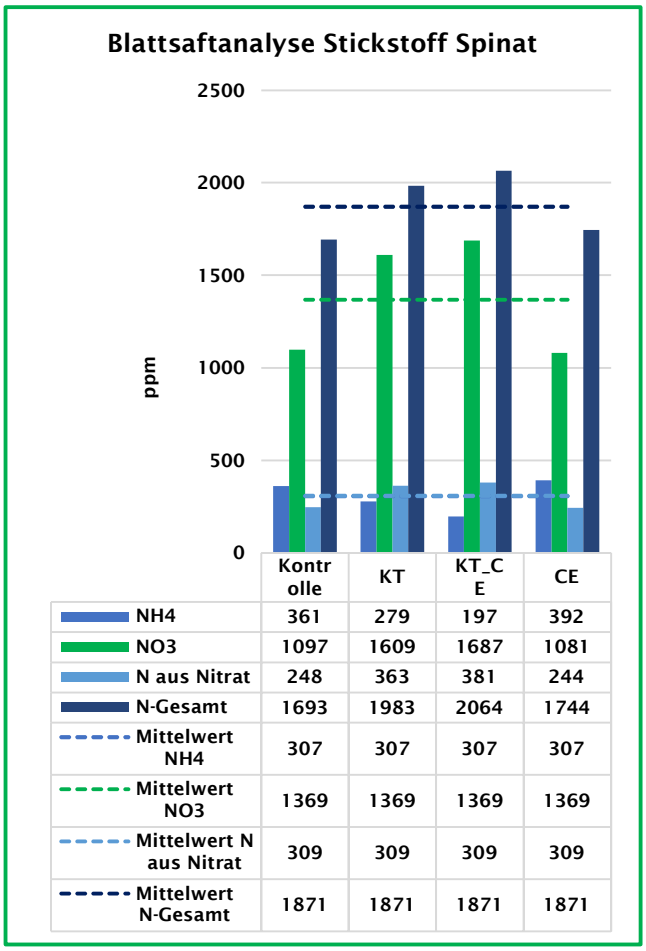
4.1.4.6 Stickstoff

Beim Radiesli ist der Ammonium-Gehalt (NH_4) in allen Verfahren über dem Optimum (vgl. Tab. 79). Dies kann auf den Transport zurückgeführt werden, der tendenziell einen Ammonium-Anstieg verzeichnet (NovaCropControl 2023a). «KT_CE» zeigt bei beiden Kulturen die tiefsten NH_4-Werte auf. Die Nitrat-Werte (NO_3) bewegen sich bei beiden Kulturen am oberen Ende des Optimums. Laut NovaCropControl (2023a) werden jedoch möglichst tiefe Werte, am besten gegen Null, angestrebt. Die Verfahren «KT» und «KT_CE» zeigen beim Radiesli die tiefsten, beim Spinat die höchsten Nitrat-Werte. Die Berechnungen des Anteils «N aus Nitrat» am «N-Gesamt» ergeben bei den Radiesli zwischen 33.2% («KT») und 36.8% («Kontrolle»), sowie beim Spinat zwischen 14% («CE») und 18.5% («KT_CE»), was an sich gute Werte sind. Obwohl jede Pflanze ihren eigene Anfälligkeitsschwelle hat, zeigen sich generell bei einem Prozentsatz über 50% höhere Anfälligkeiten (NovaCropControl 2023a). Die Gesamtstickstoffwerte sind bei allen Verfahren etwas über dem Optimum.

Während bei der NCC-Analyse beim Radiesli die Nitratwerte bei der «Kontrolle» und «CE» am höchsten sind, so sind es beim Horiba-Gerät das Verfahren «KT» und «KT_CE» (vgl. Tab. 80). Das Horiba-Gerät zeigte jedoch bei allen Verfahren beim Radiesli, ausser «KT_CE», tiefere NO_3-Werte als die NCC-Analyse an, welche durchschnittlich 250ppm höher sind in den Nitratwerten. Beim Spinat hingegen gibt das Horiba-Gerät mehr als doppelt so hohe Nitratgehalte an, als die Analyse von NCC.

Tab. 79: Stickstoff Blattsaftanalysen NCC Radiesli + Spinat (Quelle: nach NovaCropControl 2023b, eigene Darstellung)

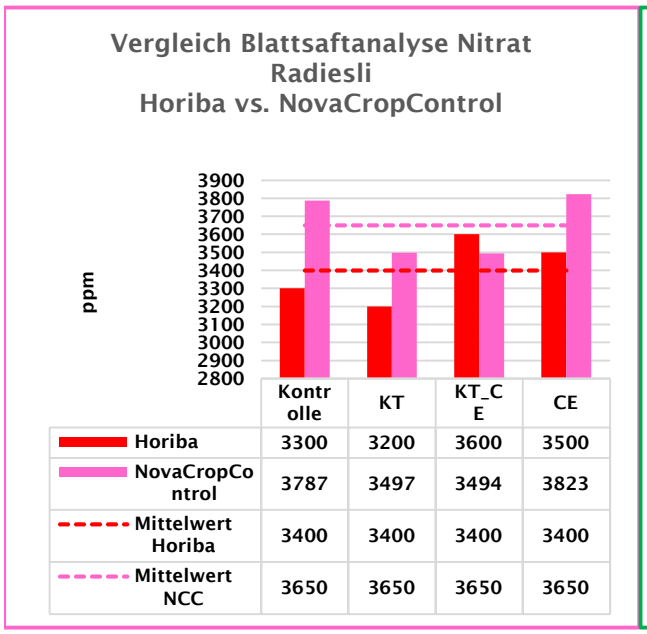


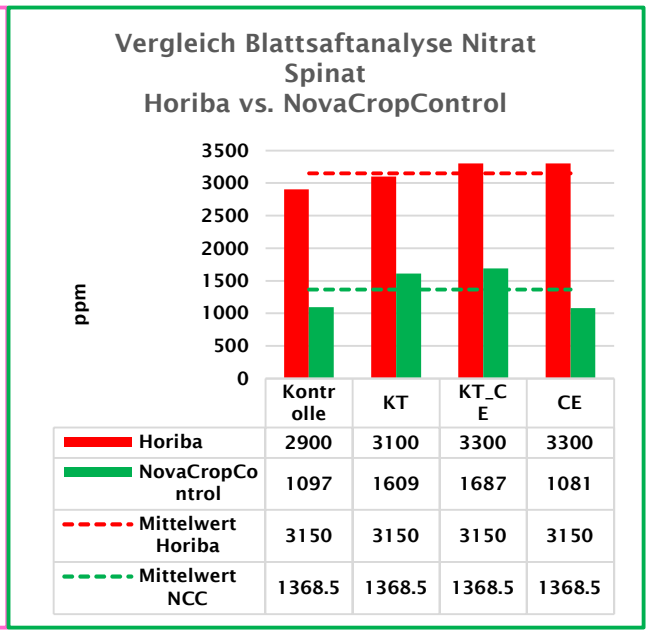


Optimum Blattsaftgehalte NCC Radiesli		Range Verfahren
Ammonium (NH4)	40-125	526-658⇧
Nitrat (NO3)	240-5650	3494-3823✓
N aus Nitrat	54-1275	789-863✓
N-Gesamtstickstoff	1000-2250	2210-2443✓⇧

Optimum Blattsaftgehalte NCC Spinat		Range Verfahren
Ammonium (NH4)	70-215	197-392✓⇧
Nitrat (NO3)	230-1980	1081-1687✓
N aus Nitrat	52-447	244-381✓
N-Gesamtstickstoff	910-1660	1693-2064⇧

Tab. 80: Vergleich Blattsaftanalyse NCC & Horiba Nitrat Radiesli + Spinat (Quelle: nach NovaCropControl 2023, eigene Darstellung

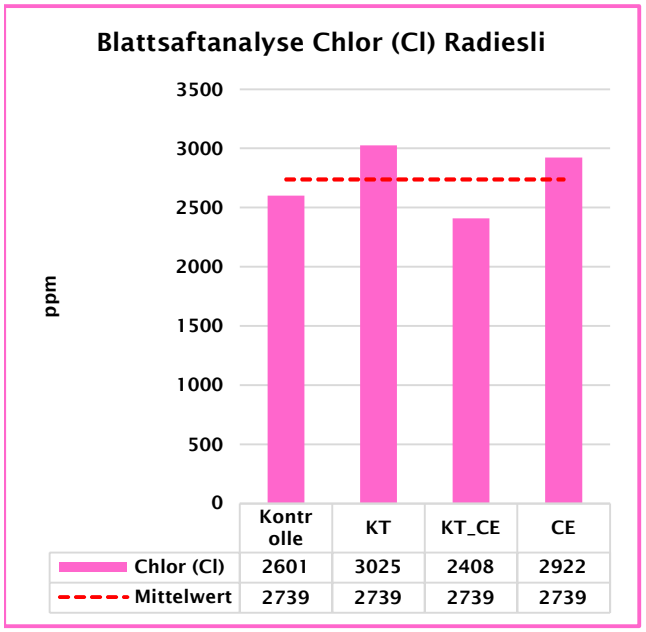


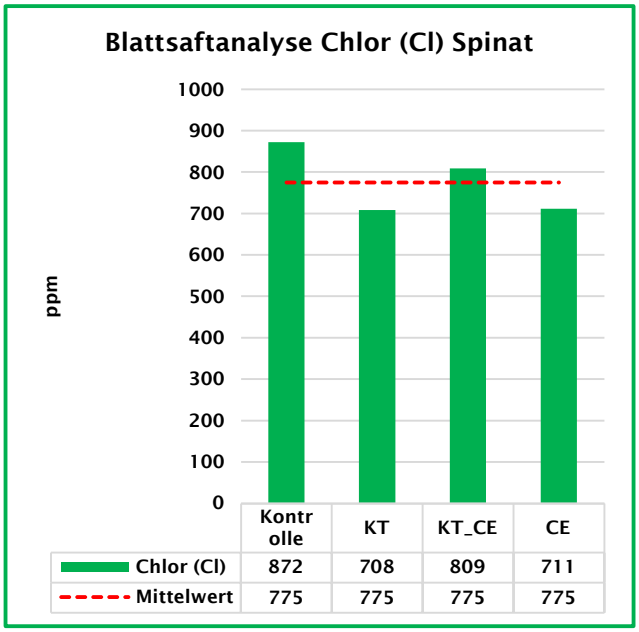


4.1.4.7 Chlor

Die Chlor-Werte bewegen sich für Radiesli am oberen Ende bis über dem Optimum und beim Spinat knapp am oberen Ende des Optimums (vgl. Tab. 81). Zwischen den Verfahren sind nicht grosse Unterschiede festzustellen, zeigen auch keine Auffälligkeit in einem bestimmten Verfahren.

Tab. 81: Chlor-Blattsaftanalysen NCC Radiesli + Spinat (Quelle: nach NovaCropControl 2023b, eigene Darstellung)



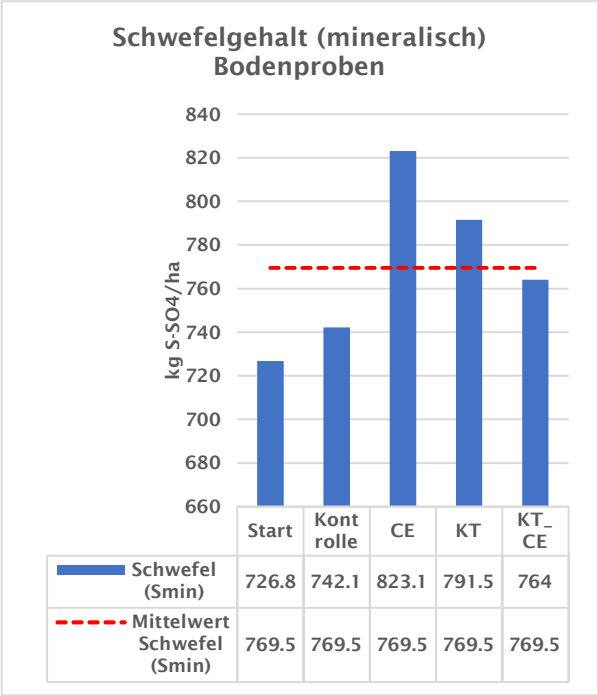


Optimum Blattsaftgehalte NCC Chlor		Range Verfahren
Chlor Radiesli ppm	1200-2600	2408-3025✓⇧
Chlor Spinat ppm	300-910	708-872✓

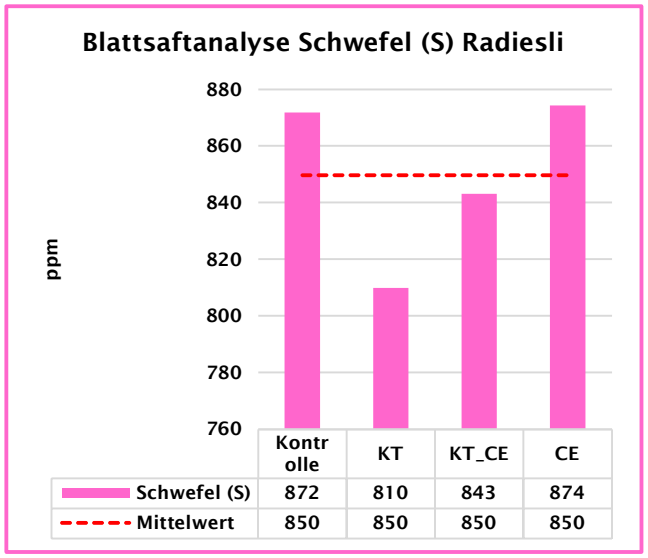
4.1.4.8 Schwefel

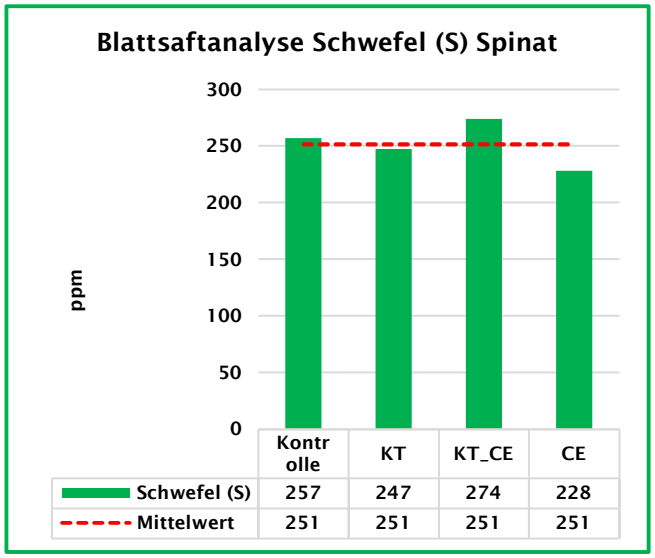
Alle Bodenanalysen zeigen angereicherte S_{min}-Werte (vgl. Anhang 31-36, S. 47-63). Nach der Bodenbearbeitung wurde Kieserit mit 20% Schwefel gedüngt (ca. 78kg S/ha) (vgl. Kapitel 3.2.4.2). Bei allen Verfahren hat der S_{min}-Gehalt im Vergleich zu «START» zugenommen. Die «Kontrolle» zeigt vergleichsweise am wenigsten Schwefel, während das Verfahren «CE» den meisten Schwefel im Boden hinterlassen hat (vgl. Tab. 82). Die «Kontrolle» und «CE» zeigen im Blattsaft beim Radiesli den höchsten Schwefelgehalt, während «KT» den tiefsten angibt (vgl. Tab. 83). Beim Radiesli bewegen sich die Schwefel-Werte am oberen Ende des Optimums. Beim Spinat sind die Werte beim Verfahren «Kontrolle» und «KT_CE» über dem Optimum, während sie sich bei «KT» und «CE» am oberen Ende des Optimums bewegen.

Tab. 82: Schwefel Bodenproben Labor Ins (Quelle: nach Labor Ins 2023, eigene Darstellung)



Tab. 83: Schwefel Blattsaftanalysen NCC Radiesli + Spinat (Quelle: nach NovaCropControl 2023b, eigene Darstellung)



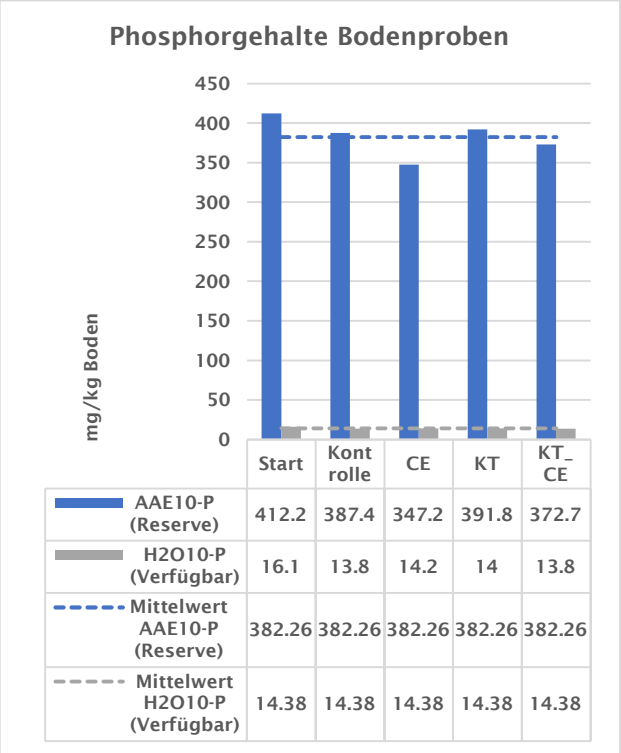


Optimum Blattsaftgehalte NCC Schwefel		Range Verfahren
Schwefel Radiesli ppm	500-900	810-874✓
Schwefel Spinat ppm	110-240	228-274✓⇧

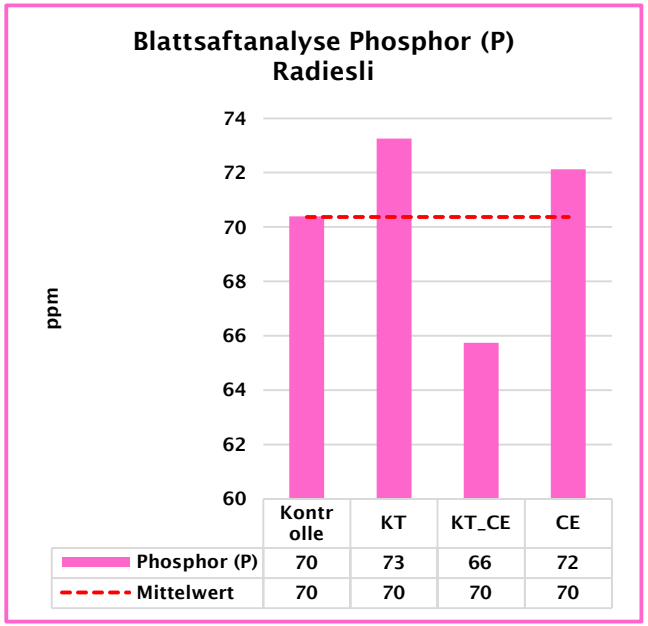
4.1.4.9 Phosphor

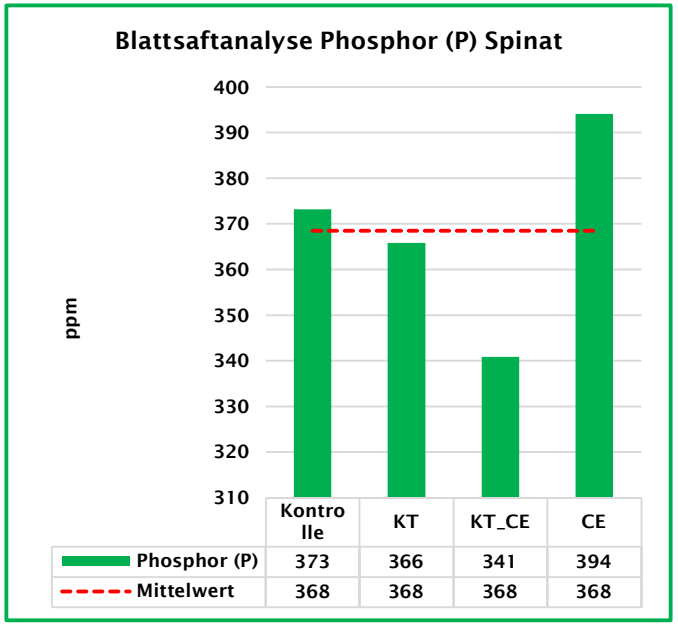
Phosphor ist bei allen Bodenproben angereichert (vgl. Anhang 31-36, S. 47-63). Nach der Bodenbearbeitung wurde ein organischer Dünger mit unter anderem 1.5% P_20_5 gestreut (ca. 15kg P_20_5 /ha) (vgl. Kapitel 3.2.4.2). Bei allen Verfahren wurden die Reserven und das Verfügbare angezapft (vgl. Tab. 84). Im Vergleich zur Blattsaftanalyse zeigt sich beim Radiesli im Verfahren «KT» den höchsten Phosphor-Wert. Generell sind beim Radiesli die Phosphor-Werte unter dem Optimum. Beim Spinat hingegen befinden sie sich im optimalen Bereich. Das Verfahren «CE» zeigt im Blattsaft beim Spinat den höchsten Wert, bei den Radiesli den zweithöchsten. Das Verfahren «KT_CE» zeigt bei beiden Kulturen die tiefsten Werte.

Tab. 84: Phosphor Bodenproben Labor Ins (Quelle: nach Labor Ins 2023, eigene Darstellung)



Tab. 85: Phosphor Blattsaftanalysen NCC Radiesli + Spinat (Quelle: nach NovaCropControl 2023b, eigene Darstellung)



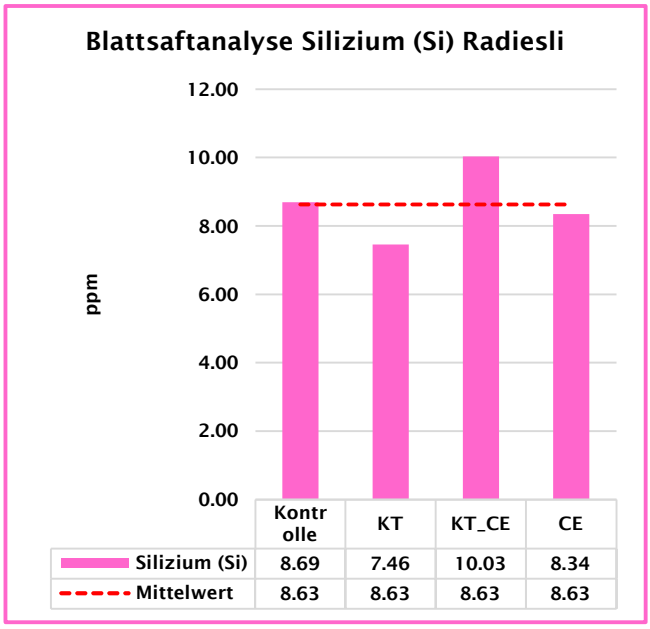


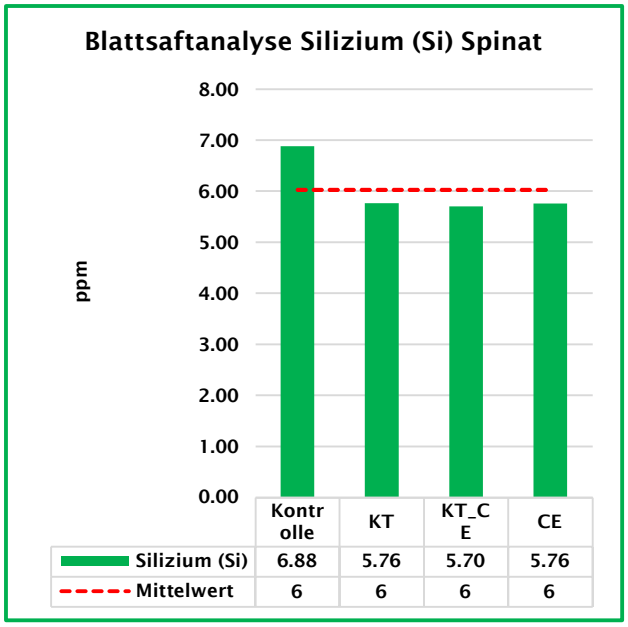
Optimum Blattsaftgehalte NCC Phosphor		Range Verfahren
Phosphor Radiesli ppm	100-250	66-73⇩
Phosphor Spinat ppm	250-440	341-394✓

4.1.4.10 Silizium

Die Silizium-Werte sind beim Radiesli im Verfahren «KT» knapp unter dem Optimum, bei den restlichen Verfahren aber im optimalen Bereich (vgl. Tab. 86). «KT_CE» weist den höchsten Wert auf. Beim Spinat sind die Werte am unteren Ende des Optimums, mit der «Kontrolle» am höchsten und praktisch keinem Unterschied bei den anderen drei Verfahren.

Tab. 86: Silizium-Blattsaftanalysen NCC Radiesli + Spinat (Quelle: nach NovaCropControl 2023b, eigene Darstellung)





Optimum Blattsaftgehalte NCC Silizium		Range Verfahren
Silizium Radiesli ppm	8.0-16.0	7.46-10.03⇩✓
Silizium Spinat ppm	4.6-12.8	5.7-6.88✓

4.1.4.11 Eisen, Mangan, Zink, Bor, Molybdän, Kupfer und Aluminium

Gemäss den Bodenproben sind überall die Eisen-, Mangan- und Borwerte als angereichert gemessen worden (vgl. Anhang 31-36, S. 47-63). Die Zink- und Kupferwerte bewegen sich bei allen Proben im genügenden Bereich.

Bei fast allen anderen Verfahren hat sich der Mangangehalt zur Beprobung «START» erhöht, nicht aber beim Verfahren «KT», wo es leicht abgenommen hat (vgl. Tab. 87). Verglichen zu den Blattsaftanalysen zeigen sich bei beiden Kulturen im Verfahren «KT» auch die tiefsten, bei «KT_CE» die höchsten Manganwerte (vgl. Tab. 89). Der Mangangehalt liegt beim Radiesli ausser bei «KT_CE» unter dem Optimum. Beim Spinat liegen die Werte generell im Optimum, ausser «KT_CE» ist etwas zu hoch.

Der Eisengehalt im Boden hat bei allen Verfahren etwas abgenommen, bei der «Kontrolle» am wenigsten, bei «KT» am meisten (vgl. Tab. 87). Der Blattsaft zeigt bei beiden Kulturen bei der «Kontrolle» die tiefsten, bei «KT_CE» die höchsten Eisengehalte an (vgl. Tab. 89). Der Eisengehalt bewegt sich bei beiden Kulturen im Optimum.

Der Borgehalt hat bei den Bodenproben überall etwas abgenommen mit nur kleinen Unterschieden (vgl. Tab. 88). Im Blattsaft sind die höchsten Werte bei «KT_CE» (Radiesli) und der «Kontrolle» (Spinat) (vgl. Tab. 89). Die Bor-Werte sind beim Radiesli überall unter dem optimalen Bereich, während sie beim Spinat im Optimum liegen.

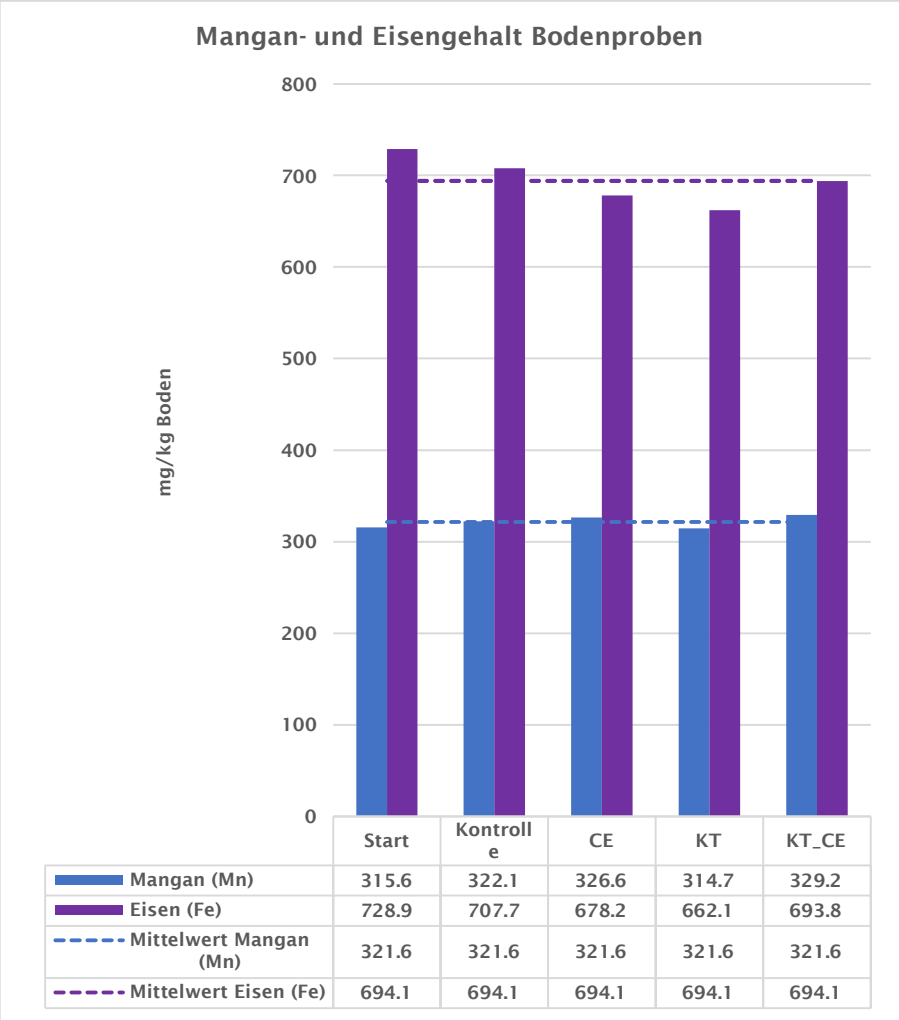
Die Kupfergehalte im Boden haben sich vom «START» zu «KT_CE» nicht geändert, bei den anderen drei Verfahren nur jeweils um 0.2ppm (mg/kg Boden) abgenommen (vgl. Tab. 88). Beim Blattsaft vom Radiesli zeigt sich beim Verfahren «KT_CE» der höchste Wert, jedoch immer noch unter dem Optimum (vgl. Tab. 90). Beim Spinat zeigt «KT_CE» den tiefsten Wert, wobei alle Werte im Optimum liegen.

Die Zinkgehalte haben sich in den Bodenproben von «START» zu allen Verfahren reduziert, wobei am meisten Zink noch bei «KT» und «KT_CE» vorzufinden ist (vgl. Tab. 88). Die Zinkwerte bewegen sich beim Radiesli im optimalen Bereich, mit «KT_CE» als höchster Wert (vgl. Tab. 89). Beim Spinat zeigt die «Kontrolle», gefolgt von «KT_CE» die höchsten Werte an, welche sich über dem Optimum befinden. «KT» und «CE» sind wiederum im optimalen Bereich.

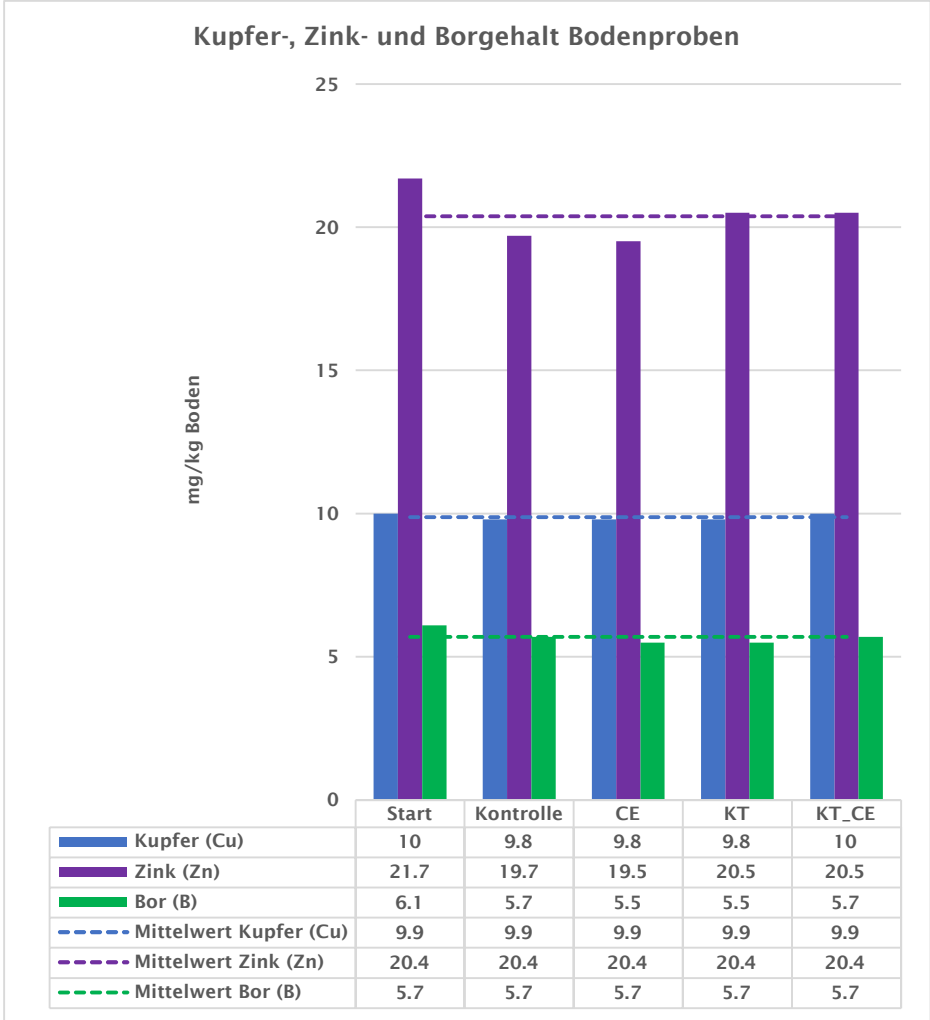
Bei den Blattsaftanalysen zum Molybdän zeigen sich die Werte vom Radiesli im optimalen Bereich, mit dem höchsten Gehalt bei «KT_CE» (vgl. Tab. 90). Beim Spinat sind alle Werte unterhalb des Optimums, mit der «Kontrolle» als höchster Wert.

Bei den Blattsaftanalysen zum Aluminium wurden für die Radiesli keine Referenzangaben gemacht. Falls diese aber ähnlich zum Spinat sind, wären sie im guten Bereich (vgl. Tab. 90). «KT_CE» zeigt beim Radiesli den höchsten Wert an. Beim Spinat liegt das Aluminium im Zielbereich, mit den höchsten Werten bei «KT» und «CE».

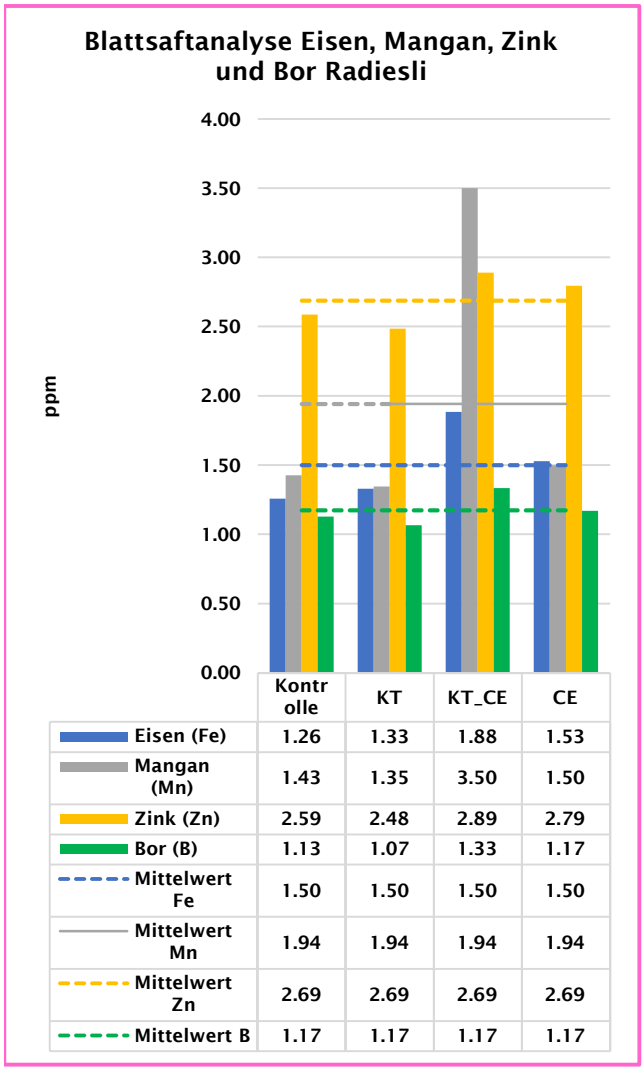
Tab. 87: Mangan und Eisen Bodenproben Labor Ins
(Quelle: nach Labor Ins 2023, eigene Darstellung)



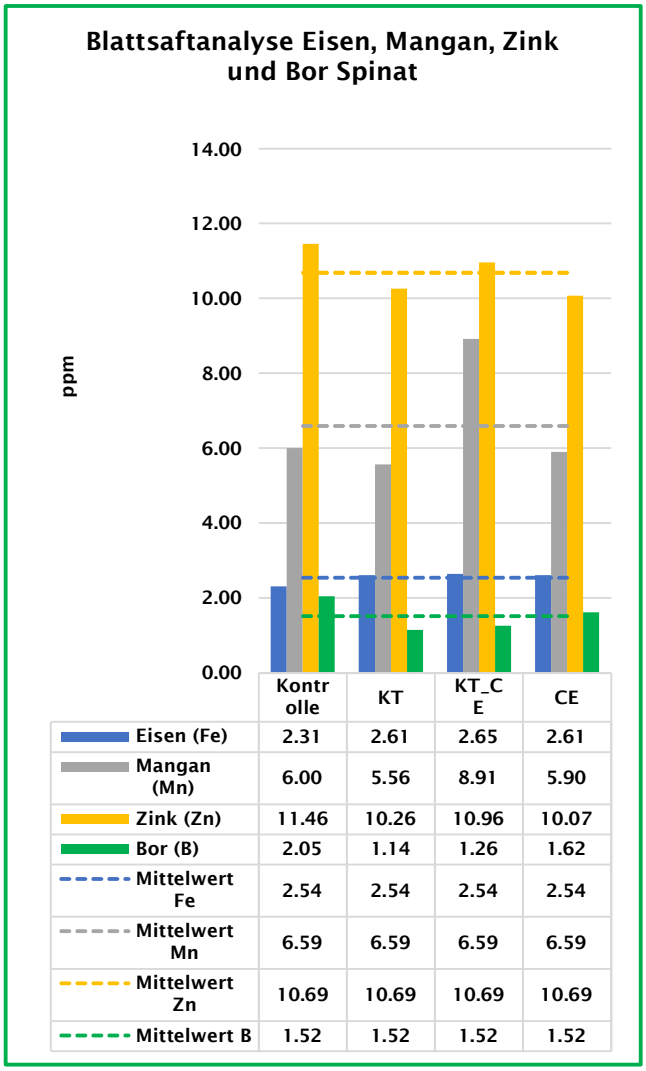
Tab. 88: Kupfer, Zink und Bor Bodenproben Labor Ins
(Quelle: nach Labor Ins 2023, eigene Darstellung)



Tab. 89: Eisen, Mangan, Zink und Bor-Blattsaftanalysen NCC Radiesli + Spinat (Quelle: nach NovaCropControl 2023b, eigene Darstellung)



	Kontrolle	KT	KT_CE	CE
Eisen (Fe)	1.26	1.33	1.88	1.53
Mangan (Mn)	1.43	1.35	3.50	1.50
Zink (Zn)	2.59	2.48	2.89	2.79
Bor (B)	1.13	1.07	1.33	1.17
Mittelwert Fe	1.50	1.50	1.50	1.50
Mittelwert Mn	1.94	1.94	1.94	1.94
Mittelwert Zn	2.69	2.69	2.69	2.69
Mittelwert B	1.17	1.17	1.17	1.17

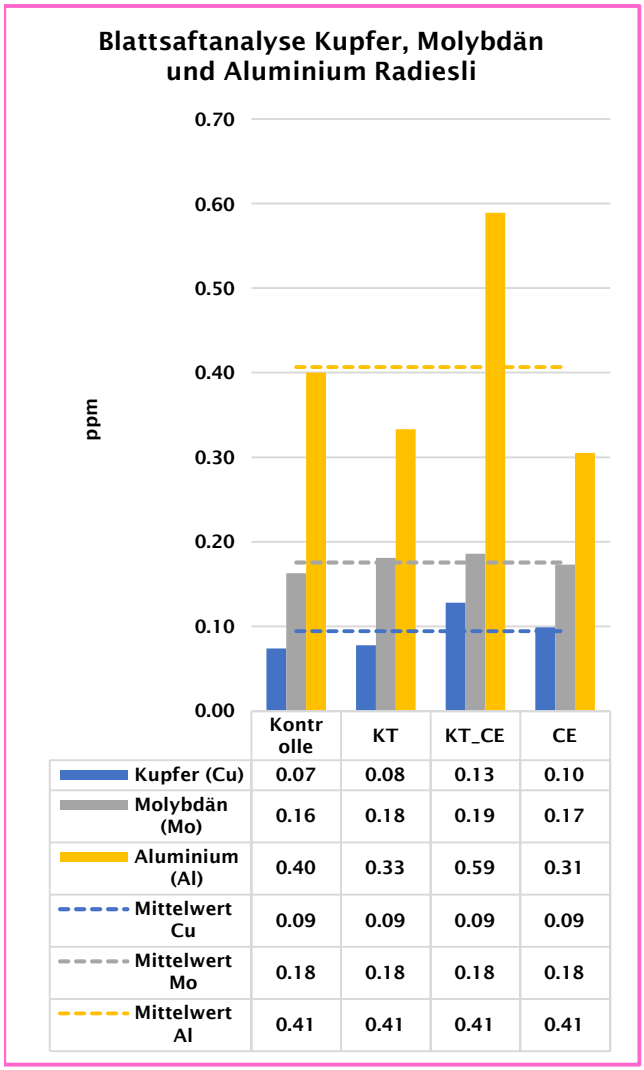


	Kontrolle	KT	KT_CE	CE
Eisen (Fe)	2.31	2.61	2.65	2.61
Mangan (Mn)	6.00	5.56	8.91	5.90
Zink (Zn)	11.46	10.26	10.96	10.07
Bor (B)	2.05	1.14	1.26	1.62
Mittelwert Fe	2.54	2.54	2.54	2.54
Mittelwert Mn	6.59	6.59	6.59	6.59
Mittelwert Zn	10.69	10.69	10.69	10.69
Mittelwert B	1.52	1.52	1.52	1.52

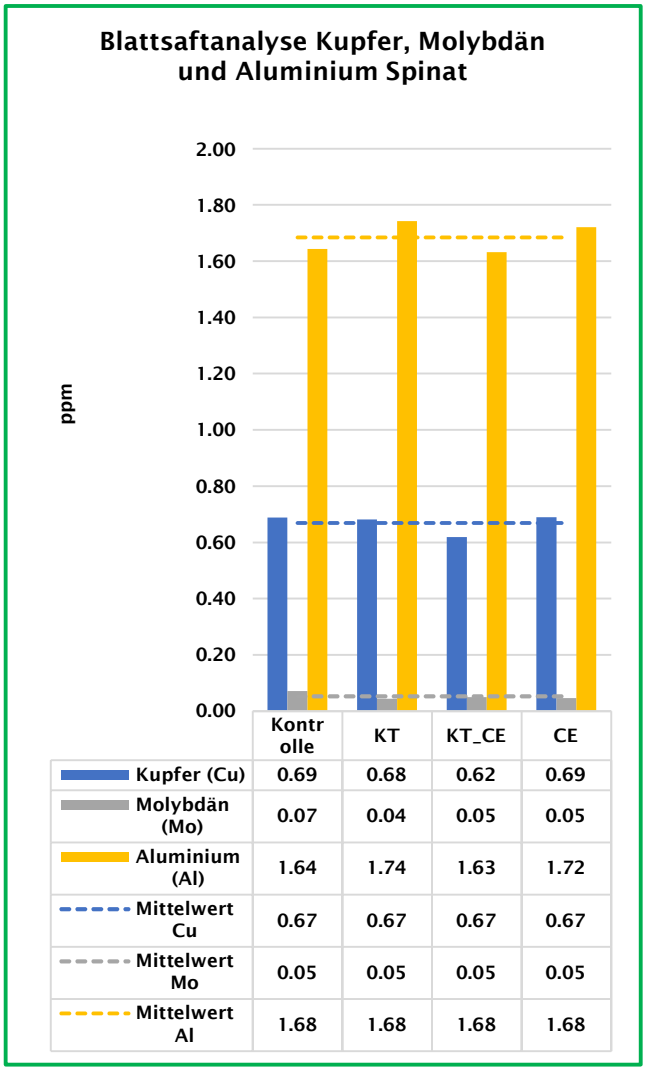
Optimum Blattsaftgehalte NCC Radiesli		Range Verfahren
Eisen	1.25-2.75	1.26-1.88✓
Mangan	2.0-4.0	1.35-3.5⇩✓
Zink	1.75-3.5	2.48-2.89✓
Bor	1.8-4.0	1.07-1.33⇩

Optimum Blattsaftgehalte NCC Spinat		Range Verfahren
Eisen	2.2-5.9	2.31-3.65✓
Mangan	3.0-6.8	5.56-8.91✓⇧
Zink	4.15-10.35	10.07-11.46✓⇧
Bor	1.1-2.3	1.14-2.05✓

Tab. 90: Kupfer, Molybdän und Aluminium-Blattsaftanalysen NCC Radiesli + Spinat }(Quelle: nach NovaCropControl 2023b, eigene Darstellung)



	Kontrolle	KT	KT_CE	CE
Kupfer (Cu)	0.07	0.08	0.13	0.10
Molybdän (Mo)	0.16	0.18	0.19	0.17
Aluminium (Al)	0.40	0.33	0.59	0.31
Mittelwert Cu	0.09	0.09	0.09	0.09
Mittelwert Mo	0.18	0.18	0.18	0.18
Mittelwert Al	0.41	0.41	0.41	0.41



	Kontrolle	KT	KT_CE	CE
Kupfer (Cu)	0.69	0.68	0.62	0.69
Molybdän (Mo)	0.07	0.04	0.05	0.05
Aluminium (Al)	1.64	1.74	1.63	1.72
Mittelwert Cu	0.67	0.67	0.67	0.67
Mittelwert Mo	0.05	0.05	0.05	0.05
Mittelwert Al	1.68	1.68	1.68	1.68

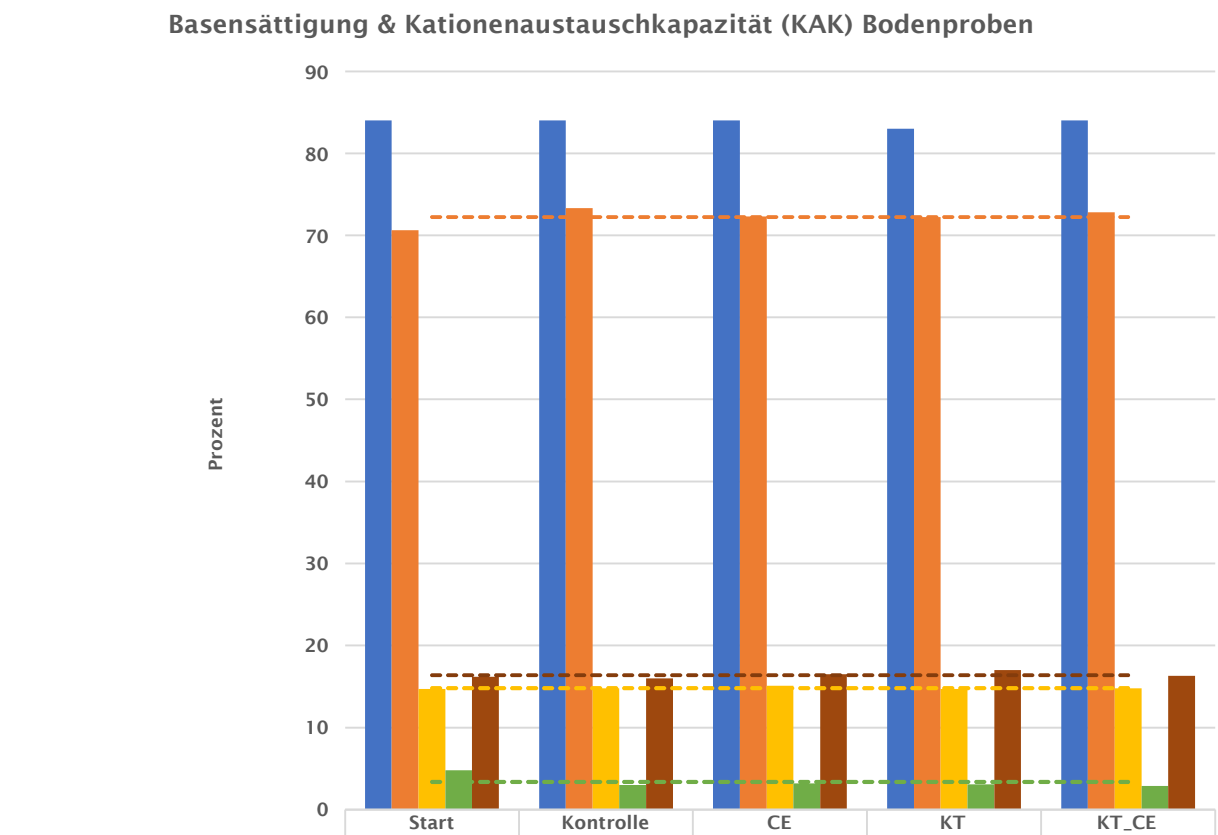
Optimum Blattsaftgehalte NCC Radiesli		Range Verfahren
Kupfer	0.2-0.4	0.07-0.13⇩
Molybdän	0.1-0.4	0.16-0.19✓
Aluminium	keine Angaben	0.31-0.59

Optimum Blattsaftgehalte NCC Spinat		Range Verfahren
Kupfer	0.45-0.9	0.62-0.69✓
Molybdän	0.1-0.2	0.04-0.07⇩
Aluminium	<0.5-2.65	1.63-1.74✓

4.1.4.12 Basensättigung und Kationenaustauschkapazität (KAK)

Die Basensättigung ist mit 83-84% im hohen Bereich (vgl. Tab. 91). Die KAK vom Ca^{2+} ist bei allen Verfahren gestiegen, bei der «Kontrolle» am meisten. Sie ist bei allen Verfahren über dem angestrebten Bereich von ca. 60%. Die KAK vom Mg^{2+} ist tendenziell gleichgeblieben, «CE» zeigt den grössten Anstieg. Sie liegt überall über dem angestrebten Bereich von ca. 12%. Die KAK vom K^{+} hat überall abgenommen, am stärksten beim Verfahren «KT_CE». Der gewünschte Bereich von ca. 4% wurde überall unterschritten. Die KAK vom H^{+} zeigt sich am Unbeständigsten, ist bei der «Kontrolle» gesunken, hingegen überall sonst gestiegen, mit «KT» als höchster Wert. Der nach Labor Ins angestrebte Bereich von ca. 24% wurde nirgends erreicht.

Tab. 91: Basensättigung und KAK Bodenproben Labor Ins (Quelle: nach Labor Ins 2023, eigene Darstellung)



	Start	Kontrolle	CE	KT	KT_CE
Basensättigung %	84	84	84	83	84
KAK Ca2+ in %	70.6	73.3	72.3	72.2	72.8
KAK Mg2+ in %	14.7	14.8	15.1	14.7	14.8
KAK K+ in %	4.8	3	3.2	3.1	2.9
KAK H+ in %	16.2	16	16.5	17	16.3
Mittelwert KAK Ca2+ in %	72.2	72.2	72.2	72.2	72.2
Mittelwert KAK Mg2+ in %	14.8	14.8	14.8	14.8	14.8
Mittelwert KAK K+ in %	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4
Mittelwert KAK H+ in %	16.4	16.4	16.4	16.4	16.4

4.1.4.13 Teildiskussion Deskriptiver Vergleich Blattsaftanalysen NovaCropControl mit Bodenanalysen Labor Ins

Bei den Blattsaftanalysen von NovaCropControl (NCC) zeigen sich klare Unterschiede zwischen den zwei Kulturen. So bestätigt auch NCC, dass nicht jede Pflanze eine gleiche Reaktion auf angewendete Verfahren, Boden und Klima zeigt (vgl. Anhang 70, S. 116) (Hegger 2023b, persönliche Mitteilung). Die Optimums-Werte von NCC basieren für jede Kultur auf mindestens 1000 Analysen (Hegger 2023b, persönliche Mitteilung). Kulturen zeigen jedoch auch sortenspezifische Unterschiede, welche mit der Blattsaftanalyse nicht gefiltert werden können (Hegger 2023a, persönliche Mitteilung). Die angegebenen Optimumswerte sollte daher nicht zu starr angeschaut werden. Weiter sollte angemerkt werden, dass eine Mischprobe der Blätter genommen, sprich nicht junge Blätter und alte Blätter separat getestet wurden. Grundsätzlich empfiehlt sich dieses Vorgehen, da gewisse Nährstoffe mobil in der Pflanze sind, andere nicht. Die mobilen Nährstoffe (N, P, K, Mg, Mo) zeigen Mängel zuerst in den älteren Blättern, da sie die Nährstoffe in die jungen Blätter verlagern (Wardlaw 1976, 463–464; Zorn et al. 2016, 17). Die immobilen Nährstoffe (Ca, B, S, Mn, Zi, Cu, Fe) hingegen zeigen Mängel bei den jungen Blättern (Wardlaw 1976, 463–464; Zorn et al. 2016, 17). Es zeigte sich keine generelle Übereinstimmung der NCC-Analysen zu

den Horiba-LaquaTwin-Messgeräten. Mehrheitlich sind die Diskrepanzen im Messbereich relativ gross, sowie zeigen sich zwischen den Verfahren auch andere Muster. Um die Horiba-LaquaTwin-Messgeräte sinnvoll auf ihre Exaktheit und Aussagekraft bei Pflanzensaftmessungen überprüfen zu können wäre es nötig, diese direkt bei NovaCropControl mit dem gleichen Pflanzensaft zu testen, der auch für die Labormessungen extrahiert wird. Ansonsten werden aufgrund des Zeit- und Transportfaktors vom getestetem Pflanzenmaterial immer Unterschiede ersichtlich sein, die nicht Rückschlüsse über die Exaktheit des Feldkoffers zulassen. Fazit der Horiba-Messgeräte ist sicherlich die Wichtigkeit der Kalibration, welche vor jeder Messung durchgeführt werden muss. Es zeigten sich dabei immer Diskrepanzen zur Kalibrierflüssigkeit. Diese Messgeräte können bei sauberer und genauer Arbeitsweise ein gutes Tool im Feld sein, um einen Überblick über den Zustand der Pflanze und des Bodens zu bekommen.

Höhere Blattsaft-pH-Werte sind direkte auf den Transport zurückzuführen (NovaCropControl 2023a). Daher macht es keinen Sinn, diesen gross zu interpretieren. Die EC-Werte sind bei beiden Kulturen über dem Optimum, was bereits in Kapitel 4.1.2.5 diskutiert wurde. Die Kaliumgehalte sind beim Radiesli knapp im optimalen Bereich, wobei «KT» den tiefsten Wert aufweist. Mangan hat laut dem Mulders Chart (vgl. Abb. 3) stimulierende Effekte auf Kalium. Im Verfahren «KT» weist Mangan auch den tiefsten Wert auf, entsprechend könnte dort eine Erklärung liegen. Ein ähnliches Muster zeigt sich beim Radiesli bei den «CE» und «KT_CE» Verfahren, die die höchsten Kalium-Werte und gleichzeitig auf die höchsten Mangan-Werte aufzeigen. Durch den Gehalt von 3% Mangan im pH-Senker CarboEco können die höheren Mangan-Werte im Blattsaft bei den beiden Verfahren «KT_CE» und «CE» erklärt werden, wobei der Effekt eventuell durch den Komposttee noch verstärkt wurde, da «KT_CE» am höchsten ist. Beim Spinat sind bei allen Verfahren Kalium-Überschüsse zu verzeichnen. Auch hier zeigt «KT» die tiefsten Kalium- und Mangan-Werte. Die Calcium-Werte sind generell bei beiden Kulturen zu hoch, Durch die pH-Beeinflussung von Calcium, kann bei hohen Werten Magnesium, Kalium, Bor, Zink und Kupfer gebunden werden (Kinsey 2014, 84). Zudem erleichtert es bei einer Sättigung über 80% in der KAK (Probe nach Kinsey), die Stickstoffaufnahme (Kinsey 2014, 84). Beim Radiesli zeigt sich überall Kupfer- und Bormangel, Spinat konnte hingegen genügend aufnehmen. Zink und Magnesium hingegen zeigen bei beiden keinen Mangel. Der Stickstoff ist bei beiden grundsätzlich zu hoch und die hohe KAK beim Calcium könnte zusätzlich zu den bereits erwähnten Gründen, die Aufnahme erleichtert haben. Zur Auswertungsmethode der KAK vom Labor Ins wird noch näher eingegangen, es kann jedoch gesagt werden, dass nach Kinsey-Auswertung die KAK von Calcium wohl über 80% gewesen wäre. Zu viel Magnesium kann den Kalium-, Calcium- und Mangan-Haushalt stören (Zorn et al. 2016, 48). Diese Effekte zeigen sich beim Spinat, wo Magnesium-Überschüsse vorhanden sind, jedoch nicht. Die Überschüsse vom Natrium beim Radiesli zeigen keine expliziten Auswirkungen auf die Kalium-, Calcium- und Magnesiumaufnahme (vgl. Zorn et al. 2016, 51). Die erhöhten Stickstoffwerte wurden bereits mehrmals diskutiert und werde nicht weiter aufgegriffen. Chlorüberschüsse sind nur beim Radiesli bei «KT» und «CE» festzustellen. Deren Überschüsse können die Nitrat-, Schwefel- und Phosphoraufnahme hemmen (NovaCropControl 2023a). Beim Schwefel zeigt sich bei Radiesli «KT» mit dem tiefsten Wert, «CE» hingegen mit dem höchsten. Zudem sind beide im Optimum. Phosphor ist beim Radiesli überall unterhalb des Optimums, mit «KT» und «CE» an höchster Stelle. Eine Korrelation zeigt sich hier nicht. Die tiefen Phosphor-Werte beim Radiesli könnten eher ein Zeichen von Verdichtungen sein. Die Radiesli-Parzellen waren einerseits direkt am Rand des Schiffes, wo vielleicht in vorherigen Kulturen die Radspur durchlief. Anderseits waren sie jeweils am Ende eines Schiffes, wo angrenzend der Dieseltank kam und nicht direkt mit dem Traktor durchgefahren werden konnte. Für die etwas zu tiefen Silizium-Werte beim Radiesli «KT» konnte keine Erklärung gefunden

werden. Silizium ist anscheinend im Boden genügend vorhanden, da alle anderen Verfahren ihren Bedarf decken konnten. Die Kupfergehalte sind beim Radiesli überall unterhalb des Optimums. Laut NovaCropControl (2023a) können Phosphorüberschüsse Kupfermangel herbeiführen. Der Phosphor ist jedoch auch beim Radiesli im Mangel. Eine andere Erklärung könnte die starke Bindung von Kupfer an Humusstoffe sein. Spinat zeigt trotz höheren Kupferanforderungen keine Defizite. Hingegen zeigt sich Spinat beim Molybdän im Defizit, welches laut NovaCropControl (2023a) auch bei höherer organischer Substanz blockiert werden kann. Molybdän hat laut dem Mulders Chart (vgl. Abb. 3) stimulierende Effekte auf Kupfer, wohingegen in den zwei Kulturen gerade widersprüchliche Effekte vorherrschen. So ist das Molybdän beim Radiesli im Optimum, das Kupfer jedoch zu tief. Beim Spinat ist das Molybdän zu tief und das Kupfer im Optimum.

Die Veränderungen im Salzgehalt des Bodens können teilweise durch die Bewässerung und dessen Verdünnungseffekt erklärt werden. Zu viel Natrium kann die Aufnahme anderer Anionen hemmen, Wurzeln verbrennen und so die Ca-Aufnahme verschlechtern (NovaCropControl 2023a). Dieser Effekt zeigte sich jedoch nicht bei den Ca-Blattsaftanalysen.

Grosse Unterschiede in Bezug auf die Bodenproben sind grundsätzlich nicht festzustellen. Es zeigt, dass weder Radiesli, noch Spinat den Reserve-Phosphor verfügbar machen können, wie es z.B. bei Sonnenblumen festzustellen wäre (Jöhr 2023b, persönliche Mitteilung). Trotz der Überschüsse an Phosphor, vor allem im Reserve-Bereich, konnten im Vergleich mit der Blattsaftanalyse die Pflanzen diesen teilweise nur knapp aufnehmen. Die markantesten Unterschiede zeigen sich beim Humusgehalt, der seit der START-Probe markant gestiegen ist. Diese Erhöhung ist nicht realistisch ohne Zugabe von organischer Substanz, wie z.B. Kompost und ist entweder auf eine Diskrepanz bei der Probeentnahme (z.B. unterschiedliche Tiefe der Probeentnahme) oder auf einen Fehler im Labor zurückzuführen (Hübscher 2023, persönliche Mitteilung). In Ringproben werden regelmässig identische Bodenproben in verschiedene Labors in der Schweiz bei gleichen Methoden getestet und deren Werte verglichen (Hübscher 2023, persönliche Mitteilung). Gemäss Hübscher (2023, persönliche Mitteilung) zeigen sich dort immer Unterschiede im ähnlichen Bereich, wie bei den für diesen Versuch analysierten Bodenproben. Aus diesem Grund sollten kleine Unterschiede zwischen den Verfahren nicht überbewertet werden (Hübscher 2023, persönliche Mitteilung). Es zeigen sich klare Überschüsse bei allen Nährstoffen, was zu Blockierungen führen kann (Hübscher 2023, persönliche Mitteilung).

Bei der Kationenaustauschkapazität kann beim Calcium und Magnesium kein Zusammenhang zu den Bodenproben gefunden werden. Das Kalium hingegen zeigt sich in der KAK, wie auch im Kalium der Bodenprobe beim Verfahren «KT_CE» mit den tiefsten Werten. Das Natrium in der KAK sollte gemessen werden, wurde aber aufgrund eines Missverständnisses beim Ausfüllen des Formulars nicht als KAK, sondern als Salzgehalt im Boden gemessen. Der gewünschte H^+-Wert in der Basensättigung von 24% nach Labor Ins, deckt sich nicht mit den Angaben von Kinsey von ca. 10-15%, wobei er sich entsprechend sogar etwas über dem optimalen Bereich befinden würde (vgl. Kinsey 2014, 54). Die Soll-Werte der Kationenaustauschkapazität beziehen sich auf die KAK-Methode von Agroscope, während beispielsweise in Deutschland und bei Kinsey nach der ISO-Methode vorgegangen wird (Hübscher 2023, persönliche Mitteilung). Bei der KAK-Analyse vom Labor Ins werden ca. 13% mehr Nährstoffe gegenüber der ISO-Methode herausgelöst, entsprechend wären daher im Vergleich zu einer Kinsey-Albrecht-Analyse die Werte noch höher (Hübscher 2023, persönliche Mitteilung). Ein Vergleich vom Labor Ins mit der Kinsey-

Albrecht-Analyse war aus kostentechnischen Gründen nicht möglich und hätte den Rahmen erneut gesprengt. Die Gegenüberstellung der Analysen auf einer Versuchsfläche unter kontrollierten Bedingungen könnten in einer nächsten Arbeit aufgegriffen werden. Es ist entsprechend wichtig zu wissen, welche Methodik bei welchen Labors angewendet wird. Diese unterschiedlichen Methoden, sei es bei Pflanzensaftmessungen oder Bodenproben tragen eindeutig dazu bei, dass eine Interpretation komplexer, wenn nicht zum Teil unmöglich und wenig sinnvoll wird.

4.1.5 Qualitative Auswertung Boden-Chroma

Die Interpretation eines Boden-Chromas erfolgt anhand von vier Zonen, sowie der Länge und Form der Zacken, Wolkenbildung und radialen Strukturen (vgl. Abb. 180) (Bodenluft GmbH 2019).

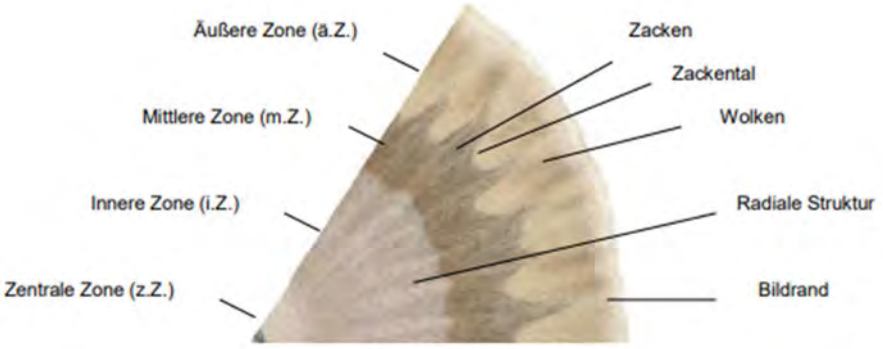
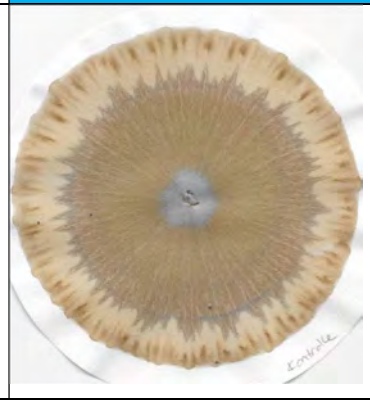
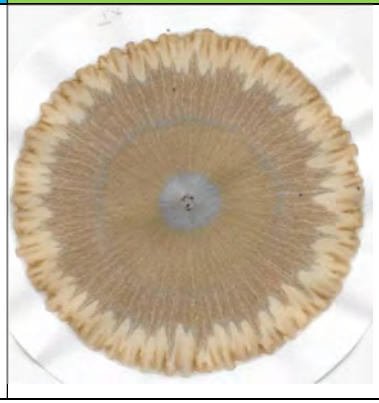
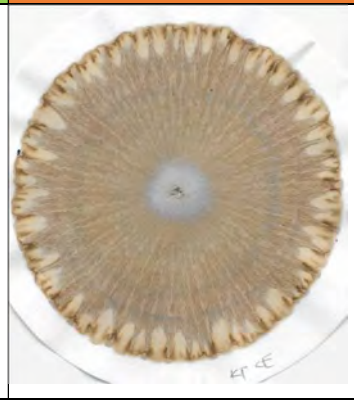
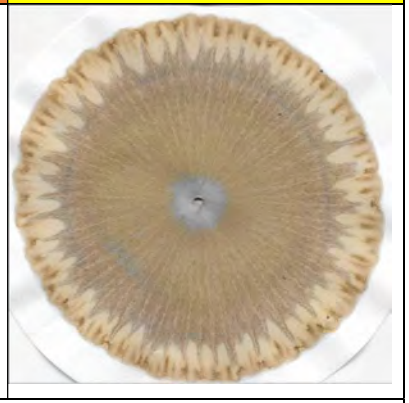


Abb. 180: Identifikation Zoneneinteilung Boden-Chroma (Quelle: Hassold-Piezunka 2003)

Anhand der Unterlagen von Bodenluft GmbH (2019) wird kurz ein Überblick zu den Boden-Chromas und den vier Zonen geschaffen, bevor im nächsten Unterkapitel die Interpretation von Fachpersonen folgt (vgl. Tab. 92).

Tab. 92: Boden-Chroma Vergleich (Quelle: Eigene Darstellung)

START	«Kontrolle»	«Komposttee» (KT)	«Komposttee mit pH-Senker» (KT_CE)	«pH-Senker» (CE)
				
Zentrale Zone: Allgemeine Bodenbeschaffenheit, Sauerstoffversorgung, Fruchtbarkeit Die zentrale Zone zeigt sich bei allen Verfahren in durchschnittlicher Breite. Sie zeigt überall einen Graustich, der auf Sauerstoffmangel hinweist.				
Innere Zone: Wasserhaushalt und Chemie des Bodens Die innere Zone variiert zwischen den Verfahren in Farbe und Breite. Beim Verfahren «KT_CE» ist der Farbübergang von der inneren zur mittleren Zone am Fliessendsten. Das Verfahren «KT» hat die schmälste innere Zone.				
Mittlere Zone: Zustand des Bodenlebens und Durchlüftung Das Verfahren «KT_CE» zeigt die ausgeprägtesten Zacken, welche gut ausgebildet sind und die Randzone durchringen. Generell eine diverse Zackenbildung, am wenigsten beim Verfahren «Kontrolle». Eine ausgeprägte Zackenbildung weist auf eine starke, mikrobielle Aktivität hin (Bodenluft GmbH 2019).				
Äussere Zone/Randzone: Humuszustand des Bodens Die dunklere Färbung der Randzone deutet auf vorhandene, noch nicht abgebaute, organische Substanz hin (Bodenluft GmbH 2019). Am stärksten ausgeprägt ist diese beim Verfahren «KT_CE». Falten- oder wolkenähnliche Fleckung der Randzone sind teilweise ersichtlich, jedoch nicht ausgeprägt. Durch die dunkle Färbung der Randzone, kann die Bildung der Flecken auch von deren Eintrag stammen. Eine starke Fleckung deutet auf eine hohe mikrobielle Vielfalt und Enzymaktivität des Bodens hin (Bodenluft GmbH 2019).				

4.1.6 Interpretation externer Fachpersonen

Bei allen Boden-Chromas zeigt die dunkle, zentralen Zone auf Sauerstoffmangel (Verdichtungen, Vernässung, Staunässe) und einen zu wenig durchlüfteten Boden hin (Al Naser 2023, persönliche Mitteilung; Rieger 2023, persönliche Mitteilung; Pola 2023a, persönliche Mitteilung). Das Verfahren «KT_CE» zeigt die hellste, zentrale Zone, sowie mit dem Verfahren «KT» zusammen eine grössere, zentrale Zone als das Verfahren «Kontrolle» und «CE» (Rieger 2023, persönliche Mitteilung). Das Verfahren «KT_CE» zeigt im Übergang von der zentralen Zone zur inneren Zone die geringste Ringbildung (Abächerli 2023, persönliche Mitteilung). Die Ringbildung und gräulichen Schattierungen zeigen, dass eine Nährstoffmineralisation stattfindet und gleichzeitig Nährstoffe, auch aus dem Dauerhumus, entbunden werden (Abächerli 2023, persönliche Mitteilung). Im Gesamten scheint der Boden gute Funktionsfähigkeiten aufzuweisen, mit guten Porenvolumen und einem stabilen und strukturierten Bodengefüge (Al Naser 2023, persönliche Mitteilung). Die Vernässungsmerkmale haben sich bei der «Kontrolle», gefolgt von «KT» und «CE» etwas verbessert, bei «KT_CE» sogar tendenziell verschlechtert (Pola 2023a, persönliche Mitteilung). Anhand der inneren und mittleren Zone können gute Gehalte an organischer Substanz herausgelesen werden (Rieger 2023, persönliche Mitteilung). Davon jedoch kaum Dauerhumusverbindungen (Pola 2023a, persönliche Mitteilung). Die Bodenorganismen sind in Quantität und Qualität vorhanden (Al Naser 2023, persönliche Mitteilung). «KT» scheint eine lohnenswerte Massnahme zu sein, um die Bodenbelebung in Qualität und Quantität zu erhalten (Pola 2023a, persönliche Mitteilung). Grundsätzlich unterscheiden sich die Boden-Chromas kaum, ausser beim Verfahren «KT_CE» zeigt sich eine höhere Vielfalt der Mikroorganismen, wie auch einer höheren, enzymatischen Aktivität (Al Naser 2023, persönliche Mitteilung). Dieser Aussage widersprechend äussert sich Pola (2023a, persönliche Mitteilung), denn die Wolkenbildung von «KT_CE» sei verglichen zu den anderen Chromas geringer, was auf eine tiefere, enzymatische Aktivität hinweist. Pilze wurden bei diesem Verfahren mengenmässig gefördert, Bakterien jedoch geschwächt (Pola 2023a, persönliche Mitteilung).

Die starken Ablagerungen am Bildrand weisen auf eine Anreicherung von Fulvosäuren hin, was auf eine Abbauverzögerung der organischen Substanz hindeuten, sowie mit einem hohen Salzgehalt korrelieren kann (Rieger 2023, persönliche Mitteilung). Sie sind ein Zeiger dafür, dass der Abbau und/oder Umbau dieser Stoffe von den vorhandenen Bodelebewesen nicht ausreichend schnell durchgeführt werden kann (Pola 2023a, persönliche Mitteilung). Durch diese Anreicherung kann es während der Chroma-Herstellung zu Steighemmungen gekommen sein, wodurch die geringe Ausprägung der Zacken erklärt werden kann (Rieger 2023, persönliche Mitteilung). Dieser Effekt zeigt sich vorallem in Böden mit einem höheren Anteil an organischer Substanz in nicht stabiler Form (Rieger 2023, persönliche Mitteilung). Die Ablagerungen zeigen sich in deutlichster Form beim Verfahren «KT_CE» und am wenigsten beim Verfahren «Kontrolle» (Rieger 2023, persönliche Mitteilung). Bei «KT_CE» deuten sie jedoch auf Störungen hin (Pola 2023a, persönliche Mitteilung). Zwischen «KT_CE» und «KT» zeigen sich mehr Ablagerungen, so auch zwischen «CE» und der «Kontrolle» (Pola 2023b, persönliche Mitteilung). Eine einseitige Erhöhung eines Spurenelementes in hoher Dosierung (hier Mangan) kann, zusätzlich zu einem erhöhten Salzgehalt, dafür verantwortlich sein (Pola 2023b, persönliche Mitteilung) Beim Verfahren «START» zeigen sich etwas mehr Ablagerungen als bei der «Kontrolle», was darauf hindeutet, dass dazwischen ein Abbau von organischer Substanz stattgefunden hat (Rieger 2023, persönliche Mitteilung; Pola 2023a, persönliche Mitteilung). Es sind an sich stabile Humusverbindungen vorhanden, die Umsetzung des neu eingebrachten, organischen Materials in stabile Humusverbindungen jedoch durch eine schwache mikrobielle Aktivität beeinträchtigt

(Rieger 2023, persönliche Mitteilung). Beim Verfahren «KT_CE» zeigen ein stärkeres Ausfransen der radialen Struktur, wie auch die grössere und hellere zentrale Zone eine schwache Verbesserung in der mikrobiellen Aktivität (Rieger 2023, persönliche Mitteilung). Diese Veränderungen zeigen zudem auf eine leicht bessere Durchlüftung hin (Pola 2023a, persönliche Mitteilung). Ein weiteres Indiz auf eine höhere mikrobielle Aktivität ist die Zackenbildung, welche bei den Verfahren «KT», «CE» und «KT_CE» eine stärkere Ausprägung als beim Verfahren «Kontrolle» zeigen (Rieger 2023, persönliche Mitteilung; Pola 2023a, persönliche Mitteilung). Teilweise hat sich jedoch deren Variabilität etwas verändert (Pola 2023a, persönliche Mitteilung). Im Fall von «KT_CE» sind es weniger die gewünschten flammenförmigen, mit geschlossener Spitze, aussehende Zacken, sondern eher offene Röhren, so sind Abbau- und Sauerstoffproblematiken vorhanden (Pola 2023a, persönliche Mitteilung). Zusätzlich sind die Zacken bei allen Verfahren in unterschiedlicher Länge zu beobachten, was zeigt, dass Umbauprozesse aus abgebautem Material stattfinden (Abächerli 2023, persönliche Mitteilung).

Bei allen Verfahren zeigen sich ähnliche Färbungen, welche auf einen geringen Ammoniumgehalt hindeuten (Rieger 2023, persönliche Mitteilung; Pola 2023a, persönliche Mitteilung). Es dominieren mehrheitlich braune und gräuliche Farbtöne, welche ein gutes Zeichen sind (Abächerli 2023, persönliche Mitteilung). Zeigen sich grösstenteils Grautöne, deutet dies meist auf schwach belebte Böden hin (Abächerli 2023, persönliche Mitteilung). Die fliessenden Übergänge zwischen der inneren und mittleren Zone deuten darauf hin, dass der Abbau der organischen Substanz nicht gehemmt ist (Rieger 2023, persönliche Mitteilung). Das Verfahren «KT_CE» zeigt dabei den fliessendsten Übergang (Rieger 2023, persönliche Mitteilung). Widersprechend äussert sich Pola (2023a, persönliche Mitteilung) zu dieser Aussage, wobei die «Kontrolle» den für ihn fliessendsten Übergang aufzeigt. Die innere Zone zeigt sich in allen Verfahren in einem Braunton, die Verfahren «KT_CE» und «CE» haben einen leicht gräulichen bis schwärzlichen Stich, was auf einen höheren pH hinweisen könnte (Rieger 2023, persönliche Mitteilung; Pola 2023a, persönliche Mitteilung). Aufgrund des eingesetzten pH-Senkers in diesem Verfahren, haben möglicherweise die heterogenen Bodeneigenschaften einen grösseren Einfluss als die Verfahren (Rieger 2023, persönliche Mitteilung).

4.1.6.1 Teildiskussion Boden-Chroma

Unterschiede zwischen den Chromas werden generell als klein eingestuft (vgl. Al Naser 2023, persönliche Mitteilung; Rieger 2023, persönliche Mitteilung; Abächerli 2023, persönliche Mitteilung). Weiter teilen sich die Meinungen, welches Filterpapier benutzt werden sollten. Abächerli empfiehlt den Einsatz von Filterpapier Nr.1 und Nr.4, damit weitere Unterschiede sichtbar werden (vgl. Abächerli 2023, persönliche Mitteilung). Reto Pola hingegen benützt mehrheitlich Nr. 4, damit mehr Nuancen durch schnellere Steigvorgänge hervorgehoben werden können (vgl. Pola 2023b, persönliche Mitteilung). Für die Interpretation von Boden-Chromas finden sich zwar wissenschaftliche Studien, welche grösstenteils quantitative Merkmale, wie z.B. Breite der einzelnen Zonen, Zackenlänge, etc. messen und die qualitativen Merkmale den geschulten Fachleuten überlassen (vgl. Kokornaczyk et al. 2017). Der Pionier der Boden-Chromas, Dr. Ehrenfried Pfeiffer, gibt in seinem Buch Indizien dazu, wie Chromas gelesen werden können und weist darauf hin, wie wichtig ein graduelles Herantasten anhand von Interpretationen gut analysierten Substanzen ist, um sich langsam zu eichen (vgl. Pfeiffer 1984). Obwohl gewisse Abweichungen bei den Bewertungen der Chromas festgestellt werden konnten, stimmen sich die Fachpersonen in vielen Aspekten zu. Aus einem Boden-Chroma können unzählige Parameter zur Geschichte des Bodens herausgelesen werden (Pola 2023a, persönliche Mitteilung). Es benötigt jedoch unabdingbar das nötige

Fachwissen. Während sich in den Bodenproben vom Labor Ins die Anteile der einzelnen Nährstoffe zwischen den Verfahren zwar geändert haben und mit Messinstrumenten bestimmt wurden, kann aus den Zahlen und Balken nur schwer eruiert werden, ob nun eine Verbesserung oder Verschlechterung stattgefunden hat. Im Boden-Chroma hingegen zeigen sich bereits auf den ersten Blick Unterschiede, welche abgesehen von den hohen Anforderungen an die Fachperson bezüglich der Interpretation, weit mehr über den Boden aussagen können als nur Nährstoffgehalt und Kationenaustauschkapazität. In der Wissenschaft ist die Boden-Chromatographie umstritten, da eine quantitative Analyse schwierig ist und für die Herstellung zwar ein standardisiertes Verfahren besteht, nicht jedoch für die Interpretation (Khemani et al. 2008; Ford et al. 2021). Weitere Versuche mit der Boden-Chromatographie könnten im Zusammenhang mit Bodenanalysen ein ganzheitlicheres Bild über den vorliegenden Boden und dessen Geschichte geben. Zudem können Boden-Chromas mit ihrer visuellen Wirkung und der daraus erkennbaren Komplexität und Vielschichtigkeit im Vergleich zu starr analytischen Bodenproben ein erhöhtes Bewusstsein für Böden und deren Relevanz schaffen. Eine regelmässige Chroma-Analyse der Böden könnte vielleicht eine grössere Motivation sein, Veränderungen in Bezug auf Bodenbearbeitung, Düngung und Pflanzenschutz vorzunehmen.

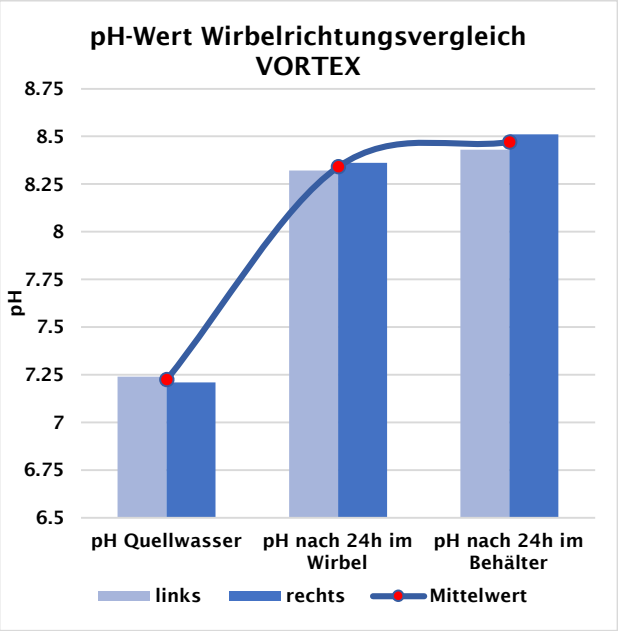
4.2 Ergebnisse Nebenversuche

Aufgrund der fehlenden Wiederholungen der Nebenversuche, wird grösstenteils eine deskriptive Interpretation der Ergebnisse gemacht. Zuerst folgen die Werte des-Wirbelrichtungsversuchs, danach der Maschinen- und Wasserbelüftungsvergleich. Der microBIOMETER® konnte anhand der Wiederholungen statistisch ausgewertet werden.

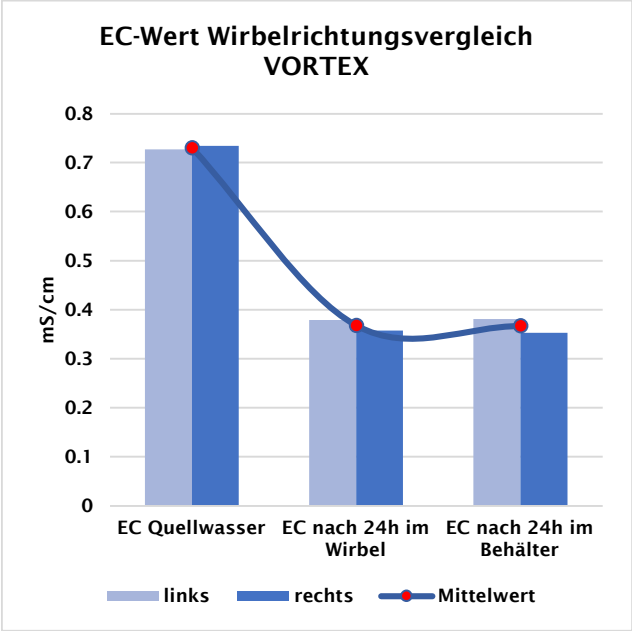
4.2.1 Deskriptiver Vergleich Wirbelrichtung Quellwasser

Aufgrund der zeitlich versetzten Versuchsabfolge wurde das Quellwasser nach dem Einfüllen an beiden Daten auf pH, EC und Redox gemessen. Es zeigen sich daher leichte Unterschiede in den Anfangswerten vom Quellwasser (vgl. Tab. 93, Tab. 94, Tab. 95). Gut ersichtlich ist bei beiden Wirbelrichtungen der Anstieg im pH nach 24 Stunden (vgl. Tab. 93). Tendenziell kann gesagt werden, dass der pH bei der Wirbelrichtung «links» etwas geringfügiger ansteigt, auch wenn der Anfangs-pH etwas höher ist. Eine leichte Steigerung zeigt sich zudem von der Messung «im Wirbel» zur Messung «im Behälter». Beim EC-Wert zeigt sich nach 24 Stunden ein deutlicher Abfall der Leitfähigkeit, wobei trotz des geringfügig höheren Anfangswertes, die Wirbelrichtung «rechts» etwas tiefer sinkt (vgl. Tab. 94). Zwischen der Messung «im Wirbel» und «im Behälter» zeigen sich nur minime Unterschiede. Der Redox-Wert zeigt eine ähnliche Tendenz und nimmt nach 24 Stunden deutlich ab (vgl. Tab. 95). Die Messungen zeigen bei beinahe identischen Anfangswerten einen unverkennbar höheren Redox-Wert bei der Wirbelrichtung «rechts» verglichen zu «links». Der Wert erhöht sich leicht vom «im Wirbel» zu «im Behälter» bei beiden Wirbelrichtungen.

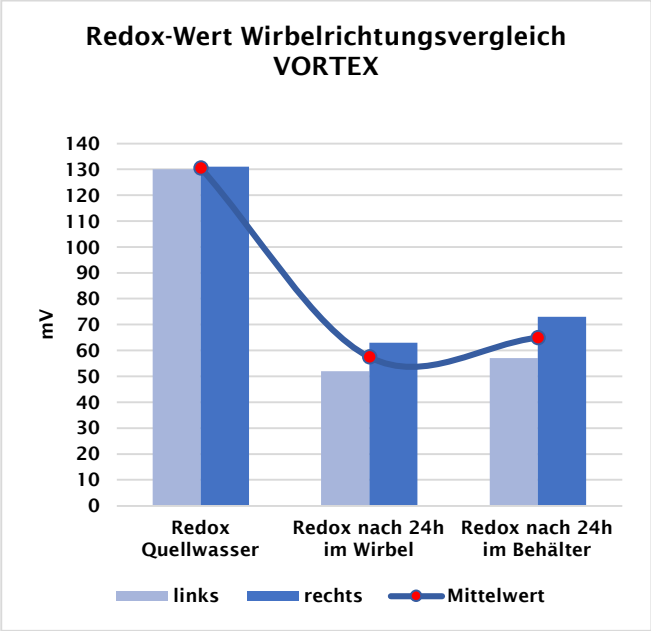
Tab. 93: pH-Wert Wirbelrichtungsvergleich
(Quelle: Eigene Darstellung)



Tab. 94: EC-Wert Wirbelrichtungsvergleich
(Quelle: Eigene Darstellung)



Tab. 95: Redox-Wert Wirbelrichtungsvergleich
(Quelle: Eigene Darstellung)



4.2.1.1 Teildiskussion deskriptiver Vergleich Wirbelrichtung Quellwasser

Die extremen pH-Erhöhungen nach der Wasserbelüftung wurden bereits im Kapitel 4.1.1.4 kurz diskutiert. Es zeigt sich hier ein ähnliches Muster: Durch die Verwirbelung, respektive die Ausgasung des Kohlendioxids, wird der pH im Wasser gehoben (Aquaristik Profi ohne Datum). Vom Quellwasser wurde keine Wasserprobe genommen. Während des Hauptversuchs wurden jedoch jeweils während den Kalibrierungen der Horiba-LaquaTwin-Messgeräte und den pH-, EC- und Redox-Sonden das Quellewasser getestet. Somit kann gesagt werden, dass der pH dabei jeweils zwischen 7 und 7.16 lag. Aufgrund der Quellfassung und daraus resultierenden Schwankungen, sind die minimen Veränderungen in pH vom Frühjahr zum Juli erklärbar. Der EC lag jeweils zwischen 0.727 und 0.836mS/cm. Dies stimmt relativ gut mit dem Anfangswert des Quellwassers beim Nebenversuch überein. Der Redox lag zwischen 168 und 195mV, relativ höher als beim Nebenversuch. Redox und pH haben eine negative Korrelation, sprich der etwas erhöhte pH beim Anfangswert des Nebenversuchs könnte die etwas tieferen Redox-Werte erklären. Zusätzlich erklärt diese pH-Korrelation auch die Abnahme des Redox nach 24-stündiger Wasserbelüftung. Der EC nimmt mit der Belüftung stark ab, während er beim Hauptversuch angestiegen ist. Es wurde beim Nebenversuch zwar keine Heizung eingesetzt, jedoch erwärmte sich das Wasser während der Belüftung aufgrund der wärmeren Aussentemperaturen. Entsprechen wäre eine EC-Erhöhung nach Dieter et al. (ohne Datum) zutreffender. Eine Erklärung für den tieferen EC könnte an der Wasserhärte liegen. Beim Hauptversuch wurde Regenwasser eingesetzt, wobei der EC dabei ca. 0.2mS/cm betrug. Das Quellwasser vom Nebenversuch ist jedoch reich an Mineralien und mit 22°fH ein mittelhartes Wasser (vgl. CBS Wasser AG ohne Datum). Durch die Wasserbelüftung wird Sauerstoff eingebracht. Dadurch werden die je nach Wasserhärte vorkommenden Calcium- und Magnesium-Moleküle oxidiert und fallen aus (vgl. Abb. 181) (htgetrid ohne Datum). Dadurch wird das Wasser weicher und der EC senkt sich.

Abb. 181: Ausgefallener Kalk nach Wasserbelüftung (Quelle: Eigene Aufnahme)

Die minimalen Unterschiede zwischen Wirbelrichtung links und rechts müssten anhand von wiederholten Versuchen näher angeschaut werden. Laut Kuman (2018) wurde die Welt durch linksdrehende (im Gegenuhrzeigersinn) drehende Energiefelder geschaffen. Eine solche Drehung ist Energie kreierend, während eine Drehung im Uhrzeigersinn energieaufsaugend ist (Kuman 2018). Im Gegenspruch dazu finden sich Aussagen, dass rechtsdrehende Energie aufbauend Charakteren und linksdrehende Energie abbauende oder ausleitende Merkmale hat (Neue Geomantie ohne Datum). Wasseradern überwiegen in rechtsdrehender Form und haben so auch eine höhere Boviseinheit (BE) (Neue Geomantie ohne Datum). Die Boviseinheit ist ein Begriff aus der Radiästhesie und ist eine Art Messung von feinstofflicher Energie,

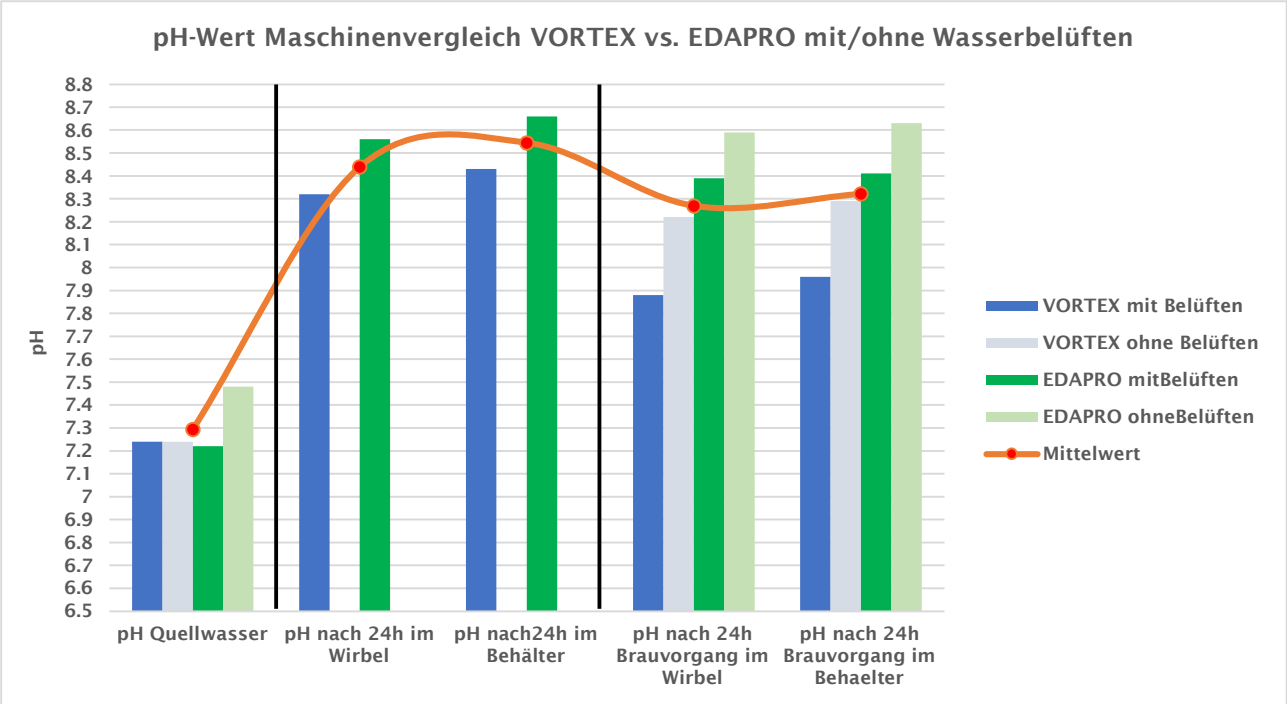
welche jedoch wissenschaftlich nicht anerkannt ist (Psiram 2023). Biodynamisiertem Wasser, eine Verwirbelung von Wasser nach dem Ursprungsprinzip von Viktor Schauberger wird nachgesagt ähnliche, wenn nicht sogar höhere Schwingungen und somit ähnliche Bovis-Einheiten wie Quellwasser zu haben (S.A. Dynamized Technologies ohne Datum). Dabei wird Wasser mittels eines Aufsatzes, der eine Nachahmung der natürlichen Wasserläufe sein soll, in beide Richtungen verwirbelt und vitalisiert (S.A. Dynamized Technologies ohne Datum). Bei einem privat durchgeführten Komposttee-Versuch mit Wirbelrichtung links wurde eine pH-Senkung und Energiesteigerung (ca. 13'000 BE) festgestellt, wobei 75% der Wirkung am vitalisierten Wasser zugeschrieben wird (Kellerhals 2022). Bei einem rechtsdrehenden Wirbel wurden zwar auch noch positive Bovis-Einheiten festgestellt, jedoch war der Beitrag des Wassers an der Energie tiefer und wurde durch die Zutaten kompensiert (Kellerhals 2022). Zudem fügt Kellerhals (2022) an, dass positive Gedanken dem Wasser zusätzlich Energie geben, während negative Worte Energie rauben. Sogenanntes belebtes Wasser wird in der Wissenschaft stark diskutiert und dessen Wirkung mehrheitlich bestritten (Kitzmüller 2005). Informationen über Wirbelrichtung des belebten Wassers sind schwierig zu finden oder widersprechen sich. Aufgrund der festgestellten, wenn auch minimalen Differenzen zwischen den Wirbelrichtungen wäre es sinnvoll, weitere Versuche vorzunehmen. Dies schon nur aus dem Grund, dass viele der befragten Komposttee-Anwender*innen eine spezifische, auf Empfehlung beruhende Wirbelrichtung bei ihren Brausystemen einstellen.

4.2.2 Unterschiede Wasserbelüftung und Mikrobiom EDAPRO gegenüber VORTEX

4.2.2.1 Deskriptiver Vergleich pH, EC und Redox EDAPRO & VORTEX mit/ohne Wasserbelüftung

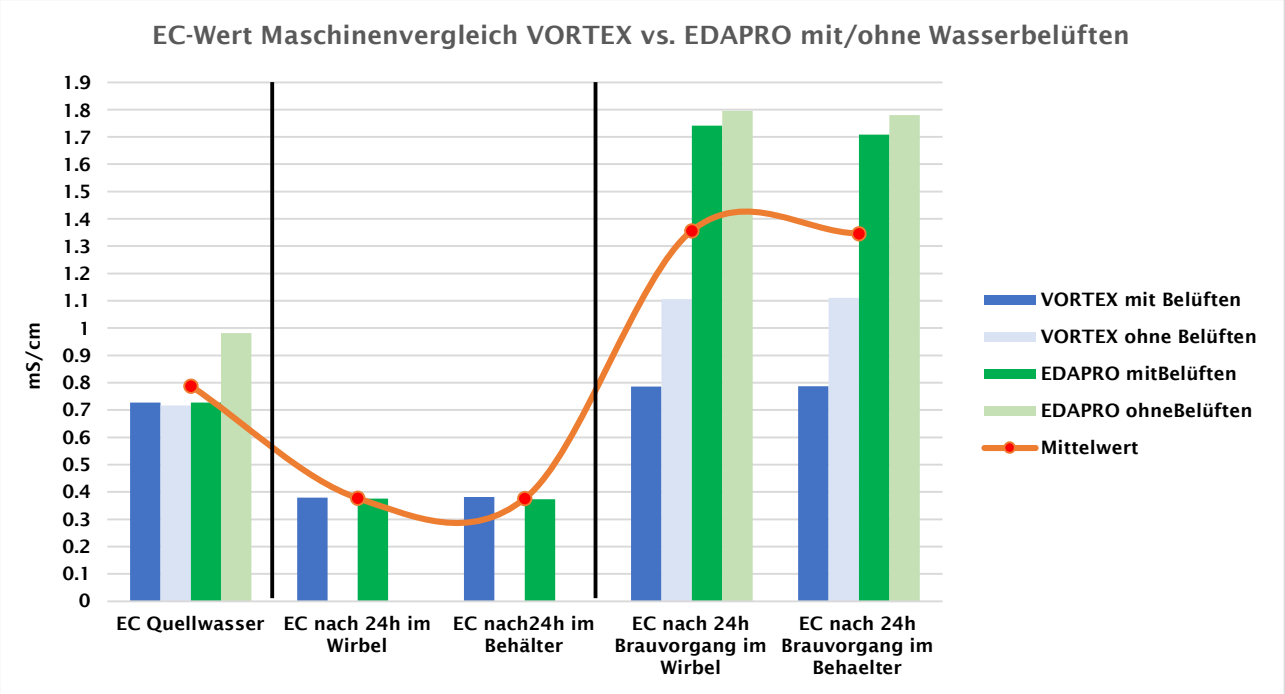
Wie bereits im Kapitel 4.2.1 erwähnt, variieren die Anfangswerte vom Quellwasser je nach Verfahren. Beim pH-Wert zeigt sich bei den beiden Verfahren «VORTEX mit Belüften» und «EDAPRO mit Belüften» nach der 24-stündigen Wasserbelüftungsdauer wiederum ein deutlicher Anstieg (vgl. Tab. 96). Obwohl der Anfangs-pH beim Verfahren «EDAPRO mit Belüften» geringfügig tiefer ist, steigt der pH dort stärker an. Die Veränderung vom «im Wirbel» zu «im Behälter» unterscheidet sich nicht gross zwischen den zwei Verfahren, nimmt aber «im Behälter» generell etwas zu. Der Vergleich nach 24-stündigem Brauvorgang des Komposttees zeigt merkliche Unterschiede. Einerseits zeigt das Verfahren «VORTEX mit Belüften» den tiefsten pH, gefolgt von «VORTEX ohne Belüften». «EDAPRO mit Belüften» zeigt im Vergleich zum gemessenen pH-Wert nach der Wasserbelüftung einen etwas tieferen pH. «EDAPRO ohne Belüften» zeigt den höchsten pH-Wert, der auf ähnlichem Niveau liegt, wie der pH-Wert der EDAPRO Maschine nach 24 Stunden Wasserbelüftung.

Tab. 96: pH-Wert Maschinen- und Wasserbelüftungsvergleich (Quelle: Eigene Darstellung)



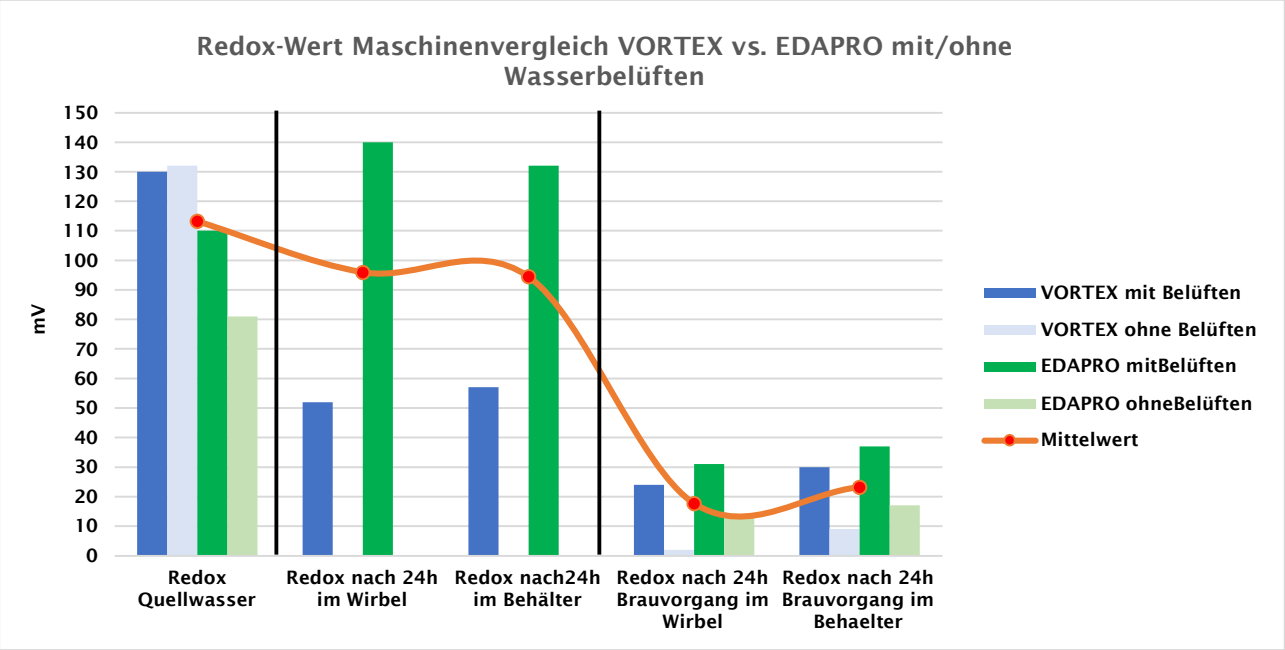
Der EC-Wert zeigt erneut, wie beim Wirbelrichtungsversuch (vgl. Kapitel 4.2.1), einen deutliche Abfall nach 24 Stunden Wasserbelüftung (vgl. Tab. 97). Der Anfangs-EC-Wert ist bei «VORTEX mit Belüften» und «EDAPRO mit Belüften» identisch und zeigen nach 24 Stunden belüften auch nur minime Unterschiede. Zudem zeigt sich auch praktisch kein Unterschied zwischen «im Wirbel» und «im Behälter». Nach dem 24-stündigen Brauvorgang des Komposttees zeigt sich ein ähnliches Muster wie beim pH (vgl. Tab. 96). «VORTEX mit Belüften» und «VORTEX ohne Belüften» zeigen die tiefsten EC-Werte, wobei «ohne Belüften» etwas höher liegt. Das Verfahren «EDAPRO mit Belüften», welches nach 24 Stunden Wasserbelüften den fast identischen EC-Wert wie das Vortex-Verfahren hatte, zeigt nach dem Brauvorgang einen merklich höheren EC-Wert. Wiederum zeigt das Verfahren «EDAPRO ohne Belüften» den höchsten EC-Wert. Hierbei wird jedoch auf den Anfangswert des Quellwassers verwiesen, der bereits etwas höher war. Der Unterschied zwischen «im Wirbel» und «im Behälter» zeigt sich auch nach dem Brauvorgang nur minim, teilweise sogar mit einem leichten Rückgang.

Tab. 97: EC-Wert Maschinen- und Wasserbelüftungsvergleich (Quelle: Eigene Darstellung)



Beim Redox-Wert zeigt sich zwischen den Verfahren bereits ein deutlicher Unterschied nach der Wasserbelüftung (vgl. Tab. 98). Während der Redox von «VORTEX mit Belüften» nach 24 Stunden Wasserbelüftung markant sinkt, zeigt sich bei «EDAPRO mit Belüften» einen Anstieg des Redox. Zusätzlich steigt der Wert von «im Wirbel» zu «im Behälter» beim VORTEX-Verfahren etwas an, während er beim EDAPRO-Verfahren etwas abnimmt. Nach dem 24-stündigen Komposttee-Brauvorgangs, zeigen sich überall tiefere Werte gegenüber den Anfangs-, sowie den nach 24 Stunden Wasserbelüftungswerten. «VORTEX ohne Belüften» zeigt den tiefsten Redox, gefolgt von «EDAPRO ohne Belüften». Hierbei wird jedoch auf den bereits tieferen Anfangswert vom Verfahren hingewiesen. «EDAPRO mit Belüften» zeigt den höchsten Redox-Wert. Zwischen «im Wirbel» und «im Behälter» steigt der Redox nach dem Brauvorgang bei allen Verfahren etwas an.

Tab. 98: Redox-Wert Maschinen- und Wasserbelüftungsvergleich (Quelle: Eigene Darstellung)



4.2.2.2 Statistische Auswertung Mikrobiometer

Der pro Verfahren mehrmalige eruierte mikrobielle Kohlenstoff zeigt bei der statistischen Auswertung eine Signifikanz vom Verfahren «VORTEX_mitBelueften» (a) (p=0.004), sowie «VORTEX_ohneBelueften» (a) (p=0.005) gegenüber des Referenzverfahrens «EDAPRO_mitBelueften» (b) (vgl. Tab. 99, Abb. 182). Zusätzlich besteht von «VORTEX_mitBelueften» (a) (p=0.0042), sowie «VORTEX_ohneBelueften» (a) (p=0.0063) gegenüber «EDAPRO_ohneBelueften» (b) eine weitere Signifikanz.

Tab. 99: Fixe Effekte (Lineares Modell) Mikrobieller Kohlenstoff; Verfahren

	Microbial_biomass_carbon		
Predictors	*Estimates*	*CI*	*p*
(Intercept)	42.36	25.35 – 59.37	**<0.001**
Verfahren [EDAPRO_ohneBelueften]	1.34	-24.18 – 26.86	0.912
Verfahren [VORTEX_mitBelueften]	-39.00	-63.06 – -14.94	**0.004**
Verfahren [VORTEX_ohneBelueften]	-36.62	-60.68 – -12.56	**0.005**
Observations	19		
R^2 / R^2 adjusted	0.595 / 0.513		

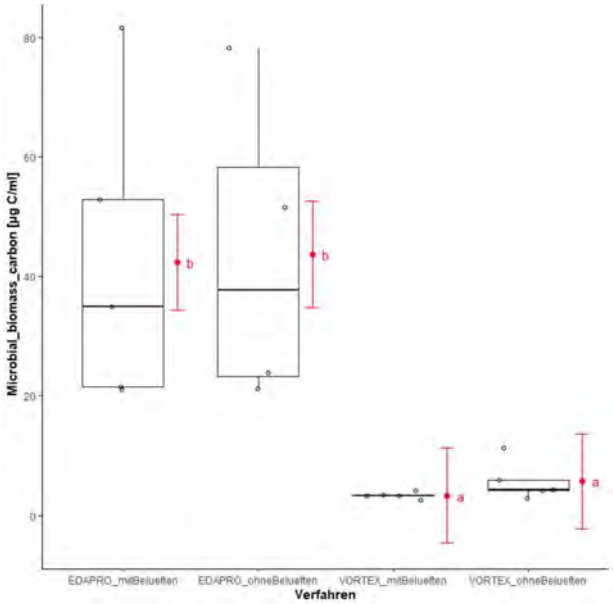


Abb. 182: Effekte (Lineares Modell) Mikrobieller Kohlenstoff; Verfahren

4.2.2.3 Teildiskussion Unterschiede Wasserbelüftung und Mikrobiom EDAPRO gegenüber VORTEX

Bereits in der Wasserbelüftung zeigen sich grosse Unterschiede zwischen den zwei Maschinen in Bezug auf pH und Redox, weniger beim EC. Die EDAPRO-Maschine zeigt beim pH und Redox nach 24 Stunden Wasserbelüftung deutlich höhere Werte an. Diese Unterschiede können entweder auf das unterschiedliche Bausystem (EDAPRO=konischer Behälter und Deckel) oder auf eine zu wenig gute vorherige Reinigung der Maschine zurückgeführt werden. Die EDAPRO-Maschine wurde zuletzt beim Hauptversuch eingesetzt, wobei sie jedoch gründlich geputzt wurde. Aufgrund der Erfahrungen aus dem Hauptversuch wurde nach dem Einschalten der Pumpe darauf geschaut, ob das Wasser weiterhin klar blieb und keine alten Ablagerungen mitzirkulierten. Auch nach 24 Stunden Wasserbelüftung wurde keine Farbveränderung festgestellt. Dennoch kann ein Einfluss durch Mikrofilm-Ablagerungen nicht zu 100% ausgeschlossen werden, das gleiche gilt jedoch für die VORTEX-Maschine.

Es zeigen sich zudem auch unterschiedliche Anfangswerte des Quellwassers. Dies vor allem beim Verfahren «EDAPRO» hauptsächlich beim Redox und zusätzlich beim «EDAPRO_ohneBelueften» beim EC. Am Tag vor dem Beginn des Verfahren «EDAPRO_ohneBelueften» gab es ein grosses Gewitter mit knapp 16mm Regen (vgl. Tab. 9). Die Quelle liegt in einer Dauerweide, etwas in einer Senke. Gewisse Kulturen wurden zu dieser Zeit gerade abgeerntet und Hofdünger auf die Felder ausgebracht. Somit könnte durch den Starkregen eine Auswaschung der Nährstoffe in das Quellwasser den erhöhten EC-Wert und pH-Wert erklären. Wie bereits in Kapitel 2.1.3.3 und 4.1.1 ersichtlich, hat der pH-Wert eine negative

Korrelation mit dem Redox-Wert. Ein Abfall im Redox ist daher durch die Erhöhung des pH zu erklären. Nichtsdestotrotz zeigen sich die einzelnen Ausreisser bei den Messungen des Quellwassers nicht als gross relevant bei den Ergebnissen, da sich die Maschine von EDAPRO trotzdem von der VORTEX unterscheidet.

Nach dem 24-stündigen Brauverfahren mit Kompost bildet sich zwischen den beiden Maschinen (mit und ohne Belüften) jeweils fast überall das gleiche Muster bei den Messwerten ab. So ist der pH und EC bei EDAPRO jeweils höher, mit dem Verfahren «ohneBelueften» am höchsten. Das Verfahren «VORTEX_ohneBelueften» zeigt sich auch höher gegenüber «mitBelueften». Beim Redox zeigt sich aufgrund dessen Korrelation mit dem pH das umgekehrte Bild, wobei bei beiden Maschinen die Verfahren «mitBelueften» gegenüber «ohneBelueften» höhere Redox-Werte aufzeigten. Durch den generell höheren pH bei EDAPRO sind auch die Redox-Werte bei dieser Maschine etwas höher.

Die statistisch ausgewerteten Signifikanzen bei der mikrobiellen Biomasse klare Unterschiede zwischen den zwei Maschinen und ihren Rezepturen. Der Mittelwert liegt bei den EDAPRO-Verfahren zwischen 42-44µg/ml mikrobieller Kohlenstoff, während beim VORTEX sich dieser nur zwischen 3-6µg/ml bewegt. Bei beiden Maschinen ist der Mittelwert beim Verfahren «ohneBelueften» minim höher. microBIOMETER (ohne Datumc) haben anhand vieler Messungen und Rückmeldungen von Kunden einen Zielbereich definiert, welche unter anderem für Komposttee eine Einschätzung zur getesteten, mikrobiellen Aktivität geben sollte. Der Zielbereich für Komposttee liegt zwischen 20-60µg/ml (microBIOMETER ohne Datumc). Anhand diesem kann gesagt werden, dass sich das EDAPRO-Verfahren (mit oder ohne Belüftung) im mittleren Zielbereich befindet, während die beiden VORTEX-Verfahren weit darunter liegen. Gründe für die statistisch signifikanten Unterschiede können einerseits die Unterschiede in der Bauweise und dem Belüftungssystem der Maschinen sein, da diese bereits nur bei der Wasserbelüftung andere Messwerte hervorbrachten. Anderseits zeigte sich in beiden Kompostteeflüssigkeiten grosse Unterschiede in Farbe, Viskosität und Schaumkonsistenz, was auf die unterschiedliche Rezeptur zurückzuführen ist. Es werden nicht bei beiden Rezepten der gleiche Kompost und die gleiche Menge, sowie die gleichen Zusätze verwendet. Gattinger et al. (2004) haben zudem festgestellt, dass die mikrobielle Biomasse und deren Aktivität sich zwischen verschiedenen Komposten unterscheiden, sowie mit fortlaufendem Alter des Komposts abnehmen. Es besteht zudem eine positive Korrelation zwischen mikrobieller Biomasse und mikrobiellem Kohlenstoff, diese jedoch gegenüber der positiven Korrelation zwischen mikrobiellem Kohlenstoff und dem pH des Komposts schwächer ist (Gattinger et al. 2004). Die Unterschiede der zwei Rezepturen/Maschinen könnten entsprechend auch auf das Alter des jeweiligen Komposts und deren pH zurückzuführen sein, welche für diese Arbeit jedoch nicht angeschaut wurden. Um einen aussagekräftigen Vergleich zwischen den Bausystemen machen zu können und deren Einfluss auf die mikrobielle Aktivität, würde sich ein Versuch anbieten, indem in beide Maschinen die gleiche Rezeptur und das gleiche Wasser eingefüllt wird und sich so die Unterschiede einzig durch das Brausystem erklären lassen. Dabei würde sich zusätzlich empfehlen, Sauerstoffmessungen durchzuführen.

4.2.3 Merkblatt Komposttee und Ergebnisse Umfrage Praxisanwendung

Mittels der Literaturrecherche, einigen Rückschlüssen aus dieser Arbeit und den gesammelten Erfahrungen aus der Praxis anhand der Umfragebögen (vgl. Kapitel 3.4), wurde ein Merkblatt zu Komposttee erstellt. Dieses Merkblatt ist im Anhang 71, S. 117-119 aufzufinden.

4.2.3.1 Ergebnisse Umfragen Praxisanwendung Komposttee inkl. Teildiskussion

In diesem Unterkapitel werden die Antworten aus den Umfragen (vgl. Anhang 49-60, S. 76-100) miteinander verglichen und diskutiert. Fast alle Umfrage-Teilnehmer wurde durch den «Bodenkurs im Grünen» bei Dietmar Näser und Friedrich Wenz (DE) auf Komposttee aufmerksam gemacht. Die Vorteile der Kompostteeanwendung müssen entsprechend in diesen Kursen detailliert und mit aussagekräftigen Ergebnissen erläutert worden sein, ansonsten wären von den Umfrageteilnehmenden wohl nicht Kompostteemaschinen angeschafft worden. Bezüglich des eingesetzten Wassers wenden die meisten Leitungswasser an, gefolgt vom Quell- oder Regenwasser. Es kann darauf geschlossen werden, dass grundsätzlich das auf dem Betrieb vorhandene Wasser eingesetzt wird. Etwas mehr als die Hälfte der Befragten belüften das Wasser vor der Zugabe von Kompost, die Zeit variiert zwischen 5 Minuten und 36 Stunden. In Bezug auf den Maschinentyp der Kompostteemaschine sind alles Maschinen im ACT-Verfahren und produzieren einen Wirbel. Wo eine Maschine fixfertig gekauft wurde, zeigt sich die Firma VORTEX Energie GmbH von Gerhard Weisshäuptl, als Favorit. Diese Maschinen sind bei EM-Schweiz erhältlich. Bei den im Eigenbau erstellten Maschinen richten sich die Modelle zum Teil nach dem System von EDAPRO. Das Volumen variiert zwischen 25l und 1750l, wobei angemerkt werden muss, dass die zwei 1750l-Maschinen in den Niederlanden stehen. Bei der Rezeptur gibt es solche, die sich strikt an das Rezept von EDAPRO, EM-Schweiz/VORTEX Energie GmbH (Rezeptur nach Dr. Ingrid Hörner) oder Freddy Abächerli (Bionika AG) halten, während andere zusätzlich noch Komponente hinzufügen (z.B. Wald- oder Wurmerde, Pflanzen, Homöopathie). Wieder andere gehen nach eigener Rezeptur und Zutaten von verschiedenen Herstellern/Produzenten vor. Die Zugabe vom Pfeiffer-Lübke-Pulver wird einige Male genannt, sowie den Ersatz der Melasse durch Luzerne-Pellets. Es wurde nicht immer explizit auf die Möglichkeit einer Wirbelveränderung hingewiesen, daher kann keine genaue Aussage gemacht werden, ob bei allen Maschinen die Wirbelrichtung verändert werden kann. Bei den Modellen, die aufgrund dieser Arbeit bekannt waren, kann die Wirbelrichtung verstellt werden. Daher wird angenommen, dass mehrheitlich diese Verstellung auch bei den Maschinen der Umfrage-Teilnehmenden möglich ist. Bei sieben von 12 Teilnehmenden ist die Wirbelrichtung links, sprich gegen den Uhrzeigersinn, eingestellt. Bei vier ist sie rechts und bei einer Person wird sie teilweise geändert. Von den meisten wird angegeben, dass sie von jemandem gehört haben, dass eine Richtung «besser» sei, jedoch sich nicht selber damit gross auseinandersetzen. Es wurde von einem Teilnehmenden auch auf die biodynamischen Grundsätze verwiesen, die sagen, dass der Wirbel nach links (gegen Uhrzeigersinn) mehr für den Boden und nach rechts (im Uhrzeigersinn) mehr für die Blattapplikation geeignet sei (vgl. Hörner ohne Datum; Bernhardsgrütter 2020). Es zeigen sich demnach viele Meinungen über die Wirbelrichtung und deren Einfluss. Im Kapitel 4.2.1 wurden die Effekte der Wirbelrichtung bereits im kleinen Rahmen untersucht. Weitere Versuche dazu würden sich anhand des doch stark diskutierten Thema anbieten. Alle befragten Personen haben eine installierte Heizung. Gewisse lassen diese Heizung immer laufen, andere nur wenn es etwas kühler ist und nochmals andere verzichten darauf und verlängern einfach die Braudauer. Wo eine Heizung eingesetzt wird, variiert die eingestellte Temperatur zwischen 18˚C und 30˚C. EDAPRO (ohne Datum[e]) empfiehlt Brautemperaturen zwischen 17˚C-23˚C, darunter sollte der Brauvorgang auf 36-48 Stunden angepasst werden. VORTEX Energie GmbH (ohne Datum) empfehlen eine Temperatur um 27˚C (+/- 3˚C). Von EM Schweiz AG (ohne Datum) wird angegeben, eine Temperatur von 25˚C nicht zu überschreiten. Laut Hörner (ohne Datum) sollte sich die Temperatur bei 25˚C (+/-3˚C) befinden. Die Applikationsmengen, Verdünnungsgrad und Anzahl Applikationen variieren relativ stark innerhalb der Kulturen (vgl. Tab. 100). Laut EM Schweiz AG (ohne Datum) werden 20-50l/ha und eine Verdünnung von 1:3-1:10

empfohlen. EDAPRO (ohne Datum[f]) unterscheidet zwischen den unterschiedlichen Sektoren, wie Landwirtschaft, Rasenpflege oder Weinbau: Im landwirtschaftlichen Sektor wird 80l/ha und 4 Applikationen, bei Blattspritzung einer Verdünnung von max. 1:3, bei Bodenapplikation zwischen 1:3 und 1:10 empfohlen. Hörner (ohne Datum) hingegen gibt für Blattspritzungen eine Verdünnung von 1:10 an, bei Bodenapplikation zwischen 1:5 und 1:10. Ingham (2005) hingegen empfiehlt insofern eine Blattbenetzung von mindestens 70% möglich ist, keine Verdünnung bei einer Blattapplikation, da die Konzentration der Mikroorganismen eine grosse Rolle spielt. Für Bodenapplikationen wird von ihr nicht spezifisch auf eine Verdünnung hingewiesen, sondern eher das unverdünnte Verfahren vorgezogen (Ingham 2005, 26). Bei Bodenbehandlungen gibt VORTEX Energie GmbH (ohne Datum) 30-60l/ha an, bei Blattbehandlungen 20-40l/ha mit einer Aufwandsmenge von ca. 200l/ha. Dies sind jedoch nur Richtwerte, eine Überdosierung an Komposttee konnte bisher nicht festgestellt werden (EDAPRO ohne Datum[e]; EM Schweiz AG ohne Datum; Hörner ohne Datum; VORTEX Energie GmbH ohne Datum). Es zeigt sich doch eine gewisse Diskrepanz der Anwendungsempfehlungen aus der Branche. Die unterschiedlichen und grösstenteils höheren Aufwandsmengen der befragten Personen deuten darauf hin, dass auch sie diese nicht genau befolgen, sondern sich auf eigene Erfahrungen oder Erfahrungen anderer verlassen (vgl. Tab. 100).

Tab. 100: Antworten Umfragen Anwendung Komposttee auf Kulturen (Quelle: Eigene Darstellung)

Kultur	Komposttee (unverdünnt) l/ha	Verdünnung	Anzahl Applikationen	Zeitpunkt, Bemerkung
Getreide	40	1:2	1-2	bei Stress/Hitze
	50	1:4	3-4	Keimung, Schossen, Fahnenblatt
	100	1:1	1	Frühjahr
	50-150	1:1-1:3	0-2	je nach Resten an Komposttee (2. Priorität)
	30	1:6	1-2	2-Blatt, ev. im Frühjahr
	200-300	1:5	2-3	vom Auflaufen bis Bestandesschliessung
	50	1:10	4	2x Herbst, 2x Frühjahr
	100	1:2		
Kartoffeln	2000	1:1	4	
	150-200	1:0	6	ab 2 Wochen nach der Saat
	50	1:10	8	gegen Kraut- und Knollenfäule
	500	1:0	8-10	1x pro Woche
	40-150	1:1-1:3	2-3	1. Mal nach Mulchgabe, sobald alle Stauden ca. Fausthoch sind, dann im Abstand von 10 Tagen noch 2x
	50	1:2	3	sobald alle aufgelaufen sind, Zugabe Ferment
	100	1:0		wöchentlich bis alle 14 Tage
	500	1:5	5	vom Auflaufen bis Bestandesschliessung
Mais	50	1:1	1-2	
	100	1:1	1	3 Wochen nach der Saat
	50	1:10	2	bei 20-50cm Höhe
	50	1:3	1	6-Blatt
Zuckermais	300	1:0	3	Pflanzung oder Saat, Jugend
Raps	50	1:4	3	1x Herbst, 2x Frühjahr
	50	1:10	4	2x Herbst, 2x Frühjahr
	30	1:3.4	2	4-Blatt und Frühjahr, Zugabe Ferment
Erbsen	50	1:4	3	Keimung, Frühjahr und Reihenschluss
Ackerbohnen	300	1:5	3	vom Auflaufen bis Bestandesschliessung
Sonnenblume	100	1:1	1	3 Wochen nach der Saat
Kunstwiese	50	1:4		nach jedem Schnitt
	100	1:1		1 Woche nach dem Schnitt
	200	1:5	2	
Gründüngung	100	1:0		wöchentlich bis alle 14 Tage
	50-150	1:1-1:3	2	je nach Resten an Komposttee (2. Priorität)
Gemüse				
Kürbis	300	1:0	3	Pflanzung, Jugend, erste Blüte
	300	1:3	1	kurz vor dem Auspflanzen
	40-50	1:1-1:3	2-3	10 Tage nach Auspflanzen, kurz vor Reihenschluss, letzte Applikation vom Rand Ende Juli
Karotten	150-200	1:0	6	ab 2 Wochen nach Saat
Salate	150	1:0	1-2	nach Pflanzung und 1 Woche später
Stangen-/Buschbohnen	100	1:0	1	Jugendstadium
Tomaten	500	1:0	4	Pflanzung, Jugend bis erste Blüte, danach wird gegossen
Diverses Gemüse	600	1:0	3	nur giessen
	100	1:0		wöchentlich bis alle 14 Tage
	50	1:3	4-6	je nach Zeit, Gewächshaus 15% Verdünnung
	100	1:2		
	150-200	1:0	6	ab 2 Wochen nach Saat, Saatgutvermehrung

In Bezug auf die Düsen variieren diese hauptsächlich zwischen lila (-025), blau (-03), rot (-04) und grau (-06) (vgl. Lechler GmbH 2023). EDAPRO (ohne Datum[a]) empfiehlt dunkelrot (-05) oder grau (-06). Teilweise wird der Komposttee auch mit einer Rückenspritze oder einer Karettenspritze ausgebracht. Beim Ausbringdruck werden Angaben von <1bar bis zu 5bar gemacht, wobei mehrheitlich zwischen 2-3bar angegeben wird. EDAPRO (ohne Datum[a]) empfiehlt einen Druck <2bar. Laut VORTEX Energie GmbH (ohne Datum) sollte ein möglichst tiefer Druck, vorzugsweise um 1bar, angestrebt werden, wobei in der Praxis mit 2-3bar gefahren wird. Ingham (2005, 38) fügt weiter an, dass an sich nicht der Druck, sondern die Aufprallgeschwindigkeit der Mikroorganismen massgeben ist. Diese kann beispielsweise durch einen höheren Spritzbalken verringert werden. Fast alle der Befragten geben an, mit dem Komposttee noch weitere Zusatzstoffe auszubringen. Dazu gehören Klinospray («aktivierter» Zeolith), spritzbarer Kalk, Zeolith/Biolith, Pfeiffer-Lübke-Starter, Fermente, Mikronährstoffe und Huminstoffe. Diese Zusätze werden auch von Näser (2021, 104–106) angegeben. Die Frage nach dem Ausbringzeitpunkt, respektive dem idealen Ausbringzeitpunkt wurde unterschiedlich beantwortet. So geben einige an, dass früh morgens vor Sonnenaufgang am besten sei. Andere tendieren eher für die Abendspritzung. Weiter wird erwähnt, dass, falls tags durch appliziert wird, es bewölkt sein muss, weil sonst das UV-Licht die Mikroorganismen zerstörrt. Gemäss Ingham (2005, 48) spielt das UV-Licht jedoch nur eine Rolle, wenn die Tröpfchen kleiner sind als 1mm sind. Leichter Rieselregen ist optimal für die Applikation, zu starker Regen sollte jedoch vermieden werden (Ingham 2005, 50). Der Zeitbedarf variiert nach Grösse der Maschine und Fläche, die gespritzt werden muss. Die Kosten der Maschinen unterscheiden sich je nach Grösse und Material von CHF 1'000 aufwärts. Die Kosten für die Zutaten betragen bei EM Schweiz CHF 90.00, was für 1000l reicht. Andere Befragte gaben an, was ihre Jahreskosten für die Zutaten betragen. Diese variieren zwischen CHF 180.00 und CHF 700.00, wobei auch deren Ausnützung der Maschinen unterschiedlich ist. Bei der Anzahl Braugänge pro Jahr werden zwischen fünf und 40 angegeben. Spritzfenster machen nur vier von den 12 Befragten. Als Anzeichen für die Wirkung der Applikation werden wüchsigere und vitalere Blätter, mehr Wurzeln und Wurzelbehang, Unterschiede in der Pflanzensaftanalyse, Glanz, besserer Geschmack, krümeligere Bodenstruktur, bessere Durchlässigkeit, grösserer Feinwurzelanteil, Krankheitsresistenz, tieferer Kraut- und Knollenfäule Druck, erhöhter BRIX, Blattbreite und Ährenlänge genannt. Die Wirkung wird jedoch selten bis nie mit einem BRIX- oder Pflanzensaftmessgerät kontrolliert. Als Schwierigkeiten wurden folgende genannt: Zeitaufwendig, arbeitsintensiv, richtiger Ausbringzeitpunkt, Wetterabhängigkeit, Aussieben/Abfiltern, ausbleibende Schaumbildung bei der Herstellung, Reinigung der Maschine, Qualitätsbestimmung des Endprodukts, nicht genügend Leistung der Maschine und Verstopfungen. Bei den Vorteilen wurde die Belebung der Pflanze, kostengünstig, gutes Gefühl, grössere Wurzeln, betriebseigene Herstellung, natürliches Produkt, belebende Prozesse, Wirkung auf Pflanze und Boden genannt. Ein grosser Teil der Befragten wiesen zudem darauf hin, dass sie den Kauf einer Chromstahl-Maschine empfehlen würden, aufgrund deren Langlebigkeit und den Reinigungsvorteilen. Zudem wurde folgende Hinweise gegeben: Arbeitskapazität überprüfen, Grundkenntnisse in einem Kurs lernen, genügend grosse Maschine wählen, sich mit anderen austauschen, Spritzfenster machen, Wurzeln ausgraben, Brixen, guter Hochdruckreiniger, am besten einen alten Traktor fix an einer Spritze haben, genügend grosse Düsen einsetzen und Komposttee gut absetzen lassen, bevor mit einer Tauchpumpe umgefüllt wird.

4.2.4 Wirtschaftlichkeitsrechnung Winterweizen TOP mit Komposttee

Zuzüglich zu den bereits vorhandenen Kalkulationen der Deckungsbeiträge «DBKAT»-Excel-Version von Agridea zu Winterweizen TOP, wurden für die Kompostteeverfahren weitere Berechnungen vorgenommen. Anhand dieser Berechnungen, wurde eruiert, welcher Mehrertrag für die Deckung der gesamten Komposttеekosten nötig wäre. Die detaillierten Berechnungen finden sich im Anhang 61-66, S. 101-106.

Die Rezepturkosten für die Herstellung von Komposttee der Firma EDAPRO belaufen sich pro Liter auf CHF 0.20 (Rubi 2023d, persönliche Mitteilung). Beim Rezept von EM Schweiz/VORTEX Energie GmbH sind es CHF 0.09/l (Jöhr 2023b, persönliche Mitteilung). Somit ergeben sich Kosten von CHF 11.00 – CHF 72.00 je nach Rezeptur und Anzahl Behandlungen (vgl. Tab. 101).

Tab. 101: Kostenberechnung Komposttee (Quelle: Eigene Darstellung)

Kostenfaktor	Behandlungen	l/ha	CHF/l	Total
Komposttee EDAPRO	1	120	0.2	CHF 24
Komposttee EDAPRO	2	120	0.2	CHF 48
Komposttee EDAPRO	3	120	0.2	CHF 72
Komposttee EM/VORTEX	1	120	0.09	CHF 11
Komposttee EM/VORTEX	2	120	0.09	CHF 22
Komposttee EM/VORTEX	3	120	0.09	CHF 32

Für die Ausbringung des Komposttee wurde mit 30 Minuten pro Hektare gerechnet. Dies ergibt Ausbringkosten zwischen CHF 44.00 und CHF 131.00 pro Hektare, je nach Anzahl Behandlungen (vgl. Tab. 102).

Tab. 102: Kostenberechnung Ausbringung Komposttee (Quelle: nach Agroscope 2022, eigene Darstellung)

Kostenfaktor	Behandlungen	h/ha	Traktor 80PS (CHF/h)	Anbauspritze (CHF/ha)	Total
Variable Maschinenkosten (Ausbringung Komposttee)	1	0.5	39	24	CHF 44
Variable Maschinenkosten (Ausbringung Komposttee)	2	0.5	39	24	CHF 87
Variable Maschinenkosten (Ausbringung Komposttee)	3	0.5	39	24	CHF 131

Die Anschaffungskosten von Komposttеemaschine sind sehr variabel, abhängig von der Materialbeschaffenheit der Maschine, ob mit oder ohne Heizung, Eigenbau, etc (Jöhr 2023b, persönliche Mitteilung). Bei der Berechnung wurde mit einer 500l Chromstahl-Maschine ohne Heizung und mit einer Abschreibungsdauer von 30 Jahren gerechnet. Die Auslastung der Maschine wurde der Anzahl Behandlungen angepasst, entsprechen im Total immer dem gleichen Betrag von CHF 67.00 (vgl. Tab. 103).

Tab. 103: Kostenberechnung Komposttee-Herstellung (Quelle: Eigene Darstellung)

Kostenfaktor	Behandlungen	Anschaffungs-kosten (CHF)	Abschreibungs-dauer (Jahre)	Auslastung (Chargen/Jahr)	Total
Komposttee-Herstellung	1	6000	30	3	CHF 67
Komposttee-Herstellung	2	6000	30	6	CHF 67
Komposttee-Herstellung	3	6000	30	9	CHF 67

Schlussendlich ergeben sich Mehrkosten zwischen CHF 121.00 bis CHF 404.00 pro Hektare, sowie dazu nötige Mehrerträge um diese Kosten zu decken von 1.19dt/ha bis 7.54dt/h, jeweils abhängig des Anbauverfahrens, der Anzahl Behandlungen und der Rezeptur (vgl. Tab. 104).

Tab. 104: Mehrkosten und nötige Mehrerträge Kompostteeeinsatz Winterweizen TOP (Quelle: Eigene Darstellung)

Mehrkosten und nötige Mehrerträge						
	Mehrkosten CHF			Nötige Mehrerträge (dt/ha)		
	ha	a	m2	ÖLN	Extenso	BIO
1 Behandlung						
Rezeptur EDAPRO	135	1.35	0.014	2.51	2.23	1.32
Rezeptur EM/VORTEX	121	1.21	0.012	2.27	2.01	1.19
2 Behandlungen						
Rezeptur EDAPRO	269	2.69	0.027	5.03	4.46	2.64
Rezeptur EM/VORTEX	243	2.43	0.024	4.53	4.02	2.38
3 Behandlungen						
Rezeptur EDAPRO	404	4.04	0.04	7.54	6.69	3.96
Rezeptur EM/VORTEX	364	3.65	0.036	6.8	6.03	3.57

4.2.4.1 Teildiskussion Wirtschaftlichkeitsrechnung Winterweizen TOP mit Komposttee

Durch die höheren Erträge bei der Produktion nach Bio-Richtlinien, zeigen sich auch weniger hohe Mehrerträge die nötig sind, um die Kosten zu decken. Wird der Weizen beispielsweise stark von Getreidehähnchen befallen, kann es bei durchschnittlich einer Larve pro Fahnenblatt zu Ertragseinbussen von 10% kommen (Schubiger 2023). 10% Ertragseinbussen würden im Bio Verfahren ca. 4.5dt/ha entsprechen und somit den Einsatz von Komposttee mit 3 Behandlungen abrechnen. Im ÖLN-Anbau braucht es demzufolge einen höheren Mehrertrag, um die Kosten zu decken, was sicherlich eine Hemmschwelle für die Anwendung ist. Hier würden sich Kalkulationen bei heikleren Kulturpflanzen lohnen, wo einerseits der Deckungsbeitrag höher ist, anderseits grössere Einschränkungen beim Pflanzenschutz bereits bestehen oder abzusehen sind und Krankheiten oder Schädlinge zunehmen (Bsp. Raps, Zuckerrüben).

Der Komposttee wird grundsätzlich als Pflanzenstärkung in präventiver Weise eingesetzt und nicht erst, wenn Krankheiten und Schädlinge vorhanden sind (Jöhr 2023b, persönliche Mitteilung). Dennoch konnten in verschiedenen Studien die unterdrückende Wirkung von Komposttee auf Krankheiten und Schädlinge in Kulturpflanzen und auf Rasen nachgewiesen werden (z.B. Elad und Shtienberg 1994; Scheuerell und Mahaffee 2002; Al-Dahmani et al. 2003; Marín et al. 2013; St. Martin 2014; Yatoo et al. 2021; Barghouth et al. 2023; Waliczek und Wagner 2023). Mit der Zunahme von Pflanzenschutzmittelverboten und der Konzentration auf immer weniger Wirkstoff- und entsprechend Resistenzgruppen kann die Applikation von Komposttee oder anderen Biostimulanzien eine Alternative bieten. Der globale Markt der Biostimulanzien nimmt kontinuierlich zu, wobei mit einer jährlichen Wachstumsrate von knapp 13% gerechnet wird (FiBL 2022).

5 Gesamtdiskussion

Die in den jeweiligen Kapiteln bereits geführten Teildiskussionen werden nun gesamtheitlich nochmals kurz diskutiert und sich mit den wichtigsten Ergebnissen auseinandergesetzt. Anhand einer Aufteilung in Hauptversuch und Nebenversuche inklusive Umfragen und Wirtschaftlichkeit, können etwas klarere Abgrenzungen geschaffen werden.

5.1 Hauptversuch

Die durch statistische und deskriptive Auswertung gefundenen Resultate wurden aufgrund deren Vielzahl nach Möglichkeit in zwei Tabellen zusammengefasst und farbcodiert, um einen besseren Überblick

zu generieren (vgl. Tab. 105, Tab. 106). Die statistischen Vergleiche zeigen folgendes: Die Blattsaftmessungen mit dem Horiba-LaquaTwin-Gerät zeigen, dass mehrheitlich keine Signifikanzen zwischen den Verfahren festgestellt werden konnten (vgl. Tab. 105). Weiter ist ersichtlich, dass die Kulturen innerhalb des gleichen Verfahrens unterschiedliche Resultate ergeben, da nirgends bei beiden Kulturen gleichzeitig Signifikanzen festgestellt werden konnten. Die beiden Verfahren «KT» und «KT_CE» schneiden bei den Pflanzensaftmessungen verglichen zur Kontrolle tendenziell etwas schlechter ab. «CE» scheint sogar etwas besser als die «Kontrolle». Zwischen «KT» und «KT_CE» zeigen sich keine grossen Unterschiede. Bei der Bodenaufschwemmung zeigt sich klar das Verfahren «KT» mit den besten Werten, gefolgt von «Kontrolle» und «KT_CE» mit «CE» am Schluss. Bei den Temperaturunterschieden schneiden «KT_CE» und «KT» gegenüber der «Kontrolle» und «CE» besser ab, mit den besten Werten bei «KT_CE». Das gleiche Muster zeigt sich bei den Ertragserhebungen, wo sich «KT_CE» wiederum mit den besten Werten zeigt, gefolgt von «KT». Die «Kontrolle» schneidet am schlechtesten ab.

Tab. 105: Zusammenfassung statistische Resultate Hauptversuch (Quelle: Eigene Darstellung)

		Radiesli	Spinat	Radiesli	Spinat	Radiesli	Spinat	Radiesli	Spinat	
		Kontrolle		CE		KT		KT_CE		Notiz
Blattsaft										
BRIX	vor_nach	a	a	a	a	a	a	a	a	
Brix	zwischen	a	a	a	a	a	a	a	a	
Ca-Verfügbarkeit	vor_nach	a	b	a	b	a	a	a	a	a=tiefer ggü b
Ca-Verfügbarkeit	zwischen	b	a	ab	a	ab	a	a	a	a=tiefer ggü b
pH	vor_nach	a	a	a	a	a	a	a	a	
pH	zwischen	a	a	a	a	a	a	a	a	
EC	vor_nach	a	ab	a	a	a	a	a	b	a=tiefer ggü b
EC	zwischen	a	a	b	a	a	a	a	a	a=tiefer ggü b
Nitrat	vor_nach	a	a	a	ab	a	ab	a	b	a=tiefer ggü b
Nitrat	zwischen	a	a	a	c	a	b	a	c	a=tiefer ggü b und c
Kalium	vor_nach	a	a	a	a	a	a	a	a	
Kalium	zwischen	a	a	a	a	a	a	a	a	
Calcium	vor_nach	a	-	b	-	b	-	ab	-	a=tiefer ggü b
Calcium	zwischen	a	-	b	-	a	-	a	-	a=tiefer ggü b
Natrium	vor_nach	a	a	a	a	a	a	a	a	
Natrium	zwischen	b	a	ab	a	ab	a	a	a	a=tiefer ggü b
Bodenaufschwemmung										
pH	vor_nach	-	a	-	a	-	a	-	a	
pH	zwischen	-	ab	-	ab	-	a	-	b	a=tiefer ggü b
EC	vor_nach	-	ab	-	a	-	b	-	ab	a=tiefer ggü b
EC	zwischen	-	ab	-	a	-	b	-	ab	a=tiefer ggü b
Temperaturunterschiede										
Differenz junges Blatt zu Luft		b	b	b	b	a	b	a	a	b=weniger Differenz zur Luft ggü a
Differenz altes Blatt zu Luft		c	a	bc	a	ab	a	a	a	c=weniger Differenz zur Luft ggü b und a
Differenz Unkraut zu Luft		b	ab	ab	a	ab	b	a	a	b=weniger Differenz zur Luft ggü a
Ernteerhebungen										
Total Anzahl Knollen		a	-	ab	-	ab	-	b	-	a= kleiner ggü b
Gewicht total Anzahl Knollen		a	-	ab	-	ab	-	b	-	a= leichter ggü b
Verkäufliche Knollen		a	-	ab	-	ab	-	b	-	a= kleiner ggü b
Gewicht verkäuflicher Knollen		a	-	a		a		a		
Blattmasse		a	a	ab	a	ab	b	b	b	a= leichter ggü b
Wurzellänge		ab	a	a	b	ab	c	b	c	a= kürzer ggü b
Wurzelgewicht		a	a	a	a	a	a	a	a	

Legende	
	"schlechtere" Werte
	mittlere Werte
	"bessere" Werte
Zahl (a,ab,b,bc,c)	Signifikanzstufe

Wo möglich, wurden die deskriptiven Parameter in ein Rangordnungsverfahren eingeteilt (vgl. Tab. 106). Diese Rangfolge basiert nicht auf Signifikanzen, sondern nach individuellen Bewertungskriterien. Die «schlechtesten» Werte müssen nicht unbedingt schlecht sein, sondern sind zum Teil nur die

tiefsten, während die «besten» Werte sich zum Teil auch nicht im Optimum befinden, stehen jedoch im Vergleich etwas besser dar. Bei den Bodenanalysen wurde mehrheitlich darauf verzichtet, da eine solche Wertung aufgrund der beinahe überall vorhandenen Überschüsse im Boden schwierig ist. Bei den Blattsaftanalysen von NovaCropControl zeigen sich wiederum Unterschiede zwischen den Kulturen. Das Verfahren «KT_CE» zeigt beim Radiesli die höchste Anzahl «beste» Werte, während «KT» die höchste Anzahl «schlechteste» Werte aufweist. Beim Spinat zeigt hingegen «KT» die höchste Anzahl «beste» Werte, während «KT_CE» knapp gefolgt von der «Kontrolle» die höchste Anzahl «schlechteste» Werteaufweist. Bei der KAK Basensättigung, Boden-Chroma und den Boden-Parametern zeigen sich die «besten» Werte bei «KT», gefolgt von «CE», «Kontrolle» und KT_CE» am Schluss.

Tab. 106: Zusammenfassung deskriptive Resultate Hauptversuch (Quelle: Eigene Darstellung)

	Kontrolle		CE		KT		KT_CE		Notiz
	Radiesli	Spinat	Radiesli	Spinat	Radiesli	Spinat	Radiesli	Spinat	
Blattsaft NCC									*Bewertet anhand NCC-Optimum a=tiefster Wert*
Zucker	a	a	a	a	a	b	a	b	
pH	c	c	b	b	a	a	b	a	
EC	c	d	d	c	b	a	a	b	
Kalium	b	d	d	b	a	a	c	c	
Calcium	c	c	d	a	a	b	b	d	
Natrium	b	d	c	b	a	a	d	c	
Magnesium	c	d	d	a	a	b	b	c	
Ammonium	c	c	d	d	b	b	a	a	
Nitrat	c	b	d	a	b	c	a	d	
N-aus Nitrat	b	b	c	a	a	c	a	d	
N-Gesamt	b	a	d	b	c	c	a	d	
Chlor	b	d	c	b	d	a	a	c	
Schwefel	c	c	d	a	a	b	b	d	
Phosphor	b	c	c	d	d	b	a	a	
Silizium	c	c	b	b	a	b	d	a	
Eisen	a	a	c	b	b	b	d	c	
Mangan	b	c	c	d	a	a	d	b	
Zink	b	d	c	a	a	b	d	c	
Bor	b	d	c	c	a	a	d	b	
Kupfer	a	c	c	c	b	b	d	a	
Molybdän	a	c	b	b	c	a	d	b	
Aluminium	c	b	a	c	b	d	d	a	
KAK Basensättigung									*Bewertet anhand Labor Ins Richtwerten a=tiefster Wert*
Basensättigung	b		b		a		b		
KAK Ca2+	d		b		a		c		
KAK Mg2+	b		c		a		b		
KAK K+	b		d		c		a		
KAK H+	a		c		d		b		
Boden-Chroma									*Bewertung nach Reto Pola*
Ganzheitliche Bewertung	d		b		c		a		*(vgl. Anhang 69, S. 109-115), a = tiefste Bewertung*
Boden-Parameter									*Bewertung nach Labor Ins, a = tiefster Wert*
Corg (Humusgehalt)	d		b		c		a		
Gesamtkalk	a		a		b		a		

Legende

	"schlechtere" Werte
	mittlere Werte
	"bessere" Werte
Zahl (a,,b,c,d)	Bewertungsskala

Wird diese Einteilung weiterverfolgt, ergibt sich eine Art Rangfolge, welche anhand der höchsten Anzahl «bester» Werte und der höchsten Anzahl «tiefster» Werte berechnet werden kann (vgl. Tab. 107). Daraus zeigt sich, dass das Verfahren «KT_CE» gesamthaft die höchste Anzahl «beste» Werte und das zweithöchste Verhältnis «beste Werte/schlechteste Werte» aufweist, während bei der «Kontrolle» die meisten «schlechtesten» Werte und das tiefste Verhältnis erkennbar sind. «KT» weist das beste Verhältnis beste Werte/schlechteste Werte auf. Hierbei muss klar deklariert werden, dass diese Auswertung mit Vorsicht aufzufassen ist. Nicht alle Parameter sind quantifizierbar oder verlieren dadurch einen Teil ihrer

Aussagekraft. Dazu zählt sicherlich die ganze Bodendynamik, welche bei dieser Auswertung nur ungenügend berücksichtigt werden konnte.

Tab. 107: "Rangfolge" Verfahren Hauptversuch nach statistischen und deskriptiven Auswertungen (Quelle: Eigene Darstellung)

	Radiesli	Spinat	Radiesli	Spinat	Radiesli	Spinat	Radiesli	Spinat
	Kontrolle		CE		KT		KT_CE	
Anzahl "beste" stat. Auswertung	2	3	3	3	2	6	8	4
Anzahl "schlechteste" stat. Auswertung	10	3	3	6	2	4	4	5
Anzahl "beste" desk. Auswertung	0	5	4	7	5	8	13	5
Anzahl "schlechteste" desk. Auswertung	4	9	6	3	8	3	3	8
Kultur total "beste"	**2**	**8**	**7**	**10**	**7**	**14**	**21**	**9**
Kultur total "schlechteste"	**14**	**12**	**9**	**9**	**10**	**7**	**7**	**13**
KAK BS bis Boden "beste"	3		2		4		1	
KAK BS bis Boden "schlechteste"	2		1		0		3	
Gesamt "beste"	**13**		**19**		**25**		**31**	
Gesamt "schlechteste"	**28**		**19**		**17**		**23**	
Ratio "beste"/"schlechteste"	*0.5*		*1.0*		*1.5*		*1.3*	

Die Wertung vom Verfahren «KT_CE» und «KT» kann zudem anhand des zusätzlich durchgeführten, privaten Sensoriktest vom Spinat noch weiter angehoben werden. Mehr dazu findet sich im Anhang 67, S. 107.

In Bezug auf die Bodenproben, respektive die Veränderungen im Boden während des Versuchs, zeigen sich zwar zwischen den Verfahren einige Unterschiede, so auch bei den Boden-Chromas. Diese sollten jedoch aufgrund der kurzen Vegetationsdauer von knapp vier Monaten mit Vorsicht betrachtet werden. Die tendenziell kleineren Unterschiede bei den Laborresultaten sind zudem mit Vorsicht zu geniessen und können auch nur auf Schwankungen innerhalb der Analysemethodik zurückzuführen sein (Hübscher 2023, persönliche Mitteilung). In Gewächshäusern werden zusätzlich weniger Nährstoffe ausgewaschen und können sich eher anreichern (Jöhr 2023b, persönliche Mitteilung). Aufgrund der eher höheren Temperatur und der intensiveren Bodenbearbeitung wird eine stärkere Mineralisierung gefördert (Jöhr 2023b, persönliche Mitteilung). Während des Versuches war es zu den Applikationszeitpunkten mehrheitlich kalt und die Bodentemperatur lag unter 8°C. Für Mikroorgansimen sind dies nicht günstige Bedingungen, viele sind noch nicht aktiv. Weiter wurde der Komposttee bei 20°C gebraut und trotz durch die Messungen verzögerte Ausbringzeit, war der Temperatur des Komposttee bei der Applikation meistens immer noch über der Umgebungstemperatur. Entsprechend wurden Mikroorganismen ausgebracht, die direkt einen Temperaturschock durchliefen. Zusätzlich wurde für die Verdünnung der Verfahren Regenwasser direkt vom Tank benützt, welches Aussentemperatur und entsprechend um einiges kälter als der Komposttee war. So kann laut Ingham (2005, 35) die Zugabe von zu kaltem Wasser zur Reduktion und sogar zum Absterben der Mikroorganismen führen.

Kritisch sollte weiter die statistische Auswertung angeschaut werden, welche statt mit einer ANOVA, mit einem linearen Modell durchgeführt wurde. Es kann bei knappen Signifikanzen vorkommen, dass das lineare Modell eher eine Signifikanz zuspricht im Vergleich zur ANOVA (Burren 2023, persönliche Mitteilung).

5.2 Nebenversuche, Umfragen & Wirtschaftlichkeit

Die in den Nebenversuchen festgestellten kleineren und auch grösseren Unterschiede sind sicherlich als sehr interessant zu beurteilen und erlauben eine gewisse Interpretation, welche in der Teildiskussion gemacht wurde. Dennoch muss klar hervorgehoben werden, dass ohne Wiederholungen keine repräsentative Aussage gemacht werden kann. Zu viele Faktoren haben einen Einfluss, ob nun die Wasserqualität, die Reinigung der Maschine oder die Kalibration der Messgeräte. Die doch deutlichen Unterschiede zwischen den zwei Brausystemen sollten weiter untersucht werden, dazu mehr im nächsten Kapitel.

Die 12 ausgewerteten Umfragen zeigen in vielerlei Hinsicht Parallelen auf, allen voran der Ursprung der Komposttee-Idee, die aus dem Bodenkurs von Dietmar Näser und Friederich Wenz stammte. Die unterschiedlichen Brausystemen, Rezepturen, Applikations- und Verdünnungsmengen, sowie Brautemperaturen deuten darauf hin, dass auch ausserhalb des Bodenkurs weiterdiskutiert, ausprobiert und auf den eigenen Betrieb optimiert wurde. Generell ist bemerkbar, dass ein reger Austausch unter Komposttee-Anwendern herrscht und der Erfahrungsaustausch wichtig ist. Wird überlegt, sich ein Komposttee-Brausystem anzuschaffen, sollte nach Empfehlung der Befragten unbedingt eine Chromstahl-Maschine gekauft werden. Ein wichtiger Punkt der mehrmals erwähnt wurde, war der nicht zu unterschätzende Zeitaufwand und gleichzeitig der Zielkonflikt der Ausbringzeit mit Freizeit oder Schlaf. Zu bemängeln ist sicherlich die tiefe Quote an Spritzfenster, deren Abwesenheit mehrheitlich mit Zeitmangel begründet wurde. Dennoch würde es sich empfehlen, die Wirkung langfristig auf den eigenen Kulturen und Böden zu überprüfen. So kann auch abgeschätzt werden, inwiefern sich der finanzielle und zeitliche Aufwand lohnt. Diese Berechnungen werden von gewissen Betrieben gemacht, von anderen wird es als Hobby angesehen. Empfehlen würde sich auf jeden Fall die Kosten aufzulisten, um sich einen Überblick zu schaffen. Die erstellte Kostenberechnung von Weizen zeigt, dass je nach Label, Rezeptur, Auslastung, Anzahl Applikationen und Anschaffungskosten der Maschine, Mehrerträge von gut 1dt/ha bis über 7dt/ha erreicht werden müssen. Auch wenn Komposttee mehrheitlich als präventive, pflanzenunterstützende und bodenverbessernde Massnahme angeschaut wird, sollte die Wirtschaftlichkeit dabei nicht ausser Acht gelassen werden.

6 Folgerungen

Die gestellte Forschungsfrage, ob sich das Verfahren «KT_CE» in gewissen Parametern signifikant von «KT» unterscheidet und ob die beiden Komposttеeverfahren zusammen sich von der «Kontrolle» unterscheiden, werden nachfolgend anhand Tab. 108 und Tab. 109 aufgezeigt. Es konnte anhand der Ergebnisse eruiert werden, dass das Verfahren «KT_CE» sich in einigen Parametern signifikant von «KT» unterscheidet. Bei den deskriptiven Faktoren zeigt «KT_CE» beim Radiesli die besten Resultate, sowie schneiden «KT» und «KT_CE» mehrheitlich besser gegenüber der «Kontrolle» ab (vgl. Tab. 106).

Tab. 108: Statistische Signifikanzen zwischen "KT_CE" und "KT" (Quelle: Eigene Darstellung)

Statistische Signifikanzen		Kultur	KT_CE	vs.	KT	Positiv 👍 Negativ 👎 für KT_CE
Blattsaftmessung Horiba	EC_vor_nach	Spinat	KT_CE	>	KT	👍
Blattsaftmessung Horiba	Nitrat_zwischen	Spinat	KT_CE	>	KT	👎
Bodenaufschwemmung Horiba	pH_zwischen	Spinat	KT_CE	>	KT	👎
Temperaturdifferenz	Junges Blatt	Spinat	KT_CE	>	KT	👍
Temperaturdifferenz	Unkraut	Spinat	KT_CE	>	KT	👎

Tab. 109: Statistische Signifikanzen zwischen Kompostteeverfahren "KT_CE" und "KT" gegenüber "Kontrolle" (Quelle: Eigene Darstellung)

Statistische Signifikanzen		Kultur	KT_CE KT	vs.	Kontrolle	Positiv Negativ für KT_CE + KT
Blattsaftmessung Horiba	Ca-Verfügbarkeit vor_nach	Spinat	KT_CE KT	<	Kontrolle	👎
Blattsaftmessung Horiba	Ca-Verfügbarkeit zwischen	Spinat	KT_CE	<	Kontrolle	👎
Blattsaftmessung Horiba	Nitrat vor_nach	Spinat	KT_CE	>	Kontrolle	👎
Blattsaftmessung Horiba	Nitrat zwischen	Spinat	KT_CE KT	>	Kontrolle	👎
Blattsaftmessung Horiba	Calcium vor_nach	Radiesli	KT	>	Kontrolle	👍
Blattsaftmessung Horiba	Natrium zwischen	Radiesli	KT_CE	<	Kontrolle	👍
Temperaturdifferenz	Junges Blatt	Radiesli	KT_CE KT	>	Kontrolle	👍
Temperaturdifferenz	Junges Blatt	Spinat	KT_CE	>	Kontrolle	👍
Temperaturdifferenz	Altes Blatt	Radiesli	KT_CE	>	Kontrolle	👍
Temperaturdifferenz	Unkraut	Radiesli	KT_CE	>	Kontrolle	👎
Anzahl Knollen	Total	Radiesli	KT_CE	>	Kontrolle	👍
Gewicht Knollen	Total	Radiesli	KT_CE	>	Kontrolle	👍
Anzahl Knollen	Verkäuflich	Radiesli	KT_CE	>	Kontrolle	👍
Blattmasse		Radiesli	KT_CE	>	Kontrolle	👍
Blattmasse		Spinat	KT_CE KT	>	Kontrolle	👍
Wurzellänge		Spinat	KT_CE KT	>	Kontrolle	👍

Es kann daher gesagt werden, dass Signifikanzen zwischen den beiden Kompostteeverfahren untereinander bestehen aber auch im Vergleich zur «Kontrolle». Werden deskriptive Analysen mit in die Schlussfolgerung eingenommen, so zeigt sich das Verfahren «KT_CE», gefolgt von «KT» in vielversprechendem Licht (vgl. Tab. 107). Klar hervorgehoben werden dürfen hier die Ertragsparameter, welche sich bei «KT_CE» und teilweise auch «KT» signifikant gegenüber der «Kontrolle» herausheben. Weitere Versuche sind jedoch nötig, um die gefunden Resultate untermauern zu können. Möchte der Einsatz eines pH-Senkers weiterverfolgt werden, könnten verschieden pH-senkenden Produkte getestet werden. Hierbei würde sich anerbieten, zusätzlich noch unterschiedliche pH-Werte und deren Wirkung zu untersuchen. Es würde sich grundsätzlich empfehlen, Kompostteeversuche in wärmeren Monaten durchzuführen. Dies aufgrund der erhöhten Mikroorganismenaktivität, sowie Temperaturmessungen die in Bezug auf Hitze und Temperaturregulierungen in der Pflanze durchgeführt werden könnten. Weiter sollten Forschungsversuche mit praxisgetreuen Kompost-/Wasserverhältnisse durchgeführt werden, damit auch deren Wirkung besser auf Krankheitsunterdrückung und Erträge untersucht wird. Aufgrund der verblüffenden Unterschiede zwischen den Verfahren in Bezug auf Sensorik (Spinat), könnte anhand einer Zusammenarbeit mit dem Studiengang der Lebensmittelwissenschaften die agronomischen und lebensmittelwissenschaftliche Komponenten von Kompostteeeinsatz weiter untersucht werden.

Die im Nebenversuch erforschten Fragestellungen zeigen einerseits, dass die Wirbelrichtung einen minimen Einfluss auf den pH-, EC- und Redox-Wert haben kann. Um aussagekräftigere Resultate zu erhalten, wäre eine Wiederholung des Versuches angebracht. Zusätzlich würde sich der Einsatz von verschiedenen Wasserqualitäten anbieten, da bereits Unterschiede zwischen dem Regenwasser vom Hauptversuch und dem Quellwasser festgestellt werden konnten. Anderseits zeigten sich bei einer vorangehenden Wasserbelüftung bereits grosse Veränderungen in pH, EC und Redox gegenüber den Anfangswerten, sowie zum Teil grössere Unterschiede zwischen den zwei Brausystemen. Nach Beendigung des Brauvorgangs zeigten sich zwischen den Verfahren mit Wasserbelüftung und den Verfahren ohne Wasserbelüftung sichtbare Unterschiede, sowie zusätzlich wiederum zwischen den Brausystemen. Anhand von Wiederholungen müsste überprüft werden, ob sich diese Muster wiederholen. Empfehlen würde sich dabei

auch die Messung des gelösten Sauerstoffs während der vorangehenden Belüftung, wie auch während dem Brauvorgang. Da die beiden Brausysteme mit unterschiedlichen Rezepturen arbeiten würde sich anerbieten, beide Brausysteme mit einer gleichen Rezeptur zu untersuchen, damit ein weiterer Ungleichheitsfaktor beseitigt werden könnte. Der microBIOMETER® konnte trotz einer grossen Streuung an Resultaten signifikante Unterschiede zwischen den beiden Brausystemen aufzeigen. Das System EDAPRO setzt im Verhältnis eine grössere Menge Kompost ein (1.2l auf 40l Wasser), während VORTEX nur 0.5l auf 50l Wasser einsetzt. Die Unterschiede in Farbe und Konsistenz des Komposttees war von blossem Auge ersichtlich. Die Anwendung des microBIOMETER® ist zwar einfach, wie genau die Resultate jedoch sind, ist in Frage zu stellen. Es besteht ein gewisses Risiko, dass in den drei abzupipettierenden Tropfen trotzdem noch Mineralien und Reste aus der Bodenlösung vorhanden sind. Weitere Versuche sind notwendig um festzustellen, ob sich der Einsatz des microBIOMETER® in der Praxis auch wirklich lohnt.

7 Dank

Ein gebürtiger Dank möchte ich an alle Personen aussprechen, die mich während dieser Arbeit unterstützt und entsprechend zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben:

- **Dominik Füglistaller** (Betreuer) und die **Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften (HAFL)** für die mentale und finanzielle Unterstützung (Bodenproben, Ertragsausfall), das Material (Rückenspritze, Horiba-LaquaTwin-Messgeräte, Pflanzensaftpresse), sowie der Freiraum und die Selbstverantwortung bezüglich des Umfangs meiner Arbeit
- **Adrian Rubi** (Co-Betreuer, Co-Inhaber EDAPRO GmbH) für die Ideengebung dieser Arbeit, das Material (Brausystem und Brauzutaten, Messgerät mit pH-, EC- und Redoxsonde, Zubehör), die finanzielle Unterstützung (Blattsaftanalysen NovaCropControl), sowie die fachlichen Inputs
- **Markus & Yvonne Fuchs** (Fuchs Bio Gemüse, Gempenach) für die Bereitstellung des Versuchstandortes, die Unterstützung, Flexibilität und extreme Hilfsbereitschaft
- **Simon Jöhr** (Berater Ressortleiter Beratung, Berater Biolandbau und Betriebswirtschaft INFORAMA Waldhof, Berater und Kursleiter Regenerativ Schweiz) für die Ideensammlung und Kontaktherstellung mit Adrian Rubi, Markus Fuchs, sowie diversen Landwirten für die Umfrage, das Material (BRIX-Messgerät, Infrarot-Thermometer, VORTEX Brausystem und Brauzutaten), die fachliche Unterstützung und Mithilfe bei der DB-Berechnung, sowie Interpretation der Bodenproben und Blattsaftanalysen
- **Alexander Burren** (HAFL) für die Erstellung der Vorlage-RScripts für die statistische Auswertung, sowie die Beantwortung meiner unzähligen statistikbezogenen Fragen
- **Rafah Al Naser** (HAFL) für die Mithilfe bei der Boden-Chroma Herstellung und deren Interpretation
- **Lorenz Rieger** (EDAPRO GmbH), **Freddy Abächerli** (BIONIKA AG/VERORA AG), **Reto Pola** (Bodenluft GmbH) für die Interpretation der Boden-Chroma
- **Simon Ineichen** (HAFL) für die Durchführung der Stickstoff- und Kohlenstoffanalyse mit dem CHN-Analyzer
- **Eric Hegger** (NovaCropControl) für die Rückmeldung zu den Blattsaftanalysen
- **Pascal Hübscher** (Labor Ins) für den Rabatt bei den Bodenanalysen
- **Umfrage-Teilnehmer*innen** für deren Zeit und Bereitschaft
- **Rosmarie Freiburghaus** für das Zurverfügungstellen des Platzes für die Nebenversuche
- **Familie und Freunde** für deren mentale Unterstützung, wenn ich den Wald vor lauter Bäumen nicht mehr sehen konnte

8 Literaturverzeichnis

A&C Fertilizer, ohne Datum. A&C pH Senker, https://ac-fertilizer.com/pH-Senker

Abächerli F, 2023. Beurteilung Boden-Chromas. E-Mail vom 14.07.2023.

Agridea, 2013. Grünabfallkompost. Abgerufen am 27.07.2023, https://www.bioaktuell.ch/fileadmin/documents/ba/Pflanzenbau/Ackerbau/Kompost-GA-2013-05-30.pdf

Agroscope, 2022. Kostenkatalog 2022. Richtwerte für die Kosten von Maschinen, Arbeit, Gebäude und Hoftechnik. Gültig bis September 2023. Agroscope Transfer | Nr. 448 / 2022. Abgerufen am 19.07.2023, https://www.agrartechnik.ch/fileadmin/user_upload/maschinenkosten/2022_Maschinenkosten_d.pdf

Al Naser R, 2023. Chroma Bewertung. E-Mail vom 13.06.2023.

Albrecht WA, 1945. Soil fertility and its health implications. American Journal of Orthodontics and Oral Surgery, 31 (5), 279–286.

Albrecht WA, 1957. Soil Fertility and Biotic Geography. Geographical Review, 47 (1), 86.

Albrecht WA, 1975. The Albrecht papers. Vol. 1: Foundation concepts. Acres USA, Kansas.

Al-Dahmani JH, Abbasi PA, Miller SA, Hoitink HAJ, 2003. Suppression of Bacterial Spot of Tomato with Foliar Sprays of Compost Extracts Under Greenhouse and Field Conditions. Plant disease, 87 (8), 913–919.

Andermatt Biocontrol Suisse, ohne Datum. Buffer Protect. Abgerufen am 05.08.2023, https://cdn.nufarm.com/wp-content/uploads/sites/24/2022/01/17135939/Buffer-Protect_Produktliste2022.pdf

Aquaristik Profi, ohne Datum. Säuregehalt im Aquarium, 07.08.2023, https://aquaristik-profi.com/wasserwerte/ph-wert#:~:text=Durch%20eine%20starke%20Oberfl%C3%A4chenbewegung%20l%C3%A4sst,Wert%20durch%20diese%20Weise%20erh%C3%B6hen.

Arunachalam V, Fernandes CM, Salgaonkar DC, 2020. Quick Method to Quantify the Potassium and Sodium Content Variation in Leaves of Banana Varieties. Analytical Sciences, 36 (10), 1255–1260.

Baab G, 2015. Das Spurennährelement Mangan. Oeko Landbau, 2. Abgerufen am 07.08.2023, https://www.foeko.de/wp-content/uploads/2015/07/2-2015-mangan.pdf

Backer R, Rokem JS, Ilangumaran G, Lamont J, Praslickova D, Ricci E, Subramanian S, Smith DL, 2018. Plant Growth-Promoting Rhizobacteria: Context, Mechanisms of Action, and Roadmap to Commercialization of Biostimulants for Sustainable Agriculture. Frontiers in Plant Science, 9, 1473.

Barghouth Z, Khazzam E, Ramlawi S, Wong A, Smith ML, Avis TJ, 2023. Microbial compost tea properties affect suppression of strawberry grey mould (Botrytis cinerea Pers.). Biocontrol Science and Technology, 33 (1), 1–18.

Bear FE, Toth SJ, 1948. Influence of calcium on availability of other cations. Soil Science, 65 (1), 69–74.

Beattie GA, 2015. Microbiomes: Curating communities from plants. Nature, 528 (7582), 340–341.

Benway DA, Weaver CM, 1993. Assessing Chemical Form of Calcium in Wheat, Spinach, and Kale. Journal of Food Science, 58 (3), 605–608.

Bernhardsgrütter M, 2020. Komposttee-Anleitung HofMädertal, 14.08.2020 [Youtube]. Abgerufen am 01.08.2023, https://www.youtube.com/watch?v=uVc3DbpUzbI

Biokräuterei, ohne Datum. Die Vollständige Resistenz gesunder Pflanzen. Die Pyramide der Pflanzengesundheit. Abgerufen am 03.08.2023, https://biokraeuterei.de/bio_regenerativer_anbau/#

Bisaz A, 2020. Vollständige Resistenz dank gesunder Pflanzen. Blog-Beitrag vom 20.10.2020, aktualisiert am 23.10.2021. Regenerativ Schweiz. Abgerufen am 03.08.2023, https://www.regenerativ.ch/post/vollst%C3%A4ndige-resistenz-dank-gesunder-pflanzen

BLW (Bundesamt für Landwirtschaft), 2022. Bericht über die Ergebnisse der Vernehmlassung. Verordnungspaket Parlamentarische Initiative 19.475 «Das Risiko beim Einsatz von Pestiziden reduzieren». 13.04.2023. Abgerufen am 27.07.2023, https://www.blw.admin.ch/blw/de/home/politik/agrarpolitik/parlamentarischeinitiative.html

BLW (Bundesamt für Landwirtschaft), 2023. Aktionsplan Pflanzenschutzmittel. Abgerufen am 27.07.2023, https://www.blw.admin.ch/blw/de/home/nachhaltige-produktion/pflanzenschutz/aktionsplan.html

Bodenluft GmbH, 2019. BodenChroma. Eine kleine Anleitung. Reto Pola, unveröffentlicht.

Bretz F, Hothorn T, Westfall P, 2017. multcomp: Simultaneous Inference in General Parametric Models. Abgerufen am 19.07.2023, http://cran.nexr.com/web/packages/multcomp/index.html

Brevik EC, Sauer TJ, 2015. The past, present, and future of soils and human health studies. SOIL, 1 (1), 35–46.

Brinton WF, 1995. The control of plant pathogenic fungi by use of compost tea. Biodynamics, 197, 12–16.

Buck RP, Rondinini S, Covington AK, Baucke FGK, Brett CMA, Camoes MF, Milton MJT, Mussini T, Naumann R, Pratt KW, Spitzer P, Wilson GS, 2002. Measurement of pH. Definition, standards, and procedures (IUPAC Recommendations 2002). Pure and Applied Chemistry, 74 (11), 2169–2200.

Bundesamt für Landestopografie swisstopo, 2023. Situationsplan Hauptversuch Gewächshaus. Abgerufen am 08.07.2023, https://s.geo.admin.ch/a060fa3b4f

Burren A, 2023. Wissenschaftlicher MItarbeiter HAFL. Statistikauswertung Bsc Arbeit vom 19.07.2023.

Campbell R, 2013. Measuring Brix With A Refractometer. Abgerufen am 29.07.2023, http://chicogardens.blogspot.com/2013/02/measuring-brix-with-refractometer.html

Carballo T, Gil MV, Calvo LF, Morán A, 2009. The Influence of Aeration System, Temperature and Compost Origin on the Phytotoxicity of Compost Tea. Compost Science & Utilization, 17 (2), 127–139.

CBS Wasser AG, ohne Datum. Wasserhärte bestimmen. Die unterschiedlichen Härtegrade, https://xn--wasser-hrte-s8a.ch/wasserhaerte-bestimmen/

Chaganti VN, Culman SW, 2017. Historical Perspective of Soil Balancing Theory and Identifying Knowledge Gaps: A Review. Crop, Forage & Turfgrass Management, 3 (1), 1-7.

Chaganti VN, Culman SW, Herms C, Sprunger CD, Brock C, Leiva Soto A, Doohan D, 2021. Base cation saturation ratios, soil health, and yield in organic field crops. Agronomy Journal, 113 (5), 4190–4200.

Chaplin M, 2021. Water Redox processes. Water Structure und Science. Abgerufen am 31.07.2023, https://water.lsbu.ac.uk/water/water_redox.html

Cooke LR, Little G, 2002. The effect of foliar application of phosphonate formulations on the susceptibility of potato tubers to late blight. Pest Management Science, 58 (1), 17–25.

Cornelissen JHC, Sibma F, van Logtestijn RSP, Broekman RA, Thompson K, 2011. Leaf pH as a plant trait: species-driven rather than soil-driven variation. Functional Ecology, 25 (3), 449–455.

Costa JM, Grant OM, Chaves MM, 2013. Thermography to explore plant-environment interactions. Journal of Experimental Botany, 64 (13), 3937–3949.

Custos J-M, Moyne C, Sterckeman T, 2020. How root nutrient uptake affects rhizosphere pH: A modelling study. Geoderma, 369, 114314.

Devkota P, Spaunhorst DJ, Johnson WG, 2016. Influence of Carrier Water pH, Hardness, Foliar Fertilizer, and Ammonium Sulfate on Mesotrione Efficacy. Weed Technology, 30 (3), 617–628.

Dieter HH, Chorus I, Krüger W, Mendel B, ohne Datum. Elektrische Leitfähigkeit: Definition, Bedeutung und Quantifizierung. Abgerufen am 04.08.2023, https://trinkwasseraktuelldigital.de/ce/elektrische-leitfaehigkeit-definition-bedeutung-und-quantifizierung/detail.html

Dörig M, 2023. Einsatz EM als pH-Senker. E-Mail vom 29.07.2023.

Eckert DJ, McLean EO, 1981. Basic Cation Saturation Ratios as a Basis for Fertilizing and Liming Agronomic Crops: I. Growth Chamber Studies 1. Agronomy Journal, 73 (5), 795–799.

EDAPRO, ohne Datum[a]. Betriebsanleitung Brausystem EdaLife. V60 / V120 / V200 / V400. Abgerufen am 01.08.2023, https://edapro.ch/wp-content/uploads/2021/11/EDAPRO-EdaLife-Betriebsanleitung_DE-1.pdf

EDAPRO, ohne Datum[b]. Betriebsanleitung Brausysteme EdaLife. Abgerufen am 13.07.2023, https://edapro.ch/wp-content/uploads/2021/11/EDAPRO-EdaLife-Betriebsanleitung_DE-1.pdf

EDAPRO, ohne Datum[c]. Blattsaftanalyse. Abgerufen am 12.07.2023, https://edapro.ch/wp-content/uploads/2021/10/EDAPRO-Anleitung-Blattsaftanalyse-komp.pdf

EDAPRO, ohne Datum[d]. Das EDAPRO Komposttee Prinzip. Abgerufen am 10.07.2023, https://edapro.ch/#prinzip

EDAPRO, ohne Datum[e]. Fragen & Antworten. Abgerufen am 01.08.2023, https://edapro.ch/faq/#1622553282985-f56af3b0-4eba

EDAPRO, ohne Datum[f]. Indigene Mikroorganismen. Die natürlichen Helfer. Abgerufen am 01.08.2023, https://edapro.ch/wp-content/uploads/2021/11/EDAPRO_broschuere_2022-DE-1.pdf

EDAPRO, ohne Datum[g]. Komposttee Brausystem EdaLife. Kontrollierter Brauvorgang. Abgerufen am 04.08.2023, https://edapro.ch/shop/edalife-brausystem/

EDAPRO, ohne Datum[h]. Mikrobennahrung. Abgerufen am 10.07.2023, https://edapro.ch/shop/mikrobennahrung/

EDAPRO, ohne Datum[i]. Mikrobensubstrat. Abgerufen am 10.07.2023, https://edapro.ch/shop/mikrobensubstrat/

Edwards CA, Arancon NQ, Greytak S, 2006. Effects of vermicompost teas on plant growth and disease. Vermicomposting Developments. Reserach Trials. BioCycle, 28–29.

Elad Y, Shtienberg D, 1994. Effect of compost water extracts on grey mould (Botrytis cinerea). Crop Protection, 13 (2), 109–114.

El-Shaieny A-HA, Farrag HM, Bakr AA, Abdelrasheed KG, 2022. Combined use of compost, compost tea, and vermicompost tea improves soil properties, and growth, yield, and quality of (Allium cepa L.). Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca, 50 (1), 12565.

EM Schweiz AG, ohne Datum. Komposttee-Mischung. Anwendungshinweise Komposttee. Abgerufen am 01.07.2023, https://www.em-schweiz.ch/komposttee-mischung#:~:text=Fertige%20Mischung%20f%C3%BCr%20die%20Herstellung%20von%201000%20l%20Komposttee.&text=Komposttee%20ist%20als%20Auszug%20in,zu%20gr%C3%B6sserer%20Leistungsf%C3%A4higkeit%20zu%20bringen.

Epstein E, 2017. The Science of Composting (First edition). Taylor and Francis, London.

ewb (Energie Wasser Bern), 2023. Labordaten. Beste Wasserqualität in Bern. Abgerufen am 27.07.2023, https://www.ewb.ch/angebot/aues-fuer-baern/wasserversorgung/wasserqualitaet.php

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), 2021. The state of the world's land and water resources for food and agriculture - systems at breaking point. Synthesis report 2021 ([May

2022]). Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 62 S. Abgerufen am 27.07.2023, https://www.fao.org/3/cb7654en/cb7654en.pdf

Favaretto N, Norton LD, Brouder SM, Joern BC, 2008. Gypsum amendment and exchangeable calcium and magnesium effects on plant nutrition under conditions of intensive nutrient extraction. Soil Science, 173 (2), 108–118.

FiBL (Forschungsinstitut für biologischen Landbau), 2022. Mikrobielle Biostimulanzien. Faktenblatt 22. Nr. 1417. Abgerufen am 01.08.2023, https://www.fibl.org/fileadmin/documents/shop/1417-mikrobielle-biostimulanzien.pdf

Foley JA, Defries R, Asner GP, Barford C, Bonan G, Carpenter SR, Chapin FS, Coe MT, Daily GC, Gibbs HK, Helkowski JH, Holloway T, Howard EA, Kucharik CJ, Monfreda C, Patz JA, Prentice IC, Ramankutty N, Snyder PK, 2005. Global consequences of land use. Science (New York, N.Y.), 309 (5734), 570–574.

Follador B, 2015. Portraying soils and compost: color, form, and pattern. Context, 34, 7–8.

Ford BM, Stewart BA, Tunbridge DJ, Tilbrook P, 2021. Paper chromatography: An inconsistent tool for assessing soil health. Geoderma, 383, 114783, https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016706120325386

Fox J, Weisberg S, 2019. An R Companion to Applied Regression (3. Aufl.). Sage Publications, Thousand Oaks CA.

Fox RH, Piekielek WP, 1984. Soil magnesium level, corn (Zea mays L.) yield, and magnesium uptake. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 15 (2), 109–123.

Fuchs M, 2023a. Betriebsleiter Versuchsstandort. persönliche Mitteilung vom 06.01.2023.

Fuchs M, 2023b. Saat Spinat & Radiesli. Foto vom 11.01.2023.

Gardner BR, Blad BL, Watts DG, 1981. Plant and air temperatures in differentially-irrigated corn. Agricultural Meteorology, 25, 207–217.

Gaspar AP, Laboski CA, 2016. Base saturation: What is it? Should I be concerned? Does it affect my fertility program? Proc. of the 2016 Wisconsin Crop Management Conference. Abgerufen am 30.072023, https://extension.soils.wisc.edu/wp-content/uploads/sites/68/2016/03/Gaspar-Laboski-WCMC-2016-Base-saturation.pdf

Gattinger A, Bausenwein U, Bruns C, 2004. Microbial biomass and activity in composts of different composition and age. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 167 (5), 556–561.

Ghorbani R, Wilcockson S, Leifert C, 2005. Alternative treatments for late blight control in organic potato: Antagonistic micro-organisms and compost extracts for activity againstPhytophthora infestans. Potato Research, 48 (3-4), 181–189.

Giddens J, Toth SJ, 1951. Growth and Nutrient Uptake of Ladino Clover Grown on Red and Yellow and Grey-Brown Podzolic Soils Containing Varying Ratios of Cations 1. Agronomy Journal, 43 (5), 209–214.

Golnabi H, Matloob MR, Bahar M, Sharifian M, 2009. Investigation of electrical conductivity of different water liquids and electrolyte solutions. Iranian Physical Journal, 3 (2), 24–28.

Gomez A, 1998. The evaluation of compost quality. TrAC Trends in Analytical Chemistry, 17 (5), 310–314.

Goncharuk VV, Bagrii VA, Mel'nik LA, Chebotareva RD, Bashtan SY, 2010. The use of redox potential in water treatment processes. Journal of Water Chemistry and Technology, 32 (1), 1–9.

Gordon EB, 2021. Evaluation of the microBIOMETER® mobile soil test as an indicator of soil microbial biomass and soil health. Thesis, unveröffentlicht, Cornell University.

Görlach BM, 2021. Aufnahme, subzelluläre Verteilung und Translokation von blattappliziertem Phosphor und dessen Auswirkung auf die Entwicklung von Maispflanzen (Zea mays L.) unter Phosphormangel. Dissertation, unveröffentlicht. Christian-Albrechts-Universität, Kiel.

Gottschalk F, ohne Datum. Zusammenfassung des Vortrages „Der Fisch in seinem Element". Teil 1: Auswertung von Wasseranalysen. Abgerufen am 07.08.2023, https://www.zierfische-gottschalk.de/downloads/dfise-1-wasserwerte-neu.pdf

Graham ER, 1959. An explanation of theory and methods of soil testing. University of Missouri, Agricultural Experiment Station.

Graves S, Piepho H-P, Selzer L, 2023. multcompView: Visualizations of Paired Comparisons. Abgerufen am 19.07.2023, https://cran.r-project.org/web/packages/multcompView/index.html

Greger B, 2002. Kohlendioxid. Teil 1: Grundlagen und Möglichkeiten zur C02-Versorgung der Aquarienpflanzen. Abgerufen am 07.08.2023, https://www.aquaristik.de/artikel/suss47.htm

Gregory PJ, 2006. Roots, rhizosphere and soil: the route to a better understanding of soil science? European Journal of Soil Science, 57 (1), 2–12.

Growing Solutions Inc., ohne Datum. Producing Compost Tea. Abgerufen am 05.08.2023, https://growingsolutions.com/producing-compost-tea/

Grusak MA, 2001. Plant Macro- and Micronutrient Minerals. Encyclopedia of Life Science. Nature Publishing Group. Abgerufen am 30.07.2023, https://web.archive.org/web/20170808165055id_/http://rubisco.ugr.es/fisiofar/pagwebinmalcb/contenidos/Tema11/macro%20y%20micronutrient.pdf

Guyer DE, Sinha NK, Chang TS, Cash JN, 1993. Physicochemical and sensory characteristics of selected Michigan sweet cherry (Prunus avium L.) cultivars. Journal of Food Quality, 16 (5), 355–370.

Hamze MR, Khoshgoftarmanesh AH, 2023. The characteristics of foliar potassium uptake in pistachio as affected by the fertilizer source and solution pH. Scientia Horticulturae, 312, 111842.

Harthun N, 2008. Viktor Schauberger und lebendes Wasser. Vortrag vor der Stiftung „Vital ins Alter (VIA)" in 88179 Oberreute-Irsengrund am 10.9.08. Abgerufen am 03.08.2023, https://www.geobiologie-sachsen.de/pdf/Viktor_Schauberger_u_lebend_Wasser.pdf

Hassan MU, Aamer M, Chattha MU, Haiying T, Shahzad B, Barbanti L, Nawaz M, Rasheed A, Afzal A, Liu Y, Guoqin H, 2020. The Critical Role of Zinc in Plants Facing the Drought Stress. Agriculture, 10 (9), 396.

Hassold-Piezunka N, 2003. Eignung des Chroma-Boden-Tests zur Bestimmung von Kompostqualität und Rottegrad. Dissertation, unveröffentlicht. Carl-von-Ossietzky-Universität, Oldenburg.

Hatam S, Bahman F-N, Hasan A, Gholam A, Sadegh S, 2015. An Overview of the Benefits of Compost tea on Plant and Soil Structure. Advances in Bioresearch, 6 (61), 154–158. Abgerufen am 08.03.2023, https://www.researchgate.net/publication/278242997_An_Overview_of_the_Benefits_of_Compost_tea_on_Plant_and_Soil_Structure

Hathaway MD, 2016. Agroecology and permaculture: addressing key ecological problems by rethinking and redesigning agricultural systems. Journal of Environmental Studies and Sciences, 6 (2), 239–250.

Hegger E, 2023a. Präsentation Pflanzensaftanalysen. Studienreise Agronomiestudenten HAFL, Klasse PWO 2020-2023. Gespräch vom 26.05.2023.

Hegger E, 2023b. Mitarbeiter NovaCropControl. Rückmeldung Blattsaftanalysen Bsc Arbeit. E-Mail vom 25.07.2023.

Hellberg-Rode G, 2003. Redox-Systeme und Redox-Potential. Abgerufen am 07.08.2023, https://hyper-soil.uni-muenster.de/0/05/13.htm#:~:text=Bei%20niedrigen%20Redox%2DPotentialen%20liegen,oder%20mit%20anderen%20Verbindungen%20reagieren.

Hewidy M, Traversa A, Ben Kheder M, Ceglie F, Cocozza C, 2015. Short-Term Effects of Different Organic Amendments on Soil Properties and Organic Broccoli Growth and Yield. Compost Science & Utilization, 23 (3), 207–215.

Hiltner L, 1904. Über neuere Erfahrungen und Probleme auf dem Gebiete der Bodenbakteriologie unter besonderer Berücksichtigung der Gründüngung und Brache. Arbeiten der Deutschen Landwirtschaftlichen Gesellschaft, 98, 59–78.

Hinsinger P, Bengough AG, Vetterlein D, Young IM, 2009a. Rhizosphere: biophysics, biogeochemistry and ecological relevance. Plant and Soil, 321 (1-2), 117–152.

Hinsinger P, Bengough AG, Vetterlein D, Young IM, 2009b. Rhizosphere: biophysics, biogeochemistry and ecological relevance. Plant and Soil, 321 (1-2), 117–152.

Hörner I, ohne Datum. Komposttee. Abgerufen am 01.08.2023, http://www.kompost-tee.de/wp-content/uploads/2013/06/Komposttee-G%C3%A4rtner-6.pdf

Hörner I, 2020a. BRIX-Messungen - Vorteile, die Sie kennen sollten. 05/2020, unveröffentlicht.

Hörner I, 2020b. Kontrolle der Bestände. Schulungsunterlagen, unveröffentlicht.

Hörner I, 2020c. Pflanzengesundheit verstehen, messen und fördern. Schweiz, Januar 2020. Abgerufen am 04.08.2023, https://demeter.ch/wp-content/uploads/2020/02/Pflanzengesundheit-verstehen-messen-und-fordernLOW.pdf

Howard DD, Gwathmey CO, Sams CE, 1998. Foliar Feeding of Cotton: Evaluating Potassium Sources, Potassium Solution Buffering, and Boron. Agronomy Journal, 90 (6), 740–746.

htgetrid, ohne Datum. Wie man Kalk in Wasser aus einem Brunnen entfernt. Abgerufen am 07.08.2023, https://home.htgetrid.com/de/vodosnabzhenie/kak-izbavitsya-ot-izvesti-v-vode-iz-skvazhiny/

Hübscher P, 2023. Inhaber Labor Ins. Bodenproben-Analysen Bsc Arbeit. Telefongespräch vom 31.07.2023.

Hunter AS, 1949. Yield and composition of alfalfa as affected by variations in the calcium-magnesium ratios in the soil. Soil Science, 67 (1), 53–62.

Hunter AS, Toth SJ, Bear FE, 1943. Calcium-potassium ratios for alfalfa. Soil Science, 55 (1), 61–72.

Husson O, 2013. Redox potential (Eh) and pH as drivers of soil/plant/microorganism systems: a transdisciplinary overview pointing to integrative opportunities for agronomy. Plant and Soil, 362 (1-2), 389–417.

IIREC (International Institute for Reasearch on Electromagnetic Compatibility), 2009. Untersuchung über die Beeinflussung von Wasser und Fruchtsaft durch das MIX & DRINK Gerät. Abgerufen am 05.08.2023, https://www.grueneperlen.com/wp-content/uploads/2013/09/gutachten-iirec.pdf

Inckel M, Tersmette T, 2005. The preparation and use of compost (7th ed.). Agromisa, Wageningen, 65 S.

Ingham ER, 2004. The Soil Foodweb: It's Role in Ecosystem Health. In: The overstory book. Cultivating connections with trees. (2. ed.). Permanent Agriculture Resources, Holualoa, HI, S. 62–65.

Ingham ER, 2005. The Compost Tea Brewing Manual (5. Aufl.). SoilFoodweb Incorporated, Corvallis USA.

Insam H, Riddech N, Klammer S, 2002. Microbiology of Composting. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, s.l., 632 S.

Islam MK, Yaseen T, Traversa A, Ben Kheder M, Brunetti G, Cocozza C, 2016. Effects of the main extraction parameters on chemical and microbial characteristics of compost tea. Waste management (New York, N.Y.), 52, 62–68.

Jacyna T, Wójcik W, Lipa T, 2011. Effects of different pH sprays on the efficiency of prohexadione-Ca in sweet cherry trees. Folia Horticulturae, 23 (1), 43–47.

Jöhr S, 2023a. Ressortleiter Beratung, Berater Biolandbau und Betriebswirtschaft INFORAMA Waldhof, Fachlehrer Bio Schule Schwand, Berater und Kursleiter Regenerativ Schweiz. Instruktionen zu Rezeptur und Anwendung Kompostteemaschine VORTEX. Gespräch vom 10.03.2023.

Jöhr S, 2023b. Ressortleiter Beratung, Berater Biolandbau und Betriebswirtschaft INFORAMA Waldhof, Fachlehrer Bio Schule Schwand, Berater und Kursleiter Regenerativ Schweiz. Mithilfe Besprechung Resultate und Berechnung Deckungsbeitrag Bsc Arbeit. Gespräch vom 18.07.2023.

Jones DL, Hinsinger P, 2008. The rhizosphere: complex by design. Plant and Soil, 312 (1-2), 1–6.

Kali Akademie, ohne Datum. Nährstoffe und nützliche Elemente. Abgerufen am 04.08.2023, https://www.kpluss.com/de-de/geschaeftsfelder-produkte/landwirtschaft/kali-akademie/naehrstoffe/

Kanbar A, Toorchi M, Shashidhar H, 2009. Relationship between root and yield morphological characters in rainfed low land rice (Oryza sativa L.). Cereal Research Communications, 37 (2), 261–268.

Kannan S, 1980. Mechanisms of foliar uptake of plant nutrients: Accomplishments and prospects. Journal of Plant Nutrition, 2 (6), 717–735.

Kashiwagi J, Krishnamurthy L, Crouch JH, Serraj R, 2006. Variability of root length density and its contributions to seed yield in chickpea (Cicer arietinum L.) under terminal drought stress. Field Crops Research, 95 (2-3), 171–181, https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378429005000675

Kassambara A, 2023. ggpubr: 'ggplot2' Based Publication Ready Plots. Abgerufen am 19.07.2023, https://cran.r-project.org/web/packages/ggpubr/index.html

Kellerhals U, 2022. Vitales Wasser. Vortrag Regenerativ Community vom 24.10.2022. Regenerativ Schweiz.

Kempf J, 2019. John Kempf – Forget about soil, Focus on plant health instead. 29.07.2019. Podcast Transkript. Abgerufen am 03.08.2023, https://investinginregenerativeagriculture.com/2019/07/29/john-kempf/

Kempf J, 2020. The challenges of managing nutrition with Brix readings. Abgerufen am 26.07.2023, https://johnkempf.com/the-challenges-of-managing-nutrition-with-brix-readings/

Kempf J, 2021. Sap pH as a susceptibility indicator. Blog vom 19.07.2021. Abgerufen am 04.08.2023, https://johnkempf.com/tag/bruce-tainio/

Kernstock P, 2010. Wissenschaftliche und inhaltsstoffliche Überprüfung: Mögliche kosmische Einflüsse des Mondes auf den Anbau von Radieschen (Raphanus sativus L.), Karotten (Daucus carota L.) und „Einjähriger Sonnenhut“ (Rudbeckia hirta) nach den Prinzipien von Maria Thun. Masterarbeit, unveröffentlicht. Universität für Bodenkultur, Wien.

Khemani D, Joseph MM, Variganti S, 2008. Case Based Interpretation of Soil Chromatograms. In: Althoff K-D, Bergmann R, Minor M, Hanft A (Hrsg.). Advances in case-based reasoning. 9th European conference, ECCBR 2008, Trier, Germany, September 1 - 4, 2008 ; proceedings. Springer, Berlin, S. 587–599.

Kim MJ, Shim CK, Kim YK, Hong SJ, Park JH, Han EJ, Kim JH, Kim SC, 2015. Effect of Aerated Compost Tea on the Growth Promotion of Lettuce, Soybean, and Sweet Corn in Organic Cultivation. The Plant Pathology Journal, 31 (3), 259–268, https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4564151/

Kinsey N, 2014. Hands-on agronomy. Der etwas andere Blick auf Bodenfruchtbarkeit und Düngung (2. Aufl.). Bayer, Berlin, 390 S.

Kitzmüller D, 2005. Mythen des Wassers - Wissenschaftliche Untersuchungen von "belebtem" Wasser anhand der Grander-Technologie und AQUAVital. Fachbereichsarbeit aus Chemie, https://homepage.univie.ac.at/erich.eder/wasser/kitzmueller2006.pdf

Koepf HH, Shouldice R, Goldstein W, 1989. The biodynamic Farm. Agriculture in the service of the earth and humanity. Anthroposophic Press, Hudson, N.Y., 245 S.

Kokornaczyk MO, Primavera F, Luneia R, Baumgartner S, Betti L, 2017. Analysis of soils by means of Pfeiffer's circular chromatography test and comparison to chemical analysis results. Biological Agriculture & Horticulture, 33 (3), 143–157.

Kopittke PM, Menzies NW, 2007. A Review of the Use of the Basic Cation Saturation Ratio and the "Ideal" Soil. Soil Science Society of America Journal, 71 (2), 259–265, https://acsess.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.2136/sssaj2006.0186?casa_token=95Rlo5cF74UAAAAA%3AVe0rkaE3y5TLOsUWjvVA07vxrM_SkjiG3d91jYdITAhxGmkyVTf947lafU0dtpQgxk30EzpcO2NbL5A1#bib9

Krebs J, Bach S, 2018. Permaculture—Scientific Evidence of Principles for the Agroecological Design of Farming Systems. Sustainability, 10 (9), 3218, https://www.mdpi.com/2071-1050/10/9/3218

Krishnasree RK, Raj SK, Chacko SR, 2021. Foliar nutrition in vegetables: A review. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry, 10 (1), 2393–2398.

Kuman M, 2018. Left-handed molecules means left-spinning magnetic field created them. International Journal of Complementary & Alternative Medicine, 11 (6), 62–65.

Kuznetsova A, Brockhoff PB, Christensen RHB, 2017. lmerTest Package: Tests in Linear Mixed Effects Models. Journal of Statistical Software, 82 (13), 1–26, https://www.jstatsoft.org/article/view/v082i13

Laane H-M, 2018. The Effects of Foliar Sprays with Different Silicon Compounds. Plants, 7 (2), 45.

Labor Ins, ohne Datum. Kationenaustauschkapazität. Die Wahrheit liegt im Boden. Abgerufen am 03.08.2023, https://www.laborins.ch/wp-content/uploads/2021/01/Kationenaustauschkapazitaet_Broschuere.pdf

Labor Ins, 2023. Bericht Bodenproben. Auftragsnummer 61079. Auftragsdatum 12.04.2023, unveröffentlicht.

Lal R, 2016. Soil health and carbon management. Food and Energy Security, 5 (4), 212–222.

Lebosol, ohne Datum. Lebosol®-Zitronensäure, https://www.lebosol.de/zusatzstoffe/lebosol-zitronensaeure

Lechler GmbH, 2023. Spritztabellen für die Agrartechnik. Spritztabelle Feldbau. Abgerufen am 01.08.2023, https://www.lechler.com/fileadmin/media/datenblaetter/agrar/lechler_agrar_spritztabelle_feldbau_wasser.pdf

Leiva Soto A, Culman SW, Herms C, Sprunger C, Doohan D, 2023. Managing soil acidity vs. soil Ca:Mg ratio: What is more important for crop productivity? Crop, Forage & Turfgrass Management, 9 (1), e20210-e20220.

Lenth RV, 2023. emmeans: Estimated Marginal Means, aka Least-Squares Means. Abgerufen am 19.07.2023, https://cran.r-project.org/web/packages/emmeans/index.html

Lipman CB, 1916. A critique of the hypothesis of the lime/magnesia ratio. The Plant World, 19 (4), 83–105.

Liu L, Kakihara F, Kato M, 2004. Characterization of six varieties of Cucumis melo L. based on morphological and physiological characters, including shelf-life of fruit. Euphytica, 135 (3), 305–313.

LK Niederösterreich (Landwirtschaftskammer Niederösterreich), 2023. Blattdüngung. Abgerufen am 05.08.2023, https://noe.lko.at/blattd%C3%BCngung+2400+2733580#:~:text=Die%20Wasserh%C3%A4rte%20spielt%20bei%20der,6%20%2D%206%2C5%20aufweisen.

Lowenfels J, Lewis W, Ingham E, 2020. Gärtnern mit Mikroben. Der Leitfaden des Bio-Gärtners zum Bodennahrungsnetz (Deutsche Ausgabe der überarbeiteten englischen Ausgabe, 2017). Verlag Dr. Friedrich Pfeil, München, 156 S.

Lüdecke D, 2023. sjPlot: Data Visualization for Statistics in Social Science. R package version 2.8.14. Abgerufen am 19.07.2023, https://cran.r-project.org/web/packages/sjPlot/index.html

Luo T, Zhu Y, Lu W, Chen L, Min T, Li J, Wei C, 2021. Acidic compost tea enhances phosphorus availability and cotton yield in calcareous soils by decreasing soil pH. Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil & Plant Science, 71 (8), 657–666.

Macías F, Camps Arbestain M, 2010. Soil carbon sequestration in a changing global environment. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 15 (6), 511–529.

Mahaffee WF, Scheuerell SJ, 2006. Compost teas: alternative approaches to the biological control of plant diseases. In: Microbial ecology of aerial plant surfaces. CABI, UK, S. 165–179.

Marín F, Santos M, Diánez F, Carretero F, Gea FJ, Yau JA, Navarro MJ, 2013. Characters of compost teas from different sources and their suppressive effect on fungal phytopathogens. World Journal of Microbiology and Biotechnology, 29 (8), 1371–1382.

McLean EO, Hartwig RC, Eckert DJ, Triplett GB, 1983. Basic Cation Saturation Ratios as a Basis for Fertilizing and Liming Agronomic Crops. II. Field Studies 1. Agronomy Journal, 75 (4), 635–639.

meteoblue, 2023. Wetterarchiv Gempenach. Abgerufen am 10.07.2023, https://www.meteoblue.com/de/wetter/historyclimate/weatherarchive/gempenach_schweiz_8533511?fcstlength=1m&year=2023&month=2

MeteoSchweiz (Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie), 2023. Starker Weststurm. MeteoSchweiz-Blog vom 31.03.2023. Abgerufen am 11.07.2023, https://www.meteoschweiz.admin.ch/ueber-uns/meteoschweiz-blog/de/2023/03/starker-weststurm.html

microBIOMETER, ohne Datum[a]. microBIOMETER Compost Tea and Extract Testing Procedure. Abgerufen am 13.07.2023, https://microbiometer.com/wp-content/uploads/2022/10/Testing-Procedure-Instructions-Compost-Tea-and-Extract-2.pdf

microBIOMETER, ohne Datum[b]. Our Story. Abgerufen am 06.08.2023, https://www.microbiometer.com/our-story/

microBIOMETER, ohne Datum[c]. Understanding your results. Abgerufen am 01.08.2023, https://microbiometer.com/wp-content/uploads/2021/12/interpreting-results-final-9-20.pdf

Mollison B, Holmgren D, 1984. Permakultur. Landwirtschaft und Siedlungen in Harmonie mit der Natur (2. Aufl.). Pala-Verl., Schaafheim, 166 S.

Moser F, 1933. The Calcium-Magnesium Ratio in Soils and its Relation to Crop Growth. Agronomy Journal, 25 (6), 365–377.

Murakami K, Hamasaki T, Nemoto M, Inoue S, Hirota T, 2021. Photosynthetic and respiratory activities of spinach in an unheated greenhouse during winter in Sapporo, Japan. Journal of Agricultural Meteorology, 77 (2), 109–117.

Naidu Y, Meon S, Kadir J, Siddiqui Y, 2010. Microbial starter for the enhancement of biological activity of compost tea. International Journal of Agriculture & Biology, 12, 51–56.

Näser D, 2021. Regenerative Landwirtschaft (2. Aufl.). Eugen Ulmer, Stuttgart, 199 S.

Neff A, 2000. Mikroorganismen im Boden Funktion - Bedeutung - Nachweis. Berichte der St. Gallischen Naturwissenschaftlichen Gesellschaft, 89, 289–302.

Neue Geomantie, ohne Datum. Drehung. Abgerufen am 08.08.2023, https://www.neue-geomantie.de/glossar/drehung/

Nimmrichter UE, 2021. Blattsafttest - eine hilfreiche Entscheidungsgrundlage. Probleme der Pflanzengesundheit und Stressfaktoren frühzeitig erkennen. Getreidemagazin, 27 (2). Abgerufen am 05.03.2023, http://www.projektn2.de/uploads/Presse/Veroeffentlichungen/2021_02_Getreidemagazin_Blattsafttest.pdf

NovaCropControl, 2023a. Seminar Pflanzensaftmessungen vom 24.03.2023. Vertiefung Ihres Verständnisses der Pflanzensaftanalysen und Verbesserung Iher Entscheidungen zur Pflanzenernährung. Seminarunterlagen, unveröffentlicht.

NovaCropControl, 2023b. Analyseberichte für Edapro Gmbh. Pflanzensaftanalysen für Bsc-Arbeit Monika Freiburghaus, unveröffentlicht.

Nye PH, 1981. Changes of pH across the rhizosphere induced by roots. Plant and Soil, 61 (1-2), 7–26.

Okuda A, Kawasaki T, Yamada Y, 1960. Foliar absorption of nutrients: I. Soil Science and Plant Nutrition, 6 (2), 66–70.

Olson RA, Frank KD, Grabouski PH, Rehm GW, 1982. Economic and Agronomic Impacts of Varied Philosophies of Soil Testing. Agronomy Journal, 74 (3), 492–499.

Paeger J, ohne Datum. Die Fotosynthese. Die wichtigste Reaktion der Welt. Abgerufen am 07.08.2023, https://www.oekosystem-erde.de/html/fotosynthese.html

Pant A, Radovich T, Hue NV, Arancon NQ, 2011. Effects of Vermicompost Tea (Aqueous Extract) on Pak Choi Yield, Quality, and on Soil Biological Properties. Compost Science & Utilization, 19 (4), 279–292.

Pant AP, Radovich TJ, Hue NV, Paull RE, 2012. Biochemical properties of compost tea associated with compost quality and effects on pak choi growth. Scientia Horticulturae, 148, 138–146.

Patel RJ, Patel AH, Patil SJ, Bhanderi DR, Tandel BM, 2018. Effect of different pH levels, micronutrients and banana pseudostem sap on flowering of mango (Mangifera indica L.) cv. Kesar. International Journal of Chemical Studies, 6 (3), 1374–1376.

Peña-Fleitas MT, Gallardo M, Padilla FM, Rodríguez A, Thompson RB, 2021. Use of a Portable Rapid Analysis System to Measure Nitrate Concentration of Nutrient and Soil Solution, and Plant Sap in Greenhouse Vegetable Production. Agronomy, 11 (5), 819.

Pepper IL, 2013. The Soil Health-Human Health Nexus. Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 43 (24), 2617–2652.

Pfeiffer E, 1984. Chromatography Applied to Quality Testing. Bio-Dynamic Literature, Wyoming Rhode Island.

Plantahof, 2022. Weltkugel der Antagonisten. Abgerufen am 03.08.2023, https://www.gr.ch/DE/institutionen/verwaltung/dvs/lbbz/beratungfachwissen/pflanzenbau/feldtag/Documents/Weltkugel%20der%20Antagonisten.pdf

Pola R, 2023a. Interpretation Boden-Chromas für Bachelorarbeit (Einfluss Komposttee). E-Mail vom 26.07.2023.

Pola R, 2023b. Interpretation Boden-Chromas für Bachelorarbeit (Einfluss Komposttee). E-Mail vom 27.07.2023.

Potsweiler K, 2006. 3.4.4 Radies. In: Lindner U, Billmann B (Hrsg.). Planung, Anlage und Auswertung von Versuchen im ökologischen Gemüsebau. Handbuch für die Versuchsanstellung. Forschungsinstitut für biologischen Landbau FIBL, Frick, Frankfurt, S. 156–159.

Psiram, 2023. Bovis-Einheit. Abgerufen am 08.08.2023, https://www.psiram.com/de/index.php/Bovis-Einheit

Ray DK, Mueller ND, West PC, Foley JA, 2013. Yield Trends Are Insufficient to Double Global Crop Production by 2050. PloS one, 8 (6).

Reents HJ, 2006. 3.2.4 Spinat. In: Lindner U, Billmann B (Hrsg.). Planung, Anlage und Auswertung von Versuchen im ökologischen Gemüsebau. Handbuch für die Versuchsanstellung. Forschungsinstitut für biologischen Landbau FIBL, Frick, Frankfurt, 83-87.

Rehm GW, Sorensen RC, 1985. Effects of Potassium and Magnesium Applied for Corn Grown on an Irrigated Sandy Soil. Soil Science Society of America Journal, 49 (6), 1446–1450.

Reid WS, 1996. Influence of lime and calcium:magnesium ratio on alfalfa and birdsfoot trefoil yields. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 27 (5-8), 1885–1900.

Richmond KE, Sussman M, 2003. Got silicon? The non-essential beneficial plant nutrient. Current opinion in plant biology, 6 (3), 268–272.

Rieger L, 2023. Mithilfe Chroma-Interpretation Bsc Arbeit Komposttee. E-Mail vom 04.07.2023.

Rosén AP, 2022. Relating to Soil: Chromatography as a Tool for Environmental Engagement. In: Mueller F (Hrsg.). Designing Interactive Systems Conference 2022, 13 06 2022 17 06 2022. Association for Computing Machinery, New York,NY,United States, S. 1640–1653.

Rubi A, 2022. Co-Gründer EDAPRO & Co-Betreuer Bachelorarbeit. Online-Gespräch vom 09.12.2022.

Rubi A, 2023a. Co-Gründer EDAPRO & Co-Betreuer Bachelorarbeit. Abholung Kompostteemaschine. Gespräch vom 13.01.2023.

Rubi A, 2023b. Co-Gründer EDAPRO & Co-Betreuer Bachelorarbeit. Rezeptur Komposttee. E-Mail vom 12.06.2023.

Rubi A, 2023c. Co-Gründer EDAPRO & Co-Betreuer Bachelorarbeit. Rezeptur Komposttee. E-Mail vom 10.07.2023.

Rubi A, 2023d. Co-Gründer EDAPRO & Co-Betreuer Bachelorarbeit. Kosten Komposttee vom 18.07.2023.

Rubi A, 2023e. Co-Gründer EDAPRO & Co-Betreuer Bachelorarbeit. Informationen zu Preis Kompostteemaschine. WhatsApp vom 19.07.2023.

Rynk R, Schwarz M, Richard TL, Cotton M, Halbach T, Siebert S, 2022. Chapter 4 - Compost feedstocks. In: Rynk R (Hrsg.). The composting handbook. A how-to and why manual for farm, municipal, institutional and commercial composters. ElsevierAcademic Press, London, San Diego, Cambridge, Oxford, S. 103–157.

S.A. Dynamized Technologies, ohne Datum. Wirbel sind die spontanen Bewegungen der Natur und des Lebens. Abgerufen am 08.08.2023, https://biodynamizer.com/de/wasser/der-wirbel/

Sain D, 2022. Evaluation of microBIOMETER as a tool to estimate soil health in a west Tennessee cotton crop. Master Thesis, unveröffentlicht. Knoxville, University of Tennessee.

Sait G, 2008. Plant Therapy™ – Fine Tuning Nutrition for Profits. Blog vom 05.09.2008. Abgerufen am 04.08.2023, https://blog.nutri-tech.com.au/plant-therapy-fine-tuning-nutrition-for-profits/

Scheidegger U, ohne Datum. Hinweise zur Anlage von Feldversuchen. BLAp106 Pflanzenbauversuche und Verfahrenstechnik, unveröffentlicht. SHL.

Scheuerell S, Mahaffee W, 2002. Compost Tea: Principles and Prospects For Plant Disease Control. Compost Science & Utilization, 10 (4), 313–338.

Scheuerell SJ, Mahaffee WF, 2004. Compost Tea as a Container Medium Drench for Suppressing Seedling Damping-Off Caused by Pythium ultimum. Phytopathology, 94 (11), 1156–1163.

Scheuerell SJ, Mahaffee WF, 2006. Variability Associated with Suppression of Gray Mold (Botrytis cinerea) on Geranium by Foliar Applications of Nonaerated and Aerated Compost Teas. Plant disease, 90 (9), 1201–1208.

Schubiger FX, 2023. Krankheiten und Schädlinge des Getreides. Getreidehähnchen. Abgerufen am 25.07.2023, https://www.pflanzenkrankheiten.ch/krankheiten-an-kulturpflanzen-2/getreide-mais/weizen/getreidehaehnchen-weizen

Seiler B, 2013. Schauberger. Die unendliche Kraft im Wasser. Abgerufen am 02.08.2023, https://www.grueneperlen.com/wp-content/uploads/2014/01/Aquadea-Viktor-Schauberger-Die_unendliche_Kraft_im_Wasser.pdf

Seo DC, DeLaune RD, 2010. Effect of redox conditions on bacterial and fungal biomass and carbon dioxide production in Louisiana coastal swamp forest sediment. The Science of the total environment, 408 (17), 3623–3631.

Simson CR, Corey RB, Sumner ME, 1979. Effect of varying Ca: Mg ratios on yield and composition of corn (zea mays) and alfalfa (medicago sativa). Communications in Soil Science and Plant Analysis, 10 (1-2), 153–162.

Sinaj S, Richner W, 2017. Grundlagen für die Düngung landwirtschaftlicher Kulturen in der Schweiz (GRUD 2017). Agrarforschung Schweiz 8 (6): Spezialpublikation, 276 S.

Soto AL, 2022. Effects of the Base Cation Saturation Ratio Approach to Soil Management on Weeds and Crop Yield, and Improved Methodology for Measuring Soil Aggregate Stability. Dissertation, unveröffentlicht. Ohio State University.

Sperling P, 2019. Laborprotokoll. LECO CHN-Analyzer 628 Serie. Version 1.8, unveröffentlicht. HAFL (Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften).

St. Martin CCG, 2014. Potential of compost tea for suppressing plant diseases. CABI Reviews, 2014, 1–38.

Stahr A, ohne Datum. Redox-Systeme. Abgerufen am 07.08.2023, http://www.ahabc.de/bodeneigenschaften/redox-systeme/#

Strickhof, ohne Datum. Spritzmittelbrühe ansäuern, https://www.strickhof.ch/publikationen/spritzmittelbruehe-ansaeuern/

Svačina P, Středa T, Chloupek O, 2014. Uncommon selection by root system size increases barley yield. Agronomy for Sustainable Development, 34 (2), 545–551, https://link.springer.com/article/10.1007/s13593-013-0160-y

SVGW (Schweizerischer Verein des Gas- und Wasserfaches), 2022. Trinkwasserqualität. Abgerufen am 27.07.2023, https://trinkwasser.ch/de

Tamm L, Speiser B, Niggli U, 2018. Reduktion von Pflanzenschutzmitteln in der Schweiz: Beitrag des Biolandbaus. Agrarforschung Schweiz, 9 (2), 52–59. Abgerufen am 27.07.2023, https://www.agrarforschungschweiz.ch/wp-content/uploads/2019/12/2018_02_2362.pdf

Tilman D, Balzer C, Hill J, Befort BL, 2011. Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 108 (50), 20260–20264.

Timac AGRO, ohne Datum. Boden-Redox. Abgerufen am 07.08.2023, https://www.timacagro.com/app/uploads/sites/20/2017/11/Redox-Boden-Energeo-MP4C012-2103-d-A4-Redox-explicatif.pdf

Tognetti C, Laos F, Mazzarino MJ, Hernández MT, 2005. Composting vs. Vermicomposting: A Comparison of End Product Quality. Compost Science & Utilization, 13 (1), 6–13.

Vásquez-Murrieta M, Migueles-Garduño I, Franco-Hernández O, Govaerts B, Dendooven L, 2006. C and N mineralization and microbial biomass in heavy-metal contaminated soil. European Journal of Soil Biology, 42 (2), 89–98.

Volk NJ, 1939. The Effect of Oxidation-Reduction Potential on Plant Growth 1. Agronomy Journal, 31 (8), 665–670.

VORTEX Energie GmbH, ohne Datum. Komposttee. Abgerufen am 01.08.2023, https://kompost-tee.at/wp-content/uploads/2021/01/fba6b1_e2c3a7a7ab1344e6b3b4762dc6ebef80.pdf

Wafaa M Haggag, M S M Saber, 2007. Suppression of early blight on tomato and purple blight on onion by foliar sprays of aerated and non-aerated compost tea. Journal of Food Agriculture and Environment, 5 (2).

Waliczek TM, Wagner NC, 2023. An Investigation of the Impact of Compost Tea Applications on Turf Quality and Soil Microbial Activity. Journal of Environmental Horticulture, 41 (1), 1–6.

Wallace A, 1993. The Law of the Maximum. Journal of Production Agriculture, 20–22.

Wang K-H, Radovich T, Pant A, Cheng Z, 2014. Integration of cover crops and vermicompost tea for soil and plant health management in a short-term vegetable cropping system. Applied Soil Ecology, 82, 26–37.

Wang W, Dalal R, Moody P, Smith C, 2003. Relationships of soil respiration to microbial biomass, substrate availability and clay content. Soil Biology and Biochemistry, 35 (2), 273–284.

Wardlaw I, 1976. Transport and transfer processes in plants. Academic Press, New York, 484 S.

WBF (Eidgenössisches Departement für Wirtschaft, Bildung und Forschung), 2020. Schweizerische Referenzmethoden der Forschungsanstalten Agroscope. Bestimmung der potentiellen Kationenaustauschkapazität und Basensättigung. Version 2.0 (2020).

Wei T, Simko V, 2021. R package 'corrplot': Visualization of a Correlation Matrix. Abgerufen am 19.07.2023, https://cran.r-project.org/web/packages/corrplot/citation.html

Welke SE, 2005. The Effect of Compost Extract on the Yield of Strawberries and the Severity of Botrytis cinerea. Journal of Sustainable Agriculture, 25 (1), 57–68.

Weltzien HC, 1990. The use of composted materials for leaf disease suppression in field crops. The use of composted materials for leaf disease suppression in field crops, No. 45, 115–120.

Weltzien HC, 1991. Biocontrol of Foliar Fungal Diseases with Compost Extracts. In: Microbial Ecology of Leaves. Springer, New York, NY, S. 430–450.

Westcott CC, 1978. pH measurements. Acad. Press, New York, N.Y., 172 S.

Wetter-Wuennewil, 2023. Archiv Wetterdaten. Abgerufen am 19.07.2023, https://www.wetter-wuennewil.ch/wuennewil/monatsarchiv/

Wickham H, Averick M, Bryan J, Chang W, McGowan L, François R, Grolemund G, Hayes A, Henry L, Hester J, Kuhn M, Pedersen T, Miller E, Bache S, Müller K, Ooms J, Robinson D, Seidel D, Spinu V, Takahashi K, Vaughan D, Wilke C, Woo K, Yutani H, 2019. Welcome to the Tidyverse. Journal of Open Source Software, 4 (43), 1686.

Wickham H, Bryan J, 2023. readxl: Read Excel Files. Paket Software R. Abgerufen am 19.07.2023, https://readxl.tidyverse.org

Wickham H, François R, Henry L, Müller K, Vaughan D, 2023. dplyr: A Grammar of Data Manipulation. Abgerufen am 19.07.2023, https://cran.r-project.org/web/packages/dplyr/index.html

Wiechoczek D, 2013. Ist heißes Wasser saurer als kaltes? Abgerufen am 07.08.2023, https://www.chemieunterricht.de/dc2/wasser/pH-T.htm

Wikipedia, 2023a. Radieschen. Abgerufen am 09.07.2023, https://de.wikipedia.org/wiki/Radieschen

Wikipedia, 2023b. Spinat. Abgerufen am 09.07.2023, https://de.wikipedia.org/wiki/Spinat

Yatoo AM, Ali MN, Baba ZA, Hassan B, 2021. Sustainable management of diseases and pests in crops by vermicompost and vermicompost tea. A review. Agronomy for Sustainable Development, 41 (1), 1–26.

Zeng H, Wang G, Hu X, Wang H, Du L, Zhu Y, 2014. Role of microRNAs in plant responses to nutrient stress. Plant and Soil, 374 (1-2), 1005–1021.

Zorn W, Marks G, Heß H, Bergmann W, 2016. Handbuch zur visuellen Diagnose von Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen (3., korr. Auflage). Springer Spektrum, Wiesbaden, Berlin, Heidelberg, 370 S.

Zwickle S, Wilson R, Doohan D, 2014. Identifying the challenges of promoting ecological weed management (EWM) in organic agroecosystems through the lens of behavioral decision making. Agriculture and Human Values, 31 (3), 355–370.

Quelle Titelbild: Hauptversuch im Gewächshaus von Markus Fuchs, Gempenach. Eigene Aufnahme vom 04.04.2023