

Aus dem Institut für Phytopathologie
der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

**Analyse der Verwendungsmöglichkeit von Additiven anhand
fungizider Saatgutbehandlungsmittel unter Berücksichtigung der
technischen Parameter Haftfestigkeit, Fließfähigkeit und
Verteilungshomogenität, sowie der biologischen Wirkstoffaufnahme
in die Pflanze mit der Anwendung in Getreide**

Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Agrar- und Ernährungswissenschaftlichen Fakultät
der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

vorgelegt von

M.Sc. Julian Rudelt

aus Neumünster

Kiel, 2017

Dekan: Prof. Dr. Krieter

1. Berichterstatter: Prof. Dr. Verreet

2. Berichterstatter: Prof. Dr. Cai

Tag der mündlichen Prüfung: 26.04.2017

Gedruckt mit Genehmigung der Agrar- und Ernährungswissenschaftlichen Fakultät der
Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Abbildungsverzeichnis	IV
Tabellenverzeichnis	VIII
Abkürzungsverzeichnis	XI
1. Einleitung.....	1
2. Literaturübersicht.....	3
2.1. Fungizide Beizen zur Behandlung von Getreide.....	3
2.2. Wirkstoffgruppen chemischer fungizider Beizen	5
2.3. Saatgutbehandlungsprozess von Getreide.....	7
2.4. Einordnung der Saatgutbeizung in den ackerbaulichen Gesamtprozess	8
2.5. Kennzeichnung von gebeiztem Saatgut	9
2.6. Qualitätsparameter einer Beizung	11
2.7. Formulierungen in der Saatgutbehandlung.....	15
2.8. Einsatz von externen Additiven bei der Beizung von Getreidesaatgut	19
3. Material und Methoden	21
3.1. Verwendete Materialien.....	21
3.1.1. Geräte	21
3.1.2. Verbrauchsmaterialien.....	21
3.1.3. Chemikalien.....	21
3.1.4. Programme.....	22
3.1.5. Getreidekulturen und –sorten	22
3.1.6. Präparate und Wirkstoffe	22
3.2. Teilversuche für die Bewertung der Beizqualität.....	24
3.2.1. Versuchsaufbau der Teilversuche	24
3.3. Methoden für die einzelnen Versuchsteile	29
3.3.1. Aufreinigung des Saatgutes.....	29
3.3.2. Durchführung einer Beizung	29
3.3.3. Messung des Staubabriebs der Getreideproben.....	30

Inhaltsverzeichnis

3.3.4.	Extraktion der Wirkstoffe.....	31
3.3.5.	Aspekte der Flüssigchromatographie, sowie Massenspektroskopie	32
3.3.6.	Messung der Fließfähigkeit der Getreideproben	34
3.3.7.	Messung der Beizverteilung auf dem Einzelkorn	36
3.4.	Statistische Auswertung	36
4.	Ergebnisse.....	38
4.1.	Teilversuch I: Messung des Abriebs anhand mehrerer Sorten/Kultur	39
4.1.1.	Analyse der Regressionsgeraden.....	41
4.2.	Teilversuch II: Messung des Abriebs innerhalb einer Sorte/Kultur mit unterschiedlichen Beizlösungen	44
4.2.1.	Analyse der Regressionsgeraden.....	45
4.2.2.	Vergleich der unterschiedlichen Beize-Additiv Kombinationen in Bezug auf die Messgröße Staubabrieb.....	49
4.2.2.1.	Messung des Abriebs in der Weizenkultur.....	50
4.2.2.2.	Messung des Abriebs in der Gerstenkultur.....	51
4.2.2.3.	Messung des Abriebs in der Roggenkultur	53
4.2.2.4.	Messung des Abriebs in der Haferkultur.....	54
4.2.2.5.	Messung des Abriebs in der Triticale.....	56
4.3.	Teilversuch III: Ergebnisse der Wirkstoffdetektion aus den Beizresiduen	57
4.4.	Teilversuch IV: Ergebnisse der Wirkstoffdetektion aus Getreidepflanzen	59
4.4.1.	Einzelbetrachtung der Wirkstoffe	61
4.4.1.1.	Pyrimethanil	61
4.4.1.2.	Prochloraz.....	63
4.4.1.3.	Triticonazol.....	64
4.5.	Teilversuch V: Ergebnisse der Fließfähigkeitsmessung.....	66
4.5.1.	Analyse der Regressionsgeraden.....	67
4.5.2.	Vergleich der unterschiedlichen Beize-Additiv Kombinationen in Bezug auf die Messgröße Fließfähigkeit.....	71
4.5.2.1.	Messung der Fließfähigkeit in der Weizenkultur	72
4.5.2.2.	Messung der Fließfähigkeit in der Gerstenkultur	73

Inhaltsverzeichnis

4.5.2.3.	Messung der Fließfähigkeit in der Roggenkultur.....	74
4.5.2.4.	Messung der Fließfähigkeit in der Haferkultur	75
4.5.2.5.	Messung der Fließfähigkeit in der Triticale	77
4.5.3.	Interaktion von Heubachwert und Fließfähigkeit	78
4.6.	Teilversuch VI: Ergebnisse der optischen Auswertung	82
4.6.1.	Vergleich der unterschiedlichen Beize-Additiv Kombinationen in Bezug auf die Messgröße gefärbte Fläche auf dem Einzelkorn	83
4.6.1.1.	Messung der gefärbten Kornoberfläche in der Weizenkultur	84
4.6.1.2.	Messung der gefärbten Kornoberfläche in der Gerstenkultur.....	86
4.6.1.3.	Messung der gefärbten Kornoberfläche in der Roggenkultur.....	89
4.6.1.4.	Messung der gefärbten Kornoberfläche in der Haferkultur	91
4.6.1.5.	Messung der gefärbten Kornoberfläche in der Triticale	93
5.	Diskussion.....	96
6.	Zusammenfassung.....	122
7.	Summary.....	124
8.	Quellenverzeichnis.....	126
9.	Anhang.....	142
	Danksagung.....	144
	Curriculum vitea.....	145

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Schematischer Aufbau einer Beisanlage für Flüssigbeizsysteme nach dem Rotor-Stator Prinzip (verändert nach <i>Kruse, 2008</i>).....	8
Abb. 2:	Übersicht der unterschiedlichen Qualitätsparameter eines Beizprozesses	12
Abb. 3:	Einteilung von Schüttgütern nach Partikelgröße (nach <i>Brübach, 1973</i>)	13
Abb. 4:	Messmethoden zur Ermittlung der Fließfähigkeit von Schüttgütern; a: Trichtermethode (t_M : Auslaufzeit), b: Böschungswinkelmessung (α_M : Böschungswinkel), c: Lawinenmessung (t_M : Lawinengröße) (nach <i>Schulze, 2014</i>).....	15
Abb. 5:	Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen von Saatkörnern, repräsentativ für die Getreidekulturen Weizen, Gerste, Roggen, Hafer und Triticale (eigene Aufnahme, in Zusammenarbeit mit dem Institut für Geowissenschaften, Abt. Geologie/Dr. Meier).....	18
Abb. 6:	Anzucht von Weizenpflanzen auf Filterpapier.....	27
Abb. 7:	<i>Heubach</i> Dustmeter der Firma Heubach	30
Abb. 8:	Funktionsprinzip des <i>Heubach</i> -Dustmeters	31
Abb. 9:	<i>Revolution Powder Analyser</i> der Firma PS Prozesstechnik.....	34
Abb. 10:	Optische Erfassung des dynamischen Fließverhaltens durch den RPA.....	35
Abb. 11:	Schablone zur Messung der Flüssigkeitsverteilung auf Einzelkornebene	36
Abb. 12:	Exemplarische Visualisierung der Grundstaubbelastung von 100g Saatgut als Staubmenge auf dem Filter vor (a) und nach (b) dem Aufreinigungs- und Rücktrocknungsprozess	39
Abb. 13:	Staubabriebe (g/dt) der verwendeten Getreidesaaten in den Kulturen Weizen, Gerste, Roggen, Hafer, Triticale, dargestellt für die Saatgutrohware je Sorte und die jeweils aufgereinigte Variante	40
Abb. 14:	Regressionsgeraden des Staubabriebs der einzelnen Beize Additiv Kombinationen der Beizen EfA [®] , Rubin [®] TT, Landor [®] CT Formel M und Zardex [®] G in jeweils vier Varianten (Solo, mit Kantor [®] , mit MaximalFlow [®] und mit Inteco [®]).....	47
Abb. 15:	Staubabrieb in g/dt (\pm SD) der Beizen EfA [®] (a), Rubin [®] TT (b), Landor [®] CT Formel M (c) und Zardex [®] G (d) in jeweils vier Varianten (Solo, mit Kantor [®] , mit MaximalFlow [®] und mit Inteco [®]) für alle Beizaufwandmengen (100, 125,	

	150, 175, 200, 250, 300 ml/dt), als Referenz der Varianten in jeder Aufwandmenge in der Weizenkultur	50
Abb. 16:	Staubabrieb in g/dt (\pm SD) der Beizen EfA [®] (a), Rubin [®] TT (b), Landor [®] CT Formel M (c) und Zardex [®] G (d) in jeweils vier Varianten (Solo, mit Kantor [®] , mit MaximalFlow [®] und mit Inteco [®]) für alle Beizaufwandmengen (100, 125, 150, 175, 200, 250, 300 ml/dt), als Referenz der Varianten in jeder Aufwandmenge in der Gerstenkultur	52
Abb. 17:	Staubabrieb in g/dt (\pm SD) der Beizen EfA [®] (a), Rubin [®] TT (b), Landor [®] CT Formel M (c) und Zardex [®] G (d) in jeweils vier Varianten (Solo, mit Kantor [®] , mit MaximalFlow [®] und mit Inteco [®]) für alle Beizaufwandmengen (100, 125, 150, 175, 200, 250, 300 ml/dt), als Referenz der Varianten in jeder Aufwandmenge in der Roggenkultur	54
Abb. 18:	Staubabrieb in g/dt (\pm SD) der Beizen EfA [®] (a), Rubin [®] TT (b), Landor [®] CT Formel M (c) und Zardex [®] G (d) in jeweils vier Varianten (Solo, mit Kantor [®] , mit MaximalFlow [®] und mit Inteco [®]) für alle Beizaufwandmengen (100, 125, 150, 175, 200, 250, 300 ml/dt), als Referenz der Varianten in jeder Aufwandmenge in der Haferkultur	55
Abb. 19:	Staubabrieb in g/dt (\pm SD) der Beizen EfA [®] (a), Rubin [®] TT (b), Landor [®] CT Formel M (c) und Zardex [®] G (d) in jeweils vier Varianten (Solo, mit Kantor [®] , mit MaximalFlow [®] und mit Inteco [®]) für alle Beizaufwandmengen (100, 125, 150, 175, 200, 250, 300 ml/dt), als Referenz der Varianten in jeder Aufwandmenge in der Triticale	56
Abb. 20:	Zusammenhang zwischen den Messgrößen Staubabrieb [g/Filter] und Wirkstoffmenge [μ g/Filter] für die Wirkstoffe Pyrimethanil, Prochloraz und Triticonazol der Beize Rubin [®] TT, resultierend aus den fünf Kulturen (Weizen, Gerste, Roggen, Hafer und Triticale) für alle Beizaufwandmengen (100, 125, 150, 175, 200, 250, 300 ml/dt).....	58
Abb. 21:	Zusammenhang zwischen den Messgrößen Staubabrieb [g/Filter] und Wirkstoffmenge [μ g/Filter] für die Wirkstoffe Pyrimethanil, Prochloraz und Triticonazol der Beize Rubin [®] TT, resultierend aus den vier Varianten (Solo, mit Kantor [®] , mit MaximalFlow [®] und mit Inteco [®]) für alle Beizaufwandmengen (100, 125, 150, 175, 200, 250, 300 ml/dt) in der Weizenkultur.....	58
Abb. 22:	Gehalte der Wirkstoffe Pyrimethanil, Prochloraz und Triticonazol in Winterweizen (mg/kg OS) im Vergleich über die Aufwandmengen 100, 200,	

	300 ml/dt und den Zeitpunkten 1, 2, 3 und 6 Wochen nach der Aussaat in der Varianten Rubin [®] TT (a) und Rubin [®] TT + Kantor [®] (b).....	60
Abb. 23:	Gehalte der Wirkstoffe Pyrimethanil, Prochloraz und Triticonazol in Wintergerste (mg/kg OS) im Vergleich über die Aufwandmengen 100, 200, 300 ml/dt und den Zeitpunkten 1, 2, 3 und 6 Wochen nach der Aussaat in der Varianten Rubin [®] TT (a) und Rubin [®] TT + Kantor [®] (b).....	61
Abb. 24:	Regressionsgeraden der Fließfähigkeit der einzelnen Beize Additiv Kombinationen der Beizen EfA [®] , Rubin [®] TT, Landor [®] CT Formel M und Zardex [®] G in jeweils vier Varianten (Solo, mit Kantor [®] , mit MaximalFlow [®] und mit Inteco [®]).....	69
Abb. 25:	Fließfähigkeit in kJ/kg (\pm SD) der Beizen EfA [®] (a), Rubin [®] TT (b), Landor [®] CT Formel M (c) und Zardex [®] G (d) in jeweils vier Varianten (Solo, mit Kantor [®] , mit MaximalFlow [®] und mit Inteco [®]) für alle Beizaufwandmengen (100, 125, 150, 175, 200, 250, 300 ml/dt), als Referenz der Varianten in jeder Aufwandmenge in der Weizenkultur	72
Abb. 26:	Fließfähigkeit in kJ/kg (\pm SD) der Beizen EfA [®] (a), Rubin [®] TT (b), Landor [®] CT Formel M (c) und Zardex [®] G (d) in jeweils vier Varianten (Solo, mit Kantor [®] , mit MaximalFlow [®] und mit Inteco [®]) für alle Beizaufwandmengen (100, 125, 150, 175, 200, 250, 300 ml/dt), als Referenz der Varianten in jeder Aufwandmenge in der Gerstenkultur	74
Abb. 27:	Fließfähigkeit in kJ/kg (\pm SD) der Beizen EfA [®] (a), Rubin [®] TT (b), Landor [®] CT Formel M (c) und Zardex [®] G (d) in jeweils vier Varianten (Solo, mit Kantor [®] , mit MaximalFlow [®] und mit Inteco [®]) für alle Beizaufwandmengen (100, 125, 150, 175, 200, 250, 300 ml/dt), als Referenz der Varianten in jeder Aufwandmenge in der Roggenkultur	75
Abb. 28:	Fließfähigkeit in kJ/kg (\pm SD) der Beizen EfA [®] (a), Rubin [®] TT (b), Landor [®] CT Formel M (c) und Zardex [®] G (d) in jeweils vier Varianten (Solo, mit Kantor [®] , mit MaximalFlow [®] und mit Inteco [®]) für alle Beizaufwandmengen (100, 125, 150, 175, 200, 250, 300 ml/dt), als Referenz der Varianten in jeder Aufwandmenge in der Haferkultur	76
Abb. 29:	Fließfähigkeit in kJ/kg (\pm SD) der Beizen EfA [®] (a), Rubin [®] TT (b), Landor [®] CT Formel M (c) und Zardex [®] G (d) in jeweils vier Varianten (Solo, mit Kantor [®] , mit MaximalFlow [®] und mit Inteco [®]) für alle Beizaufwandmengen (100, 125, 150, 175, 200, 250, 300 ml/dt), als Referenz der Varianten in jeder Aufwandmenge in der Triticale	78

Abb. 30:	Häufigkeitsverteilung für die prozentual gefärbte Fläche bei 10 Inkrementen mit einem Abschnitt von 5,5 für die Beize EfA [®] in den Varianten Solo, mit Kantor [®] , mit MaximalFlow [®] und mit Inteco [®] , exemplarisch in der Aufwandmenge 200 ml/dt in der Weizenkultur.....	83
Abb. 31:	Bedeckungsgrade der Einzelkornoberfläche in [%] (\pm SD) der Beizen EfA [®] (a), Rubin [®] TT (b), Landor [®] CT Formel M (c) und Zardex [®] G (d) in jeweils vier Varianten (Solo, mit Kantor [®] , mit MaximalFlow [®] und mit Inteco [®]) für alle Beizaufwandmengen (100, 125, 150, 175, 200, 250, 300 ml/dt), als Referenz der Varianten in jeder Aufwandmenge in der Weizenkultur	85
Abb. 32:	Bedeckungsgrade der Einzelkornoberfläche in [%] (\pm SD) der Beizen EfA [®] (a), Rubin [®] TT (b), Landor [®] CT Formel M (c) und Zardex [®] G (d) in jeweils vier Varianten (Solo, mit Kantor [®] , mit MaximalFlow [®] und mit Inteco [®]) für alle Beizaufwandmengen (100, 125, 150, 175, 200, 250, 300 ml/dt), als Referenz der Varianten in jeder Aufwandmenge in der Gerstenkultur.....	87
Abb. 33:	Bedeckungsgrade der Einzelkornoberfläche in [%] (\pm SD) der Beizen EfA [®] (a), Rubin [®] TT (b), Landor [®] CT Formel M (c) und Zardex [®] G (d) in jeweils vier Varianten (Solo, mit Kantor [®] , mit MaximalFlow [®] und mit Inteco [®]) für alle Beizaufwandmengen (100, 125, 150, 175, 200, 250, 300 ml/dt), als Referenz der Varianten in jeder Aufwandmenge in der Roggenkultur.....	90
Abb. 34:	Bedeckungsgrade der Einzelkornoberfläche in [%] (\pm SD) der Beizen EfA [®] (a), Rubin [®] TT (b), Landor [®] CT Formel M (c) und Zardex [®] G (d) in jeweils vier Varianten (Solo, mit Kantor [®] , mit MaximalFlow [®] und mit Inteco [®]) für alle Beizaufwandmengen (100, 125, 150, 175, 200, 250, 300 ml/dt), als Referenz der Varianten in jeder Aufwandmenge in der Haferkultur	92
Abb. 35:	Bedeckungsgrade der Einzelkornoberfläche in [%] (\pm SD) der Beizen EfA [®] (a), Rubin [®] TT (b), Landor [®] CT Formel M (c) und Zardex [®] G (d) in jeweils vier Varianten (Solo, mit Kantor [®] , mit MaximalFlow [®] und mit Inteco [®]) für alle Beizaufwandmengen (100, 125, 150, 175, 200, 250, 300 ml/dt), als Referenz der Varianten in jeder Aufwandmenge in der Triticale	94

Tabellenverzeichnis

Tab 1:	Übersicht der zeitlichen Einführung verschiedenen fungizider Wirkstoffgruppen zur Saatgutapplikation in Getreide	5
Tab 2:	Wirkstoffübersicht der in Beizmittel vorkommenden fungiziden Wirkstoffgruppen (nach <i>Eppo</i> , 2013)	7
Tab 3:	Auflagen oder Anwendungsbestimmungen für die Kennzeichnung von Saatgut (nach <i>BVL</i> , 2015)	10
Tab 4:	Auflagen oder Anwendungsbestimmungen für die Behandlung von Saatgut (nach <i>BVL</i> , 2015)	11
Tab 5:	Auflagen oder Anwendungsbestimmungen für die Beizqualität von Saatgut (nach <i>BVL</i> , 2015)	13
Tab 6:	Übersicht der Formulierungen für die Behandlung von Saatgut (nach <i>BVL</i> , 2015).....	16
Tab 7:	Das HLB-Wert System mit dazugehöriger Klassifizierung	17
Tab 8:	Übersicht der Modifizierungseinflüsse von Additiven (nach <i>Green</i> , 2004)	20
Tab 9:	Übersicht der für die Beizversuche genutzten Getreidekulturen und -sorten	22
Tab 10:	Übersicht der Aktivsubstanzen [g/l] der verwendeten fungiziden Beizen	23
Tab 11:	Übersicht der, für den Beizversuch, verwendeten adhäsiven Additive	23
Tab 12:	Übersicht der namentlich verwendeten Sorten der für die Statistik benötigten Benennung in die Gruppierungen Sorten eins bis vier mit der jeweils dazugehörigen TKM.....	24
Tab 13:	Versuchsplan des Beizversuches je Kultur mit den Einflussgrößen Beizmittel, Sorte und Aufwandmenge.....	25
Tab 14:	Versuchsplan des Beizversuches je Kultur mit den Einflussgrößen Beizmittel, Additiv und Aufwandmenge.....	26
Tab 15:	Versuchsplan der Varianten des Wachstumsversuches	27
Tab 16:	Übersicht der einzelnen Beizvarianten in Abhängigkeit von Beizkombination und Aufwandmenge	29
Tab 17:	Übersicht des standardisierten Beizprozesses	30
Tab 18:	Einstellungen des <i>Heubach</i> -Dustmeters zu Messung der Staubentwicklung von Saatgut.....	31

Tabellenverzeichnis

Tab 19:	Übersicht der zu detektierenden Wirkstoffe als chemische Strukturformel und Wirkstoffnamen aus den fungiziden Beizmittelpräparaten, sowie der dazugehörigen molaren Massen	33
Tab 20:	Einstellung des <i>Revolution Powder Analyser</i> zur Messung des dynamischen Fließverhaltens.....	34
Tab 21:	Mittelwerte (i) der Staubabriebe (g/dt), sowie die Summe der quadrierten Abweichung für alle Sorten innerhalb der Kulturen Weizen, Gerste, Roggen, Hafer, Triticale in den Varianten Rohware (R) und Aufgereinigt (A).....	39
Tab 22:	Steigungen der Regressionsgeraden, sowie die jeweilige Signifikanz für den Zusammenhang des Staubabriebs und des Einflussfaktors Beize der Beizen EfA [®] , Rubin [®] TT, Landor [®] CT Formel M und Zardex [®] G in jeweils vier Sorten je Kultur als Funktion der Beizaufwandmenge (100, 125, 150, 175, 200, 250, 300 ml/dt)	43
Tab 23:	Kovarianzanalyse (ANCOVA) der einzelnen Einflussgrößen, sowie aller Kombinationen auf die Messgröße Staubabrieb	44
Tab 24:	Varianzanalyse (ANOVA) der einzelnen Einflussgrößen, sowie aller Kombinationen auf die Messgröße Staubabrieb	44
Tab 25:	Steigungen der Regressionsgeraden, sowie die jeweilige Signifikanz für den Zusammenhang des Staubabriebs und des Pseudofaktors BA (Beize:Additiv) der Beizen EfA [®] , Rubin [®] TT, Landor [®] CT Formel M und Zardex [®] G in jeweils vier Varianten (Solo, mit Kantor [®] , mit MaximalFlow [®] und mit Inteco [®]) als Funktion der Beizaufwandmenge (100, 125, 150, 175, 200, 250, 300 ml/dt)	46
Tab 26:	Varianzanalyse (ANOVA) der einzelnen Einflussgrößen, sowie aller Kombinationen auf die Messgröße Wirkstoffmenge für die Aktivsubstanz Pyrimethanil	62
Tab 27:	Ergebnisse des multiplen Kontrasttests zur Ermittlung von Wirkstoffdifferenzen zwischen der Variante mit und ohne Additiv, als Vergleich der Intercepts der Regressionsgeraden für jede Aufwandmenge und Kultur über die verschiedenen Zeitpunkte (1, 2, 3, 6 Wochen) für den Wirkstoff Pyrimethanil.....	63
Tab 28:	Varianzanalyse (ANOVA) der einzelnen Einflussgrößen, sowie aller Kombinationen auf die Messgröße Wirkstoffmenge für die Aktivsubstanz Prochloraz.....	63

Tabellenverzeichnis

Tab 29:	Ergebnisse des multiplen Kontrasttests zur Ermittlung von Wirkstoffdifferenzen zwischen der Variante mit und ohne Additiv, als Vergleich der Intercepts der Regressionsgeraden für jede Aufwandmenge und Kultur über die verschiedenen Zeitpunkte (1, 2, 3, 6 Wochen) für den Wirkstoff Prochloraz	64
Tab 30:	Varianzanalyse (ANOVA) der einzelnen Einflussgrößen, sowie aller Kombinationen auf die Messgröße Wirkstoffmenge für die Aktivsubstanz Triticonazol.....	65
Tab 31:	Ergebnisse des multiplen Kontrasttests zur Ermittlung von Wirkstoffdifferenzen zwischen der Variante mit und ohne Additiv, als Vergleich der Intercepts der Regressionsgeraden für jede Aufwandmenge und Kultur über die verschiedenen Zeitpunkte (1, 2, 3, 6 Wochen) für den Wirkstoff Triticonazol.....	65
Tab 32:	Kovarianzanalyse (ANCOVA) der einzelnen Einflussgrößen, sowie aller Kombinationen auf die Messgröße Energieaufwand.....	66
Tab 33:	Varianzanalyse (ANOVA) der einzelnen Einflussgrößen, sowie aller Kombinationen auf die Messgröße Energieaufwand.....	66
Tab 34:	Steigungen der Regressionsgeraden, sowie die jeweilige Signifikanz für den Zusammenhang der Fließfähigkeit und des Pseudofaktors BA (Beize:Additiv) der Beizen EfA [®] , Rubin [®] TT, Landor [®] CT Formel M und Zardex [®] G in jeweils vier Varianten (Solo, mit Kantor [®] , mit MaximalFlow [®] und mit Inteco [®]) als Funktion der Beizaufwandmenge (100, 125, 150, 175, 200, 250, 300 ml/dt)	68
Tab 35:	Korrelationskoeffizienten, sowie deren Signifikanz für den Zusammenhang von Staubabriebs und Flowmeter-Werte der Beizen EfA [®] , Rubin [®] TT, Landor [®] CT Formel M und Zardex [®] G in jeweils vier Varianten (Solo, mit Kantor [®] , mit MaximalFlow [®] und mit Inteco [®]) als Funktion der Beizaufwandmenge (100, 125, 150, 175, 200, 250, 300 ml/dt).....	80
Tab 36:	Kovarianzanalyse (ANCOVA) der einzelnen Einflussgrößen, sowie aller Kombinationen auf die Messgröße Beizverteilung	82
Tab 37:	Varianzanalyse (ANOVA) der einzelnen Einflussgrößen, sowie aller Kombinationen auf die Messgröße Beizverteilung.....	82

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Bedeutung
%	Prozent
Ø	Durchschnitt
Σ	Summe
°C	Grad Celsius
&	und
®	Registered Trademark
Abb.	Abbildung
AP	Anilino-Pyrimidine
Auf/Anwbest	Auflagen oder Anwendungsbestimmung
bspw.	beispielsweise
BVL	Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit
bzgl.	Bezüglich
bzw.	beziehungsweise
DMI	Demethylierungsinhibitor
DSV	Deutsche Saatgutveredelung
dt	Dezitonne
EC	emulgierbares Konzentrat
FM	Formel M
g/mol	Gramm pro Mol
HPLC	High performance liquid chromatography
jew.	Jeweils
JKI	Julius Kühn-Institut
kg	Kilogramm
kJ	Kilojoule
l	Liter
LC-MS/MS	Liquid-Chromatographie-Massenspektrometrie/Massenspektroskopie
LS	Feuchtbeize
mind.	mindestens
mJ	Milijoule
ml	Mililiter
OS	original Substanz
Pa	Pascal
PM _{2.5}	Feinstaub (<2,5µm)
PP	Phenylpyrrol

Abkürzungsverzeichnis

PSM	Pflanzenschutzmittel
QoI-Inhibitor	Quinone outside Inhibitors
QSS	Qualitätssicherungssystem
RPA	Revolution Powder Analyser
SAR	systemic acquired resistance
SC/FS	Suspensionsbeize
SD	Standardabweichung
SDHI-Inhibitor	Succinat-Dehydrogenase-Inhibitor
Sek.	Sekunde
sog.	sogenannte/r
t	Tonne
Tab.	Tabelle
TKM	Tausendkornmasse
U/min	Umdrehungen pro Minute
µl	Mikroliter
v. Chr.	vor Christus
vgl.	vergleiche

1. Einleitung

Das grundlegende Ziel landwirtschaftlicher Produktionen ist es, nachhaltig die steigende Nachfrage nach Lebens- und Futtermitteln, sowie Energiepflanzen der wachsenden Weltbevölkerung decken zu können (FAO, 2009). Bei einer begrenzten Anbaufläche für landwirtschaftliche Kulturen ist das Ziel die Erhöhung des aktuellen Ertrages je Fläche (*van Ittersum et al.*, 2013). Das Ertragspotential einer Kulturpflanze (oder Sorte) wird dann erreicht, wenn keine Limitierungen von Licht, Wasser, Nährstoffen und Raum vorliegen und eine effektive Kontrolle von biotischem Stress, wie Krankheitsbefall, erfolgt (*Evans*, 1993; *van Ittersum* und *Rabbinge*, 1997). Pflanzenschutzmaßnahmen tragen, wie auch andere ackerbaulichen Maßnahmen, dazu bei, einen möglichst hohen Anteil des genetisch fixierten Potentials zu sichern. Die Behandlung von Saatgut mit chemischen Substanzen ist dabei ein Teil möglicher Ausbringungsmaßnahmen (§ 3 Pflanzenschutzgesetz). Über 90% der weltweit angebauten Feldfrüchte werden auf Basis von Saatgut ausgesät (*Schwinn*, 1994). Der Anteil von Saatgutbehandlungsmitteln am Gesamtmarkt für agrochemische Produkte beträgt aktuell ca. 3 – 3,5%. Davon werde etwa 50% allein in Europa verwendet. 70% der Anwendungen begründen sich mit dem Einsatz fungizider Wirkstoffe. Diese werden vorwiegend im Getreideanbau eingesetzt, der über 50% des Weltmarktes und über 60% des europäischen Marktes umfasst (*Knowles*, 2008). Bei der Behandlung von Saatgut handelt es sich, anders als bei Feldapplikationen, vermehrt um einen prophylaktischen Schutz, der im Rahmen der Zertifizierung von Saatgut als eine zugesicherte Qualitätseigenschaft normiert durchgeführt wird und somit die Basis für konventionelle Anbausysteme darstellt (*GFS*, 2016). Neben der Indikation gegen definierte Schaderreger erfordert die nachhaltige Nutzung von chemischen Substanzen als Pflanzenschutzmittel umfangreiche Bewertungen bezüglich der Sicherheit für Umwelt und Anwender. Besonders endokrine Störungen durch einzelne Aktivsubstanzen stehen dabei in der gesellschaftlichen Diskussion. Die Weiterentwicklung von etablierten Produkten, mit verbesserter Sicherheit für den Benutzer, weniger Auswirkungen auf die Umwelt und einer effizienteren Applikation sind heutzutage eine der Hauptanstrengung in der agrochemischen Forschung. Neben der Schaffung von neu designten Produkten mit veränderten Formulierungen, ist eine Erhöhung der biologischen Leistung durch den Zusatz verschiedener Ergänzungsprodukte, Additive genannt, eine Möglichkeit die Charakteristiken von Pflanzenschutzmitteln effizienter zu gestalten (*Rodham*, 2000). Dies wurde bisher ausschließlich anhand von Feldapplikationen dokumentiert, weniger dagegen im Bereich von Saatgutbehandlungen. Voraussetzung für die Verbesserung definierter Kriterien ist die Identifizierung dieser als mögliche Schwachstellen für ein bestimmtes System.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es daher, zu untersuchen, ob und in welchem Ausmaß, Schwachstellen in der Getreidebeizung in Form von Verlusten, sowie suboptimalen

Fließbedingungen und Kornbenetzungen infolge einer chemischen Behandlung vorliegen. Es soll analysiert werden, ob unter Zuhilfenahme verschiedener Additive mögliche Lösungsansätze zur Minimierung dieser Schwachstellen, durch Änderungen der Beizrezeptur, gegeben sind. Ob sich eine Verbesserung von Anhaftung, Fließverhalten und Verteilungshomogenität der Beizlösung durch das Zufügen von Additiven erlangen lässt, wurde anhand unterschiedlicher Getreidekulturen zu verschiedenen Aufwandmengen und mit mehreren Beizmitteln untersucht. Ausgehend von möglichen Schwachstellen, sowie Minderungsstrategien technischen Ursprungs wurde darüber hinaus untersucht, ob Veränderungen auch auf eine biologische Wirksamkeit, in Bezug auf die Aufnahme von Wirkstoffen in die Pflanze, bestehen.

2. Literaturübersicht

2.1. Fungizide Beizen zur Behandlung von Getreide

Der primäre Schutz von Kulturpflanzen bei der Aussaat, bis zum Zeitpunkt des Auflaufens kann durch eine Behandlung des Saatgutes erfolgen. Diese Behandlung gilt als Vorsorgemaßnahme im Pflanzenschutz vor Krankheiten und Schädlingen, um dem Saatkorn das sichere Keimen und Auflaufen zu ermöglichen. Eine Saatgutbehandlung umfasst Applikationen biologischer, physikalischer oder chemischer Wirkstoffe, sowie verschiedener Techniken direkt am Saatgut. Während in der heutigen Zeit neben fungiziden auch insektizide und nematizide Wirkstoffe eine breite Anwendung finden, stand historisch besonders der fungizide Ansatz, Saatgut frei von samenbürtigen Erregern zu kultivieren, im Vordergrund.

Weitere Komponenten, wie SAR-Induzierer (*Shen und Welbaum, 1999*), mikrobielle Zusätze (*Fages, 1988*), Pelletierungen (*Robinson und Meyberry, 1979*) oder verschiedene Polymere und Dünger (*Roos, 1975*), tragen zusätzlich dazu bei, dass neben der Schutzfunktion auch physiologische Prozesse der Pflanze gefördert werden. Weitere Ansätze, unter Einsatznahme verschiedener osmotisch aktiver Substanzen, ermöglichen ein pflanzenphysiologisches Priming als Initiatorschritt für die Keimung des Saatgutes (*Heydecker und Coolbear, 1977; Khan et al., 1980*).

Die Geschichte der Saatgutbehandlung beginnt bereits 2000 Jahre v. Chr.. Als Teilaspekt des Ackerbaus deuten bereits Wandgemälde von Römern und Ägyptern auf erste Einweichtechniken hin. Für die Behandlung des Saatgutes wurde dabei auf natürliche Pflanzenextrakte wie Zwiebellauge, Oliventrester oder Zypressensaft zurückgegriffen (*Goggi, 2011; Anonymous, 2013*). Im Mittelalter vor ca 500 Jahren wurden die Einweichtechniken weiterentwickelt und auf Chloride und Wirtschaftsdünger zurückgegriffen. Später, im 17. Jahrhundert kam es, in Folge eines gesunkenen Handelsschiffes vor der Küste Englands, zu einer zusätzlichen unerwarteten Entdeckung einer Flüssigkeit, die als potentielles Saatgutbehandlungsmittel dienen konnte. Das, im Zuge des Untergangs, in Salzwasser eingeweichte Saatgut, wies, im Gegensatz zu nicht eingeweichtem, in der späteren Vegetation keinen Befall mit Bränden auf, die damals noch als allgemeine Schmutzkrankheiten bezeichnet wurden (*Fischer und Holton, 1957*). Auf Grundlage dieses zufälligen Effektes wurde in den folgenden 100 Jahren verschiedenen Ansätzen der Saatgutbehandlung zur Reduzierung des Steinbrandbafalls durch Urin, Salz und Laugen nachgegangen. So nutzte beispielsweise *Glauber (1625)* eine Mischung aus Natriumsulfat und Alkohol als Saatgutbeize und somit erstmalig einen chemischen Ansatz. In den Folgejahren veröffentlichten weitere Wissenschaftler Möglichkeiten Saatgut zu behandeln. So konnte der französische Wissenschaftler *Tillet 1770* eine reinigende Funktion durch das Einweichen von Getreidekörnern in Salzlake dokumentieren. Ebenfalls wurde der Einsatz von heißem Wasser

als Möglichkeit deklariert, welches sich zur Kontrolle von Flugbrand eignete. Aufgrund des Charakteristikums von *Ustilago tritici* in den Embryo einzuwachsen, ließ sich der Erreger zur damaligen Zeit chemisch nicht erfassen (Maude, 1996). Trotz der Unkenntnis über den Ursprung des Erregers ließ sich ein Effekt auf diese Weise dokumentieren. Auch Arsen wurde im selben Jahrhundert erstmals als Saatgutbeizung eingesetzt, jedoch aufgrund der stark schädigende Wirkung gegenüber dem Anwender lediglich temporär verwendet (Mathre et al., 2001). 1807 konnte durch den schweizerischen Wissenschaftler Prévost erstmals aufgezeigt werden, dass der Ursprung eine Erkrankung mit *Tilletia tritici* in einem pilzlichen Befall lag. In Folgestudien konnte er durch den Einsatz von Kupfersulfat einen Zusammenhang zu einer sporenhemmenden Wirkung deklarieren. Diese Entdeckung bereitete die Basis für eine gezielte Behandlung von Saatgut mit Kupfersulfat, welche über das 19. Jahrhundert Bestand hatte.

1895 wurde in Amerika eine krankheitsabwehrende Wirkung von Quecksilberchlorid erkannt. Der erstmalige Einsatz von Quecksilberverbindungen zur Bekämpfung von samenbürtigen Krankheiten in Deutschland fand im Jahr 1914 statt. Von der Firma Bayer wurde das neue und gezielte Saatgutbehandlungsmittel Nitrophenol-Quecksilber entwickelt. Es handelte sich um das erste kommerziell erzeugte Pflanzenschutzmittel zur Saatgut Applikation „Uspulun“, welches als Flüssigbeize Verwendung fand. Später wurde diese durch Trockenbeizen wie „Ceresan“, mit dem Wirkstoff Phenylquecksilberacetat und anschließend mit „Agrosan“, einem Methoxyethylquecksilber haltigem Produkt ergänzt. Bereits 1930 fanden im Deutschen Reich mehr als 750 t Quecksilberbeizmittel Gebrauch. Mit dem kombinierten Einsatz von Flüssigbeizen und Kupfercarbonat haltigen Trockenpulvern (besonders in Australien) wurden damals bereits 40 – 50 % des Saatgetreides und sogar 80 % des Saatweizens chemisch behandelt (Anonymous, 2006). Das Risiko des Anwenders, bei der Applikation mit Trockenpulvern, entstehendem Stäuben ausgesetzt zu sein, führte dazu, dass die flüssigen Quecksilberpräparate verstärkt Verwendung fanden. Bis zur Einführung der ersten Generation systemischer Fungizide in den 1970er Jahren, galten die Quecksilberbeizen als die primären Universalbeizen der Saatgutbehandlung (Anonymous, 2006). Schließlich wurden diese aufgrund ihrer Warmblüter toxischen Wirkungen (Smart, 1968) 1982 in Deutschland verboten. Aus derselben Zeit stammen einige chemische Fungizide, die weitaus weniger toxisch waren, jedoch trotzdem breite Wirksamkeiten aufwiesen und z.T. bis in die heutige Zeit Bestand haben. Diese ersten Wirkstoffe, wie „Thiram“, „Pentachloronitrobenzene“ (PCNB), „Maneb“, „Mancozeb“ oder „Captan“ wiesen unspezifische Wirkungen auf, indem mehrere essentielle Enzyme des Metabolismusprozesses gehemmt wurden (Lyr, 1995).

Bis zum Jahr 1964 diente die Behandlung von Saatgut ausschließlich der oberflächlichen Sterilisation und somit eines protektiven Schutzes. Mit der frühzeitigen Suche nach adäquatem Ersatz für die toxischen Quecksilberpräparate, wurden 1964-1966 die systemischen Fungizide

„Thiabendazol“ und „Carboxin“ entdeckt (*Kulka und von Schmeling, 1966*), deren Wirkung sich auf die mitochondriale Atmungskette erstreckte. Dabei wurde primär besonders das „Carboxin“ eingesetzt. Die systemischen Wirkstoffe werden über die Wurzel absorbiert und apoplastisch in der Pflanze verteilt. Weitere Wirkstoffgruppen der Fungizide folgten (Tab 1), die in der heutigen Zeit die größte Verwendung in der Saatgutbehandlung von Getreide finden.

Tab 1: Übersicht der zeitlichen Einführung verschiedenen fungizider Wirkstoffgruppen zur Saatgutapplikation in Getreide

Jahr	Chemische Gruppe
2000 Jahre v. Chr.	Pflanzenextrakte
1600 – 1940	Sulfate; Schwermetalle
1940 – 1960	Dithiocarbamate Phthalimid Polychlorbenzol
1960 – 1990	Oxathiin-Carboxamid Benzimidazol Pyrimidine Triazole Phenylamide
1990 – 2000	Phenylpyrrole Anilino-Pyrimidine Strobilurine
2000 – heute	Pyrazol-Carboxamide

Verschiedene Produkte von mehreren Zulassungsinhabern bieten heute die Möglichkeit Getreide unterschiedlich zu behandeln. Dabei kann zwischen Universalbeizen, Spezialbeizen und Selektivbeizen unterschieden werden. Universalbeizen eignen sich aufgrund ihrer Formulierung, sowie Wirkstoffkombination gegen ein breites Spektrum an Krankheitserregern im Getreide. Spezialbeizen wirken dagegen deutlich selektiver gegen spezielle Krankheiten, wie beispielsweise gegen *Gaeumannomyces graminis* und werden hauptsächlich im Einzelfall eingesetzt.

2.2. Wirkstoffgruppen chemischer fungizider Beizen

Je nach Indikation können einzelne Wirkstoffe fungizider Beizen unterschiedlichen Wirkungen unterliegen. Ein samenbürtiger Befall von Saatgut mit *Tilletia tritici*, durch außen anhaftende Sporen, ist mit einem eradikativen Einsatz von Wirkstoffen zu bekämpfen. Der Erreger ist dabei zeitlich und räumlich verhältnismäßig einheitlich zu lokalisieren. Als Saatgutbehandlungsmittel eingesetzte eradikative Wirkstoffe dienen dabei folglich als Prophylaxe bzw. vorbeugende Maßnahme. Die neben der systemisch protektiven Wirkung, zusätzlichen kurativen Leistungen von Imid- und Triazolen ist im Anwendungsbereich der Saatgutapplikation ebenfalls als

eradikativ anzusehen. Die Keimung von Basidiosporen koinzidiert dabei mit der Keimung der Saatkörner, etwa 4-10 Tage nach der Aussaat, eine Penetration läge bei 7-10 Tagen danach (*Lowther, 1950*), welche jedoch direkt unterbunden wird und es zu keiner Infektion kommt. Die Kurativität richtet sich bei der Behandlung von Saatgut gegen inaktive Pilzstadien vor der eigentlichen Infektion und folgt nicht, wie als Spritzapplikation in den Bestand als Reaktion auf einen Pathogenbefall.

Bodenbürtige Pathogene gelangen auf unterschiedlichen Wegen in die Wirtspflanze. Je nach Parasit können verschiedene Abschnitte der Wurzel oder der unteren Sprosssegmente befallen werden. Dabei können die pilzlichen Krankheitserreger durch intakte Zellen, mittels Zellwand degradierenden Enzymen penetrieren. Besonders die Wurzeln junger Pflanzen, sowie dünne Seitenwurzeln werden von den meisten Erregern vornehmlich befallen (*Beckmann, 1987*). Aufgrund der schweren Differenzierung von biotischen und abiotischen oberirdischen Symptomen fand in der Vergangenheit keine ausreichende Deklaration von Befällen mit bodenbürtigen Erregern statt (*Raaijmakers et al., 2009*). Die primäre Gefahr liegt in der Abtötung von Wurzeln und einer Vorschädigung der Pflanze, die in abiotischem Stress, wie beispielsweise Wassermangel, im Fortlauf der Vegetationsperiode resultieren kann. Ertragsverluste sind dabei, abhängig von der übergeordneten Einflussgröße Witterung nur schwer abschätzbar. Einige Studien belegen Ertragsschädigungen, hervorgerufen durch bodenbürtige Pathogene, von über 50% (*Lewis und Papavizas, 1991*).

Der Einsatz von Fungiziden in der Beizanwendung ist nach unterschiedlichen Wirkungen gegliedert. Die systemische, sowie lokal systemische Wirkung bildet dabei die erforderliche Voraussetzung für einen vollständigen Schutz junger Pflanzen (Tab 2, Seite 12). Grundlegend gibt es drei mögliche Wege systemischer Fungizide, sobald sie eine Pflanze betreten haben: Xylem-Mobile (transloziert akropetal), Phloem-Mobile (transloziert akropetal und basipetal) oder begrenzte Translokation von der Eintrittsstelle (lokal systemisch). Bei der charakteristischen Entkoppelung von Applikations- und Wirkort systemischer Wirkstoffe, wird das Saatkorn als Träger, bzw. als Wirkstoffdepot für eine Verteilung innerhalb der jungen Pflanze genutzt. Neben der räumlichen Entkoppelung, ist die Behandlung von Saatgut durch eine zeitliche Trennung von Applikation und Wirkung charakterisiert. Das Saatkorn fungiert dabei als Transportmedium für das applizierte Präparat, aus dem eine kontinuierliche Nachlieferung wirkstoff- und zielmengenspezifischer Dauer erfolgt.

Tab 2: Wirkstoffübersicht der in Beizmittel vorkommenden fungiziden Wirkstoffgruppen (nach Eppo, 2013)

Chem. Gruppe	Übergruppe	Wirkung
Triazole	DMI-Fungizid	systemisch
Imidazole	DMI-Fungizid	lokal-systemisch
Strobilurine	QoI-Fungizid	lokal-systemisch
Carboxamide	SDHI-Inhibitor	systemisch
Anilino-Pyrimidine (AP)	AP-Fungizid	lokal-systemisch
Phenylpyrrole (PP)	PP-Fungizid	Kontaktwirkung

Die Einteilung von Wirkstoffen in die jeweilige Übergruppe (Tab 2) zeigt die unterschiedlichen Wirkungsmechanismen auf. DMI-Fungizide (DeMethylierungsinhibitor) greifen in die Sterolbiosynthese der Membranen durch Hemmung der Sterol-C₁₄-Demethylase ein. Die Bildung von Ergosterol wird auf diese Weise unterbunden (*Jackson und Fear, 1968*). Die QoI-Fungizide (Quinone outside Inhibitors) greifen in die mitochondriale Atmungskette der phytopathogenen Pilze ein, indem die Elektronenübertragung am Cytochrom bc-Komplex gehemmt und somit die Bildung von ATP unterbunden wird (*Mitchell, 1975*). SDHI-Fungizide (Succinat-Dehydrogenase-Inhibitoren) hemmen ebenfalls einen definierten Prozess der mitochondrialen Atmungskette. Dabei wird die Oxidation von Succinat zu Fumarat am Komplex II (Succinat-Ubiquinone Oxidoreduktase) unterbunden, so dass der Zitronensäurezyklus unterbrochen wird. Die Protonenweitergabe wird auf diese Weise blockiert (*Ulrich und Mathre, 1972*). PP-Fungizide (Phenylpyrrol) greifen in die Signaltransduktion ein (*Jespers, 1994*), AP-Fungizide (Anilino-Pyrimidine) in die Synthese und Aufnahme von Aminosäuren und Proteinen (*Grunwald et al., 1990*), so dass durch die Kombination der verschiedenen Wirkstoffgruppen unterschiedliche Wirkungsmechanismen als Gesamtwirkung agieren können.

2.3. Saatgutbehandlungsprozess von Getreide

Die Beizung von Getreide bildet den letzten, jedoch entscheidenden Prozess im Produktionsverlauf von Saatgut. Diverse Vormaßnahmen sind notwendig, um das Getreide zur gewünschten Zeit einer Beizung unterziehen zu können.

Die erste, in unterschiedliche Stufen gegliederte Maßnahme ist die Reinigung des Saatgutes. Dabei beruht der Reinigungsvorgang auf einer Trennung durch Siebe, Wind und Zellenauslese (*Schwanz und Pippel, 2008*). Abhängig von Kulturart und Reinheitsgrad erfolgt die Aufreinigung in angepassten Einzelschritten, bestehend aus Grob-, Vor und Endreinigung. Um von der Ernte bis zum Zeitpunkt der Verwendung als Saatgut qualitativ verlustfrei gelagert werden zu können, sind Erhaltungsmaßnahmen notwendig. Nach dem Trocknungsvorgang muss das Getreide so gelagert werden, dass zwischen Samen und Luft ein

temperaturabhängiges Feuchtegleichgewicht herrscht. Beispielhaft liegt dieses bei einer Temperatur von 20°C, sowie einer relativen Luftfeuchte von 67% und einem Weizensaatgut mit einem Feuchtegehalt von 14% vor (Humpisch, 2008).

Die anschließende Applikation von kommerziellen Formulierungen flüssiger Saatgutbehandlungsmittel erfordert ein spezielles maschinelles Equipment. Ebenso werden Anforderungen bezüglich variabler Beizbrühbildung, oder optionaler Zugabe von Stickern, Polymeren oder Farben gestellt. Grundsätzlich gibt es zwei Beizanlagentypen für die Behandlung von Getreide. Primär wurden kontinuierlich arbeitende Beizmaschinen für die Applikation von Pulvern und Flüssigbeizen eingesetzt. Weitaus häufiger wird die Beizung heutzutage in Chargen vorgenommen. Das Arbeitsprinzip beruht dabei auf dem sogenannten Rotor-Stator Prinzip (Abb. 1). Ein tellerförmiger Rotor bildet dabei die Grundlage. Durch die Rotation wird Saatgut die Mischkammerwand hinaufgezungen (Stator). Über eine, sich mittig drehende Scheibe wird die Primärverteilung der Flüssigbeize vorgenommen. Eine, über Mischblätter hervorgerufene Umwälzung des Saatgutes sorgt für die Sekundärverteilung zwischen den einzelnen Körnern (Kruse et al., 2008).

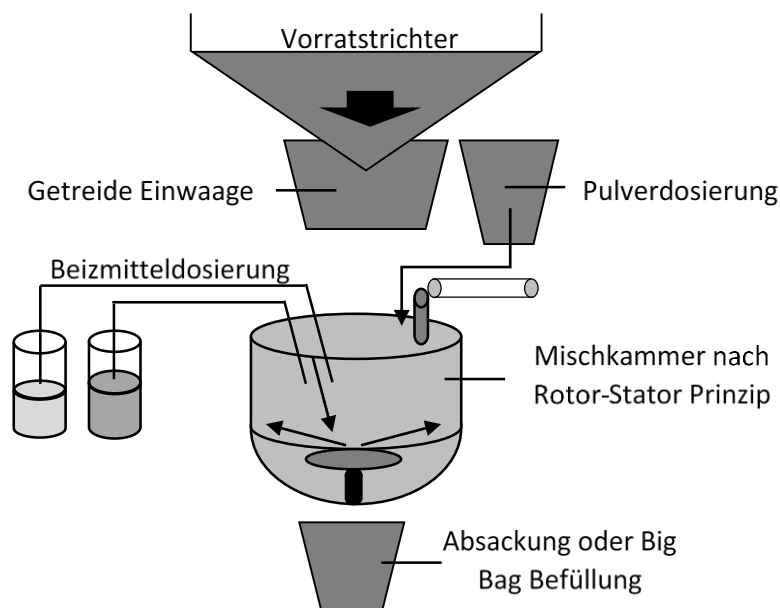


Abb. 1: Schematischer Aufbau einer Beizanlage für Flüssigbeizsysteme nach dem Rotor-Stator Prinzip (verändert nach Kruse, 2008)

2.4. Einordnung der Saatgutbeizung in den ackerbaulichen Gesamtprozess

Aufgrund der verhältnismäßig geringen Einsatzmengen an Wirkstoffen pro Hektar, so wie der exakten Anhaftung an die Zielregion Korn, die in einem geschlossenen System witterungsunabhängig und zeitlich entkoppelt zur Aussaat erfolgt, gilt die Applikation von Pflanzenschutzmitteln in Form einer Saatgutbeizung als besonders ökonomisch und ökologisch vertretbar (Taylor und Harman, 1990). Dabei kann die behandelte Fläche je Hektar

im Verhältnis zu einer Breitbehandlung in den Bestand (10.000m²/ha) auf 58 m²/ha reduziert werden (*Anonymous*, 2015). Der prophylaktische Schutz generiert über einen Zeitraum von wenigen Wochen einen Schutz für junge Pflanzen. Im Rahmen phytosanitärer Maßnahmen wird bei der Saatgutbehandlung nur zwischen den einsetzbaren Präparaten des jeweiligen Anbausystems (konventionell – ökologisch) unterschieden, allerdings nicht, ob ein Einsatz zu rechtfertigen ist. Neben den gesetzlichen Mindestanforderungen an zertifiziertes Saatgut (z- Saatgut) bezüglich Keimfähigkeit, Technischer Reinheit, Fremdbesatz, sind zusätzlich, als zugesicherte Qualitätseigenschaften, die Sortierung und die Beizung deklarierte Merkmale, welche die Grundvoraussetzungen für die Herausgabe von Saatgut an den Landwirt bilden (*Anonymous*). Der Einsatz einzelner Wirkstoffe ist abhängig von der jeweiligen mikrobiologischen Abbaubarkeit. Da in Folge einer Saatgutbehandlung applizierte Wirkstoffe mit dem Korn direkt in den Boden eingemischt werden, darf, unter dem Hintergrund möglicher Persistenzen (in Boden und Grundwasser), die Summe aller nachgewiesenen PSM den Wert 0,5 µg/l nicht überschreiten (*Hock und Nießner*, 1995; *Trinkwasserverordnung*, 2001). Weiter begrenzen mögliche Interaktionen zwischen Wasserlöslichkeit und Umweltverträglichkeit den Einsatz von Aktivsubstanzen für den Bereich der Saatgutbehandlung. Als schlecht wasserlöslich gelten Aktivsubstanzen mit einem Wert bis zu 100 ppm, als gut dagegen Aktivsubstanzen mit Werten über 1000 ppm (*Fishel*, 2008).

Die Behandlung von Saatgut ist darüber hinaus bedeutsam für alternative Forschungsbereiche der Agrarbranche. Durch den Einsatz fungizider Beizmittel konnte der historisch bedeutsamste, samenbürtige Krankheitserreger, in Getreide, *Tilletia tritici* gezielt kontrolliert werden und in der Folge dazu beitragen, dass sich ein Schwerpunkt züchterischer Ansätze weniger auf die Resistenzausprägung, sondern auf qualitative Aspekte ausrichten konnte (*Mathre et al.*, 2001).

Weiter kann die Behandlung von Saatgut als Möglichkeit genutzt werden, dem Saatkorn keimunterstützende Substanzen zukommen zu lassen. Es handelt sich um Haupt- und Spurenelemente, die als Mikrodünger ein Nährstoff lieferndes Depot bilden (*Kataria et al.*, 1981). Ebenfalls gibt es Ansätze das Dormanz brechende Phytohormon Gibberellinsäure zuzugeben (*Bachelard*, 1967), oder den Zusatz verschiedener Mikroorganismen, die als sog. Biopriming eine positive Wirkung auf das Auflaufverhalten entfalten können (*Callan et al.*, 1990).

2.5. Kennzeichnung von gebeiztem Saatgut

Das Inverkehrbringen von Saatgut wurde bis zum 14.06.2011 ausschließlich saatgutrechtlich durch das Saatgutverkehrsgesetz (SaatG) und die Saatgutverordnung (SaatgutV) geregelt. Eine zusätzliche EU-Verordnung 1107/2009 regelt seit dem 14.06.2011 auch pflanzenschutzrechtliche Aspekte, insofern gebeiztes Saatgut in den Verkehr gebracht wird.

Somit wird behandeltes Saatgut seit 2011 nach saatgutrechtlichen und nach pflanzenschutzrechtlichen Vorschriften gekennzeichnet.

Tab 3: Auflagen oder Anwendungsbestimmungen für die Kennzeichnung von Saatgut (nach BVL, 2015)

Kategorie	Code	Text
Aufl/Anwbest	NH677	Auf Packungen mit gebeiztem Saatgut ist folgende Kennzeichnung anzubringen: "Verschüttetes Saatgut sofort zusammenkehren und entfernen."
Aufl/Anwbest	NH678	Auf Packungen mit gebeiztem Saatgut ist folgende Kennzeichnung anzubringen: "Das Mittel ist giftig für Kleinsäuger; deshalb dafür sorgen, dass kein Saatgut offen liegen bleibt. Vor dem Ausheben der Schare Dosiereinrichtung rechtzeitig abschalten, um Nachrieseln zu vermeiden."
Aufl/Anwbest	NH679	Auf Packungen mit gebeiztem Saatgut ist folgende Kennzeichnung anzubringen: "Das Mittel ist giftig für Vögel; deshalb dafür sorgen, dass kein Saatgut offen liegen bleibt. Vor dem Ausheben der Schare Dosiereinrichtung rechtzeitig abschalten, um Nachrieseln zu vermeiden."
Aufl/Anwbest	NH680	Auf Packungen mit gebeiztem Saatgut ist folgende Kennzeichnung anzubringen: "Behandeltes Saatgut und Reste wie Bruchkorn und Stäube, entleerte Behältnisse oder Packungen sowie Spülflüssigkeiten nicht in Gewässer gelangen lassen. Dies gilt auch für indirekte Einträge über die Kanalisation, Hof- und Straßenabläufe sowie Regen- und Abwasserkanäle."
Aufl/Anwbest	NH681	Auf Packungen mit gebeiztem Saatgut ist folgende Kennzeichnung anzubringen: "Keine Ausbringung des behandelten Saatgutes bei Wind mit Geschwindigkeiten über 5 m/s."
Aufl/Anwbest	NH682	Auf Packungen mit gebeiztem Saatgut ist folgende Kennzeichnung anzubringen: "Das behandelte Saatgut einschließlich enthaltener oder beim Sävorgang entstehender Stäube vollständig in den Boden einbringen."
Aufl/Anwbest	NH683	Auf Packungen mit gebeiztem Saatgut ist folgende Kennzeichnung anzubringen: "Behandeltes Saatgut darf nicht mit einem pneumatischen Gerät zur Einzelkornablage, das mit Unterdruck arbeitet, ausgesät werden, es sei denn, das verwendete Gerät ist mit einer Vorrichtung ausgestattet, die die erzeugte Abluft in oder unmittelbar auf den Boden leitet, und erreicht dadurch eine Abdriftminderung des Abriebes von mindestens 90 % verglichen mit Sägeräten ohne eine solche Vorrichtung. Grundsätzlich sollten die vom Julius Kühn-Institut geprüften und in der "Liste der abdriftmindernden Maissägeräte" aufgeführten Gerätetypen verwendet werden (einzusehen auf der Homepage des Julius Kühn-Instituts www.jki.bund.de)."
Aufl/Anwbest	NH6831	Auf Packungen mit gebeiztem Saatgut ist folgende Kennzeichnung anzubringen: "Die Aussaat von behandeltem Saatgut darf nur dann mit einem pneumatischen Gerät, das mit Unterdruck arbeitet, erfolgen, wenn dieses in der "Liste der abdriftmindernden Sägeräte" des Julius Kühn-Instituts aufgeführt ist (einzusehen auf der Homepage des Julius Kühn-Instituts)."

2.6. Qualitätsparameter einer Beizung

Die Behandlung mit chemischen Substanzen ist nach § 3 Abs. 1 Pflanzenschutzgesetz vom 6. Februar 2012, geändert durch Artikel 4 Absatz 84 des Gesetzes vom 18. Juli 2016 (BGBl. I S. 1666), Teil des integrierten Pflanzenschutzes und somit als Part der guten fachlichen Praxis rechtlich durchführbar.

Die Anbringung eines Saatgutbehandlungsmittels auf Saatgut ist ausschließlich auf professionelle Einrichtungen beschränkt. Eine vorausgegangene Zertifizierung von Saatgutbehandlungsanlagen durch ein unabhängiges Zertifizierungsunternehmen über Kriterien des „Qualitätssicherungssystems (QSS) zur Staubminderung“ ist dabei das grundlegende Erfordernis, um eine Beizung durchführen zu dürfen (Tab 4). Die SeedGuard Gesellschaft für Saatgutqualität mbH legte dabei gemeinsam mit dem Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL), sowie dem Julius Kühn-Institut (JKI) einen Qualitätsstandard für die Sicherstellung eines optimalen Beizprozesses fest. In der Richtlinie 2010/21/EU der Europäische Kommission ist dafür folgender rechtlicher Rahmen niedergeschrieben: „Die Applikation auf Saatgut wird nur in professionellen Saatgutbehandlungseinrichtungen vorgenommen. Diese Einrichtungen müssen die beste zur Verfügung stehende Technik anwenden, damit gewährleistet ist, dass die Freisetzung von Staub bei der Applikation auf das Saatgut, der Lagerung und der Beförderung auf ein Mindestmaß reduziert werden kann.“

Tab 4: Auflagen oder Anwendungsbestimmungen für die Behandlung von Saatgut (nach BVL, 2015)

Kategorie	Code	Text
Aufl/Anwbest	NT697	Durch ein geeignetes Beizverfahren, das insbesondere die Verwendung eines geeigneten Haftmittels beinhaltet, ist sicherzustellen, dass das behandelte Saatgut staubfrei und abriebfest ist.
Aufl/Anwbest	NT699	Die Behandlung von Saatgut muss mit einem Gerät erfolgen, das in die Pflanzenschutzgeräteliste als Beizgerät eingetragen ist (Anlage zur Siebenundzwanzigsten Bekanntmachung über die Eintragung von Pflanzenschutzgeräten in die Pflanzenschutzgeräteliste vom 01. Juli 1993, BAnz S. 7567, in der jeweils geltenden Fassung).
Aufl/Anwbest	NT6991	Die Anwendung des Mittels auf Saatgut darf nur in professionellen Saatgutbehandlungseinrichtungen vorgenommen werden, die in der Liste "Saatgutbehandlungseinrichtungen mit Qualitätssicherungssystemen zur Staubminderung" des Julius Kühn-Instituts aufgeführt sind (einzusehen auf der Homepage des Julius Kühn-Instituts).
Aufl/Anwbest	NT700	Das mit diesem Pflanzenschutzmittel behandelte Saatgut darf nur in Verkehr gebracht werden, wenn es entsprechend den Vorschriften in § 32 Absatz 2 Pflanzenschutzgesetz und Artikel 49 Absatz 4 der Verordnung (EG) Nr. 1107/2009 gekennzeichnet ist.

Neben den gesetzlichen Qualitätsparametern einer Beizung, die vornehmlich die Prozesseinstellungen, sowie die vorhandene Technik bewerten, gibt es auch grundlegende Qualitätsparameter, die in Folge der Applikation von flüssigen Substanzen auf unregelmäßige Oberflächen der Saatkörner von Bedeutung sind.

Das Ziel einer Behandlung von Saatgut liegt darin, bestimmte Wirkstoffe gezielt, gleichmäßig und fest an seinen Zielort zu binden. Die technische Handhabbarkeit des Saatgutes soll dabei nach Möglichkeit nicht beeinträchtigt werden. Grundsätzlich sind in einem Beizprozess die Qualitätsparameter Haftfestigkeit, Fließfähigkeit und die Verteilung der Beize (Abb. 2) zu berücksichtigen.

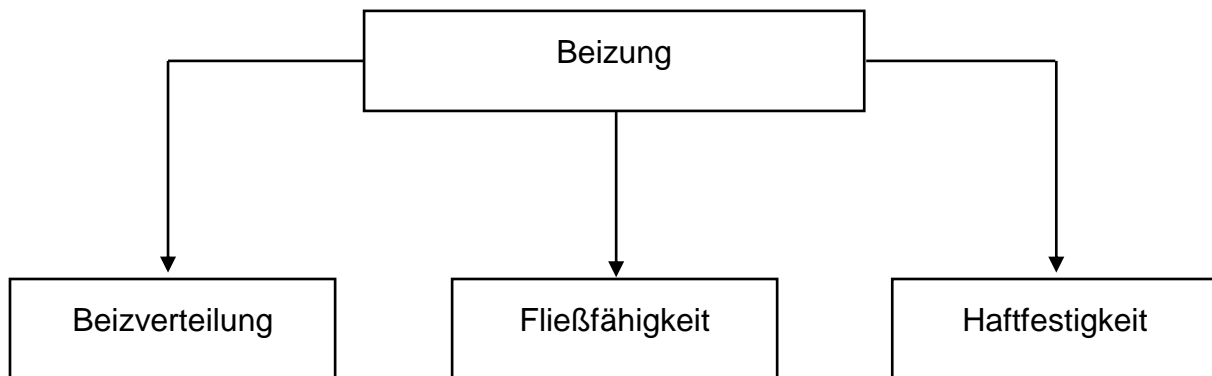


Abb. 2: Übersicht der unterschiedlichen Qualitätsparameter eines Beizprozesses

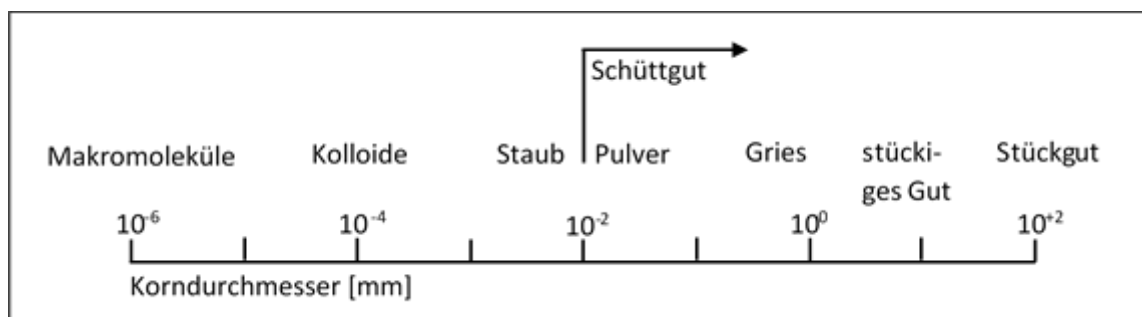
Die Haftfestigkeit der applizierten flüssigen Komponente an das Saatkorn ist ein wesentlicher Bestandteil einer zielgerichteten und sicheren Beizung. Ferner ist dabei der Begriff der Abriebfestigkeit von Bedeutung. Diese ist definiert als Widerstandsfähigkeit von festen Oberflächen gegenüber mechanischer Beanspruchung, welche vornehmlich in Folge von Reibung auftritt (*Anonymous*, 2016). Von Seiten des Trägermaterials kann die Abriebfestigkeit durch ihre Oberflächeneigenschaften, wie Rauigkeit und Härte beeinflusst werden. Entstehender Abrieb (Abrasion) ist definiert als der durch Gebrauch, Beanspruchung oder Transport entstehende Materialverlust an genannter Oberfläche und somit ein Resultat von innerer (zwischen den Körnern) und äußerer (zwischen Körnern und anderen Flächen) Reibung (*Langhans*, 1920).

Die Beurteilung der Haftfestigkeit ist ein definierter Beprobungsparameter für alle Formulierungen im Bereich Saatgutbehandlung und muss im Rahmen des Zulassungsverfahrens für Pflanzenschutzmittel nach Anhang III der Richtlinie 91/414/EWG untersucht werden (*Anonymous*, 2007). Darüber hinaus ist die Untersuchung für Beizmittelanwendungen rechtlich geregelt (Tab 5, Seite 13).

Tab 5: Auflagen oder Anwendungsbestimmungen für die Beizqualität von Saatgut (nach BVL, 2015)

Kategorie	Kode	Text
Aufl./Anwbest	NT6971	Durch ein geeignetes Beizverfahren, das insbesondere die Verwendung eines geeigneten Haftmittels beinhaltet, ist sicherzustellen, dass der Abrieb bei dem behandelten Saatgut unmittelbar vor der Absackung einen Wert von 0,75 g Staub je 100000 Korn nicht überschreitet. Dieser Wert ist mittels des "Heubach Dustmeter Typ I" zu ermitteln. Für die Probenahme sind mindestens 500 g Saatgut repräsentativ aus dem Saatgutstrom zu entnehmen. Das Saatgut muss vor der Testung für mindestens zwei Tage bei 20 +/- 2°C und 50 +/- 10 % relativer Luftfeuchte eingelagert werden. Zur Testung werden 100 +/- 1 g des Saatgutes abgewogen und in die Trommel des Heubachgerätes überführt. Das Heubachgerät muss auf 30 Umdrehungen je Minute, der Luftdurchfluss auf 20 l/min und die Umdrehungszeit der Trommel auf 120 Sekunden eingestellt werden. Im Filterkörper des Heubachgerätes ist ein Glasfaserfilter (Whatman GF 92 oder gleichwertige Spezifikation) einzulegen. Der Filterkörper inkl. des eingelegten Filters ist auf einer Analysenwaage vor und nach der Testung auf 0,1 mg genau auszuwiegen. Die Differenz der Gewichte des Filterkörpers inkl. des Filters vor und nach der Testung muss in g je 100 000 Korn umgerechnet werden. Es sind mindestens 2 Wiederholungen durchzuführen, jeweils mit einer neuen Saatgutprobe. Der Mittelwert der Einzelmessungen ist als Ergebnis der Untersuchungen anzugeben und als "Heubachwert" zu dokumentieren. Nähere Informationen zur Durchführung des Tests sind auf der Homepage des Julius Kühn-Instituts (www.jki.bund.de) einzusehen.

Als weiteres Qualitätsmerkmal stellt die Fließeigenschaft des Saatgutes eine technische Anforderung an den Beizprozess. Nach *Brübach* (1973) gilt Getreide jeglicher Art mit einer Partikelgröße von größer als 10^{-2} mm als Schüttgut (Abb. 3). Grundsätzlich kann zwischen kohäsiven und kohäsionslosen Schüttgütern unterschieden werden. Dabei zählen grobkörnige Partikel, wie Getreidekörner zu den kohäsionslosen Gütern.

Abb. 3: Einteilung von Schüttgütern nach Partikelgröße (nach *Brübach*, 1973)

Bei Getreidesaatgut wird in Folge des Saatgutbehandlungsprozesses zwischen der nassen und der trockenen Fließfähigkeit differenziert. Während die nasse Fließfähigkeit unmittelbar nach der Behandlung des Saatgutes erfolgt, wird die trockene nach einer Trocknungszeit von mind. 24 Std. bestimmt.

Als wichtiges Kriterium für die Fließfähigkeit von Schüttgütern gilt das Reibungsverhalten, welches alle bewegungsbeinhaltenden Vorgänge von Partikeln beeinflusst. Es handelt sich um ein Charakteristikum, das sich durch zuvor genannte inter- sowie intrapartikuläre Reibung von körnigen Schüttgütern zusammensetzt. Die genannten Abhängigkeiten von Kornform und Korngröße (*Kohn und Gonell, 1950/1951*) sind dabei maßgebliche Bestandteile. Für die Beurteilung unterschiedlicher Fließverhalten von Saatgut ist, durch die ausschließliche Veränderung der Kornoberfläche, bzw. Kornoberflächenbeschaffenheit, vornehmlich die innere Reibung von Bedeutung. Die äußere Reibung ist dagegen definiert als Coulomb'sches Reibungsgesetz und sollte für die Testung von unterschiedlichen Schüttgütern auf Seiten des Testgefäßes konstant gehalten werden. Ebenso können die Reibungswerte von biologischem Material in Folge veränderter Versuchs- und Umgebungsbedingungen erheblich schwanken (*Kutzbach und Scherer, 1970*).

Die herkömmliche Messung der Fließfähigkeit von Saatgut wird mittels eines Trichters durchgeführt (*Degussa AG, 1981*). Das Maß für die Fließfähigkeit ist der minimale Auslaufdurchmesser, der ein Auflaufen des Saatgutes noch ermöglicht (Abb. 4). Alternativ kann der Auslaufmassenstrom bzw. die benötigte Zeit einer definierten Menge bei einem gegebenen Auslaufdurchmesser gemessen werden. Je kürzer die Auslaufzeit ist, desto besser fließt ein Schüttgut. Es handelt sich um einen Vergleichstest, der jedoch einige Fehlerquellen aufweist. Die Art des Einfüllens, die Durchströmbarkeit des Schüttgutes (entgegenströmende Luft durch Unterdruck), sowie die undefinierte Verwendung von Austragshilfen (Rührwerk) führen zu nicht standardisierten Versuchsbedingungen (*Schwedes, 1970*).

Als ein weiteres Maß der Fließfähigkeit wird der sog. Schütt- oder Böschungswinkel verwendet (*Langhans, 1920*). Dabei wird das Schüttgut aus einem Trichter, der in einem definierten Abstand zum Boden arretiert ist, ausgelassen. Vertikal angebrachte Bodenplatten am Rand des Schüttkegels verhindern ein vollständiges Auslaufen, welches abhängig von der Beschaffenheit der Bodenoberfläche unterschiedlich stark ausfallen kann (*Wouters, 1996*). Für homogene grobkörnige Güter liefert der Schüttwinkel reproduzierbare Ergebnisse. Der Schüttwinkel steigt mit Unregelmäßigkeiten in der Kornform, sowie mit abnehmender Korngröße. Ebenso konnten *Segler und Scherrer (1976)* einen Einfluss des spezifischen Gewichts und der Kornfeuchte dokumentieren.

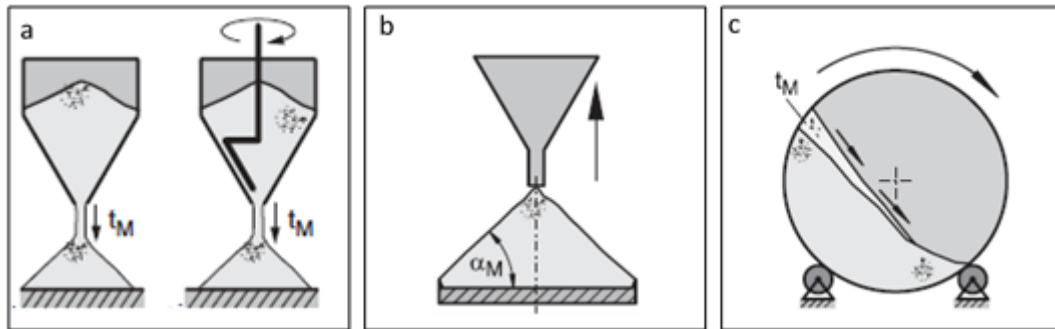


Abb. 4: Messmethoden zur Ermittlung der Fließfähigkeit von Schüttgütern; a: Trichtermethode (t_M : Auslaufzeit), b: Böschungswinkelmessung (α_M : Böschungswinkel), c: Lawinmessung (t_M : Lawinengröße) (nach Schulze, 2014)

Das „Avalanching“ Prinzip dokumentiert auf eine dritte Art die dynamische Fließfähigkeit von Schüttgütern. In einer rotierenden Trommel wird optisch analysiert, wie Partikel auf einer sich aufbauenden Böschung abrutschen. Die Größe der Lawinen wird dabei unter anderem als Zeit zwischen zwei aufeinander folgenden Lawinen erfasst (Kaye, 1997). Sowohl der Böschungswinkel als auch die Messung der Lawinen können ebenfalls Fehler aufweisen. So können kohäsive Pulver und Schüttgüter durch andauernde Bewegung Fluidisationen, Auflockerungen und Agglomeratbildungen aufweisen (Thalberg et al., 2004). Für kohäsionslose Schüttgüter kann diese Methode jedoch verwendet werden.

Die Verteilung des Beizmittels auf dem Saatgut bildet den dritten bedeutenden Qualitätsparameter der in Folge eines Beizprozesses bewertet werden kann. Für eine Saatgutprobe definierter Menge kann dabei gesamtheitlich, als Vergleich eines Soll-Ist-Wert Systems (auch Abweichungsanalyse), die Beurteilung des Beizgrades durchgeführt werden. Orientierend an der Zielmenge (Laborreferenz), wird dafür analytisch die eigentlich aufgebrauchte Menge bestimmt. Eine deutlich genauere Charakterisierung der Beizmittelverteilung kann durch Bestimmung der Beizungshomogenität durch eine Korn zu Korn Analyse photometrisch gemessen werden (QuestPro Methode, Vullriede et al., 2015). Alternative kolorimetrische Messmethoden analysieren Beizextrakte von 100 Saatkörnern um die Homogenität nachzuweisen (Cipac method MT 175).

2.7. Formulierungen in der Saatgutbehandlung

Aktivsubstanzen unterschiedlichen Ursprungs können im Rahmen des Einsatzes als Pflanzenschutzmittel nutzbar gemacht werden. Die Möglichkeit Pflanzenextrakte (Pyrethrin), sowie mikrobisch (Strobilurine) und synthetisch (Triazole) gebildete Substanzen unter dem Hintergrund eines fungiziden Nutzens zu verwenden, bietet ein breites Spektrum chemischer Strukturen. Unabhängig vom Syntheseweg weisen Aktivsubstanzen verschiedene Löslichkeiten auf, die neben dem Verwendungszweck maßgeblich die Art der Formulierung bestimmen. Insofern die Aktivsubstanz keine Wasserlöslichkeit besitzt, können definierte Modifizierungen den Löslichkeitscharakter ändern. Die vom Bundesamt für Verbraucherschutz

und Lebensmittelsicherheit herausgegebene Liste der zugelassenen Pflanzenschutzmittel in Deutschland (2015) umfasst eine Menge von 44 Formulierungen. Bei den, für die Saatgutapplikation, verwendeten Formulierungen handelt es sich sowohl um feste, wie flüssige Komponenten (Tab 6).

Tab 6: Übersicht der Formulierungen für die Behandlung von Saatgut (nach BVL, 2015)

BVL-Code	Formulierung
DS	Saatgutpuder oder Trockenbeize
WS	Schlämpulver oder Schlämmbeize
WG	Wasserdispergierbares Granulat
FS (bzw. SC)	Suspensionskonzentrat zur Saatgutbehandlung
EC	Emulgierbares Konzentrat
LS	Feuchtbeize
CS	Kapselsuspension

In der Saatgutbehandlung von Getreide werden vornehmlich Feuchtbeizen (LS) und Suspensionsbeizen (FS, bzw. SC) eingesetzt. Ebenfalls, jedoch weniger häufig, werden Emulgierbare Konzentrate (EC) verwendet. Die flüssigen Formulierungstypen differieren dabei auf Grundlage ihrer Rezeptur. Grundsätzlich bilden der Wirkstoff und der Zusatz von Hilfsstoffen die Formulierung.

Flüssige Formulierungen der Saatgutbeizung zeichnen sich durch unterschiedliche Bestandteile aus, einheitlich sind sie wasser- und wirkstoffhaltig. Es wird zwischen einphasigen und mehrphasigen Systemen unterschieden. Während die einphasigen Systeme, wie Lösungen oder Mikroemulsionen eine einheitliche Gruppierung bilden, werden die zweiphasigen Systeme weiter in Flüssig-Flüssig (Wasser-Öl-Emulsion; Öl-Wasser Emulsion) und Fest-Flüssig-Systeme (Suspensionen, Suspoemulsion) untergliedert (Kutz, 2007). Ausgangsprodukte für die Bildung einer anwendungsfertigen Formulierung sind Wasser und das Konzentrat.

Seit den 1970er Jahren wird die Technologie der Suspensionskonzentrate im Bereich des Pflanzenschutzes verstärkt eingesetzt. Dabei suspendieren kristalline Wirkstoffe in einer öligen Phase und werden mit Wasser vermengt. Emulgierbare Konzentrate stellen die größte Gruppe der Formulierungen im Bereich des Pflanzenschutzes, obgleich die Verwendung im Saatgutbereich deutlich geringer ausfällt. Ölige oder wachsartige feste Wirkstoffe, welche in nicht polaren Kohlenwasserstoff-Lösungsmitteln gelöst werden können, bilden dabei die Grundlage der Formulierung (De et al., 2014).

Eine Notwendigkeit von unpolaren Zusätzen ist aufgrund der selektiven Löslichkeit von Wirkstoffen gegeben. Adjuvantien sind Formulierungshilfsstoffe, die der Pestizidformulierung zugesetzt werden und die Zielwirkung unterstützen, bzw. modifizieren (Foy, 1987; Tann,

2010), während der Einsatz von Additiven für bereits formulierte Präparate vorgesehen ist. Diese Definition ist international allerdings nicht einheitlich anerkannt.

Als heterogenes Spektrum an Formulierungshilfsstoffen dienen Lösungsmittel, Tenside bzw. Emulgatoren, Dispergiermittel, Stabilisatoren und Kompatibilitätshilfsstoffe (Green, 2004). Inert- und Farbstoffe, sowie Entschäumer, Frostschutzmittel, Aktivatoren und Wasseraufbereiter bilden zusätzliche Komponenten, die jedoch nicht primär die Formulierung des Handelspräparates beeinflussen (Anonymous, 2012). Neben unterschiedlichen Lösungsmitteln ist besonders der Einsatz von Tensiden, hinsichtlich des amphiphilen Charakters, auf die Notwendigkeit einer Phasenbindung begründet (Whiddon, 2010, De et al., 2014). Die Wahl eines geeigneten Tensids ermöglicht dabei die Interaktion von öliger und wässriger Phase, sowie den variablen Präparateinsatz, unabhängig der Wasserhärte. Speziell nicht ionische Tenside werden in der Pflanzenschutz-Formulierungstechnologie genutzt (van Valkenburg, 1982), wobei die meisten aus Kombinationen nichtionischer und an- oder kationischer Komponenten bestehen (Tadros, 2005). Ethylenoxid basierte Moleküle bilden dabei sowohl hydrophile (Polyethylenoxid), als auch hydrophobe (Nonyphenoethoxylat) Abschnitte, während der anionische Teil der Tenside durch öllösliche Phosphate, Sulfate und Sulfonate, sowie Carboxylate mit Salzen (Na, Ca,...) gebildet wird (Mulqueen, 1990; Knowles, 2008). Kationische Tenside zeichnen sich durch eine ausschließliche Wasserlöslichkeit aus. Es handelt sich um Ammoniumverbindungen mit verschiedenen Alkylresten, die durch ihr selektives Lösungsverhalten allgemein nur wenig Verwendung finden (Tadros, 2005). Je nach Zielrichtung variiert das Verhältnis des lipophilen und hydrophilen Anteils. Die Wahl eines geeigneten Emulgators, bzw. Tensids erfolgt nach Charakterisierung durch den HLB-Wert (**H**ydrophil-**L**ipophil **B**alance, nach Griffin, 1949). Es handelt sich um einen dimensionslosen Zahlenwert, der sich aus dem stöchiometrischen Verhältnis des lipophilen und hydrophilen Anteils berechnet und die Stabilität der Lösung maßgeblich beeinflusst (Tab 7). Tenside besitzen einen 5-10%tigen Anteil an der Gesamtlösung eines emulgierbaren Konzentrates (De et al., 2014). Sie verfügen dabei über ein Verbindungsmolekül zwischen polaren (hydrophil) und unpolar (lipophil) Abschnitten. Die Charakteristik eines Emulgators muss auf die Ziellösung abgestimmt sein. Für Wasser-in-Öl Emulsionen wird ein Emulgator mit einem HLB-Wert von unter 9 benötigt. Für Öl-in-Wasser Emulsionen oder allgemein wasserbasierte bzw. wasser-dominierte Lösungen sind Emulgatoren mit HLB-Werten über 11.

Tab 7: Das HLB-Wert System mit dazugehöriger Klassifizierung

HLB-Wert	Klassifizierung
4-6	Wasser in Öl (W/O)-Emulsion
7-9	Benetzungsmittel
8-18	Öl in Wasser (O/W)-Emulsion
10-18	Lösungsmittel

In der Beiztechnologie sind im Ablauf des Beizprozesses mehrere lipophil-hydrophil Bindungen notwendig, um eine stabile Applikation zu ermöglichen. Neben der konstanten Verbindung aus Präparat-Konzentrat und Wasser, ist die Bindung der Wirkstoffe von Universalbeizen an das Saatkorn variablen Einflüssen aus Oberflächen, sowie Oberflächenbeschaffenheit ausgesetzt.

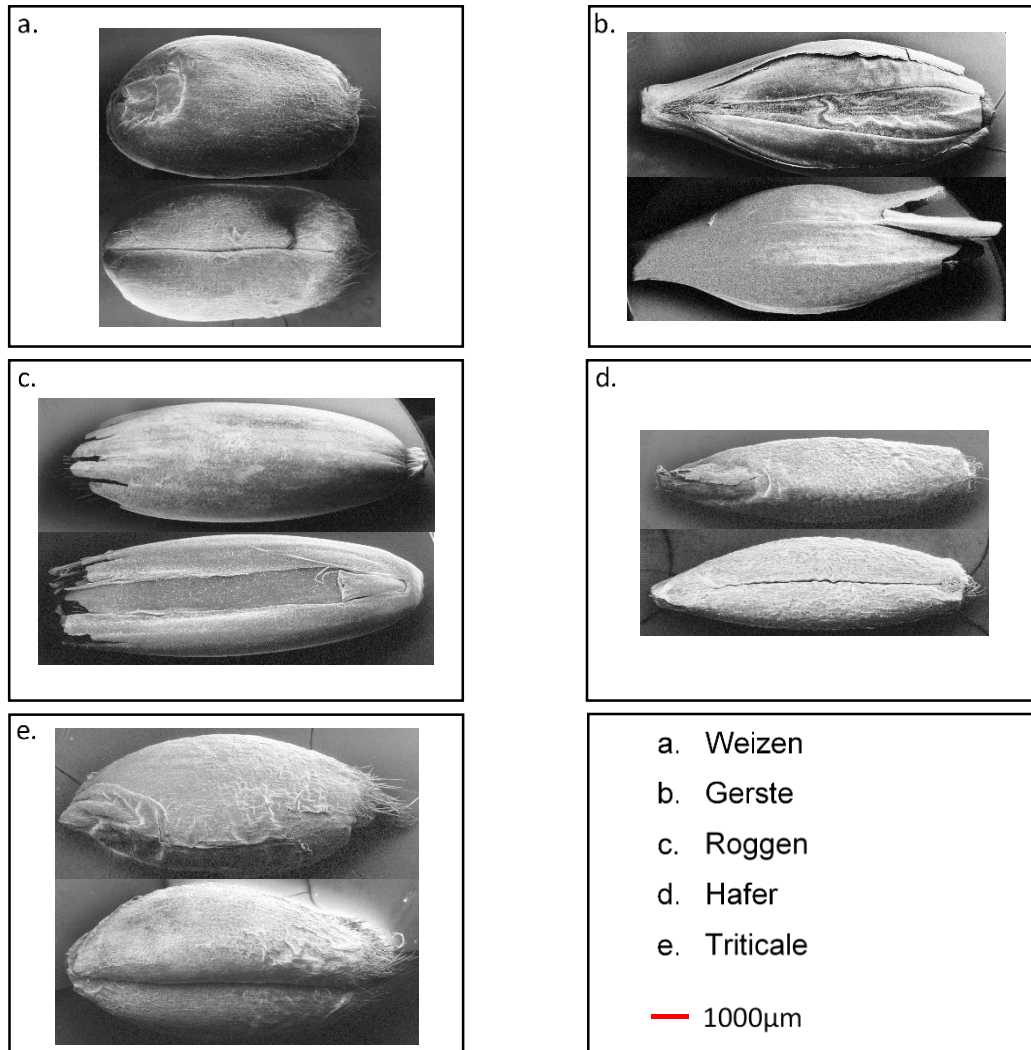


Abb. 5: Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen von Saatkörnern, repräsentativ für die Getreidekulturen Weizen, Gerste, Roggen, Hafer und Triticale (eigene Aufnahme, in Zusammenarbeit mit dem Institut für Geowissenschaften, Abt. Geologie/Dr. Meier)

Die bespelzten Körner von Gerste und Hafer sind in ihrer, aus Oberhautzellen bestehenden, Deckspelze durch unterschiedliche und z.T. unregelmäßig angeordnete Langzellen charakterisiert. Einzeln auftretende zugespitzte Haare sind vorhanden. Besonders auf Seiten der Furche (Abb. 5) sind viele Variationen bezüglich Tiefe und Ausprägung von oberflächlichen Unebenheiten vorhanden. Reihenweise angeordnete und schmal gestreckte Oberhautzellen definieren die Fruchtwand des Weizens. Der Scheitel besitzt einen markanten Haarkranz, der sich ebenfalls bei Triticale ablichtet. Beide Kulturen weisen auf Seiten des Embryos eine deutliche Einbuchtung in das Korn auf. Kleinere und länglichere Körner weist dagegen der

Roggen auf, welche in Form und Größe sehr heterogen auftreten können. Auch die Oberhautzellen sind ungleichmäßig getüpfelt, vereinzelt treten auch Haare, vergleichbar mit der Gerste hervor (*Möller und Wintons, 1905*).

2.8. Einsatz von externen Additiven bei der Beizung von Getreidesaatgut

Der Begriff „Additiv“ lässt sich literarisch auf keine einheitliche Definition zurückführen. Abhängig vom Sprachgebrauch einzelner Staaten, werden Beimischprodukte für bereits formulierte Präparate im deutschsprachigen Raum als Additive bezeichnet. Im englischen ist dagegen die Bezeichnung „Adjuvants“ eher geläufig. Abgeleitet aus dem lateinischen *adjuvare* = helfen, bezeichnen die „Adjuvants“ Substanzen, die als „tank mix additives“ angesehen werden und der deutschen Bezeichnung „Additiv“ gleichgesetzt werden kann (*Tann, 2010; Hochberg, 1996*). Eine klare Abgrenzung zu Formulierungshilfsstoffen ist dagegen in allen Ländern einheitlich gegeben. In Einzelfällen werden den „Adjuvants“ darüber hinaus sämtliche Zusatzstoffe zugeordnet, die bei der Pflanzenschutzformulierung zugesetzt werden können. In Folge einer erheblichen Zunahme eingesetzter Präparate als Additive, definierte die American Society of Testing and Materials (ASTM) diese als „Substanz, die der Tankmischung hinzugefügt wird, um die Wirkung einer Agrochemikalie oder physikalischen Eigenschaften der Spritzbrühe zu verbessern bzw. zu verändern“ (*Tann, 2010*). In Deutschland liegt dem Einsatz von Zusatzstoffen eine rechtliche Regelung im Pflanzenschutzmittelgesetz zugrunde. In § 31c werden Additive als Zusatzstoffe definiert, die formulierten Pflanzenschutzmitteln zugesetzt werden können, um die Applikationseffektivität, bzw. die Bioverfügbarkeit von Wirkstoffen zu erhöhen. Ausgenommen sind dabei Wasser, sowie Düngemittel. Voraussetzung für den Einsatz von Additiven ist in Deutschland die in § 31 Absatz 1 Nr. 1 des Pflanzenschutzgesetzes festgelegte Anforderung in einer Liste für Zusatzstoffe des Bundesamtes für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit aufgenommen zu sein.

Die differenzierten Wirkungen von Additiven bei Feldapplikation sind mittlerweile weitgehend bekannt (*Amer et al. 1993; Kudsk & Kopp Mathiessen, 2007*). Eine Erhöhung der biologischen Effizienz von Pflanzenschutzmitteln, auch unter suboptimalen Ausbringungsbedingungen wird dabei beschrieben. Effizienzverluste nach der Ausbringung von flüssigen Pflanzenschutzmitteln, wie Abdrift und Ablaufen von der Pflanzenoberfläche (*Knowles, 2008*) können mit dem Einsatz von Additiven verringert werden (*Prasad, 1993*). Je nach Einsatz können Modifizierungen bezüglich Formulierung, Zerstäubung, Retention, Anhaftung, Penetration und Translokation vorgenommen werden (Tab 8). Ebenso ist von einer zielgerechteren Mittelapplikation mit der Möglichkeit einer reduzierten Aufwandmenge die Rede (*Green, 2000; Zabkiewicz, 2007*).

Tab 8: Übersicht der Modifizierungseinflüsse von Additiven (nach Green, 2004)

Einfluss	Modifizierung
Formulierung	Kompatibilität, Löslichkeit, Stabilität, Pufferkapazität, Entschäumer
Zerstäubung	Antidrift, Evaporation
Retention	Reflektion, Adhäsion
Anlagerung	Benetzung, Verteilung, physikalische Form, Solubilisieren
Penetration	Netzmittel
Translokation	ungeklärt

Die Anforderungen eines Additiveinsatzes im Bereich der Saatgutbehandlung differenzieren sich dabei stark von denen einer Feldapplikation. Durch die zeitliche Entkoppelung von Applikation und Wirkungszeitpunkt, ist die Beeinflussung der Bioverfügbarkeit von Aktivsubstanzen, durch Änderungen der Löslichkeit und Kompatibilität, als direkter Einflussparameter, nur bedingt von Bedeutung. Vielmehr ist der technische Anspruch an Anhaftung und eine homogene Verteilung der applizierten Lösungen gegeben, so dass ein möglichst verlustfreier Ausbringungsprozess, bestehend aus Transport und Aussaat, ermöglicht wird. Inwieweit ein Effekt auf die Aufnahme von Wirkstoffen in die Pflanze dabei noch gegeben ist, wurde bisher nicht nachgewiesen.

Nach bisherigen Kenntnissen können Flüssigbeizen mit bestimmten adhäsiven Zusatzstoffen kombiniert werden, um die Anhaftung an das einzelne Saatkorn zu erhöhen (*Halmer, 1988*). Zu diesen Komponenten gehören Sticker, Kleber und Binder. Abhängig von der Art der entstehenden Emulsion ist der jeweils passende Emulgator zu verwenden. Der Einsatz wasserlöslicher Emulgatoren ist notwendig, wenn das Zielprodukt eine wasserlösliche O/W-Emulsion bilden soll (*Anonymous, 1980*). Das HLB-System bildet auch bei extern zugeführten Additiven die Grundlage für die Suche und Auswahl geeigneter Emulgatoren, sowie Penetrationshilfen als pestizide Formulierungshilfe.

3. Material und Methoden

Im folgenden Kapitel sind die für die Versuche benötigten Materialien aufgelistet und die verwendeten Methoden der Teilbereiche Heubachtest, HPLC Analytik, Fließfähigkeit, sowie Beizmittelverteilungsanalyse erläutert.

3.1. Verwendete Materialien

3.1.1. Geräte

Autoklav Systec D-65	Systec GmbH Labortechnik, Weltenberg - GER
Binder Wärmeschrank	Häberle Labortechnik, Lonsee - GER
Hege 11 Feuchtbeizgerät	Wintersteiger AG, Ried – A
Heubach Dustmeter	Heubach GmbH, Langelsheim – GER
Kern Laborwaage	Kern Sohn GmbH, Balingen – GER
Lachrom elite HPLC hitachi I-2400	Hitachi Hightech Technologier, Krefeld - GER
Foto Scanner Epson Perfection V550	Epson Deutschland - GER
Polaris C18-Säule	Varian Inc. Palo Alto, Kalifornien - USA
Revolution Powder Analyser	PS Prozesstechnik GmbH - CH
Sartorius Analysewaage	Sartorius AG, Göttingen – GER
Ultraschallbad Bandelin Sonorex Super RK103H	Bandelin electronic, Berlin - GER
Vortexer VF 2	IKA@Werke GmbH & Co. KG, Staufen – GER
Vakuumzentrifuge S Concentrator BA-VC-300H	H. Saur Laborbedarf, Reutlingen - GER
Waters 717 Autosampler	Waters GmbH, Eschborn - GER
Zentrifuge Megafuge 1,0R	Heraeus Holding GmbH, Hanau - GER

3.1.2. Verbrauchsmaterialien

700 µl Plastik Vials	Waters Corporation, Milford, MA - USA
5 ml Einmalspritzen	B. Braun Melsungen AG - GER
15 ml Schraubfalcon	Sarstedt AG, Mümbrecht – GER
50 ml Schraubfalcon	Sarstedt AG, Mümbrecht – GER
125 ml Sturzglas	Gläser und Flaschen GmbH, Berlin - GER
Mörser Basic	Maxwell & Williams, Marsberg - GER
QuEChERS Extraktionskit	Restek GmbH, Bad Homburg – GER
Whatman GF 92 Glasfaser Filter	GE Healthcare Life Sciences – UK

3.1.3. Chemikalien

Acetonitrile Chromasolv HPLC grade	Sigma-Aldrich Chemie GmbH, Taufkirchen -GER
Methanol Chromasolv HPLC grade	Sigma-Aldrich Chemie GmbH, Taufkirchen -GER
Stickstoff	Linde, Höllriegelskreuth – GER

TFA (>99,0%)

TCI Deutschland GmbH - GER

VE Wasser (HPLC-Grade)

VWR, West Chester, PA - USA

3.1.4. Programme

OKS Seedcheck

Kunkel systems, Bad Dürkheim - GER

Statistik Software R

The R core

3.1.5. Getreidekulturen und –sorten

Die für die Beizversuche notwendigen Getreidekulturen und –sorten wurden von unterschiedlichen Züchtern bereitgestellt (Tab 9).

Tab 9: Übersicht der für die Beizversuche genutzten Getreidekulturen und -sorten

	Sorte	TKG [g]	Züchter
Weizen	Atomic	53,7	Limagrain GmbH
	Lear	47,5	Limagrain GmbH
	Potenzial	42,8	DSV – Saaten AG
	Patras	57,3	DSV – Saaten AG
Gerste	Caribic	49,2	Limagrain GmbH
	KWS Kosmos	56,0	KWS Lochow GmbH
	LG Veronica	45,5	Limagrain GmbH
	Tesla	57,0	Limagrain GmbH
	Vespa	52,4	Limagrain GmbH
Roggen	Brasetto	32,7	KWS Lochow GmbH
	SU Allawi	40,0	Saaten Union GmbH
	SU Cossani	31,3	Saaten Union GmbH
	SU Santini	21,9	Saaten Union GmbH
	SU Mephisto	42,0	Saaten Union GmbH
Hafer	Bison	44,6	Saaten Union GmbH
	Harmony	45,6	Saaten Union GmbH
	Husky	32,0	Saaten Union GmbH
	Symphony	54,3	Saaten Union GmbH
Triticale	Cosinus	49,4	KWS Lochow GmbH
	TIW 953	48,5	Saaten Union GmbH
	Tulus	51,5	Saaten Union GmbH
	Tulus	55,6	Saaten Union GmbH
	SU Agendus	47,0	Saaten Union GmbH

3.1.6. Präparate und Wirkstoffe

Für die Beizversuche wurden fungizide Universalbeizen verwendet (Tab 10, Seite 23). Dabei handelt es sich vornehmlich um Suspensionskonzentrate (EfA® (BayerCropScience), Rubin®TT, (BASF Crop Protection) Landor®CT Formel M (Syngenta Agro GmbH). Bei dem

Präparat Landor®CT Formel M (FM) wurde dem Handelspräparat bereits ein Formulierungshilfstoff (Formel M) beigemischt. Als zusätzliche Referenz wurde das Mittel Zardex®G (Syngenta Agro GmbH) als wasserbasierte Feuchtbeize verwendet.

Tab 10: Übersicht der Aktivsubstanzen [g/l] der verwendeten fungiziden Beizen

Präparat		EFA®	Rubin®TT	Landor®CT Formel M	Zardex®G
Wirkstoff [g/l]					
Triazol	Tebuconazol	3,75		5	
	Prothioconazol	25			
	Triticonazol		25		
	Difenoconazol			20	
	Cyproconazol				5
Benzotriazol	Triazoxid	10			
Imidazol	Prochloraz		38,6		
	Imazilil				20
Strobilurin	Fluoxastrobin	37,5			
Anilino-Pyrimidin	Pyrimethanil		42		
Phenylpyrrol	Fludioxonil			25	

Zusätzlich wurden verschiedene adhäsive Additive in dem Versuch verwendet (Tab 11).

Tab 11: Übersicht der, für den Beizversuch, verwendeten adhäsiven Additive

Produkt	Inhaltsstoffe/ Formulierung
Inteco® (BayerCropScience)	80 % Sojaöl Raffinat; 20 % Tenside Formulierung: EC
Kantor® (Agroplanta GmbH & Co. KG)	79% Alkoxyliertes Triglycerid (Tallöl, Sojaöl); 12% Fettsäure; 6% Alkylpolyglycoside Formulierung: EC
MaximalFlow® (BASF Crop Protection)	Polymerdispersion: Acrylsäureester (478 g/l) Silikonölemulsion (479 g/l) Formulierung: SC

3.2. Teilversuche für die Bewertung der Beizqualität

3.2.1. Versuchsaufbau der Teilversuche

Alle Versuche wurden unter Laborbedingungen in standardisierter Form durchgeführt.

Teilversuch I: Messung des Staubabriebs anhand mehrerer Sorten je Kultur

In einem ersten Versuch wurde untersucht, in wie weit es sich bei der Entwicklung von Beizstaub über verschiedenen Aufwandmengen um ein kulturspezifisches Ereignis handelt (Dosis-Wirkung-Beziehung). Jeweils vier Sorten mit unterschiedlichen Tausendkornmassen (TKM) wurden dafür je Kultur verwendet (Tab 12) und in sieben Aufwandmengen (100 ml/dt, 125 ml/dt, 150 ml/dt, 175 ml/dt, 200 ml/dt, 250 ml/dt, 300 ml/dt) mit vier fungiziden Beizmitteln behandelt (Tab 13, Seite 25).

Tab 12: Übersicht der namentlich verwendeten Sorten der für die Statistik benötigten Benennung in die Gruppierungen Sorten eins bis vier mit der jeweils dazugehörigen TKM

Kultur	Weizen	Gerste	Roggen	Hafer	Triticale
Sorte/TKM [g]					
Sorte 1	Patras	LG Veronica	SU Mephisto	Harmony	SU Agendus
	57,3	45,5	42	45,6	47,0
Sorte 2	Potenzial	Caribic	SU Santini	Symphony	Tulus 2
	42,8	49,2	21,9	54,3	55,6
Sorte 3	Atomic	Vespa	SU Cossani	Husky	Tulus 1
	53,7	52,4	31,25	32,0	51,5
Sorte 4	Lear	Tesla	SU Allawi	Bison	TIW 953
	47,5	57,0	40,0	44,6	48,5

Folgende Einflussgrößen ergaben sich für den Versuch.

- I. Kultur
- II. Beizmittel
- III. Sorte
- IV. Aufwandmenge

Tab 13: Versuchsplan des Beizversuches je Kultur mit den Einflussgrößen Beizmittel, Sorte und Aufwandmenge

Versuchsglied		Aufwandmenge [ml/dt]							
1	EfA®	Sorte 1	100	125	150	175	200	250	300
2		Sorte 2	100	125	150	175	200	250	300
3		Sorte 3	100	125	150	175	200	250	300
4		Sorte 4	100	125	150	175	200	250	300
5	Rubin®TT	Sorte 1	100	125	150	175	200	250	300
6		Sorte 2	100	125	150	175	200	250	300
7		Sorte 3	100	125	150	175	200	250	300
8		Sorte 4	100	125	150	175	200	250	300
9	Landor®CT Formel M	Sorte 1	100	125	150	175	200	250	300
10		Sorte 2	100	125	150	175	200	250	300
11		Sorte 3	100	125	150	175	200	250	300
12		Sorte 4	100	125	150	175	200	250	300
13	Zardex®G	Sorte 1	100	125	150	175	200	250	300
14		Sorte 2	100	125	150	175	200	250	300
15		Sorte 3	100	125	150	175	200	250	300
16		Sorte 4	100	125	150	175	200	250	300

Teilversuch II: Messung des Abriebes innerhalb einer Sorte/Kultur mit unterschiedlichen Beizlösungen

Der Versuch wurde erneut in fünf Kulturen durchgeführt. Dafür wurden die Sorten Potenzial (Weizen), KWS Kosmos (Gerste), Brasetto (Roggen), Harmony (Hafer) und Cosinus (Triticale) verwendet. Dieselben vier fungiziden Beizmittel wurden eingesetzt, zusätzlich drei Additive. Ebenfalls wurde das Saatgut in denselben Aufwandmengen behandelt, wogegen die Aufwandmenge der Additive einheitlich bei 40 ml/dt lag (Tab 14, Seite 26). Mittels Zusammensetzung aus Beizmittel und Additiv wurde jeweils ein Versuchsglied gebildet. Die Kombination aus der Beize Zardex®G und dem Additiv MaximalFlow® konnte aus technischen Gründen nicht realisiert werden (Ausflockung).

Folgende Einflussgrößen ergaben sich für den Versuch.

- I. Kultur
- II. Beizmittel
- III. Additiv
- IV. Aufwandmenge

Tab 14: Versuchsplan des Beizversuches je Kultur mit den Einflussgrößen Beizmittel, Additiv und Aufwandmenge

	Versuchsglied	Aufwandmenge [ml/dt]						
1	EfA®	100	125	150	175	200	250	300
2	EfA® + Kantor®	100	125	150	175	200	250	300
3	EfA® + Inteco®	100	125	150	175	200	250	300
4	EfA® + MaximalFlow®	100	125	150	175	200	250	300
5	Rubin®TT	100	125	150	175	200	250	300
6	Rubin®TT + Kantor®	100	125	150	175	200	250	300
7	Rubin®TT + Inteco®	100	125	150	175	200	250	300
8	Rubin®TT + MaximalFlow®	100	125	150	175	200	250	300
9	Landor®CT FM	100	125	150	175	200	250	300
10	Landor®CT FM + Kantor®	100	125	150	175	200	250	300
11	Landor®CT FM + Inteco®	100	125	150	175	200	250	300
12	Landor®CT FM + MaximalFlow®	100	125	150	175	200	250	300
13	Zardex®G	100	125	150	175	200	250	300
14	Zardex®G + Kantor®	100	125	150	175	200	250	300
15	Zardex®G + Inteco®	100	125	150	175	200	250	300

Teilversuch III: Wirkstoffdetektion aus Beizresiduen

Im Anschluss an den zuvor durchgeführten Versuch wurde für die Beize Rubin®TT eine Analyse des entstandenen Beizstaubes vorgenommen. Ziel war es, zu untersuchen, in wie weit ein linearer Zusammenhang zwischen den Messgrößen Staubabrieb und ermittelten Wirkstoffmengen besteht. Zum einen wurde dies anhand jeweils einer Sorte je Kultur für die solo gebeizten Varianten nachgewiesen (Sorten: Weizen: Potenzial; Gerste: Vespa; Roggen: SU Mephisto; Hafer: Harmony; Triticale: SU Agendus). Zum anderen wurde, exemplarisch für die Kultur Weizen (nach den Varianten mit Rubin®TT in Versuchsplan Tab 14) untersucht, ob dieser Zusammenhang auch unabhängig von den unterschiedlichen Beize-Additiv Kombinationen besteht. Die Analyse erfolgte mittels HPLC-UV Detektion.

Folgende Einflussgrößen wurden bei der Ermittlung von linearen Beziehungen miteingebunden.

- I. Kultur/ Weizen
- II. Wirkstoff
- III. Sorte/ Additiv
- IV. Aufwandmenge

Teilversuch IV: Wirkstoffdetektion aus Getreidepflanzen

Im Teilversuch IV wurde untersucht, inwieweit sich mögliche Unterschiede im Abriebverhalten, hervorgerufen durch die Simulation von mechanischem Stress mittels Heubachtest, auf die Aufnahme von Wirkstoffmengen in die wachsende Getreidepflanze detektieren lassen. Exemplarisch wurde dies anhand einer Beize (Rubin[®]TT) in den Varianten mit und ohne Additiv (Kantor[®]) in den Kulturen Weizen und Gerste zu drei Aufwandmengen durchgeführt (Tab 15, Seite 27).

Folgende Einflussgrößen ergaben sich für den Versuch.

- I. Kultur
- II. Wirkstoff
- III. Additiv
- IV. Aufwandmenge

Tab 15: Versuchsplan der Varianten des Wachstumsversuches

Probenahme	Aufwandmenge [ml/dt]		
1. Woche	100	200	300
2. Woche	100	200	300
3. Woche	100	200	300
6. Woche	100	200	300

Die Beerntung der Varianten erfolgte zu verschiedenen Zeitpunkten eine, zwei, drei und sechs Wochen nach der Aussaat. Die Anzucht der Pflanzen erfolgte in der ersten Woche bei 20°C und darauffolgend bei 10°C auf Filterpapier.



Abb. 6: Anzucht von Weizenpflanzen auf Filterpapier

Teilversuch V: Messung der Fließfähigkeit innerhalb einer Sorte/Kultur mit unterschiedlichen Beizlösungen

Dieselben Proben, die zuvor, in Teilversuch II auf ihr Abriebverhalten untersucht wurden, wurden in diesem Versuchsteil auf ihr Fließverhalten analysiert (siehe Versuchsplan Tab 14 Seite 26).

Teilversuch VI: Messung der Beizlösungsverteilung auf der Kornoberfläche innerhalb einer Sorte/Kultur mit unterschiedlichen Beizlösungen

Erneut wurden dieselben Proben aus Versuchsteil II verwendet, um zu untersuchen, in wie weit ein möglicher Effekt durch die unterschiedlichen Additive auf die Verteilung der Beizlösung auf dem Einzelkorn gegeben ist (siehe Versuchsplan Tab 14 Seite 26).

3.3. Methoden für die einzelnen Versuchsteile

3.3.1. Aufreinigung des Saatgutes

Das für die Versuche verwendete Saatgut wurde von unterschiedlichen Züchtern bereitgestellt. Die für Teilversuch I erforderliche Eliminierung der Grundstaubbelastung des Saatgutes erfolgte durch einen definierten Waschvorgang. Dafür wurden jew. 400 g Saatgutpartien in Aluminiumschalen eingewogen und auf ein 2,5 mm Kontrollsieb gegeben. Dieses wurde jeweils 1 min. mit herkömmlichem Spülmittel in einem Wasserbad gewaschen und in einem Trockenschrank bei 50°C über 48 Std. rückgetrocknet.

3.3.2. Durchführung einer Beizung

Für die Behandlung des Saatguts mit fungiziden Beizmitteln, sowie unterschiedlichen Additiven wurde die zu applizierende Beizlösung mit Leitungswasser auf die einheitliche Menge von 1 ml/100g (entsprechend 1 l/dt) angeglichen (Tab 16). Insofern ein Einsatz von Additiven erfolgte, lag die einheitliche Applikationsmenge bei 40 µl/100g, die Gesamtlösung blieb dabei konstant.

Tab 16: Übersicht der einzelnen Beizvarianten in Abhängigkeit von Beizkombination und Aufwandmenge

	Mengenvariation	Aufwandmenge [µl/100g]	Aufwandmenge [µl/500g]	Aufwandmenge Wasser [µl/500g]	Lösung [ml]		
Beize	1	100	500	4500	5		
	2	125	625	4375	5		
	3	150	750	4250	5		
	4	175	875	4125	5		
	5	200	1000	4000	5		
	6	250	1250	3750	5		
	7	300	1500	3500	5		
		Beize	Additiv				
Beize + Additiv	8	100	40	500	200	4300	5
	9	125	40	625	200	4175	5
	10	150	40	750	200	4050	5
	11	175	40	875	200	3925	5
	12	200	40	1000	200	3800	5
	13	250	40	1250	200	3550	5
	14	300	40	1500	200	3300	5

Die für den Versuch durchzuführende Beizung des Getreides erfolgte mit einem Chargen-Laborfeuchtbeizgerät der Firma Wintersteiger. Dabei konnten Saatgutmengen bis zu 2 kg je Charge behandelt werden. Der Beizprozess wurde in seiner Dauer standardisiert (Tab 17, Seite 30). Die Umdrehungszahl war dagegen konstant und nicht einstellbar.

Tab 17: Übersicht des standardisierten Beizprozesses

Prozessabschnitt	Zeit (Sek.)
Andrehzeit	4
Applikationszeit	12
Nachmischzeit	4

Für die Bewertung des Beizprozesses, mit gewählten zeitlichen Einstellungen, wurde zu Versuchsbeginn exemplarisch für die Beize Landor[®]CT Formel M eine Beizgradanalyse, sowie eine Einzelkornanalyse durch ein externes Fachlabor erstellt (siehe Anhangsabb. 1, Seite 142). Bei einer applizierten Menge von 200 ml/dt lag der ermittelte Beizgrad bei 94%. Proben mit einem Beizgrad von < 85% gelten als unterbeizt, ein Beizgrad von > 115% dagegen als überbeizt. Die Homogenität zwischen den Körnern wurde mit der Note 2 bewertet (Note 1 = sehr gut, Note 5 = unzureichend).

3.3.3. Messung des Staubabriebs der Getreideproben

Zur Erfassung des Staubabriebs wurde das Saatgut nach vorheriger Beizung mittels *Heubach*-Dustmeter (Typ I) analysiert (Abb. 7).



Abb. 7: Heubach Dustmeter der Firma Heubach

Die Durchführung einer Messung orientierte sich dabei an dem standardisierten Protokoll des Julius Kühn-Institutes (Tab 18) (*Heimbach*, 2011). Zur Annahme einheitlicher Analysebedingungen wurde jede Probe zwei Tage bei $20 \pm 2^\circ\text{C}$ und $50 \pm 10\%$ relativer Luftfeuchte eingelagert.

Tab 18: Einstellungen des *Heubach*-Dustmeters zu Messung der Staubentwicklung von Saatgut

Analyseparameter	Einstellung
Umdrehungsgeschwindigkeit	30 U/ min
Luftdurchfluss	20 l/ min
Luftvolumen	40 l
Dauer	120 Sek.

Die Durchführung einer *Heubach*-Dustmeter Messung erfolgt über eine Ansaugung, die durch einen Kompressor im inneren der Kontrolleinheit erzeugt wird. Eine sich drehende Abriebtrommel simuliert dabei, mit unterstützender Wirkung außen ansitzender Schlagbolzen, eine mechanische Beanspruchung des Saatgutes, wie sie durch Transport und Aussaatprozess entstehen würde. Die über ein Schlauchsystem übertragene Saugwirkung nimmt durch eine Frischluftzufuhr entstehenden Staub aus der Abriebtrommel auf und transportiert diesen mit dem Luftstrom auf einen Glasfaserfilter (Abb. 8).

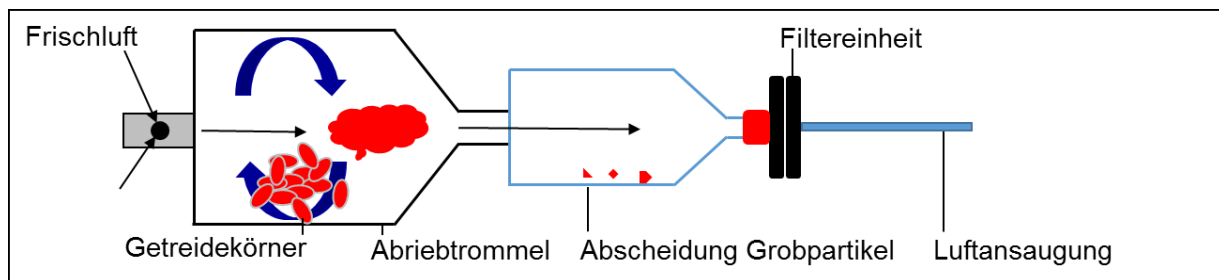


Abb. 8: Funktionsprinzip des *Heubach*-Dustmeters

Es wurden jeweils drei Wiederholungen je Variante durchgeführt. Der Mittelwert ergibt den Heubachwert. Es handelt sich dabei um technische Wiederholungen, da die Probe in einem einheitlichen Beizprozess hergestellt wurde.

3.3.4. Extraktion der Wirkstoffe

Die Extraktion der Beizstaubresiduen, sowie die Bestimmung des Wirkstoffgehalts an den gebeizten Körnern erfolgte mit einem Gemisch aus Methanol und Wasser (80 zu 20). Dafür wurden jeweils 10 g der gebeizten Körnern in ein 125 ml Sturzglas eingewogen und mit 10 ml des Methanol:Wasser Gemisches versetzt. Dieses wurde 20 min in ein Ultraschallbad eingehängt. Für die analytische Bestimmung wurden jeweils 1,5 ml repräsentativ für jede Probe in ein 2 ml Reaktionsgefäß pipettiert. Nach gleichem Prinzip erfolgte die Extraktion der Wirkstoffe aus den Filtern des Heubachtests.

Die Probenvorbereitung erfolgte mit einem Ansatz von 210 µl, bestehend aus 160 µl Wasser und 50 µl Extrakt

Die Extraktion der fungiziden Wirkstoffe aus der Pflanze erfolgte mittels QuEChERS (**Quick, Easy, Cheap, Effective, Rugged, Safe**) Methode (Anastassiades et al., 2003). Es handelt sich um eine anerkannte Multimethode, die der Bestimmung von pestiziden Rückständen in diversen Pflanzen dient. Die Aufnahme der Wirkstoffe erfolgt nach einem vorherigen Aufschluss der Zellstruktur (Zermörserung) mit dem Lösungsmittel Acetonitril. Die in dem Extraktionskit enthaltenen Substanzen (Citrat-Kit, PSA Kit) dienen einer Aufreinigung des Extraktes in zwei Schritten.

Die Wirkstoffextraktion erfolgte nach dem nachfolgend dargestellten Protokoll.

1. Entfernen des Saatkorns
2. Einwaage: 5g Frischmasse in ein Mörsertiegel
 - Probe kleinschneiden
3. Pflanzenprobe mit Flüssigstickstoff übergießen und zermörsern
4. Einwaage von 5g Homogenat in ein 50 ml Schraubröhrchen
 - Zugabe von 5 ml H₂O_{dest.}
 - Zugabe von 10 ml Acetonitril
5. 2 min stark schütteln
 - 10 min einwirken lassen
6. Zugabe des Citrat-Kits
 - Falcon sofort schließen und 2 min stark schütteln
7. Zentrifugieren: 5 min bei 3000 U/min
8. 6 ml der Probe in das PSA-Kit pipettieren (25 mg PSA + 150 mg MgSO₄ je ml)
 - 2 min stark schütteln
9. Zentrifugieren: 5 min bei 3000 U/min
10. Überführen des klaren Extrakts in ein 15 ml Schraubröhrchen

3.3.5. Aspekte der Flüssigchromatographie, sowie Massenspektroskopie

Die Detektion der unterschiedlichen Wirkstoffe (Tab 19, Seite 33) in den Filterresiduen erfolgte mittels RP-HPLC. Durchgeführt wurde die RP-HPLC Detektion mit einer LaChrome Elite mit einem L2400 UV-Detektor von VWR-Hitachi und einem Autosampler 717-plus von Waters. Als feste Phase wurde eine C18-Säule (150 x 3,0mm, Partikelgröße 5µm) verwendet. Als mobile

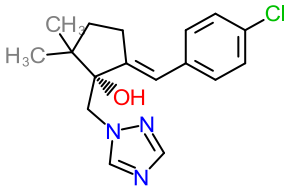
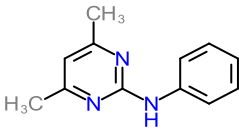
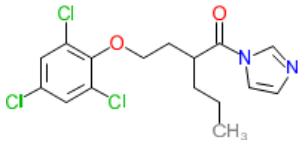
Phase wurde Wasser und Acetonitril oder Methanol mit je 0.1 v% Trifluoressigsäure verwendet. Die jeweilige Methode wurde durch eine 4-Punkt Kalibrierung validiert.

Folgende Berechnung lag der Ermittlung der Wirkstoffgehalt zugrunde.

1. Eingewogene Konzentration in μmol : Umrechnung in μg
 - $\mu\text{mol} \times \text{Molare Masse} / 5000$ ($1/200\mu\text{l}=5000$)
2. Regression aus Integral (Area) und errechneter Konzentration (μg) bilden
 - entspricht $y = x$ aus der Eichreihe
 - errechnete Area mit dem entsprechenden Faktor (Slope) multiplizieren
 - $\text{Area} \approx x \mu\text{g}$
3. Injektionsmengen und Umrechnungen berücksichtigen
 - Ansatz: 210 μl : 160 μl Wasser + 50 μl Extrakt
 - Einspritzmenge: 200 μl , Ansatz bei 210 μl
 - Ergebnis mit 1,05 multiplizieren ($210 \mu\text{l}/200 \mu\text{l}$)
 - Absoluten Gehalt berechnen für 10 ml Lösungsmittel/ Filter oder 10g Körner
 - 50 μl je Probe entnommen: $10 \text{ ml}/50\mu\text{l} = 200$
 - Ergebnis mit 200 multiplizieren

$\text{Area} \times \text{Slope} \times 1,05 \times 200 = \underline{\text{Ergebnis in } \mu\text{g}}$

Tab 19: Übersicht der zu detektierenden Wirkstoffe als chemische Strukturformel und Wirkstoffnamen aus den fungiziden Beizmittelpräparaten, sowie der dazugehörigen molaren Massen

Strukturformel Wirkstoff molare Masse	Strukturformel Wirkstoff molare Masse	Strukturformel Wirkstoff molare Masse
		
Triticonazol	Pyrimethanil	Prochloraz
317,82 g/mol	199,25 g/mol	376,67 g/mol

Die Ermittlung der Wirkstoff in wachsenden Getreidepflanzen erfolgte mittels LC-MS/MS-Analyse nach der Methode **EN15662**. Dieser Methode liegt ebenfalls eine Standard 4-Punkt Kalibrierung zugrunde.

3.3.6. Messung der Fließfähigkeit der Getreideproben

Die Messung der Fließfähigkeit von behandeltem Saatgut erfolgte mittels *Revolution Powder Analyser* (RPA) (Abb. 9).

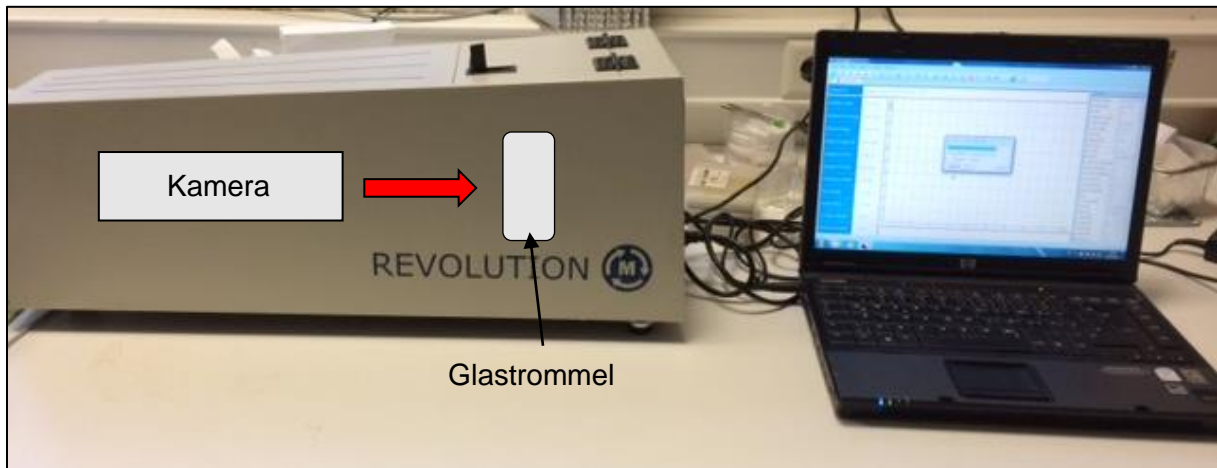


Abb. 9: *Revolution Powder Analyser* der Firma PS Prozesstechnik

Es handelt sich um ein optisches Messsystem zur Analyse des dynamischen Fließverhaltens. Für die Messung wird 100 ml Saatgut in eine, mit zwei Glasdeckeln versehene, Trommel gefüllt, welche in dem Gerät gedreht wird. Dabei bilden sich bei einem bestimmten Winkel Lawinen, so dass das Getreide in der Trommel hangabwärts rutscht. Die kontinuierliche Aufnahme von Bildern ermöglicht eine einheitliche Auswertung. Die Messung wurde in ihrem Ablauf standardisiert (Tab 17).

Tab 20: Einstellung des *Revolution Powder Analyser* zur Messung des dynamischen Fließverhaltens

Analyseparameter	Einstellung
Umdrehungsgeschwindigkeit	0,5 U/min
Bildaufnahmefrequenz	10 Bilder/ Sek.
Anzahl der Lawinen/ Durchgang	100 Lawinen

Das optische System erfasst dabei die „Avalanche energy“, bzw. Lawinenenergie, oder Energieaufwand je erzeugter Lawine.

$$= \text{Differenz der Energien vor und nach einer Lawine}$$

Der Energieaufwand ist die Menge an Energie, die durch das Auslösen einer Lawine erzeugt wird. Die Basis der Berechnung liegt in der Umrechnung von einer optischen in eine energetische Größe. Je geringer die gemessene Energie ist, desto besser und gleichmäßiger fließt ein Schüttgut. Die Einheit der erhobenen Daten erfolgt in kJ/kg.

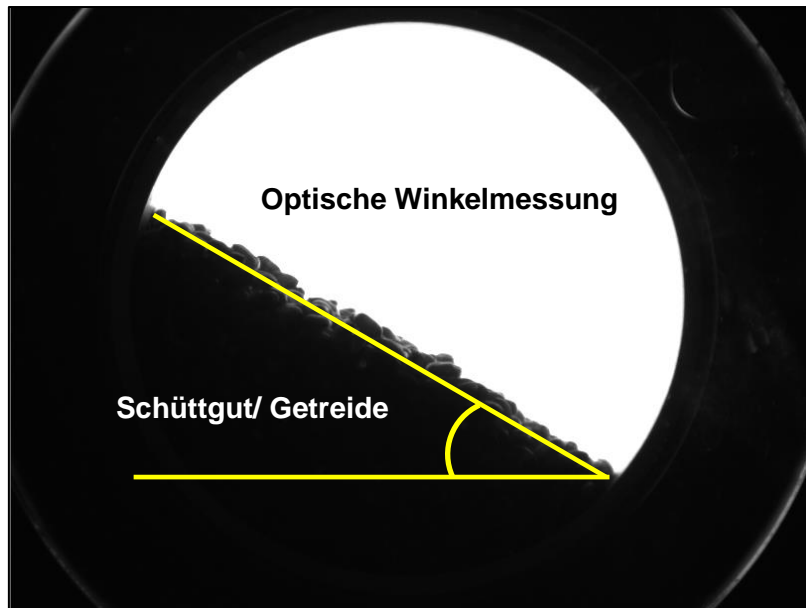


Abb. 10: Optische Erfassung des dynamischen Fließverhaltens durch den RPA

Pixelvolumen (cc)

$$= \text{Pixelfläche} \times \text{Länge der Glastrommel (cm)}$$

Potentielle Energie der Pixel (mJ)

$$= \text{Masse de Pixel (kg)} \times \text{Höhe (m)} \times \text{Schwerkraft (9,8m/s)} \times 1000$$

Energiedicht (Pa)

$$= \text{Potentielle Energie (mJ)} / \text{Pixelvolumen (cc)}$$

Pascal/kg

$$= \text{Energiedichte (Pa)} / \text{Masse der Pixel (kg)}$$

Spezifische Strömungs-/Flussenergie (kj/kg)

$$= \text{Potentielle Energie (mJ)} / \text{Masse der Pixel (kg)}$$

Es wurden jeweils drei Wiederholungen je Variante durchgeführt. Es handelt sich dabei ebenfalls um technische Wiederholungen, da die Probe in einem einheitlichen Beizprozess hergestellt wurde.

Darüber hinaus wurden neben der Lawinenenergie folgende weitere Parameter mit dem System erfasst:

Avalanche Time (sec.)	Dauer zwischen zwei Lawinen
Break energy	Integral der potentiellen Energie vor einer Lawine
Avalanche Angle	Winkel der Oberfläche vor einer Lawine
Rest Angle	Winkel der Oberfläche nach einer Lawine
Angle Delta	Winkeldifferenz vor/nach Lawine
Surface Linearity	lineare Regressionskoeffizient nach einer Lawine

Je kleiner die Werte für die Avalanche Time, Break energy, Avalanche Angle, Angle Delta und je höher der Wert der Surface Linearity, desto besser fließt ein gut.

3.3.7. Messung der Beizverteilung auf dem Einzelkorn

Die Messung der Flüssigkeitsverteilung auf dem Einzelkorn wurde mit der Software *OKS-SeedCheck* durchgeführt. Es handelt sich um eine eigens für den Versuch entwickelte Messmethodik, die den Farbton der Beize erkennt. Eine speziell entwickelte Schablone ermöglicht die Detektion auf Einzelkornebene (Abb. 11).

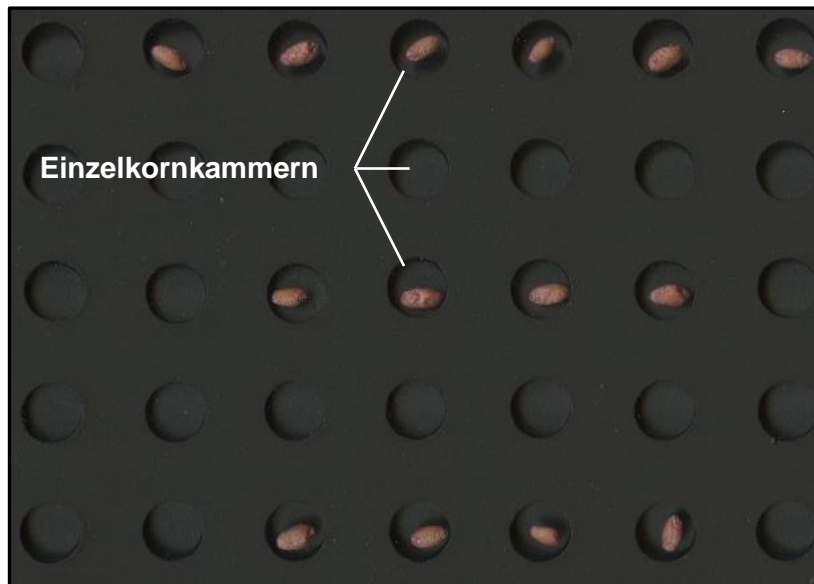


Abb. 11: Schablone zur Messung der Flüssigkeitsverteilung auf Einzelkornebene

Mit dieser Methode kann der Farbton unabhängig vom Grundton des Getreidekorns detektiert werden, so dass eine Messung für verschiedene Kulturen möglich ist. Eine vorherige Kalibrierung auf den zu erfassenden Rotton ist für jede Beize und Kultur notwendig. Ermittelt wurden die Parameter „prozentual gefärbte Fläche“, wie auch die „Homogenität“ und „Intensität“ der Färbung. Für die Analyse wurde nur die prozentual gefärbte Fläche als Messgröße verwendet. Es wurde jeweils die Kornseite ohne Furche analysiert um einen möglichen Restfehler zu minimieren.

3.4. Statistische Auswertung

Zur Auswertung der Daten wurde die Statistik Software R (2015) verwendet. Die Bewertung begann mit der Auswahl eines geeigneten linearen Modells. Die Daten waren normal verteilt und homoskedastisch. Ausnahme stellte dabei die Messung der Daten in Versuchsteil VI. Mit einer oberen und unteren Limitierung der zu messenden Variablen (prozentual gefärbte Fläche, 0% - 100%), handelt es sich dabei um approximativ normal verteilte Daten.

Durch die fehlende Kombination der Beize Zardex[®]G mit dem Additiv MaximalFlow[®] in den Versuchsteilen I, II und VI war keine Kreuzklassifizierung der Daten gegeben, so dass aus den Einflussgrößen „Beize“ und „Additiv“ ein Pseudofaktor „BA“ gebildet werden musste, der die jeweilige Kombination beider repräsentierte.

Als erstes wurde ein statistisches Modell, bestehend aus den Einflussgrößen „Kultur“, „BA“ und „Aufwandmenge“ verwendet, das unterschiedliche Regressionsgeraden der jeweiligen Kombination in einer Kultur generierte. Auf Grundlage dieser Daten wurde dann eine Kovarianzanalyse (ANCOVA) durchgeführt (Cochran, 1957). Dies ist notwendig, wenn die Aufwandmenge als quantitative Einflussgröße betrachtet wird. Mit dieser Betrachtung wurde in einem regressiven Ansatz untersucht, in wie weit eine Signifikanz der Regressionsgeraden in Bezug auf die jeweilige Messgröße gegeben ist (Versuchsteil I, II und VI).

Ein alternativer Ansatz war die Betrachtung der Einflussgröße „Aufwandmenge“ als einen qualitativen Faktor. Basierend auf diesem Modell konnte eine Varianzanalyse (ANOVA) der Daten durchgeführt werden. Für den statistischen Vergleich der Daten untereinander, im Hinblick auf den Einfluss unterschiedlicher Additive, wurde ein multipler Kontrasttest, mit einem Signifikanzlevel $p < 0,05$, für die jeweilige Kombination an Einflussfaktoren angefertigt (Bretz et al., 2010). Die Ergebnisse wurden als Mittelwert von 3 Wdh. (bzw. 120Wdh. in Teil VI) \pm Standardabweichung (SD) dargestellt.

4. Ergebnisse

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der einzelnen Teilversuche dargestellt. Zunächst erfolgt die Betrachtung der erhobenen Daten bezüglich des Staubabriebs. Diese sind in unterschiedliche Analyse Kriterien untergliedert. Nach der Analyse einer möglichen kulturspezifischen Regression des Staubabriebs über den Einflussfaktor Aufwandmenge, folgt eine vergleichende Betrachtung der Beizung mit verschiedenen Additiven. Auf Grundlage dieser Primärdatenerhebung wurden Filterresiduen, sowie die Aufnahme in wachsende Getreidepflanzen, beispielhaft in den Kulturen Weizen und Gerste, analytisch auf ihre Wirkstoffgehalte, exemplarisch für ein Saatgutbehandlungsmittel (Rubin®TT), aufgearbeitet.

Der Ansatz einer vergleichenden Betrachtung der Beizung mit verschiedenen Additiven wird im vierten Teil unter dem Aspekt der Analyse der Fließfähigkeit, als zusätzliche Messgröße, erneut betrachtet. Weiter werden anhand einer Korrelationsanalyse mögliche Interaktionen zwischen den Messgrößen Staubabrieb und Fließfähigkeit aufgezeigt.

Im fünften Versuchsteil werden danach die Ergebnisse der optischen Analyse der Kornoberflächen bezüglich ihres Bedeckungsgrades aufgeführt.

4.1. Teilversuch I: Messung des Abriebes anhand mehrerer Sorten/Kultur

In diesem Versuchsteil wurde untersucht, in wie weit eine lineare Abhängigkeit der Messgröße Staubabrieb zur Aufwandmenge besteht. Darüber hinaus wurde untersucht, ob bei dem Verlauf der Regressionsgeraden bei einer Beize innerhalb einer Kultur mit unterschiedlichen Sorten (Tab 12, Seite 24) ein ähnlicher Trend gefunden werden kann und es sich somit um einen möglichen kulturspezifischen Kurs handelt. Die absolute Höhe der Regressionsgeraden wurde dagegen nicht betrachtet.

Um den alleinigen Effekt einer Sorte dokumentieren zu können war es vorerst notwendig die Grundstaubbelastung von den Körnern zu entfernen. Anhand der exemplarischen Visualisierung ist eine deutliche optische Differenzierung zwischen den zeitpunkten vor und nach der Aufreinigung zu erkennen (Abb. 12).

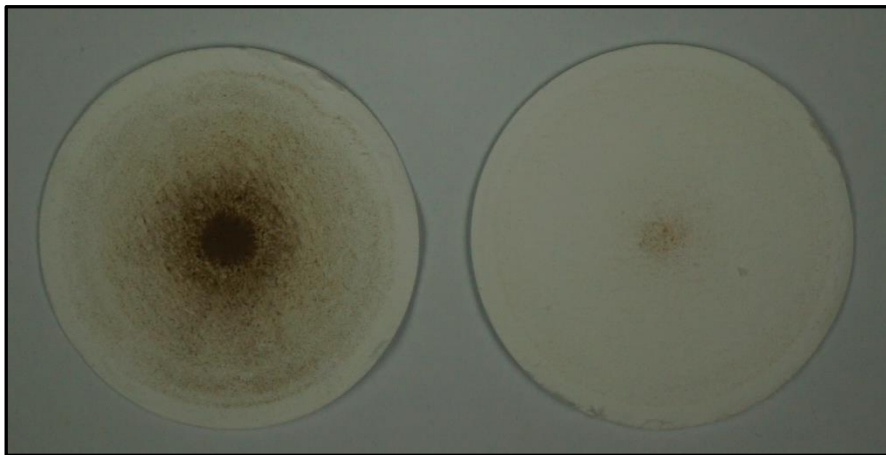


Abb. 12: Exemplarische Visualisierung der Grundstaubbelastung von 100g Saatgut als Staubmenge auf dem Filter vor (a) und nach (b) dem Aufreinigungs- und Rücktrocknungsprozess

Deutliche Unterschiede konnten diesbezüglich in allen Kulturen und Sorten auch gemessen werden. In der Weizenkultur lag die nicht pestizide Grundbelastung auf einem verhältnismäßig geringen Niveau (Tab 21). Der Mittelwert des gemessenen Staubabriebs der vier verwendeten Sorten lag bei 1,43 g/dt. Die Summe der quadratischen Abweichung war im Weizen zudem sehr gering, relativ zu den weiteren Kulturen.

Tab 21: Mittelwerte (i) der Staubabriebe (g/dt), sowie die Summe der quadrierten Abweichung für alle Sorten innerhalb der Kulturen Weizen, Gerste, Roggen, Hafer, Triticale in den Varianten Rohware (R) und Aufgereinigt (A)

	Weizen		Gerste		Roggen		Hafer		Triticale	
	R	A	R	A	R	A	R	A	R	A
i*	1,43	0,48	2,64	0,75	3,40	1,27	4,75	1,56	4,27	0,83
SQ*	0,24	0,11	5,16	0,17	55,36	3,37	25,68	5,38	19,94	1,47

*i: Mittelwert; SQ: Summe der quadrierten Abweichung R: Rohware; A: Aufgereinigt

Ergebnisse

Der höchste Mittelwert wurde in der Kultur Hafer ermittelt (4,75 g/dt). Eine deutliche Differenzierung ist dabei zwischen den verwendeten Sorten zu erkennen (Abb. 13). Auch in den weiteren Kulturen konnten deutliche Unterschiede bezüglich des Staubabriebs in der Rohware für die einzelnen Sorten detektiert werden.

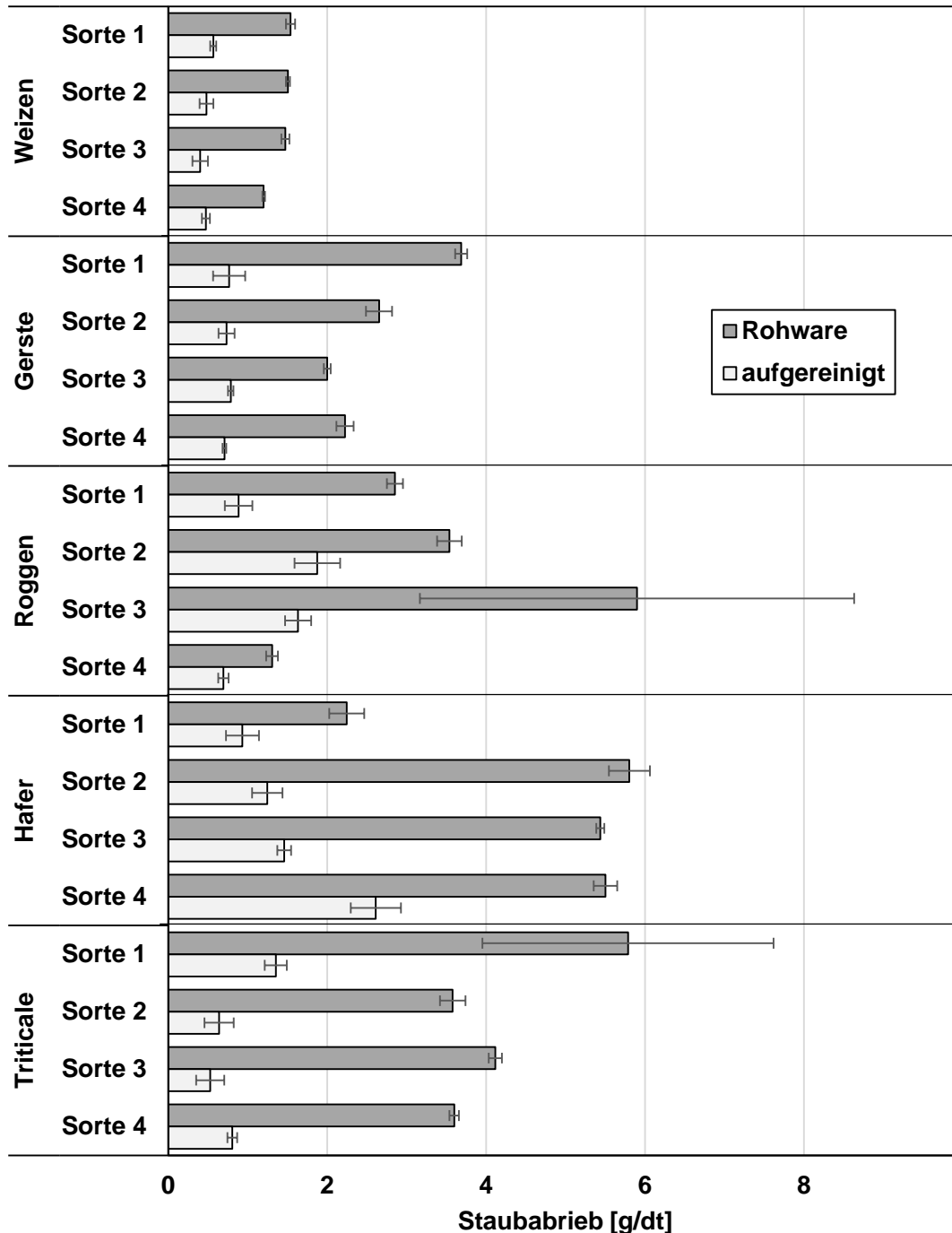


Abb. 13: Staubabriebe (g/dt) der verwendeten Getreidesaaten in den Kulturen Weizen, Gerste, Roggen, Hafer, Triticale, dargestellt für die Saatgutrohware je Sorte und die jeweils aufgereinigte Variante

Dies ist auch anhand der ermittelten Summe der quadrierten Abweichung zu erkennen. Diese war in der Kultur Roggen am deutlich höchsten aller untersuchten Getreidearten (55,36). Mit

der Aufreinigung konnte der durchschnittliche Staubabrieb aller Sorten innerhalb einer Kultur deutlich reduziert werden. Auch die Differenz der emittierten Staubmenge zwischen den Sorten war nach dem Waschen deutlich geringer. Eine Abnahme der Summe der quadrierten Abweichung konnte für jede Kultur berechnet werden.

4.1.1. Analyse der Regressionsgeraden

Für alle regressiven Ansätze wurde die Abhängigkeit der Messgröße in Bezug auf die quantitative Einflussgröße Aufwandmenge untersucht. Insofern ein Anstieg der Aufwandmenge auch einen Anstieg der Messgröße zur Folge hatte, wurde der Zusammenhang, bzw. die Regressionsgerade als mathematisch positiv betitelt. Bei einem Anstieg der Aufwandmenge und einem gleichzeitigen Sinken der Messgröße, wurde der Zusammenhang, bzw. die Regressionsgerade dagegen als mathematisch negativ betitelt. Diese Benennung ist nicht wertend.

Die in Tab 22 (Seite 43) aufgeführten Steigungen der Regressionsgeraden repräsentieren eine mögliche lineare statistisch relevante Abhängigkeit zur applizierten Menge innerhalb einer Beize-Sorte Interaktion. Sehr individuelle Beziehungen konnten für jegliche Kombination aus Sorte und Behandlungsmittel innerhalb einer Kultur ermittelt werden. Mit einer Steigerung der Aufwandmenge über sieben Stufen wurden in allen Kulturen Regressionsgeraden mit positiven und negativen Steigungen ermittelt.

In der Kultur Weizen wurden mit der Applikation der Beize EfA[®] einheitlich für alle vier Sorten steigende (positive) Regressionsgeraden über die sieben Aufwandmengen berechnet. Eine statistische Relevanz ergab sich jedoch nicht. Keine einheitlichen Trends konnten dagegen für die weiteren Beizmittel Rubin[®]TT, Landor[®]CT Formel M und Zardex[®]G ermittelt werden. Sowohl steigende als auch sinkende Regressionsgeraden wurden über die Aufwandmengen innerhalb der jeweils vier Sorten dokumentiert. Nennenswert ist weiter, dass im Weizen keine statistische Relevanz der Steigung detektiert werden konnte.

In der Kultur Gerste wurden mit Behandlung der Beizen Rubin[®]TT und Landor[®]CT Formel M einheitlich negative (sinkende) Regressionsgeraden über die Aufwandmengen berechnet. Bei einzelnen Interaktionen (Rubin[®]TT – Sorte 3; Landor[®]CT Formel M – Sorte 3/Sorte 4) konnten darüber hinaus eine statistische Relevanz der Steigung, bzw. des Einfluss der Aufwandmenge auf die Messgröße Staubabrieb ermittelt werden. Die Behandlung der einzelnen Sorten mit den weiteren Getreidebeizen EfA[®] und Zardex[®]G erzeugte keinen einheitlichen Verlaufstrend der Regressionsgeraden.

Mit Ausnahme der Sorten 3 und 4 in der Behandlung mit dem Mittel Zardex[®]G, wurden in der Kultur Roggen einheitlich negative Regressionsgeraden über die sieben Aufwandmengen generiert. Statistische Relevanzen der Steigungen zwischen Sorte und Behandlungsmittel traten nur vereinzelt auf. Auffällig ist dabei, dass diese in drei von vier Fällen als Resultat der

Interaktion mit der Sorte 2 auftraten. Den Getreidebeizen EfA[®], Landor[®]CT Formel M und Zardex[®]G konnte so ein signifikanter Einfluss auf die Messgröße Staubabrieb durch die applizierte Menge nachgewiesen werden.

In der Kultur Hafer wurden bei Applikation der Beize EfA[®] einheitlich steigende Regressionsgeraden detektiert, mit der Beize Landor[®]CT Formel M dagegen einheitlich sinkende. Mit der Behandlung des Mittels EfA[®] konnten als Interaktion mit der vierten Sorte ein höchst signifikanter Einfluss der Aufwandmenge nachgewiesen werden. Besonders auffällig ist die Interaktion der Beize Landor[®]CT Formel M mit allen vier Sorten des Hafers. Die negative Steigung konnte für nahezu alle Interaktion als höchst signifikant berechnet werden (Ausnahme: Interaktion Landor[®]CT Formel M – Sorte 4 $p \leq 0,001$). Keine einheitlich positive oder negative Steigung der Regressionsgeraden wurden durch die Behandlung mit den übrigen Beizen Rubin[®]TT und Zardex[®]G berechnet. Nennenswert ist dabei, dass jeweils die Interaktion der Beizen Rubin[®]TT und Zardex[®]G mit der zweiten Sorte des Hafers zu diesem Effekt führte.

Einheitlich positive Steigungen konnten für die berechneten Regressionsgeraden in der Kultur Triticale mit der Behandlung der Mittel EfA[®] und Rubin[®]TT ermittelt werden. Mit Ausnahme der ersten Sorte konnte darüber hinaus für die Beize EfA[®] eine statistische Relevanz der Aufwandmenge nachgewiesen werden. Weniger ausgeprägt war der Einfluss der Aufwandmenge dagegen, wenn das Mittel Rubin[®]TT appliziert wurde. Eine Signifikanz der Steigung wurde mit der Applikation von Rubin[®]TT nur einmalig, als Interaktion mit der Sorte 2 detektiert. Die Applikation von Landor[®]CT Formel M resultierte in Staubwerten, die abhängig von der Aufwandmenge, einheitlich negative Steigungen der Regressionsgeraden für alle vier Sorten der Triticale generierten. Ein hoch signifikanter Einfluss wurde für die Interaktion mit der Sorte 1, ein höchst signifikanter Einfluss für die Interaktion mit der Sorte 3 berechnet. Die Applikation der Beize Zardex[®]G resultierte in positiven und negativen Steigungen der Regressionsgeraden, die jedoch keine statistische Relevanz aufwiesen.

Über alle Kulturen ist hervorzuheben, dass die Applikation der Beize Zardex[®]G insgesamt in keiner Kultur über jeweils vier getestete Sorten zu einheitlichen Steigungen der Regressionsgeraden führte.

Ergebnisse

Tab 22: Steigungen der Regressionsgeraden, sowie die jeweilige Signifikanz für den Zusammenhang des Staubabriebs und des Einflussfaktors Beize der Beizen EfA®, Rubin®TT, Landor®CT Formel M und Zardex®G in jeweils vier Sorten je Kultur als Funktion der Beizaufwandmenge (100, 125, 150, 175, 200, 250, 300 ml/dt)

Kultur		Weizen	Gerste	Roggen	Hafer	Triticale
Beize	Sorte					
EfA®	Sorte 1	0,001787	0,000536	-0,001126	0,000750	0,000458
		-	-	-	-	-
EfA®	Sorte 2	0,000441	-0,000542	-0,002184	0,001190	0,003073
		-	-	*	-	**
EfA®	Sorte 3	0,000827	-0,001396	-0,001785	0,001967	0,001863
		-	-	-	*	*
EfA®	Sorte 4	0,000262	-0,000163	-0,000724	0,003756	0,002286
		-	-	-	***	*
Rubin®TT	Sorte 1	0,000144	-0,000533	-0,000571	-0,004287	0,001192
		-	-	-	***	-
Rubin®TT	Sorte 2	-0,000137	-0,000940	-0,000988	0,000793	0,002215
		-	-	-	-	*
Rubin®TT	Sorte 3	0,001189	-0,001998	-0,000726	-0,001494	0,001760
		-	*	-	-	-
Rubin®TT	Sorte 4	0,001039	-0,001693	-0,000843	-0,002582	0,0001642
		-	-	-	**	-
Landor®CT Formel M	Sorte 1	-0,000688	-0,001309	-0,002230	-0,01309	-0,002744
		-	-	*	***	**
Landor®CT Formel M	Sorte 2	-0,001136	-0,001376	-0,002184	-0,003257	-0,001271
		-	-	*	***	-
Landor®CT Formel M	Sorte 3	0,000044	-0,002244	-0,001785	-0,004108	-0,004303
		-	*	-	***	***
Landor®CT Formel M	Sorte 4	-0,000727	-0,002701	-0,000733	-0,003066	-0,001245
		-	**	-	**	-
Zardex®G	Sorte 1	0,001121	-0,000031	-0,000273	0,002315	-0,000992
		-	-	-	*	-
Zardex®G	Sorte 2	0,000519	-0,000230	-0,002110	-0,005916	-0,000366
		-	*	*	***	-
Zardex®G	Sorte 3	-0,000296	0,000304	0,000431	0,000711	-0,000316
		-	-	-	-	-
Zardex®G	Sorte 4	-0,000290	0,000338	0,000561	0,000393	0,000339
		-	-	-	-	-

Signifikanzstufen: ≤ 0,001 ***; ≤ 0,01 **, ≤ 0,05 *

4.2. Teilversuch II: Messung des Abriebes innerhalb einer Sorte/Kultur mit unterschiedlichen Beizlösungen

Mit dem Ansatz der Kovarianzanalyse (ANCOVA, Tab 23) konnten signifikante Einflüsse aller Einflussfaktoren, sowie jeglicher Kombination nachgewiesen werden. Dabei konnten alle Einflüsse als höchst signifikant eingestuft werden.

Tab 23: Kovarianzanalyse (ANCOVA) der einzelnen Einflussgrößen, sowie aller Kombinationen auf die Messgröße Staubabrieb

	Df	sum sq	mean sq	F value	Pr(>F)	
Aufwandmenge	1	0,280	0,2802	28,078	1,349e-07	***
Kultur	4	31,445	7,8612	787,851	<2,2e-16	***
Beizmittel-Additiv (BA)	14	191,971	13,7122	1374,233	<2,2e-16	***
Kultur : BA	56	50,465	0,9012	90,314	<2,2e-16	***
Aufwandmenge: Kultur : BA	74	10,042	0,1357	13,600	<2,2e-16	***
Residuen	1425	14,219	0,0100			

Signifikanzstufen: ≤ 0,001 ***; ≤ 0,01 **, ≤ 0,05 *

Auch die qualitative Betrachtung der einzelnen Stufen aller Aufwandmengen, sowie der zusätzlichen Wechselwirkungen führte in der Varianzanalyse (ANOVA, Tab 24) zu höchst signifikanten Einflüssen auf die Messgröße „Staubabrieb“. Dabei konnte dies ebenfalls für alle Einzelfaktoren, sowie alle Kombinationen von Einflussfaktoren nachgewiesen werden.

Tab 24: Varianzanalyse (ANOVA) der einzelnen Einflussgrößen, sowie aller Kombinationen auf die Messgröße Staubabrieb

	Df	sum sq	mean sq	F value	Pr(>F)	
Kultur	4	31,445	7,8612	1209,3634	<2,2e-16	***
Beizmittel : Additiv (BA)	14	191,971	13,7122	1374,233	<2,2e-16	***
Aufwandmenge	6	0,390	0,0651	10,0087	9,038e-11	***
Kultur : BA	56	50,465	0,9012	138,6331	<2,2e-16	***
Kultur : Aufwandmenge	24	3,115	0,1298	19,9649	<2,2e-16	***
BA : Aufwandmenge	84	4,250	0,0506	7,7843	<2,2e-16	***
Kultur : BA : Aufwandmenge	336	9,960	0,0296	4,5602	<2,2e-16	***
Residuen	1050	6,825	0,0065			

Signifikanzstufen: ≤ 0,001 ***; ≤ 0,01 **, ≤ 0,05 *

4.2.1. Analyse der Regressionsgeraden

Die, durch die unterschiedlichen Beizrezepturen, hervorgehenden Regressionsgeraden (Abb. 14, Seite 47) wurden in allen Kulturen berechnet (Tab 25, Seite 46). Es wurde untersucht, ob eine signifikant lineare Abhängigkeit der Staubmenge zur Aufwandmenge vorliegt. Das Maß für eine aussagekräftige Bewertung wurde dabei mittels statistischer Auswertung der Steigung berechnet. Dies wurde innerhalb jeder einzelnen Gruppe des zuvor gebildeten Pseudofaktors, bestehend aus Beize und Additiv, für alle Kulturen berechnet. Der Intercept (das sog. Absolutglied/ Regressionskonstante) ist in diesem Fall ein theoretischer Erwartungswert, welcher als Grundbelastung für alle Varianten gleich wäre (Vergleich innerhalb einer Sorte/Kultur). Da die Berechnung keinen einheitlichen Wert hervorbringen würde und lediglich ein definierter Abschnitt an Aufwandmengen für die Analyse bedeutsam ist, wurde der Fokus auf den Slope (\approx Steigung) gelegt.

Für jede Beize-Additiv Kombination konnte innerhalb jeder Kultur eine sehr individuelle Regressionsgerade über die sieben applizierten Aufwandmengen gebildet werden. Diese differenzierten sehr in der Höhe und dem Verlauf. Zusätzlich gab es deutliche Unterschiede bezüglich der signifikanten Differenzierung der Steigung gegenüber Null.

Insgesamt konnte für die Präparate EfA[®] und Landor[®]CT Formel M in allen Kulturen ein signifikanter Einfluss der applizierten Menge auf die Messgröße Staubabrieb nachgewiesen werden.

Im Weizen konnten mit dem Einsatz der Beize EfA[®] signifikante Steigungen der Regressionsgeraden für alle Beize-Additiv Interaktionen berechnet werden. Eine Differenzierung konnte bezüglich der Signifikanzstufen ermittelt werden. So lag die Steigung der solo applizierten Variante, sowie der Variante in Kombination mit Inteco[®] im höchst signifikanten Bereich, die der Kombination mit MaximalFlow[®] im hoch signifikanten und die Kombination mit Kantor[®] im signifikanten Bereich. Der positive Verlauf indiziert eine dabei einheitlich steigende Staubabriebmenge bei ansteigender Aufwandmenge. Die weiteren Solo applizierten Präparate führten immer zu steigenden Regressionsgeraden. Die Verläufe waren dabei signifikant (Landor[®]CT Formel M) bis höchst signifikant (Rubin[®]TT und Zardex[®]G). Mit Ausnahme der Beize Landor[®]CT Formel M, verliefen diese auf einem deutlich höheren Niveau, als die vergleichbaren Varianten mit Additivzusatz. Homogen positive oder negative Steigungen innerhalb einer Beizgruppierung, unabhängig vom additiven Mischungspartner, konnte jedoch für keine der Beizmittel detektiert werden. Sowohl steigende als auch sinkende Beziehungen konnten zwischen der Messgröße Staubabrieb und dem quantitativen Einflussfaktor Aufwandmenge hergestellt werden. Auffällig ist dabei, dass jeweils die Kombination mit dem Additiv Kantor[®] zu einer gegenläufigen (hier negativen) Steigung führte. Weiter ist auffällig, dass für alle verwendeten Präparate die Kombination mit einem Additiv,

Ergebnisse

relativ zur solo applizierten Kontrolle, in einer geringeren Steigung und damit einem weniger starken Einfluss der Aufwandmenge resultierte.

Tab 25: Steigungen der Regressionsgeraden, sowie die jeweilige Signifikanz für den Zusammenhang des Staubabriebs und des Pseudofaktors BA (Beize:Additiv) der Beizen EfA[®], Rubin[®]TT, Landor[®]CT Formel M und Zardex[®]G in jeweils vier Varianten (Solo, mit Kantor[®], mit MaximalFlow[®] und mit Inteco[®]) als Funktion der Beizaufwandmenge (100, 125, 150, 175, 200, 250, 300 ml/dt)

Kultur		Weizen	Gerste	Roggen	Hafer	Triticale
Beize	Additiv					
EfA [®]	-	0,001563	-0,000925	-0,003968	-0,000919	0,001702
		***	**	***	**	***
EfA [®]	Kantor [®]	0,000758	-0,000257	-0,000186	-0,002068	-0,000267
		*	-	-	***	-
EfA [®]	MaximalFlow [®]	0,001003	-0,000145	0,000409	0,000177	0,000594
		**	-	-	-	-
EfA [®]	Inteco [®]	0,001188	-0,000834	-0,000411	-0,000300	0,000218
		***	*	-	-	-
Rubin [®] TT	-	0,001866	-0,000337	-0,000115	-0,000375	0,000774
		***	-	-	-	*
Rubin [®] TT	Kantor [®]	-0,000584	-0,001002	0,000195	-0,000316	-0,001235
		-	**	-	-	***
Rubin [®] TT	MaximalFlow [®]	0,001582	-0,000814	0,000821	0,001047	0,002162
		***	*	*	**	***
Rubin [®] TT	Inteco [®]	0,000140	-0,000510	-0,001746	-0,001238	0,001146
		-	-	***	***	***
Landor [®] CT Formel M	-	0,000716	-0,002654	-0,003461	-0,003145	-0,000742
		*	***	***	***	*
Landor [®] CT Formel M	Kantor [®]	-0,000442	0,000449	-0,001020	-0,001946	-0,001036
		-	-	**	***	**
Landor [®] CT Formel M	MaximalFlow [®]	0,000096	0,000143	-0,001857	-0,002262	0,000445
		-	-	***	***	-
Landor [®] CT Formel M	Inteco [®]	0,000317	-0,000338	-0,000396	-0,001579	0,001432
		-	-	-	***	***
Zardex [®] G	-	0,001681	-0,001479	0,000707	0,000500	0,000267
		***	***	*	-	-
Zardex [®] G	Kantor [®]	-0,000696	-0,000077	0,000200	0,000871	0,001279
		*	-	-	**	***
Zardex [®] G	Inteco [®]	0,000157	0,000128	-0,000327	-0,000893	0,000846
		-	-	-	**	*

Signifikanzstufen: $\leq 0,001$ ***; $\leq 0,01$ **, $\leq 0,05$ *

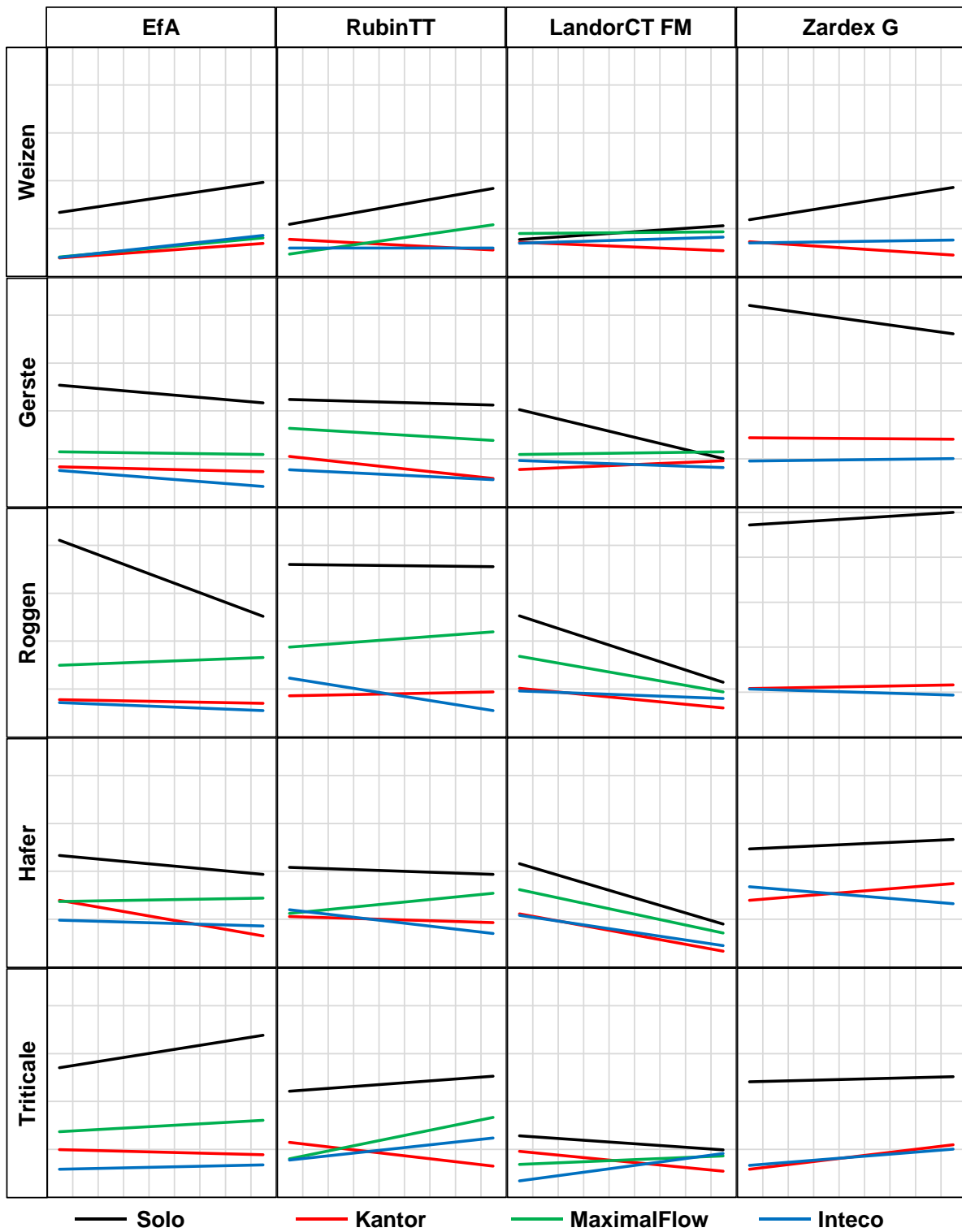


Abb. 14: Regressionsgeraden des Staubabriebs der einzelnen Beize Additiv Kombinationen der Beizen EfA®, Rubin®TT, Landor®CT Formel M und Zardex®G in jeweils vier Varianten (Solo, mit Kantor®, mit MaximalFlow® und mit Inteco®)

In der Gerste wurden einheitlich negative Beziehungen zwischen dem Staubabrieb und der Aufwandmenge für alle Beize-Additiv Kombination der Beizen EfA[®] und Rubin[®]TT nachgewiesen. Eine statistische Relevanz der Aufwandmenge wurde für die Solo applizierte Variante, sowie für die Kombination mit dem Additiv MaximalFlow[®] der Beize EfA[®] berechnet, bei der Behandlung mit Rubin[®]TT dagegen in den Kombination mit den Zusätzen Kantor[®] und MaximalFlow[®]. Mit einer Erhöhung der applizierten Menge sank der Staubabrieb dabei deutlich stärker als in der solo-gebeizten Variante. Die übrigen eingesetzten Beizen resultierten nicht, unabhängig von der eingesetzten Mischungskomponente, in einheitlichen Steigungen der Regressionsgeraden. Auffällig ist dabei, dass jeweils in der Solo applizierten Variante eine höchst signifikante negative Beziehung zwischen Aufwandmenge und Staubabrieb berechnet werden konnte. Während die Regressionsgerade der Beize Zardex[®]G über alle Aufwandmengen auf einem deutlich höheren Niveau gegenüber den vergleichbaren Beize-Additiv Kombinationen lag, konnte die stark negative Steigung der Beize Landor[®]CT Formel M bei hohen Aufwandmengen das nahezu gleichbleibende Niveau der Varianten mit Additivzusätzen erreichen.

In der Kultur Roggen lag das Niveau der Regressionsgeraden aller solo-behandelter Varianten deutlich oberhalb der vergleichbaren Kombinationen mit Additiven. Im Unterschied zu den drei Präparaten EfA[®], Rubin[®]TT und Landor[®]CT Formel M, führte ausschließlich die Applikation der Beize Zardex[®]G zu einer positiven Beziehung zwischen der Aufwandmenge und dem Staubabrieb, die auch statistisch erfassbar war ($p \leq 0,05$). Die stark negativen Steigungen der Regressionsgeraden für die Beizen EfA[®] und Landor[®]CT Formel M konnten darüber hinaus als höchst signifikant deklariert werden. Es handelt sich um die größten Einflüsse der Aufwandmenge auf die Zielgröße aller Varianten und Kulturen. Mit der Beize Landor[®]CT Formel M konnte in allen Beize-Additiv Kombinationen eine negative Steigung ermittelt werden. Diese war für die Varianten mit einem Zusatzprodukt weniger stark ausgeprägt, als in der solo applizierten Kontrolle. Mit Ausnahme der Inteco[®] zugesetzten Mischung konnten alle Einflüsse auf den Staubabrieb als hoch (mit Kantor[®]), bzw. höchst signifikant (Solo, mit MaximalFlow[®]) deklariert werden.

Aus den Messpunkten der solo applizierten Produkte EfA[®], Rubin[®]TT und Landor[®]CT Formel M konnten im Hafer Regressionsgeraden mit einer negativen Steigung gebildet werden. Für die Behandlungsmittel EfA[®] und Landor[®]CT Formel M konnte darüber hinaus ein hoher, bzw. höchst signifikanter Einfluss der Aufwandmenge errechnet werden. Dies konnte ebenfalls einheitlich für alle Mischungen mit Landor[®]CT Formel M nachgewiesen werden. In allen Kombinationen konnte ein höchst signifikanter Einfluss der Aufwandmenge auf die Zielgröße berechnet werden. Die absolut größte Steigung wurde dabei in der solo applizierten Variante detektiert. Bei den weiteren Universalbeizen EfA[®] und Rubin[®]TT konnten nur signifikante Einflüsse für einzelne Beize-Additiv Kombinationen ermittelt werden. Auffällig ist,

dass jeweils die Kombination mit dem Zusatz MaximalFlow® als einzige Variante zu einem positiven Zusammenhang zwischen Aufwandmenge und Messgröße führte. Allerdings lag das Niveau für den Bereich der betrachteten Applikationsmengen noch unterhalb des Niveaus der solo applizierten Variante. Bei der Verwendung der Beize Zardex®G konnte eine positive Steigung der Regressionsgeraden, jedoch kein signifikanter Effekt verschiedener Aufwandmengen detektiert werden. Differenzierter konnte dies in den Varianten mit Zusatzprodukt ermittelt werden. Eine ebenfalls positive Steigung und ein höchst signifikanter Einfluss der Aufwandmenge konnte für die Kombination des Präparates mit Kantor® berechnet werden. Dagegen ergab sich für die Variante mit dem Inteco® Zusatz eine negative Steigung. Eine Signifikanz konnte dabei nachgewiesen werden, so dass mit steigender Aufwandmenge weniger Staubabrieb gemessen wurde.

In der Triticale konnte mit Einsatz der Beize EfA® ein höchst signifikanter Einfluss der Aufwandmenge nachgewiesen werden. Die Interaktion mit den einzelnen Additiven resultierte in nicht statistisch erfassbaren Steigungen. Dabei konnte, im Gegensatz zu den übrigen Kombinationen, mit dem Produkt Kantor® eine negative Beziehung ermittelt werden. Bei der Behandlung mit der Beize Rubin®TT konnte für alle Additiv ergänzte Varianten ein höchst signifikanter Einfluss der Aufwandmenge berechnet werden. Die alleinige Mittelzugabe resultierte in einer signifikanten Steigung. Erneut führte die Zugabe des Additivs Kantor® zu einer negativen Beziehung. Abhängig von der Beizlösung konnten unterschiedliche statistisch relevante Steigungen, basierend auf dem Präparat Landor®CT Formel M berechnet werden. Die Kombination mit dem Zusatz MaximalFlow® generierte eine statistisch nicht erfassbare Steigung, die alleinige Mittelzugabe eine signifikante, die Kombination mit dem Produkt Kantor® eine hoch signifikante und die Addition des Mittels Inteco® eine höchst signifikante. Negative Regressionsgeraden ergaben sich bei der solo Applikation und in Kombination mit Kantor®, positive für die übrigen. Der Einsatz des Produktes Zardex®G führte in Kombination mit dem Zusatz Kantor® zu einer höchst signifikanten positiven Beziehung, die Kombination mit Inteco® zu einer signifikant positiven, wogegen die alleinige Mittelzugabe positiv, jedoch nicht statistisch erfassbar war.

4.2.2. Vergleich der unterschiedlichen Beize-Additiv Kombinationen in Bezug auf die Messgröße Staubabrieb

Zur Ermittlung statistisch erfassbarer Unterschiede zwischen den Varianten mit einem Additivzusatz und der jeweiligen Solo applizierten Variation, sowie möglicher Differenzen zwischen den Beiz-Additiv Kombinationen in der jeweiligen Kultur, bei derselben Aufwandmenge, wurde ein multipler Kontrasttest durchgeführt. Für den Nachweis möglicher nennenswerter Differenzen wurde, anders als in der vorher gebildeten Regressionsgeraden,

jeder Faktor der Aufwandmenge als qualitative Stufe betrachtet. Mögliche statistisch relevante Differenzen wurden in der Folge mit unterschiedlichen Buchstaben gekennzeichnet.

4.2.2.1. Messung des Abriebs in der Weizenkultur

In der Weizenkultur konnte für alle Beize-Additiv Kombinationen bei jeder applizierten Menge eine Staubentwicklung gemessen werden, welche in der absoluten Höhe, abhängig von der Zusammensetzung der Beizlösung variierte.

Der in Abb. 15 Teil a dargestellte Staubabrieb (g/dt), basierend auf dem Einsatz der Beize EfA®, differenzierte abhängig vom Einsatz möglicher Additive. Signifikante Unterschiede zwischen Additiv-versetzten Variante und der solo-applizierte Variante konnten für alle Aufwandmengen berechnet werden. Statistisch erfassbar Unterschiede zwischen den Additiven wurden dagegen nicht detektiert.

Die Differenzierung zwischen solo applizierten und Additiv-zugesetzten Varianten war mit dem Einsatz der Beize Rubin®TT weniger deutlich ausgeprägt (Abb. 15, Seite Teil b). Die für die Solo-Variante am höchsten erzeugten Abriebmengen waren nicht bei allen Aufwandmengen signifikant höher als die der unterschiedlichen Additivzusätze. Bei der geringsten Aufwandmenge von 100 ml/dt unterschieden sich alle Varianten nicht signifikant. Auch bei der zweitgeringsten Aufwandmenge 125 ml/dt konnte in Kombination mit dem Additiv MaximalFlow® keine statistisch nennenswerte Unterscheidung zur solo gebeizten Kontrolle berechnet werden. Ebenfalls wurde dies bei der Aufwandmenge 250 ml/dt detektiert. Eine nicht signifikante Unterscheidung zwischen solo behandelter und Additiv-versetzter Variante konnte weiter mit dem Zusatz Kantor® bei 150 ml/dt ermittelt werden. Insgesamt traten nicht

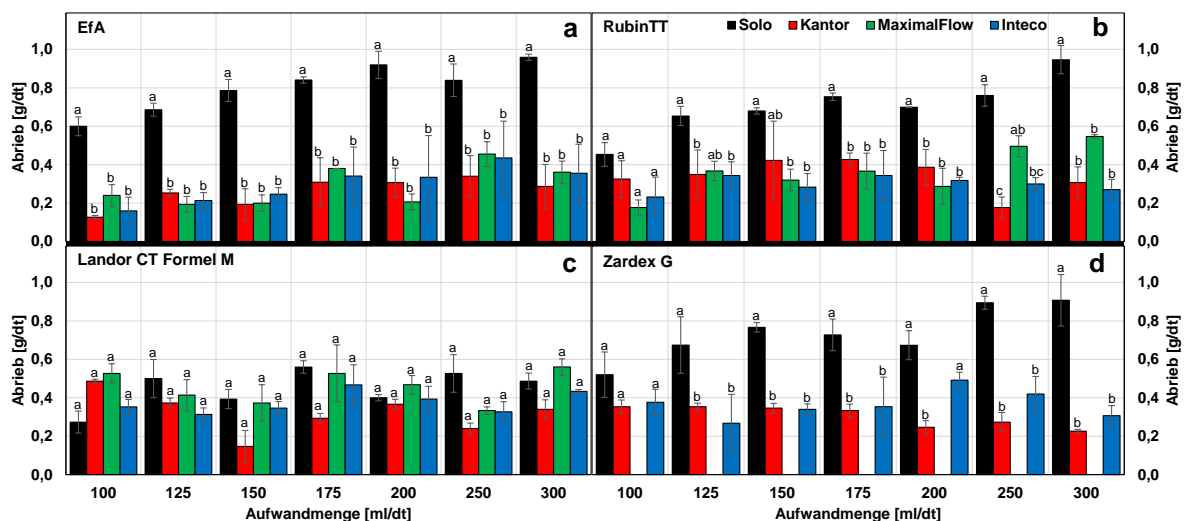


Abb. 15: Staubabrieb in g/dt (\pm SD) der Beizen EfA® (a), Rubin®TT (b), Landor®CT Formel M (c) und Zardex®G (d) in jeweils vier Varianten (Solo, mit Kantor®, mit MaximalFlow® und mit Inteco®) für alle Beizeaufwandmengen (100, 125, 150, 175, 200, 250, 300 ml/dt), als Referenz der Varianten in jeder Aufwandmenge in der Weizenkultur

signifikante Unterscheidungen zwischen Varianten mit und ohne Additiv bei der Beize Rubin®TT in der Anwendung im Weizen nur vereinzelt auf. Eine signifikante Differenzierung zwischen den eingesetzten Additiven konnte einmalig bei der Aufwandmenge 250 ml/dt dokumentiert werden. Dabei konnte in der Variante mit Kantor® der geringste Abrieb gemessen werden.

Der durch die Beize Landor®CT Formel M hervorgerufene Staubabrieb (Abb. 15 Teil c, Seite 50) unterschied sich in allen Aufwandmengen zwischen den einzelnen Beize-Additiv Kombinationen nicht statistisch erfassbar. Hervorzuheben ist dabei, dass bei einigen Aufwandmengen (100 ml/dt, 300 ml/dt) in einigen Varianten mit Additivzusatz höhere Abriebe als in der Solo-Variante gemessen wurden. Eine statistische Signifikanz konnte nicht festgestellt werden.

Mit dem Einsatz der Beize Zardex®G (Abb. 15 Teil d, Seite 50) wurden bei allen Aufwandmengen die höchsten Staubabriebe in der solo applizierten Variante gemessen. Die geringsten wurden dabei bei der kleinsten Aufwandmenge (100 ml/dt) ermittelt, die sich gegenüber den Varianten mit Additivzusatz nicht signifikant unterschied. Dies trat auch einmalig bei der Aufwandmenge 200 ml/dt zwischen den Varianten Solo und Inteco® Zusatz auf. In allen übrigen Vergleichen konnten signifikante Unterschiede zwischen den Varianten mit und ohne Additiv berechnet werden. Statistisch relevante Unterschiede zwischen den Additiven wurden nicht ermittelt.

4.2.2.2. Messung des Abriebs in der Gerstenkultur

Unterschiedliche Höhen der Staubeentwicklung konnten in der Gerstenkultur, abhängig von dem eingesetzten Präparat, sowie dem zugesetzten Additiv gemessen werden.

Bei der Verwendung der Beize EfA® (Abb. 16 Teil a, Seite 52) konnte bei jeder Aufwandmenge eine signifikante Unterscheidung zwischen Varianten mit und ohne Additiv berechnet werden. Eine Differenzierung zwischen den eingesetzten Additiven konnte nur vereinzelt dokumentiert werden. Die Staubwerte der Variante mit dem Zusatz Inteco® lagen dabei bei den Aufwandmengen 150 ml/dt, sowie 300 ml/dt signifikant niedriger als die, die mit dem Zusatz MaximalFlow® gemessen wurden. Die Emissionswerte für die Variante mit dem Zusatz Kantor® unterschieden sich von beiden nicht signifikant.

Mit dem Einsatz des Behandlungsmittels Rubin®TT wurden über alle Aufwandmengen die höchsten Abriebe in der solo applizierten Kontrolle gemessen (Abb. 16, Teil b, Seite 52). Eine signifikante Unterscheidung zu allen Kombinationen mit Additiven konnte einheitlich über alle Vergleiche ermittelt werden. Diverse Differenzierungen zwischen den eingesetzten Additiven konnten darüber hinaus nachgewiesen werden. Nur in den Aufwandmengen 100 ml/dt und 250 ml/dt lag die Differenzierung im nicht statistisch erfassbaren Bereich. Bei den Aufwandmengen 150 ml/dt, 175 ml/dt und 200 ml/dt unterschieden sich die Varianten mit den Zusätzen Kantor® und Inteco® signifikant von der Kombination mit MaximalFlow®. Weitere

Differenzierungen konnten für die Aufwandmengen 125 ml/dt und 300 ml/dt berechnet werden, jedoch konnte eine statistische Relevanz nur zwischen den Zugaben von MaximalFlow® und Inteco® ermittelt werden.

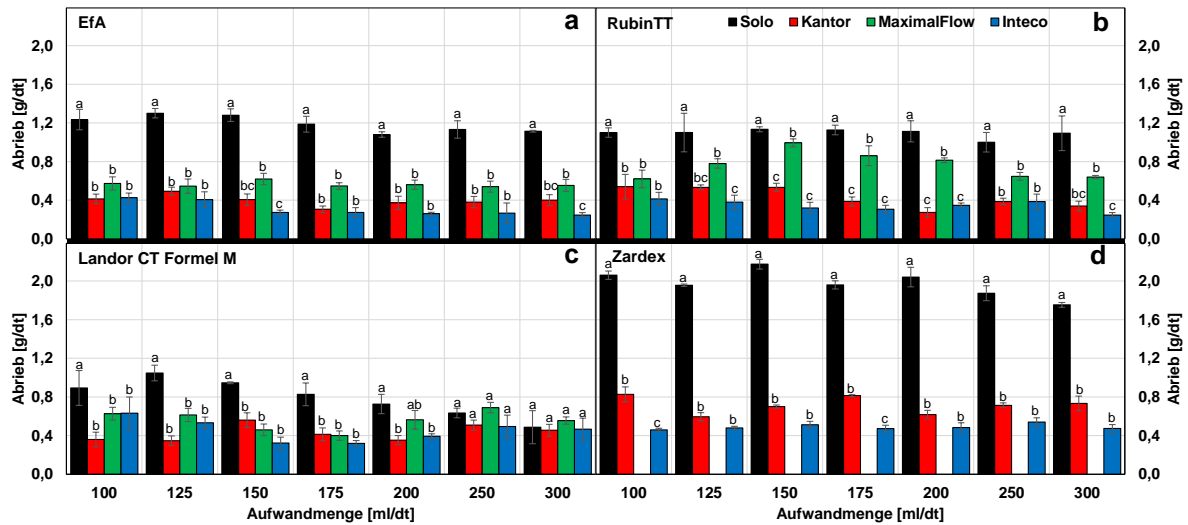


Abb. 16: Staubabrieb in g/dt (±SD) der Beizen EFA® (a), Rubin®TT (b), Landor®CT Formel M (c) und Zardex®G (d) in jeweils vier Varianten (Solo, mit Kantor®, mit MaximalFlow® und mit Inteco®) für alle Beizaufwandmengen (100, 125, 150, 175, 200, 250, 300 ml/dt), als Referenz der Varianten in jeder Aufwandmenge in der Gerstenkultur

Anders als in der Weizenkultur, konnten mit der Verwendung der Beize Landor®CT Formel M, abhängig vom der Beize-Additiv Kombination, signifikant unterschiedliche Staubwerte gemessen werden (Abb. 16 Teil c). Diese wurden jedoch nicht einheitlich über alle Aufwandmengen detektiert. Bei den applizierten Mengen 100 ml/dt bis 175 ml/dt konnten signifikante Unterschiede zwischen den Staubwerten, die mit und ohne Additiv erzeugt wurden, berechnet werden. Die abgeriebenen Mengen des solo angebeizten Produktes lagen dabei am höchsten. Dies wurde ebenfalls bei der Aufwandmenge 200 ml/dt detektiert. Eine statistisch relevante Unterscheidung wurde dagegen nur noch gegenüber den Varianten mit Kantor® und Inteco® als Zusatz ermittelt. Für die beiden höchsten Aufwandmengen (250 ml/dt und 300 ml/dt) konnte keine Signifikanz zwischen den unterschiedlichen Beizrezepturen in Bezug auf den Staubabrieb nachgewiesen werden.

Die höchsten Abriebwerte aller eingesetzten Präparate wurde in der Gerstenkultur mit der Verwendung der Beize Zardex®G als alleiniges Produkt gemessen (Abb. 16 Teil d). Eine Signifikanz konnte einheitlich gegenüber beiden eingesetzten Additiven berechnet werden. Dabei unterschieden sich die Staubwerte der eingesetzten Additive zusätzlich vereinzelt (100 ml/dt, 175 ml/dt).

4.2.2.3. Messung des Abriebs in der Roggenkultur

Verschiedene Abriebmengen konnten im Roggen, resultierend aus dem Einsatz verschiedener Beizrezepturen und Präparate, mit unterschiedlicher statistischer Aussagekraft gemessen werden.

Die Staubabriebe, die nach dem Einsatz der Beizen EfA[®] und Rubin[®]TT gemessen wurden, lagen für die alleinige Applikation der Produkte signifikant höher, als der vergleichbaren Kombinationen mit einem Zusatzprodukt (Abb. 17 Teil a und b, Seite 54). Dies konnte über alle Aufwandmengen detektiert werden. Eine Unterscheidung der, durch die Verwendung der unterschiedlichen Additive, erzeugten Abriebmengen konnte nahezu einheitlich für beide genutzten Beizen gefunden werden. Die Staubmengen, die mit dem Zusatz MaximalFlow[®] gemessen wurden, lagen signifikant höher als die vergleichbaren Referenzzusatzprodukte. Lediglich vereinzelt (EfA[®] mit Kantor[®] 150 ml/dt; Rubin[®]TT mit Inteco[®] 125 ml/dt und 150 ml/dt) konnte keine statistisch relevante Unterscheidung zwischen den Additiven ermittelt werden. Eine vollständig signifikante Unterscheidung zwischen dem alleinigen Einsatz der Beize und dem Zusatz eines Additivs, konnte mit dem Produkt Landor[®]CT Formel M bei den unteren vier Aufwandmengen (100 ml/dt bis 175 ml/dt) errechnet werden (Abb. 17 Teil c, Seite 54). Die Staubwerte der alleinigen Applikation lagen dabei am höchsten. Eine statistisch relevante Differenzierung zwischen den verwendeten Additiven konnte zudem bei den Aufwandmengen 100 ml/dt bis 150 ml/dt nachgewiesen werden. Keine nennenswerte Unterscheidung der Additiv-basierten Staubentwicklung wurde bei der Aufwandmenge 175 ml/dt ermittelt. Mit zunehmender Aufwandmenge nahm die Differenzierung zwischen den Varianten mit und ohne Additiv ab. Signifikante Unterschiede wurden für die Varianten mit Kantor[®] und Inteco[®], relativ zur alleinigen Applikation, bei den Aufwandmengen 200 ml/dt und 250 ml/dt nachgewiesen. Eine statistisch relevante Differenz wurde zudem zwischen beiden Additiven bei 250 ml/dt berechnet. Zwischen der alleinigen Applikation des Mittels Landor[®]CT Formel M, sowie der Kombination mit dem Zusatz MaximalFlow[®] konnte dagegen ab 200 ml/dt keine Signifikanz mehr detektiert werden. Bei der höchsten applizierten Menge unterschied sich zudem keine Variante mehr nennenswert.

Die absolut höchsten gemessenen Staubwerte in der Kultur Roggen, aller eingesetzten Präparate und Kombinationen, wurden mit der alleinigen Applikation des Produktes Zardex[®]G zu allen Aufwandmengen dokumentiert (Abb. 17 Teil d, Seite 54). Einheitlich konnten dabei statistisch signifikante Unterschiede zu den Varianten mit einem Additivzusatz berechnet werden. Eine statistisch relevante Unterscheidung, abhängig von dem eingesetzten Zusatzstoff konnte für die deutlich niedrigeren Staubwerte jedoch nicht nachgewiesen werden.

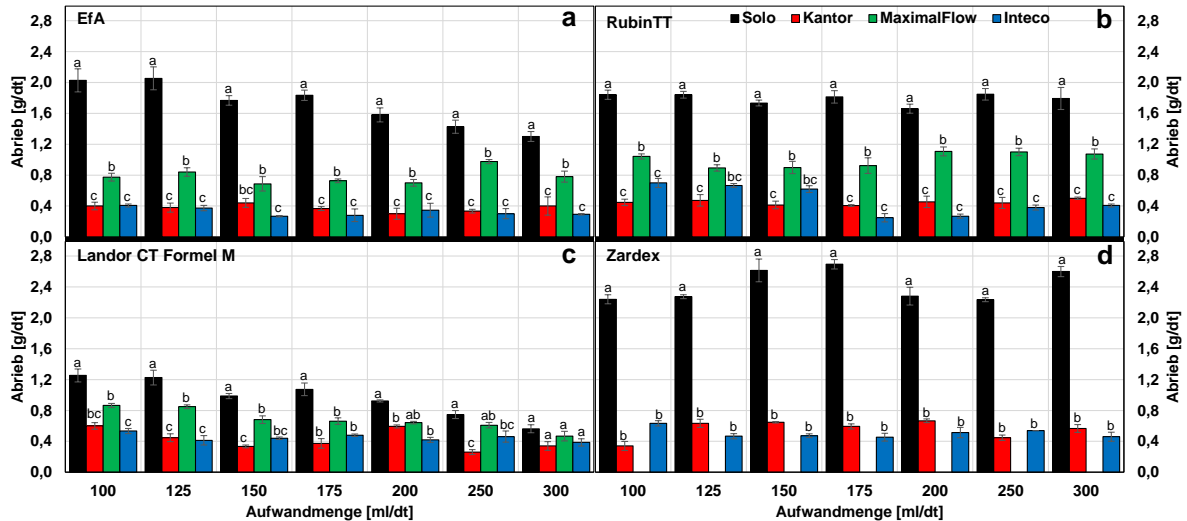


Abb. 17: Staubabrieb in g/dt (\pm SD) der Beizen EfA[®] (a), Rubin[®]TT (b), Landor[®]CT Formel M (c) und Zardex[®]G (d) in jeweils vier Varianten (Solo, mit Kantor[®], mit MaximalFlow[®] und mit Inteco[®]) für alle Beizaufwandmengen (100, 125, 150, 175, 200, 250, 300 ml/dt), als Referenz der Varianten in jeder Aufwandmenge in der Roggenkultur

4.2.2.4. Messung des Abriebs in der Haferkultur

Im Hafer konnte mit dem Einsatz der Beize EfA[®] zu allen Aufwandmengen die höchste Staubmenge nach der alleinigen Applikation des Produktes ermittelt werden (Abb. 18 Teil a, Seite 55). Eine signifikante Differenzierung zu allen, mit Additiv versetzten Varianten konnte einheitlich berechnet werden. Die niedrigeren Staubwerte der einzelnen Beize-Additiv Kombination differierten dabei nicht einheitlich. Während bei den Aufwandmengen 125 ml/dt und 200 ml/dt keine nennenswerte Differenzierung bezüglich der, durch die Zusatzpräparate, erzeugten Abriebmengen ermittelt werden konnte, wurde eine statistische Unterscheidung bei den Aufwandmengen 100 ml/dt und 175 ml/dt dagegen nachgewiesen. Die Variante mit dem Zusatz Inteco[®] wies dabei die geringsten Werte auf. Ebenfalls konnte eine Differenzierung zwischen den Zusatzprodukten für die beiden höchsten applizierten Mengen detektiert werden. Die mit MaximalFlow[®] zugesetzte Beizlösung führte zu signifikant höheren Staubwerten, als mit den Referenzprodukten.

Die Verwendung der Beize Rubin[®]TT resultierte ebenfalls in den höchsten Abriebmengen bei alleiniger Applikation (Abb. 18 Teil b, Seite 55). Eine nahezu vollständige statistisch relevante Unterscheidung konnte zu den Varianten mit Additivzusatz berechnet werden. Nennenswert ist dabei der Vergleich zur Kombination mit MaximalFlow[®] bei den beiden höchsten Aufwandmengen, der dies einzig nicht bestätigte. Eine Differenzierung zwischen den verwendeten Additiven konnte lediglich bei höchster applizierter Menge ermittelt werden. Dabei lag der durchschnittliche Staubabrieb der Variante mit dem MaximalFlow[®] Zusatz signifikant höher als der der Vergleichsprodukte.

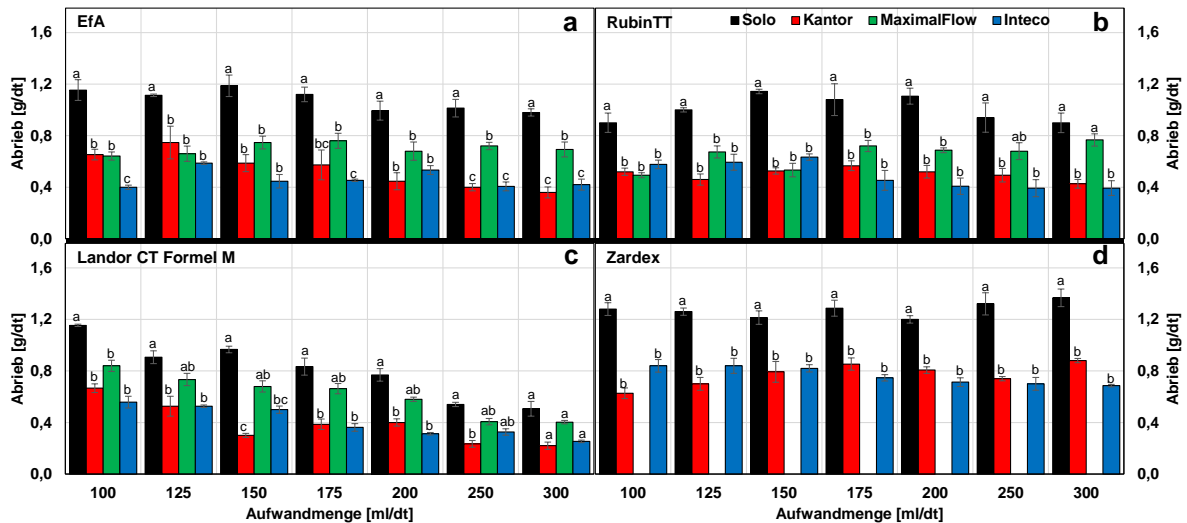


Abb. 18: Staubabrieb in g/dt (\pm SD) der Beizen EfA[®] (a), Rubin[®]TT (b), Landor[®]CT Formel M (c) und Zardex[®]G (d) in jeweils vier Varianten (Solo, mit Kantor[®], mit MaximalFlow[®] und mit Inteco[®]) für alle Beizaufwandmengen (100, 125, 150, 175, 200, 250, 300 ml/dt), als Referenz der Varianten in jeder Aufwandmenge in der Haferkultur

Bei allen Aufwandmengen wurden die höchsten Staubmengen nach der alleinigen Applikation des Produktes Landor[®]CT Formel M gemessen (Abb. 18 Teil c). Eine statistische Unterscheidung zu den Varianten mit einem Additivzusatz konnte dabei jedoch nicht einheitlich ermittelt werden. Eine Eindeutige Unterscheidung zwischen alleiniger und Additiv versetzter Applikation konnte ausschließlich bei der Aufwandmenge 100 ml/dt berechnet werden. Die Differenzierung nahm dabei mit steigender Aufwandmenge ab. Dabei konnte bei allen weiteren applizierten Mengen keine statistische Relevanz zwischen der Solo, sowie der mit MaximalFlow[®] versetzten Variante ermittelt werden. Bei der Aufwandmenge 250 ml/dt unterschieden sich zudem nur noch die Abriebmengen der Kombination mit dem Zusatz Kantor[®] signifikant zur alleinigen Beizapplikation. Eine nennenswerte Diskrepanz zu den anderen Additiven ergab sich nicht. Bei höchster Aufwandmenge konnte dann keine statistische Differenzierung zwischen allen Beize-Additiv Kombinationen berechnet werden. Eine Unterscheidung zwischen den Staubwerten der eingesetzten Additive konnte nur einmalig bei der Aufwandmenge 150 ml/dt ermittelt werden. Die Kombination mit dem Produkt Inteco[®] generierte dabei die niedrigere Staubwerte als die Kombination mit MaximalFlow[®]. Die höchsten Staubmengen wurden mit dem Produkt Zardex[®]G im Weizen bei allen Aufwandmengen mit der alleinigen Mittelapplikation gemessen (Abb. 18 Teil d). Diesen waren signifikant höher als die der Varianten mit einem Additivzusatz. Statistisch nennenswerte Unterscheidungen zwischen den eingesetzten Additiven konnten dagegen nicht ermittelt werden.

4.2.2.5. Messung des Abriebs in der Triticale

In der Triticale wurden die höchsten Staubwerte die vier eingesetzten Präparate zur Saatgutbehandlung durch den Einsatz der Beize EfA® zu allen Aufwandmengen gemessen (Abb. 19 Teil a). Diese lagen signifikant höher als die Abriebmengen der Varianten mit einem Additivzusatz. Eine statistisch relevante Unterscheidung zwischen den Zusatzstoffen konnte für alle Aufwandmengen berechnet werden. Die dokumentierten Staubemissionen der mit Inteco® versetzten Beize lagen dabei signifikant niedriger als die mit dem Zusatz MaximalFlow®. Mit dem Hinzugeben der Produktes Kantor® wurden einheitlich Messwerte zwischen denen der weiteren Additive gemessen. Eine signifikante Differenzierung zum Produkt Inteco® konnte bei der Aufwandmenge 100 ml/dt nachgewiesen werden, gegenüber dem Produkt MaximalFlow® dagegen bei 150 ml/dt, 175 ml/dt, 200 ml/dt und 300 ml/dt applizierter Menge.

Resultierend aus dem Einsatz der unterschiedlichen Beize-Additiv Kombinationen, wurde mit dem alleinigen Einsatz der Behandlungsmittels Rubin®TT einheitlich die höchste Staubentwicklung gemessen (Abb. 19 Teil b). Die gemessenen Werte für alle Additiv versetzten Kombinationen lagen dabei signifikant niedriger. Eine Unterscheidung der Staubemission zwischen den eingesetzten Additiven konnte ausschließlich bei höchster Aufwandmenge berechnet werden. Die Kombination mit dem Produkt Kantor® führte zu den geringsten Messwerten.

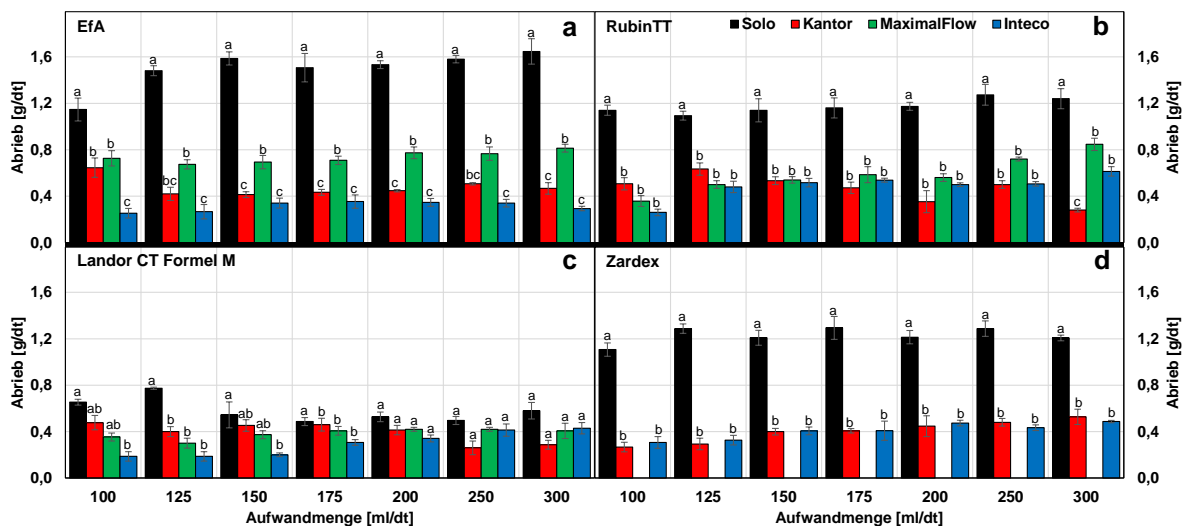


Abb. 19: Staubabrieb in g/dt (\pm SD) der Beizen EfA® (a), Rubin®TT (b), Landor®CT Formel M (c) und Zardex®G (d) in jeweils vier Varianten (Solo, mit Kantor®, mit MaximalFlow® und mit Inteco®) für alle Beizaufwandmengen (100, 125, 150, 175, 200, 250, 300 ml/dt), als Referenz der Varianten in jeder Aufwandmenge in der Triticale

Das, relativ zu den anderen eingesetzten Präparaten, niedrige Niveau der Messwerte, die mit dem Einsatz des Beize Landor®CT Formel M gemessen wurden, konnte nur bei einzelnen Aufwandmengen eine statistisch erfassbare Unterscheidung zwischen den einzelnen Kombinationen aus Beize und Additiv aufzeigen (Abb. 19 Teil c). Einheitlich signifikante

Differenzen zwischen solo applizierter und Additiv versetzter Variante konnten, ohne eine Unterscheidung bezüglich der Zusatzstoffe aufzuzeigen, ausschließlich für die Aufwandmengen 125 ml/dt, sowie 175 ml/dt berechnet werden. Darüber hinaus unterschied sich die Variante mit dem Inteco® Zusatz auch bei den Aufwandmengen 100 ml/dt und 150 ml/dt, durch kleinere Staubemissionen, signifikant zur alleinigen Beizmittelapplikation. Bei den Aufwandmengen 200 ml/dt bis 300 ml/dt konnten nur marginale Differenzen zwischen den Messwerten der Beizlösungen ermittelt werden. Eine statistische Relevanz wurde nicht berechnet.

Die deutlich höchsten Staubabriebe, basierend auf der Verwendung der Beize Zardex®G, wurden in der Triticale einheitlich mit der alleinigen Applikation des Produktes ermittelt (Abb. 19 Teil d, Seite 56). Für alle applizierten Mengen konnten signifikante Unterschiede zu den Additiv-versetzten Kombinationen nachgewiesen werden. Die Emissionen lagen dabei deutlich niedriger. Eine Differenzierung zwischen den eingesetzten Zusatzprodukten wurde nicht detektiert.

4.3. Teilversuch III: Ergebnisse der Wirkstoffdetektion aus den Beizresiduen

Die in Versuchsteil I und II gemessenen Staubemissionen, ausgehend von der Beize Rubin®TT, wurden in diesem Versuchsteil analytisch aufbereitet. Es wurde untersucht, in wie weit die einzelnen Wirkstoffe im Residualstaub der Filtermengen wiedergefunden werden können und ob darüber hinaus ein Zusammenhang zwischen abgeriebener Staubmenge und detektierten Wirkstoffmengen generiert werden kann. Eine mögliche Erklärung der abhängigen Variablen (Wirkstoffmenge) durch die unabhängige Variable (Staubabrieb) wurde auf diese Weise untersucht und mittels Regressionsgeraden visualisiert. Zum einen wurde dies exemplarisch anhand einer Sorte je Kultur für die solo applizierten Produkte ermittelt. Für jede applizierte Menge wurde in drei Wiederholungen das Vorhandensein der Aktivsubstanzen geprüft. Zum anderen wurde zusätzlich untersucht, ob zuvor genannter Zusammenhang zwischen den Messgrößen unabhängig von der Beize-Additiv Kombination besteht. Dies wurde exemplarisch in der Weizenkultur durchgeführt.

Anhand der Beize Rubin®TT wurden die Wirkstoffe Pyrimethanil, Prochloraz und Triticonazol in jeder Kultur bei allen Aufwandmengen detektiert. Bei der Betrachtung der solo applizierten Variante über die fünf Zielkulturen konnten nennenswerte Beziehungen unterschiedlicher Güte zwischen den Messgrößen Staubabrieb und den drei Aktivsubstanzen detektiert werden (Abb. 20, Seite 58). Einheitlich wurden dabei positive Beziehungen nachgewiesen. Das geringste Gütemaß der linearen Abhängigkeit der Wirkstoffmenge von der Höhe des Staubabriebes wurde für den Wirkstoff Pyrimethanil berechnet ($R^2=0,2978$). Mit den vorhandenen Daten lässt sich eine lineare Beziehung mit nur geringer Aussagekraft nachweisen. Deutliche höhere

Bestimmtheitsmaße konnten für die weiteren Wirkstoffe Prochloraz und Triticonazol berechnet werden. Bei Betrachtung dieser linearen Zusammenhänge erklärt die Variable Staubabrieb über 60% der Varianz der Variablen Wirkstoffmenge

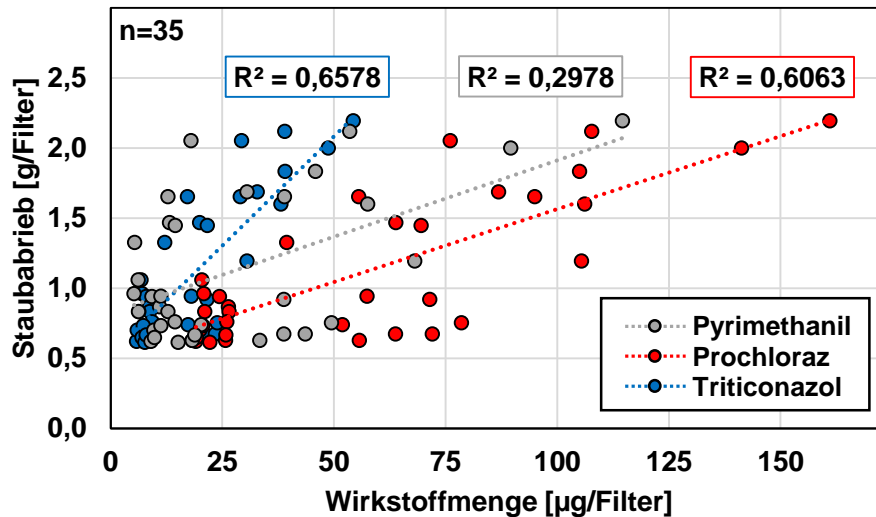


Abb. 20: Zusammenhang zwischen den Messgrößen Staubabrieb [g/Filter] und Wirkstoffmenge [µg/Filter] für die Wirkstoffe Pyrimethanil, Prochloraz und Triticonazol der Beize Rubin®TT, resultierend aus den fünf Kulturen (Weizen, Gerste, Roggen, Hafer und Triticale) für alle Beizaufwandmengen (100, 125, 150, 175, 200, 250, 300 ml/dt)

Bei Betrachtung möglicher linearer Zusammenhänge bei unterschiedlichen Beize-Additiv Kompositionen, basierend auf der Beize Rubin®TT, konnten hoch aussagekräftige Gütemaße berechnet werden (Abb. 21).

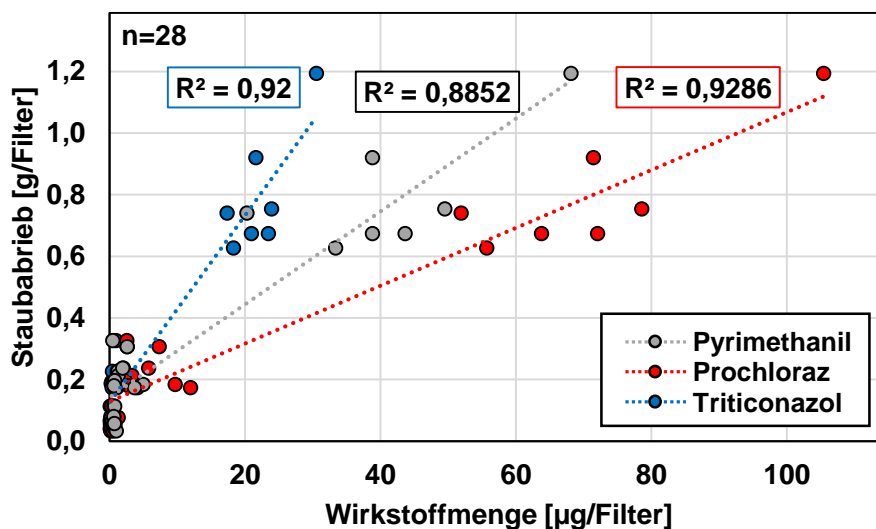


Abb. 21: Zusammenhang zwischen den Messgrößen Staubabrieb [g/Filter] und Wirkstoffmenge [µg/Filter] für die Wirkstoffe Pyrimethanil, Prochloraz und Triticonazol der Beize Rubin®TT, resultierend aus den vier Varianten (Solo, mit Kantor®, mit MaximalFlow® und mit Inteco®) für alle Beizaufwandmengen (100, 125, 150, 175, 200, 250, 300 ml/dt) in der Weizenkultur

In diesem Fall war die unabhängige Variable (Staubabrieb) dazu geeignet, die Varianz aller abhängigen (Wirkstoffmenge) zu erklären. Das geringste Bestimmtheitsmaß konnte dabei mit $R^2=0,8852$ für den Wirkstoff Pyrimethanil berechnet werden. Die Varianz der weiteren Wirkstoffe konnte zu je 92% erklärt werden. Einheitlich konnten dabei positive Zusammenhänge ermittelt werden.

4.4. Teilversuch IV: Ergebnisse der Wirkstoffdetektion aus Getreidepflanzen

Im vierten Versuchsteil wurde exemplarisch, anhand der Beize Rubin[®]TT untersucht, ob und in wie weit der Zusatz eines Additivs (Kantor[®]) einen Einfluss auf die Aufnahme der einzelnen systemsichen Wirkstoffe hat. Dazu wurden unterschiedliche Aufwandmengen applizierter Beize verwendet, woraufhin Pflanzen zu unterschiedlichen Zeitpunkten nach der Aussaat geerntet wurden. Die Dokumentation der aufgenommenen Wirkstoffmengen erfolgte dabei in mg/OS (Originalsubstanz).

In den Kulturen Winterweizen und Wintergerste konnten die zu detektierenden Wirkstoffe Pyrimethanil, Prochloraz und Triticonazol in den Varianten mit und ohne Additiv in allen Aufwandmengen und zu allen Zeitpunkten der Probenahme nachgewiesen werden.

Die durch die applizierte Beize Rubin[®]TT aufgenommenen fungiziden Wirkstoffe konnten in unterschiedlichen Mengen detektiert werden (Abb. 22, Seite 60; Abb. 23, Seite 61). In allen Aufwandmengen (100 ml/dt, 200 ml/dt, 300 ml/dt) wurden nahezu lineare Abnahmen der Wirkstoffgehalte über die Zeit dokumentiert. Zudem verzeichneten alle detektierten Wirkstoffe zu einem Zeitpunkt eine Zunahme über die Aufwandmengen.

Die absolut höchsten Werte aller Wirkstoffe konnten für das Pyrimethanil in beiden Varianten (mit und ohne Additiv) zu allen Zeitpunkten und in allen Aufwandmengen im Weizen detektiert werden. Die höchsten Gehalte wurden mit 10,2 mg/kg OS (Rubin[®]TT) und 9,59 mg/kg OS (Rubin[®]TT mit Kantor[®]) eine Woche nach der Aussaat bei einer Aufwandmenge von 300 ml/dt gemessen. Ebenso waren im Winterweizen die weiteren Wirkstoffe Prochloraz und Triticonazol zum ersten Erntetermin, eine Woche nach der Saat, bei höchster Aufwandmenge mit absolut höchsten Gehalte detektierbar. Die niedrigsten Gehalte beider Kulturen wurden für den Wirkstoff Prochloraz detektiert.

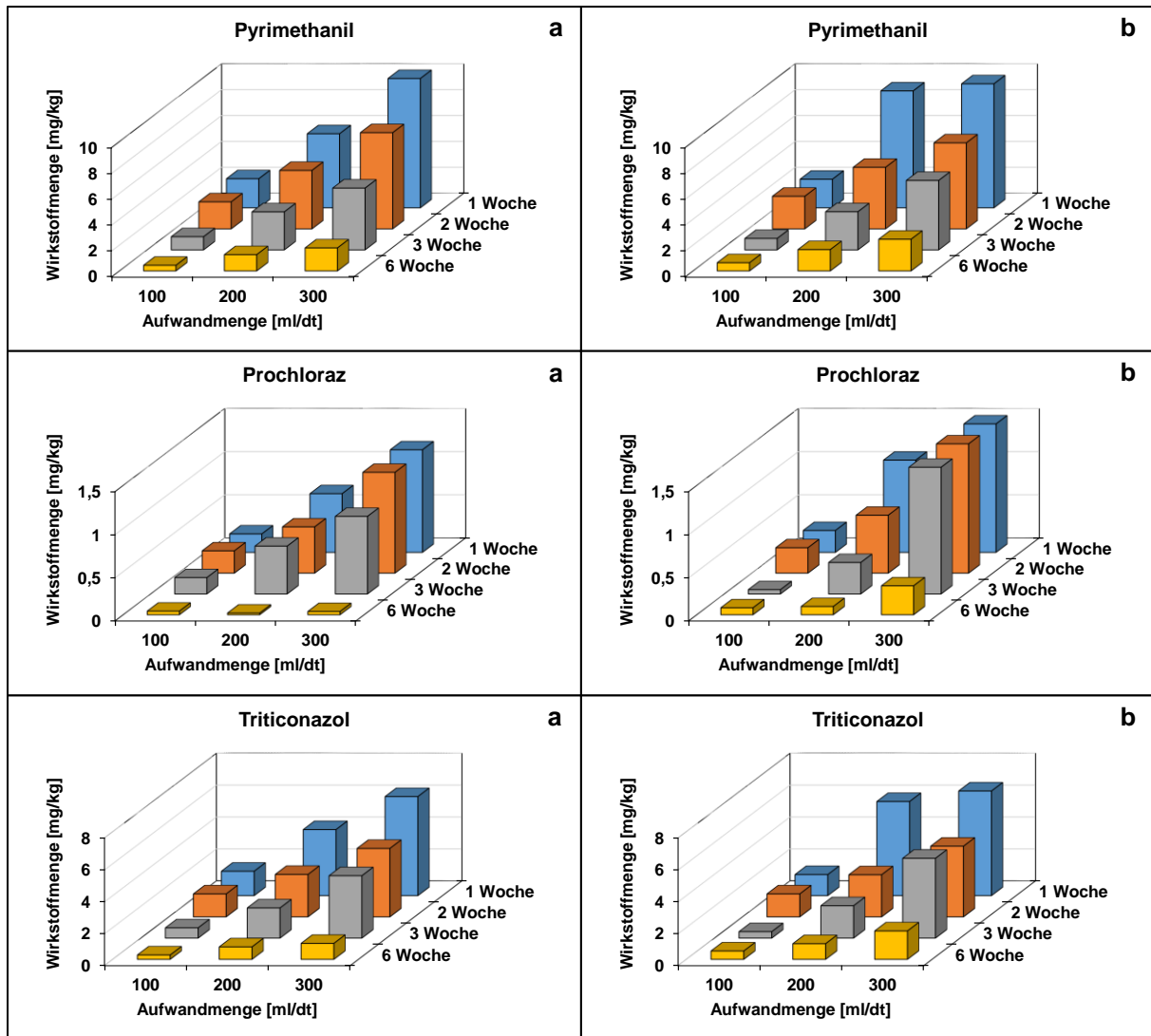


Abb. 22: Gehalte der Wirkstoffe Pyrimethanil, Prochloraz und Triticonazol in Winterweizen (mg/kg OS) im Vergleich über die Aufwandmengen 100, 200, 300 ml/dt und den Zeitpunkten 1, 2, 3 und 6 Wochen nach der Aussaat in der Varianten Rubin®TT (a) und Rubin®TT + Kantor® (b)

In beiden Kulturen unterschieden sich die Verhältnisse der aufgenommenen Wirkstoffe zueinander. Während im Weizen das Pyrimethanil zu jedem Zeitpunkt und zu jeder Aufwandmenge, unabhängig vom Einsatz eines Additivs, im größten Umfang nachgewiesen werden konnte, Prochloraz dagegen in geringster Menge, war die Verhältnismäßigkeit der Wirkstoffe in der Gerste weniger eindeutig. Die absolut höchsten Wirkstoffmengen wurden für den Wirkstoff Triticonazol nahezu vollständig, unabhängig vom Additiveinsatz determiniert. Lediglich vereinzelt (Weizen, 2. Wochen, 100 ml/dt; Weizen, 3. Wochen, 300 ml/d; Gerste, 6. Wochen, 100 ml/dt) wurde der Wirkstoff Pyrimethanil in einem marginal größeren Umfang nachgewiesen. Allgemein waren die Unterschiede zwischen den beiden Wirkstoffen in der Gerste deutlich weniger ausgeprägt. Einheitlich wurde in der Gerste dagegen, wie auch im Weizen, der Wirkstoff Prochloraz in geringster Menge ermittelt.

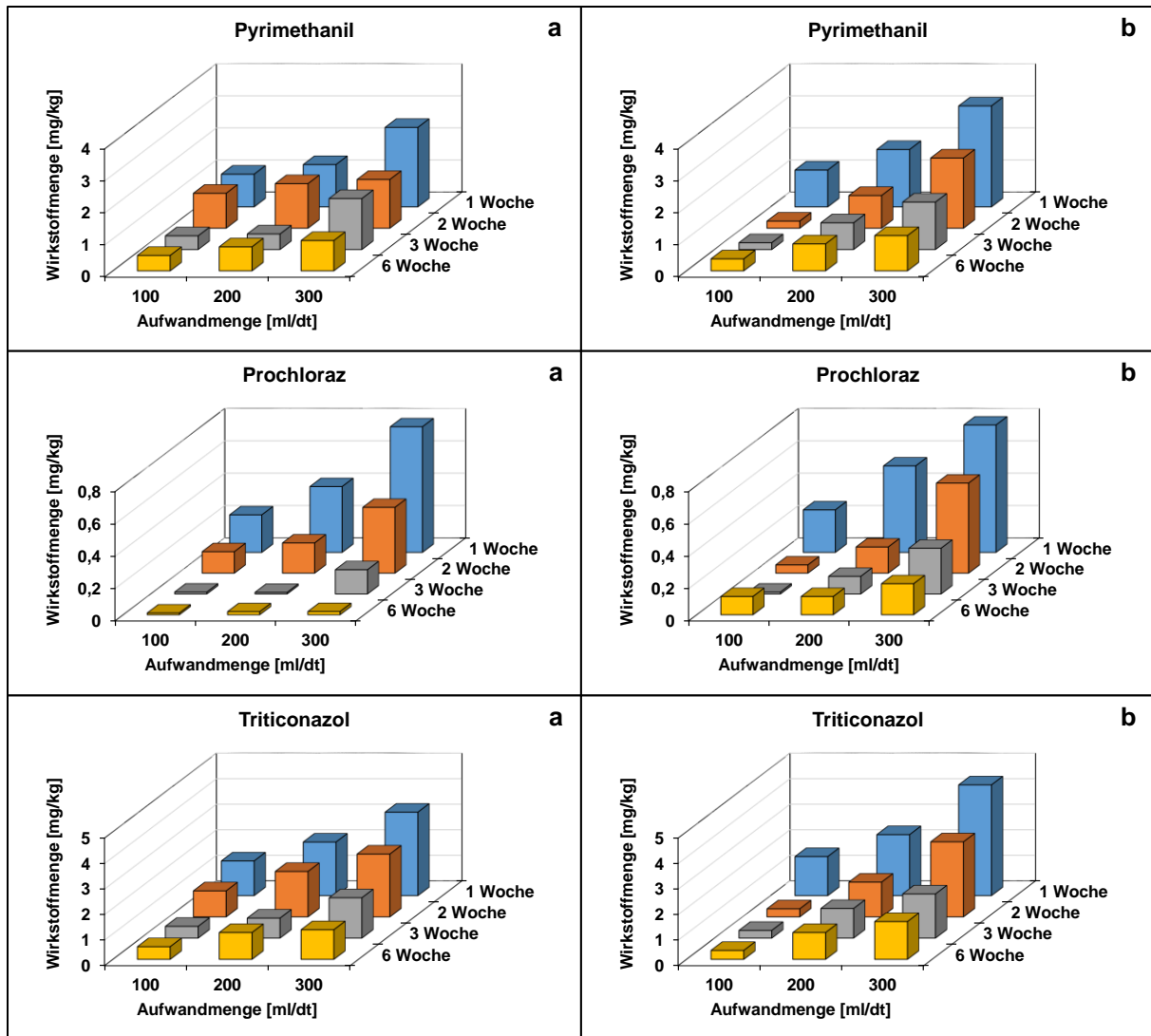


Abb. 23: Gehalte der Wirkstoffe Pyrimethanil, Prochloraz und Triticonazol in Wintergerste (mg/kg OS) im Vergleich über die Aufwandmengen 100, 200, 300 ml/dt und den Zeitpunkten 1, 2, 3 und 6 Wochen nach der Aussaat in der Varianten Rubin®TT (a) und Rubin®TT + Kantor® (b)

4.4.1. Einzelbetrachtung der Wirkstoffe

Für die Auswertung möglicher Differenzen zwischen den Varianten mit und ohne Additiv, wurden die Wirkstoffe jeweils als einzelne Messgröße betrachtet und getrennt voneinander bewertet. Es wurde ein einheitliches Modell zur Auswertung verwendet, das jegliche Einflussgrößen als qualitative Faktoren betrachtet. Für jeden Wirkstoff wurde zuerst eine Varianzanalyse (ANOVA) durchgeführt und in der Folge wurde ein Vergleich bezüglich eines definierten Faktors zwischen den Referenzvarianten ermittelt.

4.4.1.1. Pyrimethanil

Mit der Durchführung einer Varianzanalyse (ANOVA, Tab 26, Seite 62) konnten höchst signifikante Einflüsse für die Einzelfaktoren Aufwandmenge, Kultur und Zeitpunkt berechnet werden. Zusätzlich konnten ein hoch signifikanter Einfluss der zweifach Wechselwirkung von Kultur und Zeitpunkt ermittelt werden, sowie ein signifikanter Einfluss für die Wechselwirkung

Ergebnisse

von Aufwandmenge und Zeitpunkt. Eine vierfache Interaktion, bestehend aus den Einflussfaktoren Aufwandmenge, Kultur, Additiv und Zeitpunkt konnte dabei, aufgrund des Fehlens echter Wiederholungen, nicht ermittelt, bzw. berechnet werden.

Tab 26: Varianzanalyse (ANOVA) der einzelnen Einflussgrößen, sowie aller Kombinationen auf die Messgröße Wirkstoffmenge für die Aktivsubstanz Pyrimethanil

	Df	sum sq	mean sq	F value	Pr(>F)	
Aufwandmenge	2	65,328	32,664	73,3150	6,075e-05	***
Kultur	1	88,830	88,830	199,3794	7,879e-06	***
Additiv	1	0,547	0,547	1,2287	0,3101082	
Zeitpunkt	3	64,567	21,522	48,3072	0,0001354	***
Aufwandmenge : Kultur	2	22,994	11,497	25,8049	0,0011297	**
Aufwandmenge : Additiv	2	0,833	0,417	0,9352	0,4430742	
Kultur : Additiv	1	0,240	0,240	0,5393	0,4904223	
Aufwandmenge : Zeitpunkt	6	13,736	2,289	5,1383	0,0333597	*
Kultur : Zeitpunkt	3	27,263	9,088	20,3976	0,0015044	**
Additiv : Zeitpunkt	3	0,962	0,321	0,7195	0,5757790	
Aufwandmenge : Kultur : Additiv	2	0,774	0,387	0,8690	0,4662090	
Aufwandmenge : Kultur : Zeitpunkt	6	7,592	1,265	2,8400	0,1148061	
Aufwandmenge : Additiv : Zeitpunkt	6	1,640	0,273	0,6133	0,7162443	
Kultur : Additiv : Zeitpunkt	3	0,058	0,019	0,0431	0,9869184	
Residuen	6	2,673	0,446			

Signifikanzstufen: $\leq 0,001$ ***; $\leq 0,01$ **, $\leq 0,05$ *

Nennenswert ist bei der Varianzanalyse, dass die Interaktion zwischen Additiv und Zeitpunkt als nicht signifikant deklariert werden konnte. Die Wirkung eines Additivs kann somit zu jedem Zeitpunkt als homogen bezeichnet werden. Die Steigung (negativ) der Wirkstoffabnahme über die Zeit unterscheidet sich zwischen den Referenzvarianten damit nicht. Eine mögliche Differenzierung der absoluten Höhe der Regressionsgeraden wurde mittels eines multiplen Kontrasttests berechnet. Verglichen wurden dazu die Intercepts jeder Aufwandmenge innerhalb einer Kultur (Tab 27, Seite 63). Die p-Werte des multiplen Kontrasttests indizieren keinen signifikanten Unterschied zwischen den Intercepts der Varianten mit und ohne Additiv. Mit Ausnahme des p-Wertes der Referenz zwischen den Varianten 200 ml/dt im Weizen ($p=0,326$), lagen alle Signifikanzniveaus sehr nahe bei dem Wert 1.

Ergebnisse

Tab 27: Ergebnisse des multiplen Kontrasttests zur Ermittlung von Wirkstoffdifferenzen zwischen der Variante mit und ohne Additiv, als Vergleich der Intercepts der Regressionsgeraden für jede Aufwandmenge und Kultur über die verschiedenen Zeitpunkte (1, 2, 3, 6 Wochen) für den Wirkstoff Pyrimethanil

Referenz	Estimate	SE	F value	Pr(>F)
mit Additiv - ohne, 100, Gerste == 0	-0,2652	0,4720	-0,562	0,990
mit Additiv - ohne, 200, Gerste == 0	1,1353	0,4720	0,287	1,000
mit Additiv - ohne, 300, Gerste == 0	0,3463	0,4720	0,734	0,965
mit Additiv - ohne, 100, Weizen == 0	0,1128	0,4720	0,239	1,000
mit Additiv - ohne, 200, Weizen == 0	0,9875	0,4720	2,092	0,326
mit Additiv - ohne, 300, Weizen == 0	-0,0350	0,4720	-0,074	1,000

Signifikanzstufen: $\leq 0,001$ ***; $\leq 0,01$ **, $\leq 0,05$ *

4.4.1.2. Prochloraz

Für den Wirkstoff Prochloraz konnte mit der Varianzanalyse ein signifikanter Einfluss aller Einzelfaktoren berechnet werden (Tab 28). Eine Differenzierung innerhalb der Signifikanzstufen bestand dabei.

Tab 28: Varianzanalyse (ANOVA) der einzelnen Einflussgrößen, sowie aller Kombinationen auf die Messgröße Wirkstoffmenge für die Aktivsubstanz Prochloraz

	Df	sum sq	mean sq	F value	Pr(>F)	
Aufwandmenge	2	2,64776	1,32388	179,4408	4,446e-06	***
Kultur	1	1,32402	1,32402	179,4594	1,071e-05	***
Additiv	1	0,15595	0,15595	21,1380	0,0037013	**
Zeitpunkt	3	2,10772	0,70257	95,2280	1,889e-05	***
Aufwandmenge : Kultur	2	0,60943	0,30471	41,3013	0,0003105	***
Aufwandmenge : Additiv	2	0,12624	0,06312	8,5556	0,0174978	*
Kultur : Additiv	1	0,02567	0,02567	3,4792	0,1114089	
Aufwandmenge : Zeitpunkt	6	0,71317	0,11886	16,1106	0,0018253	**
Kultur : Zeitpunkt	3	0,44284	0,14761	20,0079	0,0015847	**
Additiv : Zeitpunkt	3	0,00921	0,00307	0,4163	0,7478159	
Aufwandmenge : Kultur : Additiv	2	0,04733	0,02366	3,2075	0,1128796	
Aufwandmenge : Kultur : Zeitpunkt	6	0,19626	0,03271	4,4335	0,0463960	*
Aufwandmenge : Additiv : Zeitpunkt	6	0,06995	0,01166	1,5802	0,291939	
Kultur : Additiv : Zeitpunkt	3	0,02121	0,00707	0,9584	0,4706245	
Residuen	6	0,04427	0,00738			

Signifikanzstufen: $\leq 0,001$ ***; $\leq 0,01$ **, $\leq 0,05$ *

Ein höchst signifikanter Einfluss auf die Wirkstoffmenge wurde für die zweifach Interaktion Aufwandmenge und Kultur ermittelt. Weitere nennenswerte Interaktion wurden für Wechselwirkung der Einflussgrößen Aufwandmenge und Additiv ($p \leq 0,05$) und für die Wechselwirkungen von Aufwandmenge und Zeitpunkt, sowie Kultur und Zeitpunkt ($p \leq 0,01$) nachgewiesen. Zudem wurde ein signifikanter Einfluss auf die Messgröße für die dreifache Interaktion aus Aufwandmenge, Kultur und Zeitpunkt berechnet. Auch für den Wirkstoff Prochloraz konnte kein signifikanter Einfluss für die Interaktion aus Additiv und Zeitpunkt ermittelt werden. Der Intercept-Vergleich zwischen beiden Behandlungsvarianten (mit und ohne Additiv) der Regressionsgeraden für jede Aufwandmenge in jeder Kultur über die Zeitpunkte, konnte einmalig einen signifikanten Unterschied ermitteln (Tab 29). Allgemein nahm die Differenzierung der Varianten in beiden Kulturen mit steigenden Aufwandmengen zu (p -Werte werden kleiner). Bei höchster Aufwandmenge (300 ml/dt) in der Kultur Weizen wurde ein statistisch erfassbares höheres Niveau der Regressionsgeraden für den Wirkstoff Prochloraz in der Variante mit Additiv ermittelt.

Tab 29: Ergebnisse des multiplen Kontrasttests zur Ermittlung von Wirkstoffdifferenzen zwischen der Variante mit und ohne Additiv, als Vergleich der Intercepts der Regressionsgeraden für jede Aufwandmenge und Kultur über die verschiedenen Zeitpunkte (1, 2, 3, 6 Wochen) für den Wirkstoff Prochloraz

Referenz	Estimate	SE	F value	Pr(>F)
mit Additiv - ohne, 100, Gerste == 0	0,01275	0,06074	0,210	0,99996
mit Additiv - ohne, 200, Gerste == 0	0.07400	0.06074	1,218	0,77144
mit Additiv - ohne, 300, Gerste == 0	0.11650	0,06074	1,918	0,39785
mit Additiv - ohne, 100, Weizen == 0	-0.00625	0.06074	-0,103	1,00000
mit Additiv - ohne, 200, Weizen == 0	0.10250	0,06074	1,688	0,50996
mit Additiv - ohne, 300, Weizen == 0	0.38450	0.06074	6,331	0,00369 **

Signifikanzstufen: $\leq 0,001$ ***; $\leq 0,01$ **; $\leq 0,05$ *

4.4.1.3. Triticonazol

Die Varianzanalyse (ANOVA) indizierte höchst signifikante Einflüsse der Einzelfaktoren Aufwandmenge und Kultur in Bezug auf den Wirkstoff Triticonazol (Tab 30, Seite 65). Weiter konnte für die zweifache Wechselwirkung aus Aufwandmenge und Kultur, sowie Kultur und Zeitpunkt eine hoch signifikante Wirkung ermittelt werden. Zudem konnte eine Signifikanz ($p \leq 0,05$) für die Interaktion aus Aufwandmenge und Zeitpunkt nachgewiesen werden.

Ergebnisse

Tab 30: Varianzanalyse (ANOVA) der einzelnen Einflussgrößen, sowie aller Kombinationen auf die Messgröße Wirkstoffmenge für die Aktivsubstanz Triticonazol

	Df	sum sq	mean sq	F value	Pr(>F)	
Aufwandmenge	2	46,868	23,4322	144,2964	8,449e-06	***
Kultur	1	13,3500	13,3500	82,2026	0,000101	***
Additiv	1	0,6684	0,6684	4,1154	0,088831	
Zeitpunkt	3	39,282	13,0941	80,6270	3,074e-05	***
Aufwandmenge : Kultur	2	4,941	2,4706	15,2125	0,004469	**
Aufwandmenge : Additiv	2	0,936	0,4681	2,8825	0,132641	
Kultur : Additiv	1	0,1647	0,1647	1,0144	0,352735	
Aufwandmenge : Zeitpunkt	6	8,192	1,3654	8,4076	0,010177	*
Kultur : Zeitpunkt	3	5,409	1,8028	11,1010	0,007322	**
Additiv : Zeitpunkt	3	0,652	0,2174	1,3388	0,347098	
Aufwandmenge : Kultur : Additiv	2	0,078	0,0390	0,2401	0,793723	
Aufwandmenge : Kultur : Zeitpunkt	6	4,047	0,6746	4,1536	0,053445	
Aufwandmenge : Additiv : Zeitpunkt	6	0,373	0,0622	0,3828	0,866160	
Kultur : Additiv : Zeitpunkt	3	0,020	0,0068	0,0419	0,987437	
Residuen	6	0,974	0,1624			

Signifikanzstufen: $\leq 0,001$ ***; $\leq 0,01$ **, $\leq 0,05$ *

Auch bei dem Wirkstoff Triticonazol konnte für die Wechselwirkung aus Additiv und Zeitpunkt kein statistisch nennenswerter Einfluss auf die Messgröße berechnet werden. Der Vergleich der unterschiedlichen Intercepts führte zu keinen signifikanten Unterschieden zwischen den Varianten mit und ohne Additiv (Tab 31). Eine zunehmende Aussagekraft, durch abnehmende p-Werte, konnte für den Wirkstoff dagegen beobachtet werden, ohne jedoch eine statistische Relevanz zu zeigen.

Tab 31: Ergebnisse des multiplen Kontrasttests zur Ermittlung von Wirkstoffdifferenzen zwischen der Variante mit und ohne Additiv, als Vergleich der Intercepts der Regressionsgeraden für jede Aufwandmenge und Kultur über die verschiedenen Zeitpunkte (1, 2, 3, 6 Wochen) für den Wirkstoff Triticonazol

Referenz	Estimate	SE	F value	Pr(>F)
mit Additiv - ohne, 100, Gerste == 0	-0,21000	0,28496	-0,737	0,964
mit Additiv - ohne, 200, Gerste == 0	0,06150	0,28496	0,216	1,000
mit Additiv - ohne, 300, Gerste == 0	0,50500	0,28496	1,772	0,467
mit Additiv - ohne, 100, Weizen == 0	-0,05025	0,28496	-0,176	1,000
mit Additiv - ohne, 200, Weizen == 0	0,51975	0,28496	1,824	0,441
mit Additiv - ohne, 300, Weizen == 0	0,59000	0,28496	2,070	0,334

Signifikanzstufen: $\leq 0,001$ ***; $\leq 0,01$ **, $\leq 0,05$ *

4.5. Teilversuch V: Ergebnisse der Fließfähigkeitsmessung

Im fünften Teilversuch wurde die Fließfähigkeit derselben Beizproben mittels optischer Erfassung durch den *Revolution Powder Analyser* gemessen. Diese Messungen erfolgten in jeweils drei Wiederholungen je Variante.

Zu Beginn wurde erneut (vgl. Teilversuch II) eine statistische Analyse aller Einzelvariablen, sowie jeglicher Interaktion durchgeführt.

Tab 32: Kovarianzanalyse (ANCOVA) der einzelnen Einflussgrößen, sowie aller Kombinationen auf die Messgröße Energieaufwand

	Df	sum sq	mean sq	F value	Pr(>F)	
Aufwandmenge	1	67,9	67,92	154,402	<2,2e-16	***
Kultur	4	3905,6	976,41	2219,76	<2,2e-16	***
Beizmittel-Additiv (BA)	14	12456,3	889,74	2022,717	<2,2e-16	***
Kultur : BA	56	7973,5	142,38	323,692	<2,2e-16	***
Aufwandmenge: Kultur : BA	74	969,8	13,11	29,794	<2,2e-16	***
Residuen	1425	626,8	0,44			

Signifikanzstufen: $\leq 0,001$ ***; $\leq 0,01$ **, $\leq 0,05$ *

Sowohl der Ansatz der Kovarianzanalyse (ANCOVA, Tab 32) als auch der Ansatz der Varianzanalyse (ANOVA, Tab 33) konnte höchst signifikante Abhängigkeiten der Messgröße Energieaufwand zu den einzelnen Einflussgrößen, sowie allen Wechselwirkungen untereinander nachweisen.

Tab 33: Varianzanalyse (ANOVA) der einzelnen Einflussgrößen, sowie aller Kombinationen auf die Messgröße Energieaufwand

	Df	sum sq	mean sq	F value	Pr(>F)	
Kultur	4	3905,6	976,41	3116,1769	<2,2e-16	***
Beizmittel : Additiv (BA)	14	12456,3	889,74	2839,5607	<2,2e-16	***
Aufwandmenge	6	69,0	11,51	36,7211	<2,2e-16	***
Kultur : BA	56	7973,5	142,38	454,4108	<2,2e-16	***
Kultur : Aufwandmenge	24	29,9	1,24	3,9703	<2,2e-16	***
BA : Aufwandmenge	84	745,3	8,87	28,318	<2,2e-16	***
Kultur : BA : Aufwandmenge	336	491,3	1,46	4,6665	<2,2e-16	***
Residuen	1050	329,0	0,31			

Signifikanzstufen: $\leq 0,001$ ***; $\leq 0,01$ **, $\leq 0,05$ *

4.5.1. Analyse der Regressionsgeraden

Für die Messgröße Energieaufwand wurde, wie in Versuchsteil 4.2.1 (vgl. Staubabrieb), untersucht, in wie weit eine signifikant lineare Abhängigkeit zur Aufwandmenge besteht. Regressionsgeraden unterschiedlicher Höhe und Verläufe wurden für alle Beizrezepturen in allen Kulturen berechnet (Tab 34; Abb. 24). Für jede Kombination ergaben sich individuell, in Höhe, Verlauf und Ausprägung der Signifikanz unterscheidender Regressionsgeraden.

Insgesamt führte der Einsatz einer alleinigen Applikation der Behandlungsmittel EfA[®] und Rubin[®]TT in allen Kulturen zu höchst signifikanten positiven Steigungen der Regressionsgeraden. Durch die Erhöhung der freiwerdenden Energie, verringert sich die Fließfähigkeit. Ebenfalls konnte dies, mit unterschiedlichen Stufen statistischer Relevanz, für die Kombination mit dem Additiv MaximalFlow[®] ermittelt werden. Eine einheitliche Verringerung der freiwerdenden Energie und der damit verbundenen Zunahme der Fließfähigkeit über die verschiedenen Stufen der Aufwandmenge wurde darüber hinaus in allen Kulturen für die alleinige Applikation des Präparats Landor[®]CT Formel M, sowie in Kombination mit dem Additiv MaximalFlow[®]. Speziell für den alleinigen Einsatz konnte jedoch nicht in jeder Kultur eine statistische Signifikanz (Weizen, Triticale) nachgewiesen werden.

In der Kultur Weizen konnten mit den Universalbeizen EfA[®] und Rubin[®]TT einheitlich positive Beziehungen zwischen der Aufwandmenge und der Messgröße ermittelt werden. Die Fließfähigkeit nimmt damit umso mehr ab. Signifikante Steigungen konnten für nahezu alle Varianten berechnet werden. Auffällig ist dabei, dass in beiden Kombinationen lediglich mit dem Zusatz Kantor[®] keine statistische Relevanz für die applizierte Menge nachgewiesen werden konnte. Das Niveau der Regressionsgeraden lag für die Kombination mit MaximalFlow[®] deutlich oberhalb der solo applizierten Kontrolle. Dies konnte ebenfalls bei der verwendeten Beize Landor[®]CT Formel M detektiert werden. Dabei konnte von allen Varianten in allen Kulturen die stärkste Beziehung zwischen der Einflussgröße (Aufwandmenge) und der Energieaufwand ermittelt werden. Diese verlief negativ und konnte statistisch als höchst signifikant deklariert werden. Nennenswerte Interaktionen konnten auch für die Kombination mit den anderen Mischungskomponenten Kantor[®] und Inteco[®] berechnet werden ($p \leq 0,01$). Mit steigender Aufwandmenge erhöhte sich dabei die energetische Messgröße. Negative Steigungen wurden für die Regressionsgeraden aller Kombinationen mit der Beize Zardex[®]G berechnet. Eine Signifikanz ($p \leq 0,01$) konnte ausschließlich für die Kombination mit dem Zusatz Kantor[®] nachgewiesen werden.

In der Gerste konnten mit dem Einsatz der Beizen EfA[®] und Rubin[®]TT nahezu vollständig positive Beziehungen zwischen der Aufwandmenge und der Messgröße ermittelt werden. Auffällig ist dabei, dass jeweils die Kombination mit Kantor[®] zu einem negativen Zusammenhang führte. Ebenfalls konnte dies bei der Kombination der Beize EfA[®] mit den Zusatz Inteco[®] dokumentiert werden, die Steigung wies allerdings keine Signifikanz auf. Ein

Ergebnisse

Tab 34: Steigungen der Regressionsgeraden, sowie die jeweilige Signifikanz für den Zusammenhang der Fließfähigkeit und des Pseudofaktors BA (Beize:Additiv) der Beizen EfA®, Rubin®TT, Landor®CT Formel M und Zardex®G in jeweils vier Varianten (Solo, mit Kantor®, mit MaximalFlow® und mit Inteco®) als Funktion der Beizaufwandmenge (100, 125, 150, 175, 200, 250, 300 ml/dt)

Kultur		Weizen	Gerste	Roggen	Hafer	Triticale
Beize	Additiv					
EfA®	-	0,03772	0,01733	0,01033	0,02052	0,03347
		***	***	***	***	***
EfA®	Kantor®	0,001960	-0,000422	-0,002896	-0,006159	0,000930
		-	-	-	**	-
EfA®	MaximalFlow®	0,01677	0,02515	0,004525	0,02690	0,02335
		***	***	*	***	***
EfA®	Inteco®	0,006395	-0,003472	-0,006325	-0,002098	-0,001809
		**	-	**	-	-
Rubin®TT	-	0,02487	0,01109	0,01282	0,01554	0,01296
		***	***	***	***	***
Rubin®TT	Kantor®	0,000439	-0,009461	-0,002875	-0,004858	-0,001697
		-	***	-	*	-
Rubin®TT	MaximalFlow®	0,01699	0,01002	0,006271	0,01570	0,009162
		***	***	**	***	***
Rubin®TT	Inteco®	0,009898	0,008985	-0,01139	-0,002101	-0,007538
		***	***	***	-	***
Landor®CT Formel M	-	-0,001029	-0,01770	-0,007171	-0,01041	-0,000534
		-	***	**	***	-
Landor®CT Formel M	Kantor®	0,007307	-0,003199	0,001548	-0,01590	0,005417
		**	-	-	***	*
Landor®CT Formel M	MaximalFlow®	-0,04149	-0,007787	-0,007690	-0,004842	-0,01449
		***	***	***	*	***
Landor®CT Formel M	Inteco®	0,006008	-0,000893	0,001864	0,000321	0,005848
		**	-	-	-	**
Zardex®G	-	-0,002056	0,003650	0,004816	0,003857	0,003104
		-	-	*	-	-
Zardex®G	Kantor®	-0,006558	0,000545	0,005715	0,005453	-0,000043
		**	-	*	*	-
Zardex®G	Inteco®	-0,000141	-0,001246	-0,008143	0,008190	-0,003157
		-	-	***	***	-

Signifikanzstufen: ≤ 0,001 ***; ≤ 0,01 **, ≤ 0,05 *

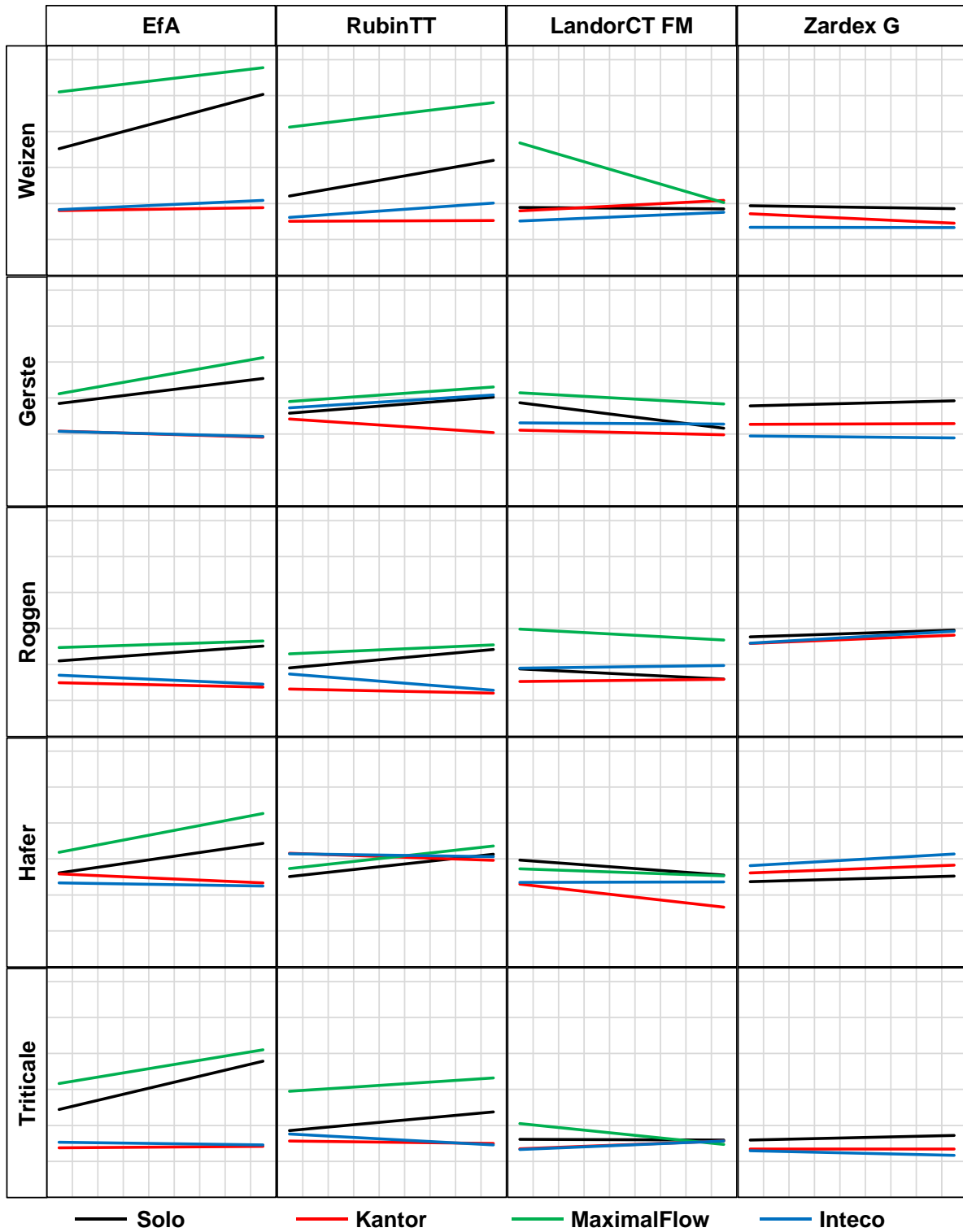


Abb. 24: Regressionsgeraden der Fließfähigkeit der einzelnen Beize Additiv Kombinationen der Beizen EfA®, Rubin®TT, Landor®CT Formel M und Zardex®G in jeweils vier Varianten (Solo, mit Kantor®, mit MaximalFlow® und mit Inteco®)

höchst signifikanter Einfluss wurde für alle Beize-Additiv Kombination mit dem Produkt Rubin[®]TT nachgewiesen. Ebenfalls konnte diese statistische Relevanz für die Beize EfA[®] als solo applizierte Variante, sowie in Kombination mit dem Additiv MaximalFlow[®] berechnet werden. Der Einsatz dieses Zusatzes führte in allen zugesetzten Beizen zu dem höchsten Niveau der Regressionsgeraden. Ausschließlich in Kombination mit dem Produkt Landor[®]CT Formel M konnte dabei eine negative Interaktion zur Messgröße ermittelt werden. Die detektierte Steigung konnte dabei als höchst signifikant deklariert werden. Jede Kombination eines Additivs mit dem Präparat Landor[®]CT Formel M resultierte in negativen Beziehungen zwischen applizierter Menge und dem Energieaufwand. Auffällig ist dabei, dass nur die Kombination mit MaximalFlow[®] statistisch nennenswerte Relevanzen aufwies ($p \leq 0,001$). Die im Roggen solo applizierten Behandlungsmittel führten, mit Ausnahme des Präparates Landor[®]CT Formel M zu einer positiven Interaktion von Aufwandmenge und Zielgröße. Einheitlich konnte eine statistische Relevanz nachgewiesen werden, die für die Beizen EfA[®] und Rubin[®]TT besonders aussagekräftig waren ($p \leq 0,001$). Ein statistisch relevanter Einfluss der Aufwandmenge konnte ebenfalls für jeglichen Einsatz des Zusatzproduktes MaximalFlow[®] berechnet werden. Besonders die Kombination mit dem Behandlungsmittel Landor[®]CT Formel M war dabei statistisch aussagekräftig ($p \leq 0,001$). Auffällig ist, dass diese Kombination, neben der solo applizierten Variante mit steigender Aufwandmenge zu einer Verringerung der energetischen Messgröße führte, die Kombination mit den weiteren Zusatzkomponenten Kantor[®] und Inteco[®] dagegen zu einer leichten, jedoch nicht statistisch relevanten Erhöhung. Die spezifischen Interaktionen der gruppierten Kombinationen wurden ebenfalls für die Beizen EfA[®] und Rubin[®]TT nachgewiesen. Jedoch verhielten sich die Effekte hier gegenläufig. Durch die Erhöhung der energetischen Messgröße, in Abhängigkeit der Aufwandmenge, nahm der Energieaufwand in den Kombinationen Solo und mit MaximalFlow[®] ab. Mit dem Einsatz der Beize Zardex[®]G konnten in der Solo Variante, sowie in Kombination mit dem Additiv Kantor[®] signifikant positive Steigungen über die Aufwandmengen berechnet werden. Eine höchst signifikante Interaktion, die jedoch negativ verlief wurde dagegen mit dem Zusatz Inteco[®] detektiert.

Die drei solo applizierten Universalbeizen EfA[®], Rubin[®]TT und Landor[®]CT Formel M hatten, abhängig von der Aufwandmenge, einen statistisch höchst signifikanten Einfluss auf die Messgröße im Hafer. Dabei wurde die freiwerdende Energie für die Mittel EfA[®] und Rubin[®]TT größer, die Fließfähigkeit wurde geringer, wogegen sie bei der Applikation von Landor[®]CT Formel M kleiner wurde, die Fließfähigkeit nahm somit zu. Denselben Einfluss bezüglich der entstehenden Energie konnte, wie auch schon im Roggen, für die Kombinationen des jeweiligen Präparates mit dem Zusatz MaximalFlow[®] ermittelt werden. Jeglicher Einsatz dieses Additivs hatte dabei einen signifikanten Einfluss auf die Messgröße. Die Kombinationen mit den weiteren Zusätzen Kantor[®] und Inteco[®] führten bei allen drei Behandlungsmitteln nahezu

einheitlich zu gegenläufigen Effekten. Mit Ausnahme der Kombination Landor[®]CT Formel M und Inteco[®], nahm die gemessene Energie mit steigender Aufwandmenge ab, die Fließfähigkeit somit zu. Für alle Beize-Additiv Interaktionen mit der Zusatzkomponente Kantor[®] konnte der Einfluss als statistisch relevant deklariert werden. Der Einsatz der Beize Zardex[®]G resultierte in allen Kombinationen mit und ohne Additiv in positiven Interaktionen. Nur die unterschiedlichen Aufwandmengen der solo applizierten Variante hatten dabei keinen signifikanten Einfluss auf die Fließfähigkeit. Statistisch signifikante Einflüsse wurden dagegen mit dem Zusatz Kantor[®] ($p \leq 0,05$), sowie Inteco[®] ($p \leq 0,001$) berechnet. Dabei lag das Niveau der Regressionsgeraden für die alleinige Beizmittelapplikation unterhalb derer, die mit einem Additiv versehen waren.

In der Triticale konnte über den Verlauf der Regressionsgeraden die Kombination der Beize EfA[®] mit dem Additiv Inteco[®] eine regulierende Wirkung auf die freiwerdende Energie ermittelt werden. Eine Signifikanz ergab sich dabei nicht. Nennenswerte Einflüsse auf die Messgröße wurden über die verschiedenen Aufwandmengen der Varianten Solo und mit MaximalFlow[®] berechnet ($p \leq 0,001$). Dies konnte ebenfalls mit der Beize Rubin[®]TT nachgewiesen werden. Je höher dabei die applizierte Menge war, desto größer war auch die freiwerdende Energie, die Fließfähigkeit nahm damit ab. Dagegen führte die Kombination von Rubin[®]TT mit den weiteren Zusatzstoffen Kantor[®] und Inteco[®] zu negativen Beziehungen, die jedoch nur für Inteco[®] eine statistische Signifikanz aufwiesen ($p \leq 0,001$). Wie auch schon in den Kulturen Weizen und Roggen wurde ein gegenläufiger Effekt für die Beize-Additiv Kombinationen, basierend auf dem Produkt Landor[®]CT Formel M errechnet. Sowohl die alleinige Applikation des Präparates, als auch die Kombination mit dem Zusatz MaximalFlow[®] resultierte in einer sinkenden Energie bei steigender Applikationsmenge, die jedoch nur mit dem Additiv eine statistische Signifikanz aufwies ($p \leq 0,001$). Es konnte dagegen eine steigende frei werdende Energie bei Erhöhung der Applikationsmenge detektiert werden, wenn die Applikation der Kombination mit Kantor[®] oder Inteco[®] angewendet wurde. Die Verwendung der Beize Zardex[®]G hatte in keiner Kombination einen nennenswerten Einfluss auf die Veränderung der Messgröße bei einer Erhöhung der Applikationsmenge. Lediglich Unterschiede im Verlauf der Steigung wurden detektiert. Eine positive Steigung wurde für die alleinige Beizapplikation ermittelt, negative dagegen bei beiden Additivzusätzen.

4.5.2. Vergleich der unterschiedlichen Beize-Additiv Kombinationen in Bezug auf die Messgröße Fließfähigkeit

Die als frei werdende Energie in kJ/kg zu detektierende Messgröße, als Maßeinheit für die dynamische Fließfähigkeit von 100g Saatgut, wurde für die unterschiedlichen Präparate und Beize-Additiv Kombinationen in allen Kulturen als Referenz für alle Stufen der qualitativen Einflussgröße Aufwandmenge gemessen und miteinander auf signifikante Unterschiede

verglichen. Die Höhe der entstehenden Energie, die beim Rutschen des Saatgutes in einer sich drehenden Trommel erzeugt wird, ist dabei umso größer, je steiler der Winkel der möglichen Aufschüttung vor der Entstehung ist. Das Schüttgut (Getreide) fließt umso schlechter, je höher die entstehende Energie ist.

4.5.2.1. Messung der Fließfähigkeit in der Weizenkultur

Die für die Beize EfA[®] und Rubin[®]TT dargestellte Fließfähigkeit in Form frei werdender Energie (kJ/kg) in der Weizenkultur (Abb. 25 Teil a und Teil b) zeigt für alle Beize-Additiv Kombinationen individuelle Höhen. Mit dem Einsatz des Zusatzproduktes MaximalFlow[®] wurde bei allen Aufwandmengen die höchste Energie gemessen. Diese unterschied sich in beiden Fällen einheitlich signifikant von dem alleinigen Einsatz der Präparate, sowie von den Kombinationen mit den Referenzadditiven Kantor[®] und Inteco[®]. Die frei werdende Energie, die in Folge des Einsatzes dieser weiteren Zusätze detektiert werden konnte, war in beiden Beizkombinationen zu allen Aufwandmengen signifikant niedriger als die vergleichbare der jeweiligen Solo Applikation. Eine statistisch nennenswerte Unterscheidung bezüglich der Messgröße konnte zwischen den Zusätzen Kantor[®] und Inteco[®] mit beiden Behandlungsmitteln nicht ermittelt werden.

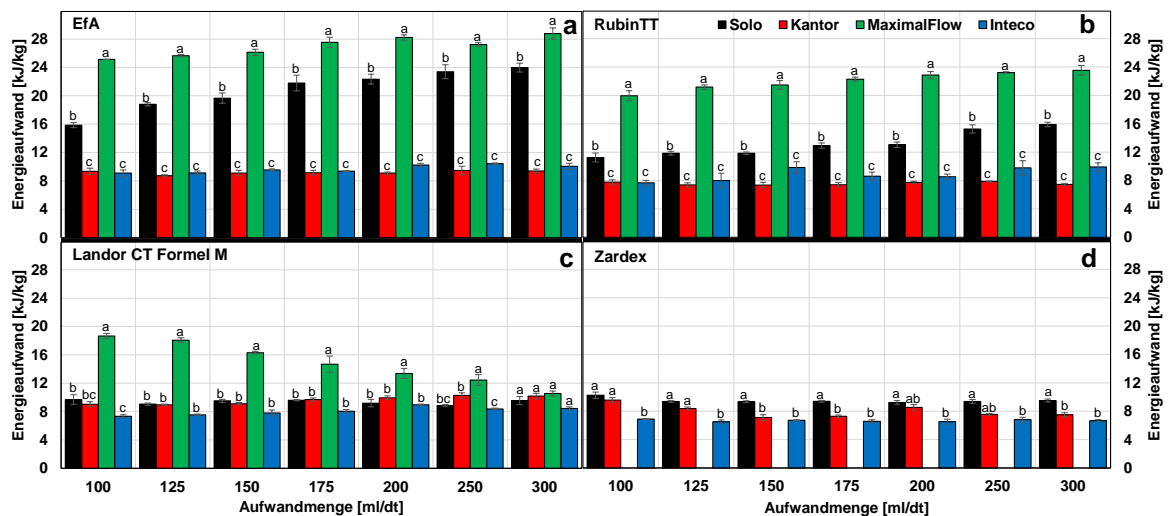


Abb. 25: Fließfähigkeit in kJ/kg (\pm SD) der Beizen EfA[®] (a), Rubin[®]TT (b), Landor[®]CT Formel M (c) und Zardex[®]G (d) in jeweils vier Varianten (Solo, mit Kantor[®], mit MaximalFlow[®] und mit Inteco[®]) für alle Beizeaufwandmengen (100, 125, 150, 175, 200, 250, 300 ml/dt), als Referenz der Varianten in jeder Aufwandmenge in der Weizenkultur

Mit dem Produkt Landor[®]CT Formel M entstand am meisten Energie, wenn es in Kombination mit MaximalFlow[®] appliziert wurde (Abb. 25 Teil c). Dabei nahmen die absoluten Werte mit steigenden Aufwandmengen ab. Signifikante Differenzen zu den übrigen Varianten konnten für nahezu alle Aufwandmengen berechnet werden. Lediglich bei der höchsten Aufwandmenge unterschieden sich alle Varianten nur marginal. Statistisch erfassbare Unterschiede zwischen den Varianten solo, mit Kantor[®] und mit Inteco[®] konnten nur vereinzelt

ermittelt werden. Bei den Aufwandmengen 100 ml/dt und 250 ml/dt war die gemessene Energie für die Kombination mit Inteco® signifikant kleiner.

Die höchste gemessene Energie wurde mit der Verwendung der Beize Zardex®G im Weizen mit der alleinigen Applikation des Produktes gemessen (Abb. 25 Teil d, Seite 72). Eine einheitlich signifikante Unterscheidung zur Kombination mit dem Produkt Inteco® konnte dabei berechnet werden. Die dokumentierten Werte lagen für diese Zusammenfügung am niedrigsten. Weniger homogen war die Unterscheidung der Kombination mit dem Produkt Kantor® von den übrigen Varianten. Eine statistisch relevante Unterscheidung zur alleinigen Mittelapplikation, durch niedrigere Messwerte, konnte nur für die Aufwandmengen 150 ml/dt, 175 ml/dt und 300 ml/dt berechnet werden. Eine nennenswerte Unterscheidung gegenüber dem Referenzprodukt konnte zudem bei den Aufwandmengen 100 ml/dt, 125 ml/dt, 200 ml/dt, sowie 250 ml/dt ermittelt werden.

4.5.2.2. Messung der Fließfähigkeit in der Gerstenkultur

Die Kombination des Produktes EfA® mit dem Additiv MaximalFlow® resultierte in den höchsten Energiewerten aller Referenzstufen für jegliche Beize Additiv Kombination (Abb. 26 Teil a, Seite 74). In Relation zur alleinigen Beizmittel Applikation konnte eine Signifikanz bei den Aufwandmengen 100 ml/dt, 200 ml/dt, 250 ml/dt und 300 ml/dt berechnet werden. Einheitlich lagen die Messwerte der Varianten mit den weiteren Zusätzen signifikant darunter.

Bei geringster Aufwandmenge konnte keine statistisch relevante Unterscheidung für die Beize-Additiv Kombinationen bezüglich der Messgröße ermittelt werden. Die kleinsten Energiewerte, die basierend auf dem Einsatz von Rubin®TT gemessen wurden, konnten ab einer Aufwandmenge von 125 ml/dt für die Kombination mit dem Zusatzprodukt Kantor® gemessen werden, die sich ab der nächst höheren Referenzstufe (150 ml/dt) signifikant von allen übrigen unterschieden (Abb. 26 Teil b, Seite 74). Die größten Messwerte wurden bei allen Aufwandmengen für mit dem Kombinationsprodukt MaximalFlow® nachgewiesen, die sich jedoch in keinem vergleich signifikant von allen übrigen Varianten unterschieden. Statistisch relevante Differenzen konnten ausschließlich vereinzelt, in Relation zur alleinigen Mittelapplikation, bei den Aufwandmengen 200 ml/dt und 250 ml/dt berechnet werden.

Die Kombination der Beize Landor®CT Formel M mit dem Additiv MaximalFlow® erzeugte für alle Aufwandmengen die höchsten Messwerte (Abb. 26 Teil c, Seite 74). Für die geringsten Aufwandmengen (100 ml/dt, 125 ml/dt) konnten keine signifikanten Unterschiede zum solo applizierten Produkt ermittelt werden. Eine einheitlich statistisch relevante Differenzierung der Variante mit dem Produkt MaximalFlow® konnte darüber hinaus gegenüber allen übrigen Kombinationen für nahezu alle weiteren Referenzstufen berechnet werden. Die niedrigsten Energiewerte konnten für alle Aufwandmengen mit dem Einsatz des Zusatzes Kantor® generiert werden. Eine Alleinstellung des Messwertes, konnte für die Aufwandmenge 175 ml/dt, aufgrund signifikanter Differenzen zu allen Referenzvarianten berechnet werden.

Weiter lagen die Werte für die genannte Kombination bei den Aufwandmengen 150 ml/dt und 200 ml/dt statistisch nachweislich niedriger als die der alleinigen Mittelapplikation.

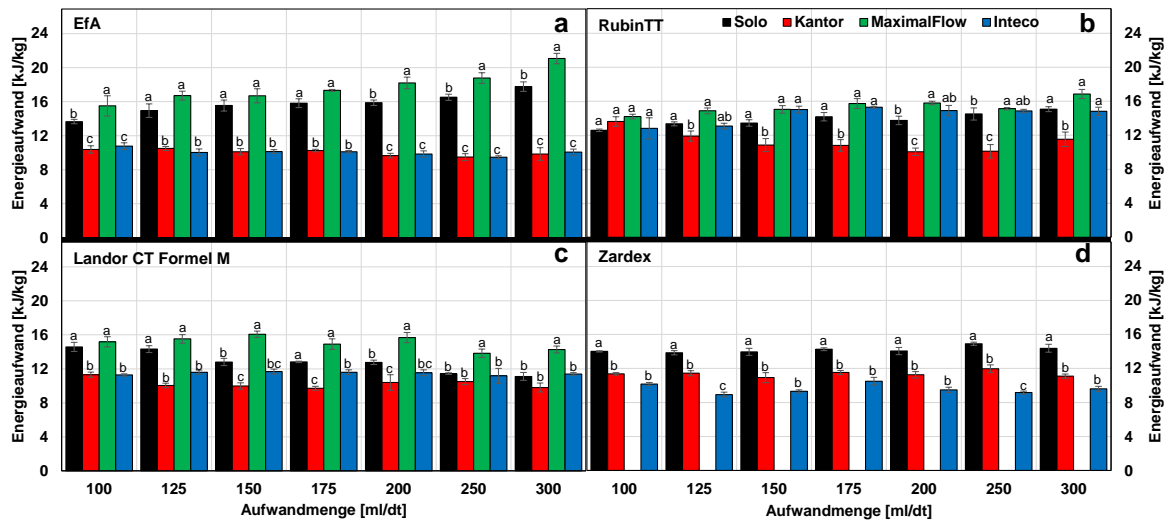


Abb. 26: Fließfähigkeit in kJ/kg (\pm SD) der Beizen Efa[®] (a), Rubin[®]TT (b), Landor[®]CT Formel M (c) und Zardex[®]G (d) in jeweils vier Varianten (Solo, mit Kantor[®], mit MaximalFlow[®] und mit Inteco[®]) für alle Beizeaufwandmengen (100, 125, 150, 175, 200, 250, 300 ml/dt), als Referenz der Varianten in jeder Aufwandmenge in der Gerstenkultur

Auf Basis des Beize Zardex[®]G wurden die höchsten Energiewerte mit der alleinigen Applikation des Produktes bei allen Aufwandmenge ermittelt (Abb. 26 Teil d). Eine signifikante Unterscheidung zu den Varianten mit einem Additivzusatz wurde einheitlich berechnet. Partiell konnten zudem statistisch relevante Differenzen zwischen den Messwerten der Kombinationen mit Additiv Ergänzung nachgewiesen werden (125 ml/dt, 250 ml/dt).

4.5.2.3. Messung der Fließfähigkeit in der Roggenkultur

In der Kultur Roggen wurden mit dem Einsatz der Beizen Efa[®] und Rubin[®]TT der jeweils höchste Energieaufwand in Kombination mit dem Additiv MaximalFlow[®] für alle Referenzstufen gemessen (Abb. 27 Teil a und b, Seite 75). Die zweithöchsten Werte wurden mit der alleinigen Mittelapplikation ermittelt. Signifikante Differenzierungen zu den niedriger liegenden Energiewerten konnte dabei nur vereinzelt nachgewiesen werden (Efa[®] 125 ml/dt, Rubin[®]TT 100 ml/dt). Nahezu vollständig konnte mit beiden Behandlungsmitteln eine statistisch relevante Differenzierung (Signifikanz) der Messwerte zu den übrigen Kombinationsprodukten Kantor[®] und Inteco[®] berechnet werden. Nur bei der geringsten applizierten Menge wurde dies für die Varianten solo und mit Inteco[®] jeweils einmalig nicht bestätigt.

Eine deutliche Differenzierung des Energieaufwandes konnte mit dem Mittel Landor[®]CT Formel M, zwischen den unterschiedlichen Beize-Additiv Kombinationen nachgewiesen werden (Abb. 27 Teil c, Seite 75). Besonders hoch lagen dabei die Messwerte der mit MaximalFlow[®] versetzten Variante. Diese unterschieden sich bei allen Aufwandmengen

signifikant von den weiteren Beizrezepturen. Die einheitlich niedrigsten Messwerte wurden mit der Addition des Produktes Kantor® ermittelt. Nennenswerte Unterscheidungen (Signifikanzen) konnten darüber hinaus nahezu vollständig gegenüber der Referenzkombination mit Inteco® berechnet werden (Ausnahme 125 ml/dt, 150 ml/dt), wogegen eine Differenzierung zur alleinigen Beizmittelapplikation kaum gegeben war (125 ml/dt).

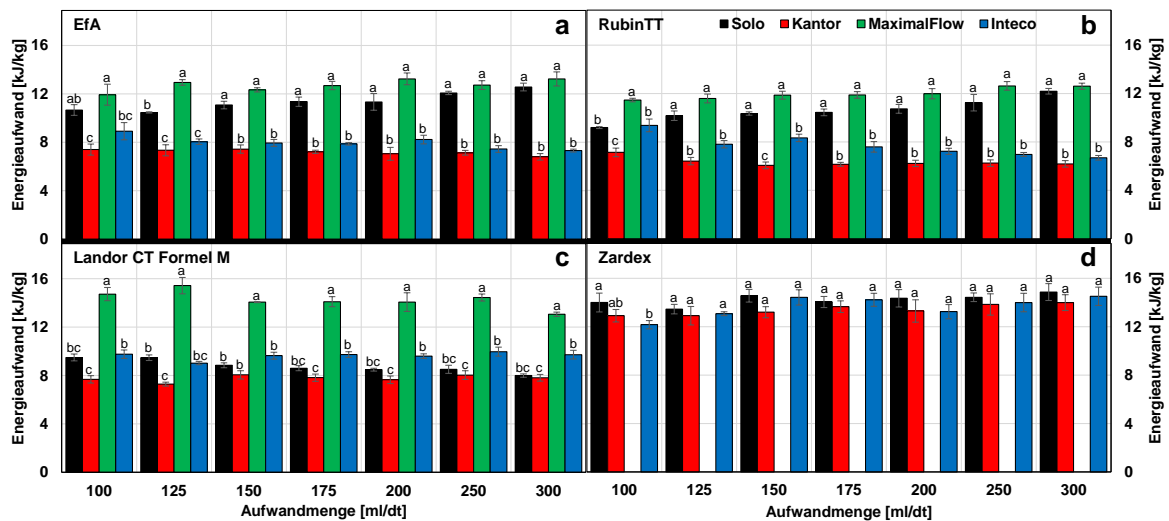


Abb. 27: Fließfähigkeit in kJ/kg (\pm SD) der Beizen EfA® (a), Rubin®TT (b), Lantor®CT Formel M (c) und Zardex®G (d) in jeweils vier Varianten (Solo, mit Kantor®, mit MaximalFlow® und mit Inteco®) für alle Beizaufwandmengen (100, 125, 150, 175, 200, 250, 300 ml/dt), als Referenz der Varianten in jeder Aufwandmenge in der Roggenkultur

Bei Verwendung des Produktes Zardex®G im Roggen, konnte lediglich bei der geringsten applizierten Menge (100 ml/dt) ein statistisch erfassbarer Unterschied zwischen den Beize-Additiv Kombinationen ermittelt werden (Abb. 27 Teil d). Eine Signifikanz wurde zwischen den Messgrößen der alleinigen Applikation und der Addition mit Inteco® nachgewiesen. Für alle weiteren Referenzstufen wurden keine nennenswerten Unterschiede bezüglich des Energieaufwandes detektiert.

4.5.2.4. Messung der Fließfähigkeit in der Haferkultur

Mit dem Einsatz der Beize EfA® wurden im Hafer die höchsten Energiewerte in Kombination mit dem Zusatzprodukt MaximalFlow® bei allen Aufwandmengen gemessen werden (Abb. 28 Teil a, Seite 76). Mit Ausnahmen der geringsten applizierten Menge, konnte eine signifikante Differenzierung allen Referenzvarianten ermittelt werden. Die niedrigsten Energiewerte wurden in Kombination mit den Additiven Kantor® und Inteco® für nahezu alle Vergleichsstufen ermittelt. Signifikante Unterschiede zur alleinigen Beizmittel Applikation von EfA® wurden ab der Aufwandmenge 150 ml/dt bis 300 ml/dt berechnet. Eine statistisch relevante Unterscheidung zwischen den Messwerten beider Zusatzprodukte wurde zu keiner Zeit nachgewiesen.

Bei der Verwendung des Saatgutbehandlungsmittels Rubin[®]TT im Hafer konnte bezüglich der Referenz gemessener Energiewerte kein eindeutiger Effekt ermittelt werden (Abb. 28 Teil b). Allgemein lagen die Messwerte alle Beize-Additiv Kombinationen auf einem ähnlichen Niveau. Signifikanzen konnten dabei sehr heterogen berechnet werden. Auffällig ist, dass für nahezu alle Aufwandmengen die kleinste freiwerdende Energie mit der alleinigen Beizmittel Applikation detektiert werden konnte (Ausnahme 300 ml/dt). Statistisch nennenswerte Unterscheidungen zu mindestens einer kombinierten Verwendung von Beize und Additiv lagen bis zu einer Aufwandmenge von 200 ml/dt vor.

Die größte Energie konnte, als Maß für die Fließfähigkeit, in den Varianten solo und in Kombination mit dem Produkt MaximalFlow[®] bei Verwendung der Beize Landor[®]CT Formel M für alle Referenzebenen detektiert werden (Abb. 28 Teil c). Es konnte zu keiner Aufwandmenge eine signifikante Unterscheidung nachgewiesen werden. Mit Ausnahme der ersten Aufwandmenge, konnten die kleinsten Energiewerte für die Kombination mit dem Produkt Kantor[®] gemessen werden. Signifikante Unterscheidungen zur solo und mit MaximalFlow[®] versetzten Variante bestanden dabei nahezu vollständig. Eine deutliche Differenzierung (Signifikanz) wurde ebenfalls für die Referenz mit dem Zusatzprodukt Inteco[®], ab einer Aufwandmenge von 150 ml/dt, berechnet. Dagegen konnte ab einer Aufwandmenge von 125 ml/dt keine Differenzierung der Messwerte für die Beize-Additiv Kombinationen mit Inteco[®] und MaximalFlow[®] dokumentiert werden.

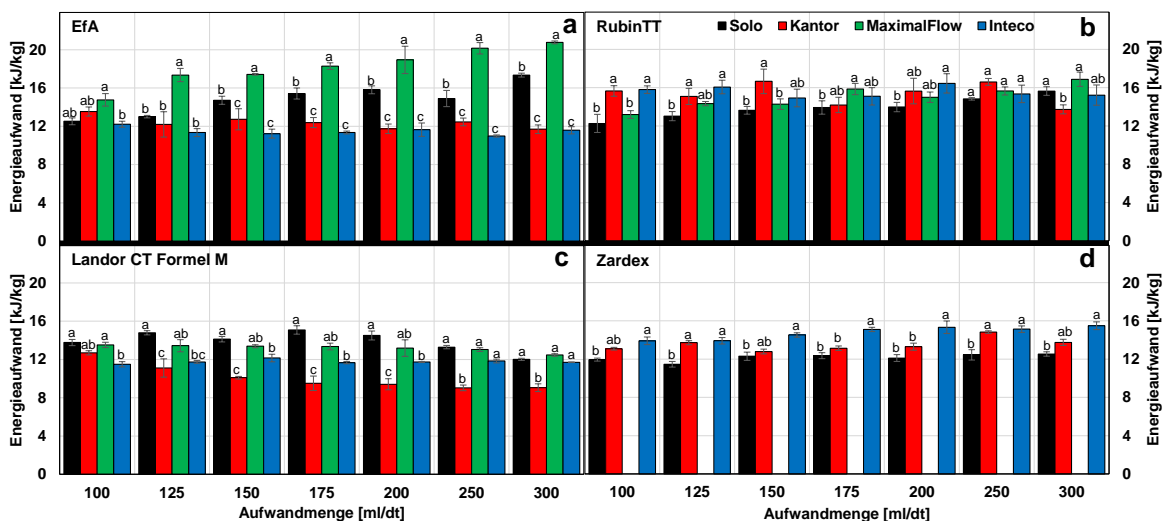


Abb. 28: Fließfähigkeit in kJ/kg (\pm SD) der Beizen Efa[®] (a), Rubin[®]TT (b), Landor[®]CT Formel M (c) und Zardex[®]G (d) in jeweils vier Varianten (Solo, mit Kantor[®], mit MaximalFlow[®] und mit Inteco[®]) für alle Beizeaufwandmengen (100, 125, 150, 175, 200, 250, 300 ml/dt), als Referenz der Varianten in jeder Aufwandmenge in der Haferkultur

Die kleinste energetische Größe konnte für alle Aufwandmengen mit dem alleinigen Einsatz der Beize Zardex[®]G ermittelt werden (Abb. 28 Teil d). Die Messwerte waren dabei signifikant geringer als die der Kombination mit Inteco[®]. Die Referenz zum weiteren Additiv Kantor[®] erwies sich dagegen als heterogen. Nur marginale Unterscheidungen zu beiden

Referenzkombinationen (100 ml/dt, 150 ml/dt, 300 ml/dt), als auch Differenzierungen zu nur einer Kombination (125 ml/dt, 250 ml/dt signifikant gegenüber Solo Applikation; 175 ml/dt, 200 ml/dt signifikant zur Kombination mit Inteco®) wurden nachgewiesen.

4.5.2.5. Messung der Fließfähigkeit in der Triticale

In der Triticale konnte mit Verwendung der Beize EfA® eine deutliche Differenzierung zwischen dem gemessenen Energieaufwand der einzelnen Beize-Additiv Kombinationen ermittelt werden (Abb. 29 Teil a, Seite 78). Die absolut höchsten Messwerte wurden dabei durch die Komposition mit dem Additiv MaximalFlow® gemessen. Es handelt sich um die größten detektierten Messwerte aller durchgeführten Applikationen in der Kultur. Dabei unterschieden sich die Werte nahezu vollständig von denen, die mittels alleiniger Mittelapplikation erzeugt wurden (Ausnahme 250 ml/dt). Mit der Addition der weiteren Zusätze Kantor® und Inteco® lag der jeweils gemessene Energieaufwand bei allen Aufwandmengen signifikant niedriger als die der übrigen Kombinationen. Eine Differenzierung untereinander konnte dagegen nicht belegt werden.

Der höchste Energieaufwand, der mit dem Beizmittel Rubin®TT detektiert werden konnte, wurde für alle Referenzstufen in Kombination mit dem Additiv MaximalFlow® gemessen (Abb. 29 Teil b, Seite 78). Die Werte lagen dabei signifikant höher als die der Vergleichskompositionen. Nennenswerte Unterscheidungen zwischen den übrigen Varianten wurden unregelmäßig detektiert. Bei den drei höchsten applizierten Mengen (200 ml/dt, 250 ml/dt, 300 ml/dt) wurde ein signifikant geringerer Energieaufwand für die mit Kantor® und Inteco® versetzten Varianten gegenüber der alleinigen Mittelapplikation nachgewiesen. Eine statistisch relevante Differenzierung untereinander wurde nicht berechnet. Weiter wurde bei den Aufwandmengen 100 ml/dt und 175 ml/dt eine relevante Unterscheidung der Messwerte zwischen solo appliziertem Mittel und einer Additiv ergänzten Variante ermittelt. Dabei lagen die Werte der Kombination mit Kantor® signifikant niedriger. Bei den Aufwandmengen 125 ml/dt und 150 ml/dt konnte neben der homogenen statistischen Messwertdifferenzierung zur Kombination mit dem Zusatz MaximalFlow® keine weitere Untergliederung berechnet werden.

Deutlich weniger differenzierten die Messwerte für den Energieaufwand, wenn das Produkt Landor®CT Formel M verwendet wurde (Abb. 29 Teil c, Seite 78). Bei geringen Aufwandmengen konnte dabei die größte Unterscheidung ermittelt werden. Signifikante Unterscheidungen konnten dabei zwischen den Messwerten der Kombination mit MaximalFlow® und den übrigen Varianten berechnet werden. Diese Differenzierung war ab der Aufwandmenge 150 ml/dt gegenüber dem solo applizierten Produkt nicht mehr gegeben, gegenüber den weiteren Additiv versetzten Kombinationen nicht mehr ab der Aufwandmenge 200 ml/dt.

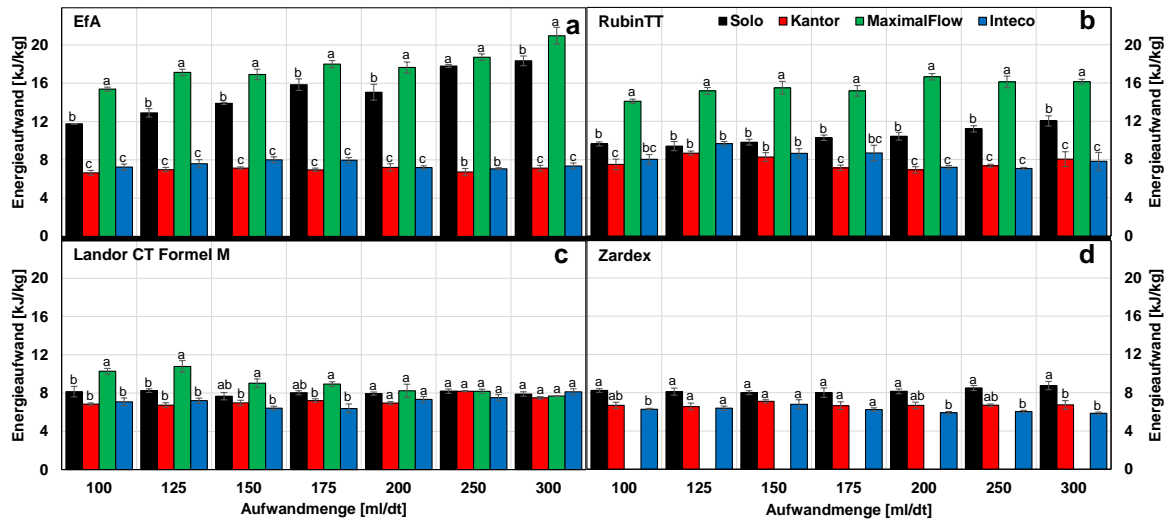


Abb. 29: Fließfähigkeit in kJ/kg (\pm SD) der Beizen EFA[®] (a), Rubin[®]TT (b), Landor[®]CT Formel M (c) und Zardex[®]G (d) in jeweils vier Varianten (Solo, mit Kantor[®], mit MaximalFlow[®] und mit Inteco[®]) für alle Beizaufwandmengen (100, 125, 150, 175, 200, 250, 300 ml/dt), als Referenz der Varianten in jeder Aufwandmenge in der Triticale

Die Verwendung der Beize Zardex[®]G führte in der Kultur Triticale nur vereinzelt zu signifikanten Unterschieden zwischen den Varianten. Keine Differenzierung zwischen den applizierten Kompositionen wurde bei drei Referenzstufen (125 ml/dt, 150 ml/dt, 175 ml/dt) nachgewiesen. Eine statistisch relevante Unterscheidung zweier Varianten konnte zwischen der alleinigen Mittelzugabe und der mit Inteco[®] ergänzten Behandlung bei weiteren drei Vergleichen ermittelt werden (100 ml/dt, 200 ml/dt, 250 ml/dt). Bei höchster Aufwandmenge konnte ein signifikant geringerer Energieaufwand für beide Additiv-zugesetzten Kombinationen gegenüber der Soloapplikation berechnet werden.

4.5.3. Interaktion von Heubachwert und Fließfähigkeit

Um zu klären, ob es einen linearen Zusammenhang zwischen den erhobenen Messgrößen „Staubabrieb“ und „Fließfähigkeit“ gibt, wurde eine Korrelationsanalyse durchgeführt. Dabei konnte „naiv“, als Gesamtbetrachtung über alle Einzelwerte aus Kulturen, Beizen, Additive und Aufwandmengen eine signifikante Beziehung mit einer Korrelation von 0,22 detektiert werden. Eine Analyse der Korrelationen, getrennt nach den Kombinationen von Kultur, Beize, Additiv, Aufwandmenge (folglich nur einzeln jeweils über die drei Wiederholungen je Messpunkt), die in einem ersten Schritt einen Korrelationswert je Gruppe erzeugte und dieser in der Folge als Mittelwert dargestellt wurde, legt den Schluss nahe, dass es eine ganz schwache Korrelation gibt ($r = -0,02$), die dann jedoch nicht relevant (signifikant, $p = 1$) ist. Es handelt sich dabei um eine ungenaue, jedoch echte Korrelation, da jegliche Einflussgrößen konstant gehalten wurden und somit 525 Gruppenkorrelationen entstanden. Die Betrachtung dieser echten Korrelation ist jedoch in diesem Fall nicht zielführend, da lediglich bestimmte Voraussetzungen Signifikanzen aufweisen. Es handelt sich dabei um deutlich genauere lineare Beziehungen,

die jedoch aufgrund des Nicht-Konstant-Haltens von Einflussfaktoren Scheinkorrelationen darstellen.

Auf dieser Grundlage wurde untersucht, in wie weit die Messgrößen Staubabrieb und Fließfähigkeit innerhalb einer Beiz-Additiv Kombination über alle Aufwandmengen korrelieren. Die Korrelationskoeffizienten (Tab 35, Seite 80) zeigen eine hohe Individualität. Sowohl positive, als auch negative Beziehungen konnten dokumentiert werden. Dabei wurden unterschiedlich starke Ausprägungen, bezüglich der Aussagekraft (Signifikanz) ermittelt.

Für die Beize EfA[®] konnte in der Variante ohne Additiv in allen Kulturen ein signifikanter Zusammenhang zwischen den beiden Messgrößen berechnet werden. In den Kulturen Weizen und Triticale wurde dabei eine positive, in den Kulturen Gerste, Roggen und Hafer dagegen eine negative Korrelation detektiert. Dabei konnte einheitlich eine statistische Relevanz zwischen den Messgrößen ermittelt werden, die jedoch über die Signifikanzstufen differierten. Eine höchst signifikante Beziehung zwischen Staubabrieb und Fließfähigkeit wurde in den Kulturen Weizen und Roggen berechnet, eine hoch signifikante in der Kultur Triticale, sowie signifikante in den Kulturen Gerste und Hafer. Der Einsatz der unterschiedlichen Additive führte lediglich in Kombination mit MaximalFlow[®] im Weizen zu einer statistisch relevanten Beziehung. Die linearen Beziehungen aller Additiv-zugesetzten Beizapplikationen zeigten in keiner Kultur einen signifikanten Zusammenhang zwischen Staubabrieb und Fließfähigkeit. Generell wiesen die Scheinkorrelationen für alle Versuchsglieder mit Additiv einen flacheren Verlauf gegenüber der jeweiligen alleinigen Applikation von EfA[®] auf. Dabei differenzierte auch die Art der Beziehung innerhalb einer Kultur. Mit Ausnahme des Weizens, bei dem alle Beize-Additiv Kombinationen der Beize EfA[®] einen positiven Zusammenhang generierten, konnten in allen Kulturen sowohl positive als auch negative Scheinkorrelationen berechnet werden.

Mit dem Einsatz der Beize Rubin[®]TT konnte keine Regelmäßigkeit in dem Auftreten statistisch aussagekräftiger Scheinkorrelationen zwischen den Messgrößen errechnet werden. Während die alleinige Applikation des Behandlungsmittels in den Kulturen Weizen und Triticale zu einem höchst signifikanten positiven Zusammenhang führte, konnte eine ähnlich hohe Individualität statistischer Aussagekraft auch in Kombination mit den einzelnen Additiven detektiert werden. Nennenswerte Zusammenhänge ($p \leq 0,05$) wurden in Kombination mit dem Produkt Kantor[®] in den Kulturen Weizen und Gerste berechnet. Das Hinzugeben des Präparates MaximalFlow[®] generierte einen höchst signifikanten positiven Zusammenhang zwischen den Messgrößen in der Kultur Weizen. Hoch signifikante p-Werte ($p \leq 0,01$) konnten dabei auch in den Kulturen Hafer und Triticale ermittelt werden, sowie in der Kultur Roggen, wenn das Präparat Inteco[®] eingesetzt wurde. Einheitlich positive oder negative Beziehungen zwischen den Messgrößen, konnten in keiner Kultur ermittelt werden. Ebenfalls konnte dem Einsatz einer definierten Beizrezeptur keine generelle Beziehung (unabhängig von den betrachteten Kulturen) zugeordnet werden.

Ergebnisse

Tab 35: Korrelationskoeffizienten, sowie deren Signifikanz für den Zusammenhang von Staubabriebs und Flowmeter-Werte der Beizen EfA[®], Rubin[®]TT, Landor[®]CT Formel M und Zardex[®]G in jeweils vier Varianten (Solo, mit Kantor[®], mit MaximalFlow[®] und mit Inteco[®]) als Funktion der Beizaufwandmenge (100, 125, 150, 175, 200, 250, 300 ml/dt)

Kultur		Weizen	Gerste	Roggen	Hafer	Triticale
Beize	Additiv					
EfA [®]	-	0,83062	-0,50656	-0,80328	-0,50317	0,66138
		***	*	***	*	**
EfA [®]	Kantor [®]	0,04104	-0,02301	-0,01405	0,32995	-0,36399
		-	-	-	-	-
EfA [®]	MaximalFlow [®]	0,44278	-0,20180	-0,02572	0,32806	0,39659
		*	-	-	-	-
EfA [®]	Inteco [®]	0,36737	0,31758	0,32595	-0,06368	-0,06917
		-	-	-	-	-
Rubin [®] TT	-	0,78805	-0,26246	-0,05492	-0,10844	0,69936
		***	-	-	-	***
Rubin [®] TT	Kantor [®]	-0,45361	0,49238	0,26583	0,03899	0,36118
		*	*	-	-	-
Rubin [®] TT	MaximalFlow [®]	0,68236	-0,00654	0,20999	0,65119	0,57699
		***	-	-	**	**
Rubin [®] TT	Inteco [®]	0,06291	-0,35289	0,60855	0,05501	-0,08399
		-	-	**	-	-
Landor [®] CT Formel M	-	-0,19207	0,61208	0,85801	0,54736	0,20271
		-	**	***	*	-
Landor [®] CT Formel M	Kantor [®]	-0,11657	-0,26498	-0,49470	0,75177	-0,69172
		-	-	*	***	***
Landor [®] CT Formel M	MaximalFlow [®]	-0,00966	-0,39668	0,73997	0,52368	-0,67001
		-	-	***	*	***
Landor [®] CT Formel M	Inteco [®]	0,19225	0,00657	-0,04209	0,00028	0,47945
		-	-	-	-	*
Zardex [®] G	-	-0,51219	-0,27925	0,03426	0,34427	0,02995
		*	-	-	-	-
Zardex [®] G	Kantor [®]	0,24590	0,06113	0,10407	-0,04237	-0,00039
		-	-	-	-	-
Zardex [®] G	Inteco [®]	-0,25824	-0,09959	-0,60054	-0,69666	-0,57086
		-	-	**	***	**

Signifikanzstufen: ≤ 0,001 ***; ≤ 0,01 **, ≤ 0,05 *

Der Einsatz der Beize Landor[®]CT Formel M resultierte erneut in höchst individuell verlaufenden Scheinkorrelationen. Die alleinige Verwendung konnte statistisch relevante Beziehungen zwischen den Messgrößen in den Kulturen Gerste, Roggen und Hafer nachweisen, deren Güte bezüglich der Signifikanzniveaus differierte. Dabei konnte der höchste Korrelationskoeffizient ($r=0,85801$) aller untersuchter Kombinationen und Kulturen berechnet werden. Es handelt sich um die stärkste statistische Beziehung beider Messgrößen. Auffällig ist weiter, dass im Weizen aus keiner Beize-Additiv Kombination, basierend auf dem Produkt Landor[®]CT Formel M eine signifikante Beziehung zwischen den Zielgrößen berechnet werden konnte. In der Gerste ergaben sich keine nennenswerten Interaktionen, wenn Additive zugegeben wurden. In beiden Kulturen differenziert jedoch die Art der Beziehung. Dies konnte ebenfalls in den übrigen Kulturen Roggen, Hafer und Triticale detektiert werden. Starke statistische Beziehungen wurden dabei in allen drei Kulturen mit dem Einsatz der Produkte Kantor[®] und MaximalFlow[®] berechnet, deren statistische Güte variierte ($p \leq 0,05$; $p \leq 0,001$). Durch das Hinzugeben des Additivs Inteco[®] konnte ausschließlich in der Triticale eine statistische Relevanz der Messgrößen zueinander ermittelt werden.

Statistisch aussagekräftige Beziehungen zwischen den Messgrößen ($p \leq 0,05$) konnten mit dem Einsatz der Beize Zardex[®]G ausschließlich im Weizen generiert werden. Nennenswerte Beziehungen konnten weiter in Kombination mit dem Produkt Inteco[®] in den Kulturen Roggen, Hafer und Triticale berechnet werden. Die Kombination mit dem Additiv Kantor[®] führte zu keiner statistischen Signifikanz. In allen Kulturen differenziert darüber hinaus die Art der Korrelation, abhängig von der Beize-Additiv Kombination.

4.6. Teilversuch VI: Ergebnisse der optischen Auswertung

In der Kovarianzanalyse (ANCOVA, Tab 36) konnten signifikante Einflüsse aller einzelnen Einflussfaktoren, sowie jeglicher Interaktion nachgewiesen werden. Alle Einflüsse konnten dabei als höchst signifikant eingestuft werden.

Tab 36: Kovarianzanalyse (ANCOVA) der einzelnen Einflussgrößen, sowie aller Kombinationen auf die Messgröße Beizverteilung

	Df	sum sq	mean sq	F value	Pr(>F)	
Aufwandmenge	1	3733005	3733005	22188,761	<2,2e-16	***
Kultur	4	12926802	3231701	19209,037	<2,2e-16	***
Beizmittel-Additiv (BA)	14	9254928	661066	3929,339	<2,2e-16	***
Kultur : BA	56	926916	16552	98,385	<2,2e-16	***
Aufwandmenge: Kultur : BA	74	902300	12193	72,476	<2,2e-16	***
Residuen	62850	10573793	168			

Signifikanzstufen: $\leq 0,001$ ***; $\leq 0,01$ **, $\leq 0,05$ *

Höchst signifikante Einflüsse auf die Messgröße wurden ebenfalls mit dem qualitativen Ansatz der Aufwandmengen generiert (Tab 37). P-Werte, die kleiner als 0,001 sind, wurden für alle Einzelfaktoren sowie aller zwei- und dreifach Wechselwirkungen berechnet.

Tab 37: Varianzanalyse (ANOVA) der einzelnen Einflussgrößen, sowie aller Kombinationen auf die Messgröße Beizverteilung

	Df	sum sq	mean sq	F value	Pr(>F)	
Kultur	4	12926802	3231701	20629,9610	<2,2e-16	***
Beizmittel : Additiv (BA)	14	9254928	661066	4219,3849	<2,2e-16	***
Aufwandmenge	6	4218392	703065	4487,4521	<2,2e-16	***
Kultur : BA	56	926916	16552	105,6469	<2,2e-16	***
Kultur : Aufwandmenge	24	266383	11099	70,8435	<2,2e-16	***
BA : Aufwandmenge	84	431502	5137	32,7875	<2,2e-16	***
Kultur : BA : Aufwandmenge	336	504636	1502	9,5861	<2,2e-16	***
Residuen	62475	9788184	157			

Signifikanzstufen: $\leq 0,001$ ***; $\leq 0,01$ **, $\leq 0,05$ *

4.6.1. Vergleich der unterschiedlichen Beize-Additiv Kombinationen in Bezug auf die Messgröße gefärbte Fläche auf dem Einzel Korn

Im Vergleich zu den zuvor ermittelten Messgrößen „Staubabrieb“ und „Fließfähigkeit“, war es für die Messung der prozentual gefärbten Oberfläche auf dem Einzelkorn notwendig einen deutlich höheren Stichprobenumfang je Messpunkt zu verwenden. In der exemplarischen Darstellung der Häufigkeitsverteilung (Abb. 30) ist erkennbar, dass unabhängig von der verwendeten Beize-Additiv Kombination eine hohe Datenstreuung über den nahezu vollständigen Bereich der approximativen Normalverteilung vorliegt. Die Schwankung der Daten ist dabei so groß, dass sich der größte Bereich der jeweiligen Standardabweichung für jede qualitative Einflussgröße stark überlagert. Der Stichprobenumfang wurde in der Folge deutlich auf einen Wert von 120 erhöht.

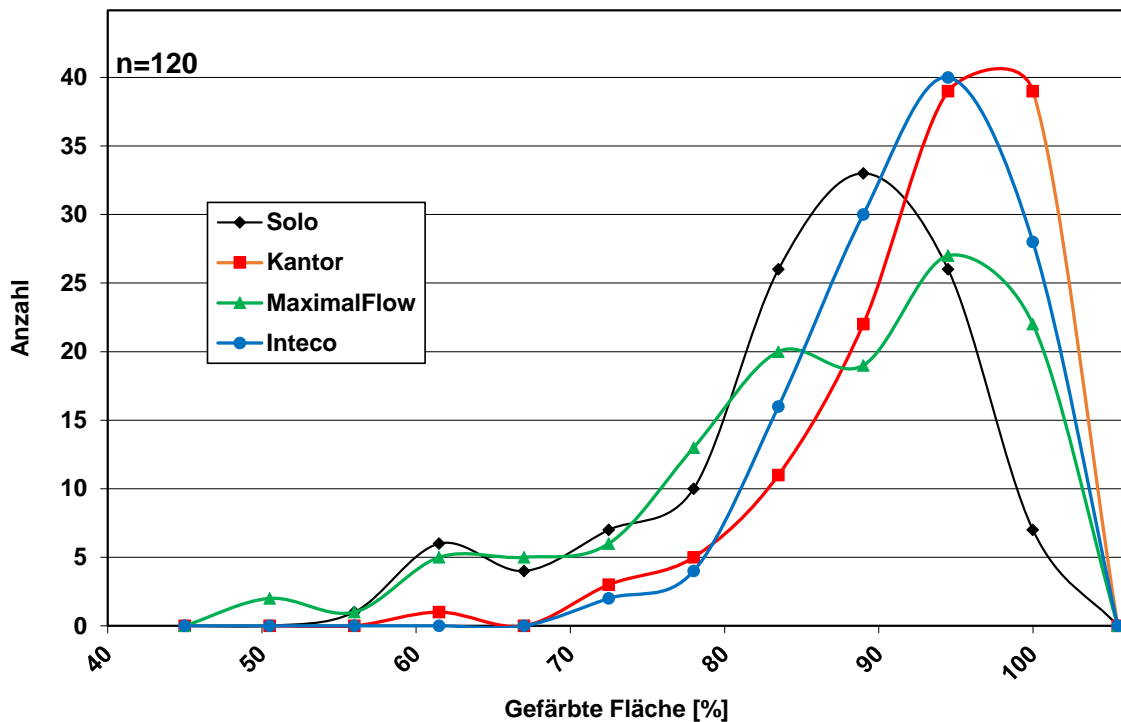


Abb. 30: Häufigkeitsverteilung für die prozentual gefärbte Fläche bei 10 Inkrementen mit einem Abschnitt von 5,5 für die Beize EfA® in den Varianten Solo, mit Kantor®, mit MaximalFlow® und mit Inteco®, exemplarisch in der Aufwandmenge 200 ml/dt in der Weizenkultur

4.6.1.1. Messung der gefärbten Kornoberfläche in der Weizenkultur

In der Weizenkultur wurden abhängig von dem eingesetzten Saatgutbehandlungsmittel unterschiedliche Bedeckungsgrade der Einzelkornoberflächen generiert. Je nach eingesetztem Ergänzungsprodukt konnten, abhängig von der Aufwandmenge, verschieden ausgeprägte Differenzen zwischen den Beize-Additiv Kombinationen detektiert werden.

Es konnten Unterschiede zwischen der gefärbten Flächen detektiert werden, wenn die Beize EfA[®] mit unterschiedlichen Additiven kombiniert wurde (Abb. 31 Teil a, Seite 85). Bei nahezu allen Aufwandmengen konnte mit der alleinigen Applikation des Produktes die geringste Fläche bedeckt werden. Ausschließlich bei der Aufwandmenge 125 ml/dt wurde für die Kombination mit dem Additiv MaximalFlow[®] ein marginal geringerer Anteil gemessen. Statistisch relevante Unterscheidungen konnten bei dieser Applikationsmenge zwischen keiner Variante berechnet werden. Eine signifikante Differenzierung der solo verabreichten Beize und der mit MaximalFlow[®] versetzten wurde nur bei geringster Referenzstufe nachgewiesen. Für alle weiteren applizierten Mengen konnte keine nennenswerte Unterscheidung gefunden werden. Die Kombination mit dem Additiv Kantor[®] wies einen nahezu vollständig, signifikant höheren Anteil gefärbter Fläche, gegenüber der alleinigen Applikation auf (Ausnahme 125 ml/dt). Eine statistisch relevante Unterscheidung konnte weiter, ab einer Aufwandmenge von 150 ml/dt, auch gegenüber der Komposition mit dem Produkt MaximalFlow[®] berechnet werden. Bei den applizierten Mengen 150 ml/dt, 175 ml/dt und 250 ml/dt konnte für die Werte der gefärbten Kornoberfläche für die Inteco[®] zugesetzten Mischungen keine Signifikanz gegenüber einer weiteren Variante ermittelt werden. Eine statistisch messbar höhere rote Oberfläche wurde bei den Aufwandmengen 100 ml/dt und 200 ml/dt gegenüber der solo applizierten Variante berechnet. Bei höchster Aufwandmenge unterschied sich die Komposition zusätzlich von der Beize-Additiv Kombination mit MaximalFlow[®].

Mit der Verwendung der beize Rubin[®]TT in der Weizenkultur, konnte für nahezu jede Aufwandmenge mit der alleinigen Mittelapplikation die geringste Kornoberfläche bedeckt werden (Abb. 31 Teil b, Seite 85). Mit Ausnahme der applizierten Menge 125 ml/dt, wurde der jeweils höchste Bedeckungsgrad der Einzelkornoberfläche in Kombination mit dem Zusatz Kantor[®] gemessen. Außer bei genannter Referenzstufe, lag die gefärbte Fläche signifikant höher als die der Solo Variante. Relativ zur alleinigen Applikation konnten weiter signifikant höhere Messwerte der Komposition mit dem Additiv MaximalFlow[®] berechnet werden. Ausschließlich bei höchster Aufwandmenge war die Differenzierung nicht statistisch erfassbar, wogegen die Werte dort einmalig signifikant niedriger lagen als die mit dem Zusatz Kantor[®]. Mit dem Hinzugeben des Hilfsstoffes Inteco[®] konnten für die prozentual gefärbte Fläche Messwerte detektiert werden, die zwischen denen der weiteren Kombinationen lagen. Allein bei der Aufwandmenge 200 ml/dt war der Anteil gefärbter Oberfläche signifikant höher als bei alleiniger Mittelapplikation. Deutlicher war die Unterscheidung gegenüber der Kantor[®] zuge-

Ergebnisse

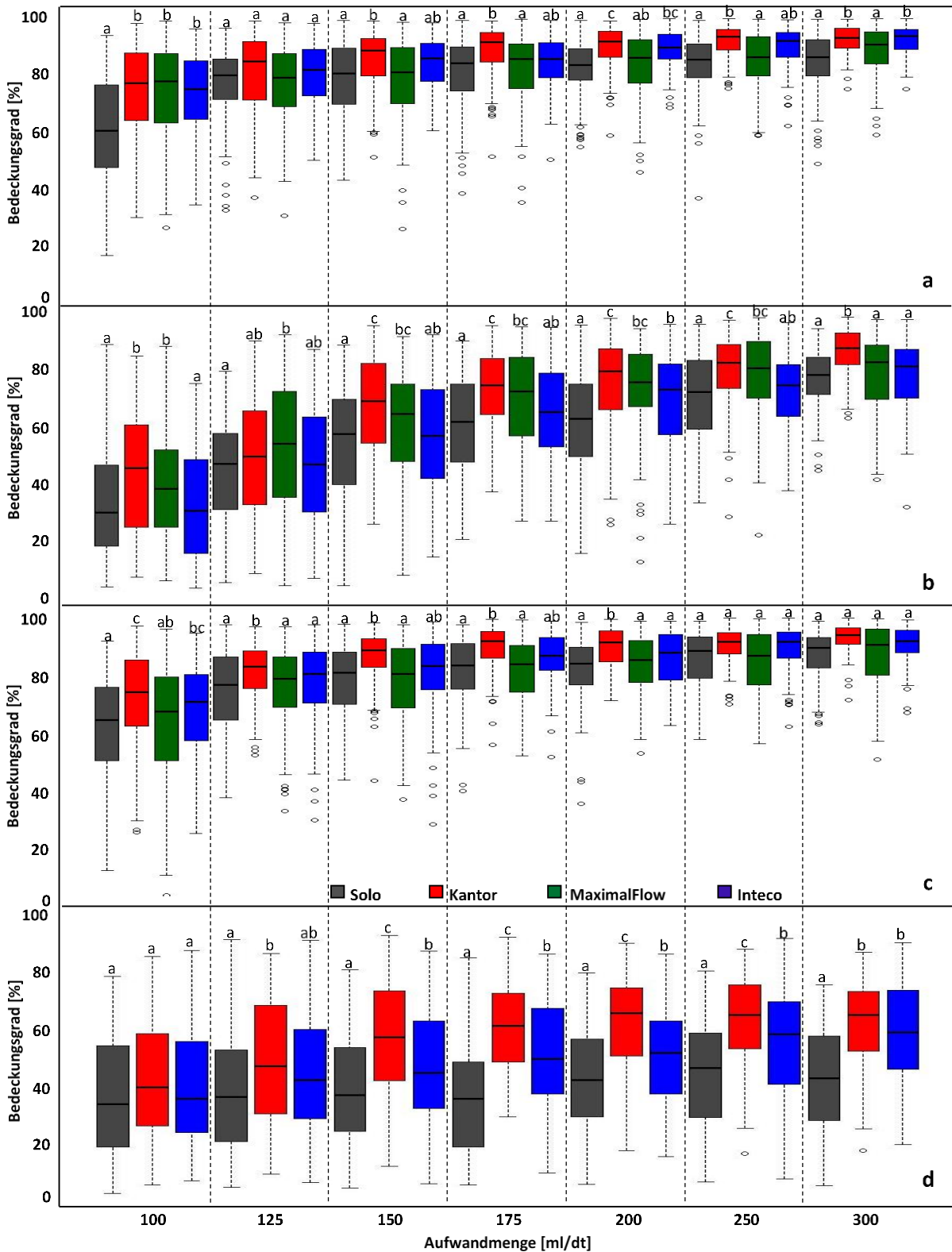


Abb. 31: Bedeckungsgrade der Einzelkornoberfläche in [%] (\pm SD) der Beizen Efa[®] (a), Rubin[®]TT (b), Landor[®]CT Formel M (c) und Zardex[®]G (d) in jeweils vier Varianten (Solo, mit Kantor[®], mit MaximalFlow[®] und mit Inteco[®]) für alle Beizaufwandmengen (100, 125, 150, 175, 200, 250, 300 ml/dt), als Referenz der Varianten in jeder Aufwandmenge in der Weizenkultur

fügten Variante. Außer bei einer aufgetragenen Menge von 125 ml/dt waren die gemessenen Werte signifikant niedriger. Eine statistisch relevante Differenzierung zu der Kombination mit MaximalFlow® konnte einmalig für die kleinste Aufwandmenge berechnet werden. Dabei wurde der kleinste Bedeckungsgrad aller Varianten detektiert.

Abhängig von der applizierten Menge, konnten bei Verwendung der Beize Landor®CT Formel M, unterschiedlich ausgeprägte Differenzen zwischen den Referenzvarianten detektiert werden (Abb. 31 Teil c, Seite 85). Einheitlich wurden die höchsten Bedeckungsgrade durch die Kombination mit dem Additiv Kantor® gemessen. Bei den Aufwandmengen 100 ml/dt bis 200 ml/dt war die gefärbte Fläche dabei signifikant höher als in den Varianten Solo und in Kombination mit MaximalFlow®. Eine relevante Unterscheidung gegenüber dem Referenzprodukt Inteco® wurde bei den applizierten Mengen 125 ml/dt und 200 ml/dt berechnet. Keine Unterscheidung zwischen den Messgrößen aller Varianten wurde für die beiden höchsten Aufwandmengen 250 ml/dt und 300 ml/dt nachgewiesen.

Basierend auf dem Behandlungsmittel Zardex®G, konnten je nach betrachteter Aufwandmengen, unterschiedliche Bedeckungsgrade für die einzelnen Beize-Additiv Kombinationen detektiert werden (Abb. 31 Teil d, Seite 85). Ausschließlich bei geringster Applikationsmenge unterschieden sich die Messgrößen aller Varianten nicht signifikant. Bei Aufwandmenge 125 ml/dt lag die gefärbte Fläche der Komposition mit dem Zusatz Kantor® statistisch erfassbar höher als bei alleiniger Mittelverabreichung, wogegen sich die Messwerte der Inteco® versetzten Variante von keiner weiteren unterschied. Deutliche ausgeprägte Signifikanzen wurden bei den Aufwandmengen 150 ml/dt bis 250 ml/dt gemessen. Alle Varianten unterschieden sich voneinander. Dabei generierte die Kombinationsvariante mit dem Additiv Kantor® die jeweils höchsten Bedeckungsgrade, die alleinige Mittelapplikation die jeweils niedrigsten. Bei der höchsten Aufwandmenge lagen die Messwerte beider, mit Additiven ergänzten Varianten, einheitlich signifikant höher als in der Solo Variante. Eine Unterscheidung zwischen den eingesetzten Zusatzstoffen konnte nicht berechnet werden.

4.6.1.2. Messung der gefärbten Kornoberfläche in der Gerstenkultur

In der Gerstenkultur wurden je nach eingesetztem Präparat und Zusatzprodukt unterschiedliche Bedeckungsgrade der Oberflächen auf dem Einzelkorn gemessen. Eine individuelle Ausprägung von Differenzen zwischen den unterschiedlichen Kompositionen, mit und ohne Additive, wurde für jede eingesetzte Beize, jedoch nicht für jede Aufwandmenge nachgewiesen.

Mit dem Einsatz der Beize EfA® in der Kultur Gerste wurden, abhängig von Aufwandmenge und Beize-Additiv Kombination, unterschiedliche Werte für die Messgröße gefärbte Fläche detektiert (Abb. 32 Teil a, Seite 90). Es konnte bei keiner Aufwandmenge eine statistisch erfassbare Unterscheidung zwischen den gefärbten Kornoberflächen der Varianten solo und

Ergebnisse

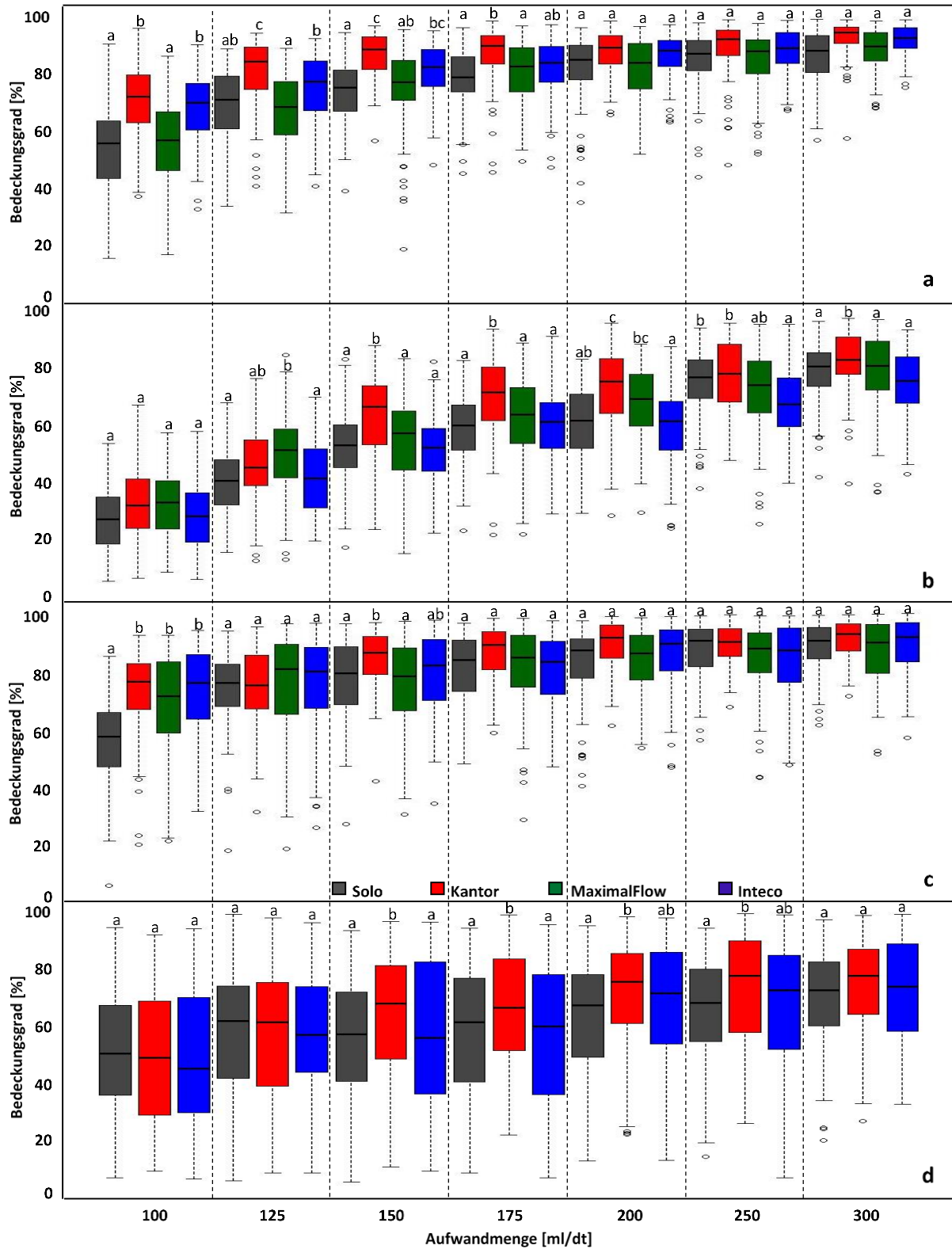


Abb. 32: Bedeckungsgrade der Einzelkornoberfläche in [%] (\pm SD) der Beizen EfA[®] (a), Rubin^{TT} (b), Landor^{CT} Formel M (c) und Zardex^G (d) in jeweils vier Varianten (Solo, mit Kantor[®], mit MaximalFlow[®] und mit Inteco[®]) für alle Beizaufwandmengen (100, 125, 150, 175, 200, 250, 300 ml/dt), als Referenz der Varianten in jeder Aufwandmenge in der Gerstenkultur

mit dem Zusatz MaximalFlow[®] ermittelt werden. Es handelt sich um die Varianten, die die geringsten prozentual gefärbten Flächen erzeugten. Die größten Differenzen zwischen den Beize-Additiv Kombinationen konnten bei geringen Aufwandmengen gemessen werden. Besonders die Varianten mit der Zugabe Kantor[®] wies dabei erhöhte Messwerte auf. Eine signifikante Unterscheidung konnte gegenüber den Varianten solo und mit MaximalFlow[®] bis zu der Aufwandmenge 175 ml/dt dokumentiert werden. Die Variante mit dem Zusatz Inteco[®] unterschied sich nicht einheitlich von den übrigen. Eine nennenswerte Differenzierung gegenüber der alleinigen Mittelapplikation konnte nur bei den Aufwandmengen 100 ml/dt und 150 ml/dt berechnet werden. Gegenüber der mit MaximalFlow[®] kombinierten Variante wurde eine signifikant höher gefärbte Fläche bei den Aufwandmengen 100 ml/dt und 125 ml/dt ermittelt. Bei den Aufwandmengen 200 ml/dt bis 300 ml/dt wurden nur noch marginale Differenzen zwischen allen Varianten nachgewiesen. Lediglich die Variante mit dem Zusatz Kantor[®] unterschied sich, durch eine höhere gefärbte Fläche, bei höchster applizierter Menge, signifikant von den übrigen Varianten.

Mit dem Einsatz der Beize Rubin[®]TT in der Gerstenkultur wurden je nach Beize-Additiv Interaktion verschiedene Werte für den prozentualen Bedeckungsgrad der Oberfläche auf dem Einzelkorn gemessen (Abb. 32 Teil b, Seite 90). Bei den Aufwandmengen 100 ml/dt bis 175 ml/dt wurde die jeweils geringste gefärbte Fläche bei alleiniger Mittelapplikation detektiert. Eine signifikante Unterscheidung gegenüber höheren Messwerten konnte relativ zur Kombination mit MaximalFlow[®] bei Aufwandmenge 125 ml/dt, zur Kombination mit Kantor[®] bei den Aufwandmengen 150 ml/dt und 175 ml/dt berechnet werden. Für die weiteren applizierten Mengen 200 ml/dt bis 300 ml/dt wurde jeweils der geringste Bedeckungsgrad für die Kombination mit dem Additiv Inteco[®], der jeweils höchste für die Kombination mit Kantor[®], detektiert. Die Varianten unterschieden sich einheitlich signifikant. Die Messwerte der Kompositionen mit dem Zusatzstoff Inteco[®] lagen bei Aufwandmenge 200 ml/dt signifikant niedriger als die der MaximalFlow[®] zugefügten Variante, gegenüber der alleinigen Applikation bei Aufwandmenge 250 ml/dt. Eine einheitlich signifikante Unterscheidung gegenüber allen Referenzvarianten wurde bei höchster Aufwandmenge für die Kantor[®] versetzte Variante ermittelt.

Bei Verwendung der Beize Landor[®]CT Formel M in der Gerste konnten nur einzelne Unterschiede bezüglich der einzelnen Kombination aus Beize und Additiv detektiert werden (Abb. 32 Teil c, Seite 90). Bei der geringsten Aufwandmenge war der Bedeckungsgrad aller mit Additiven zugefügten Variante signifikant höher als in der alleinigen Applikation. Eine Unterscheidung zwischen den Zusatzstoffen wurde nicht berechnet. Für alle weiteren Vergleiche konnte nur noch einmalig, bei Aufwandmenge 150 ml/dt signifikant mehr bedeckte Fläche in Kombination mit dem Additiv Kantor[®] gegenüber allen Referenzvarianten ermittelt

werden. Bei allen übrigen applizierten Mengen wurden keine nennenswerten Differenzen detektiert.

Die Beize Zardex®G generierte Bedeckungsgrade, die nur vereinzelt statistisch relevant in ihrer Höhe differierten (Abb. 32 Teil d, Seite 90). Mit dem Zusatz Kantor® wurden für die Aufwandmengen 150 ml/dt bis 250 ml/dt signifikant mehr gefärbte Kornoberfläche gemessen als bei alleiniger Mittelapplikation. Nennenswerte Unterschiede zum Referenzprodukt Inteco® wurden bei den Aufwandmengen 150 ml/dt und 175 ml/dt ermittelt.

4.6.1.3. Messung der gefärbten Kornoberfläche in der Roggenkultur

In der Roggenkultur lagen die gemessenen gefärbten Oberflächen der einzelnen Saatkörner allgemein auf einem niedrigeren Niveau als in den übrigen Kulturen. Statistische Unterscheidungen konnten innerhalb jeder eingesetzten Beize, je nach verwendetem Zusatzpräparat detektiert werden.

Die Nutzung der Beize EfA® in der Roggenkultur führte allgemein zu den kleinsten Messwerten aller behandelten Kulturen. Die alleinige Applikation generierte bei jeder Aufwandmenge die kleinste gefärbte Fläche (Abb. 33 Teil a, Seite 90). Diese lag einheitlich signifikant niedriger als die Kombination mit dem Zusatz Kantor®. Mit dieser Kombination wurde bei nahezu allen applizierten Mengen die jeweils größte Fläche benetzt. Die Kombination mit dem Additiv Inteco® wies bei fast allen Aufwandmengen eine signifikant höhere gefärbte Fläche auf als die alleinige Mittelapplikation. Lediglich bei den Aufwandmengen 150 ml/dt und 175 ml/dt konnte keine nennenswerte Differenz nachgewiesen werden, wogegen eine statistisch erfassbare Unterscheidung gegenüber der Kombination mit Kantor® berechnet wurde. Relativ zur mit MaximalFlow® ergänzten Variante konnte nur bei geringster Applikationsmenge eine signifikant kleinere gefärbte Kornoberfläche detektiert werden. Die Messwerte dieser Kombination (mit MaximalFlow®) lagen für die Aufwandmengen 125 ml/dt bis 250 ml/dt signifikant höher als die der solo applizierten Variante. Relativ zur den jeweils höchsten Messwerten jeder Referenzstufe (mit Kantor®) lagen die Messwerte bei den Aufwandmengen 100 ml/dt, 150 ml/dt, 200 ml/dt und 300 ml/dt signifikant niedriger.

Auch die Verwendung der Beize Rubin®TT in der Roggenkultur resultierte in verhältnismäßig geringen Oberflächen Bedeckungsgraden (relativ zu den übrigen Kulturen) (Abb. 33 Teil b, Seite 90). Innerhalb des Beize-Additiv Referenzsystems konnte keiner Kombination die höchsten oder geringsten prozentual gefärbten Flächen zugeordnet werden. Unterscheidungen gab es darüber hinaus auch bei der Differenzierung untereinander. Bei geringsten Aufwandmenge konnte nur für die Kombination mit dem Zusatz MaximalFlow® ein signifikant höherer Bedeckungsgrad als bei alleiniger Mittelapplikation gemessen werden. Eine Unterscheidung zu den Referenzadditiven wurde nicht bestätigt. Keine Unterscheidung zwischen den Varianten wurde bei den Aufwandmengen 125 ml/dt und 175 ml/dt berechnet. Zu den übrigen applizierten Mengen wurden signifikant höhere Bedeckungsgrade der Kompo-

Ergebnisse

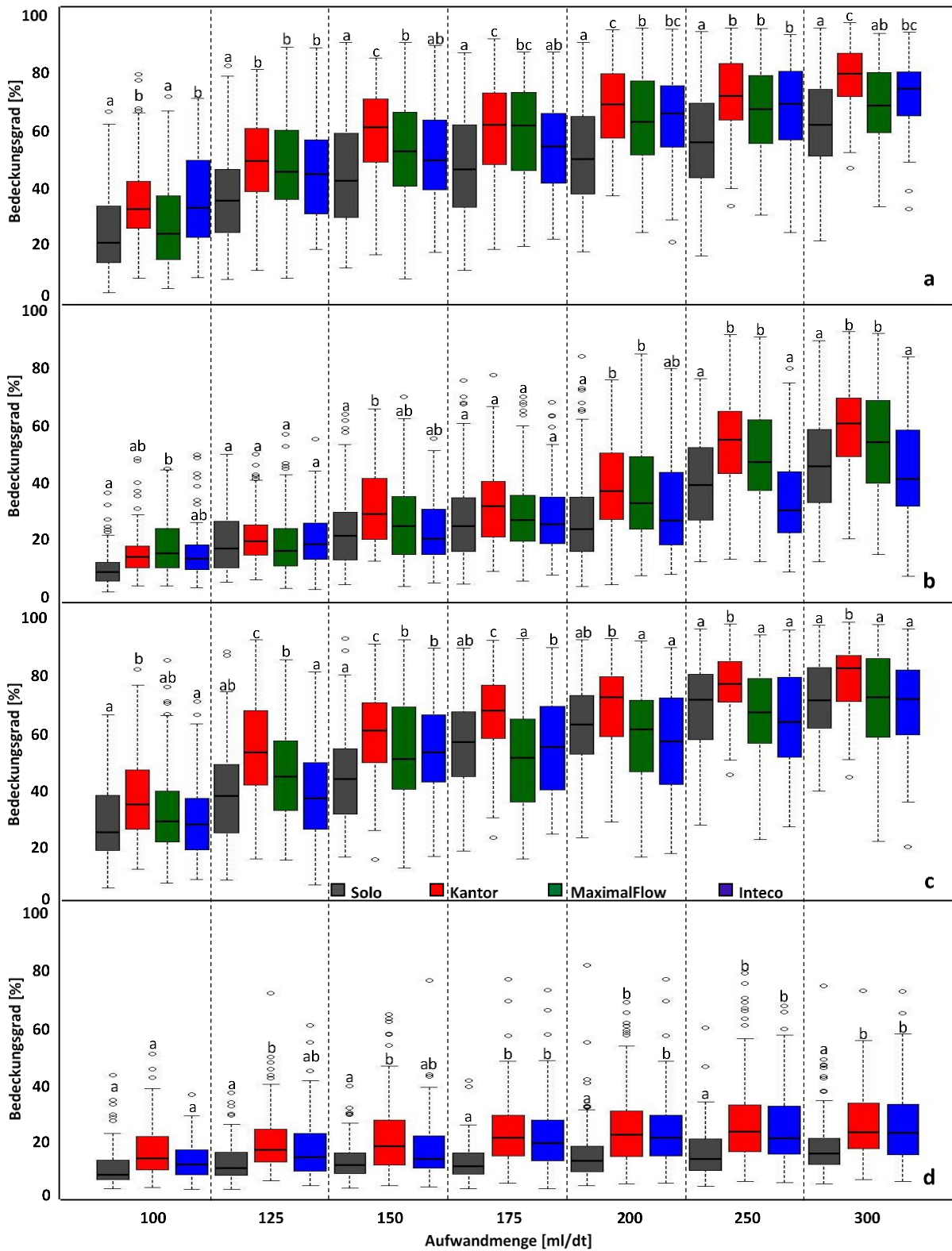


Abb. 33: Bedeckungsgrade der Einzelkornoberfläche in [%] (\pm SD) der Beizen EfA[®] (a), Rubin[®]TT (b), Landor[®]CT Formel M (c) und Zardex[®]G (d) in jeweils vier Varianten (Solo, mit Kantor[®], mit MaximalFlow[®] und mit Inteco[®]) für alle Beizaufwandmengen (100, 125, 150, 175, 200, 250, 300 ml/dt), als Referenz der Varianten in jeder Aufwandmenge in der Roggenkultur

sition mit Kantor[®], relativ zur Solo Variante, ermittelt. Mit Ausnahme der Aufwandmenge 150 ml/dt unterschied sich auch die Kombination mit MaximalFlow[®] signifikant von der alleinigen Zugabe der Beize Rubin[®]TT. Mit dem Beifügen des Additivs Inteco[®] wurde zu keiner Aufwandmenge eine statistisch relevante Differenzierung zur Solo Variante ermittelt. Bei den zwei höchsten applizierten Mengen (250 ml/dt, 300 ml/dt) lag der Bedeckungsgrad zudem signifikant niedriger als der beider Referenzadditive.

Die höchsten Bedeckungsgrade konnten mit dem Produkt Landor[®]CT Formel M in der Kultur Roggen zu allen Aufwandmengen in Kombination mit dem Additiv Kantor[®] gemessen werden (Abb. 33 Teil c, Seite 90). Eine signifikante Unterscheidung gegenüber allen Referenzvarianten wurde nahezu vollständig berechnet. Die geringste gefärbte Kornoberfläche konnte durch die alleinige Mittelzugabe und die Kombination mit dem Zusatzprodukt Inteco[®] detektiert werden. Lediglich bei Applikationsmenge 150 ml/dt lagen die Messwerte der Kombination dabei signifikant höher als in der Solo Variante. Für alle weiteren Aufwandmengen wurde keine nennenswerte Differenzierung ermittelt. Der Bedeckungsgrad der Kornoberfläche, der durch die Komposition mit dem Additiv MaximalFlow[®] generiert wurde, lag zu jeder Aufwandmenge zwischen den Messwerten der Referenzvarianten. Gegenüber der alleinigen Mittelnutzung wurde bei der Applikationsmenge 150 ml/dt eine signifikant größere gefärbte Fläche gemessen. Gegenüber dem Referenzprodukt Inteco[®] lag die gefärbte Kornoberfläche bei Aufwandmenge 125 ml/dt einmalig signifikant höher, bei 175 ml/dt einmalig signifikant niedriger.

Mit der Zugabe des Mittels Zardex[®]G in der Roggenkultur wurden über alle verwendeten Produkte und alle betrachteten Kulturen die geringsten Messwerte für alle Applikationsstufen detektiert (Abb. 33 Teil d, Seite 90). Unterscheidungen zwischen den unterschiedlich kombinierten Produkten konnten jedoch ermittelt werden. Die einheitlich höchsten Bedeckungsgrade wurden durch die Kombination mit dem Additiv Kantor[®] gemessen. Eine signifikante Unterscheidung gegenüber der alleinigen Mittelverabreichung wurde ab einer Aufwandmenge von 125 ml/dt berechnet. Nennenswerte Differenzierungen zu dem Referenzprodukt Inteco[®] wurde zu keiner Applikationsmenge ermittelt. Die einheitlich niedrigsten gefärbten Kornoberflächen unterschieden sich ab einer Aufwandmenge von 175 ml/dt signifikant von der Inteco[®] ergänzten Variante.

4.6.1.4. Messung der gefärbten Kornoberfläche in der Haferkultur

Allgemein führte die Verwendung der einzelnen Beizen in der Kultur Hafer zu deutlich geringer ausgeprägten Differenzen zwischen den einzelnen Zusammensetzungen von Beize und Additiven. Nur für einzelne Behandlungsmittel wurden bei wenigen Aufwandmengen statistisch relevante Unterscheidungen dokumentiert. Allgemein wiesen die Messwerte aller verwendeten Beizlösungen eine geringere Datenstreuung auf als in den übrigen Kulturen.

Ergebnisse

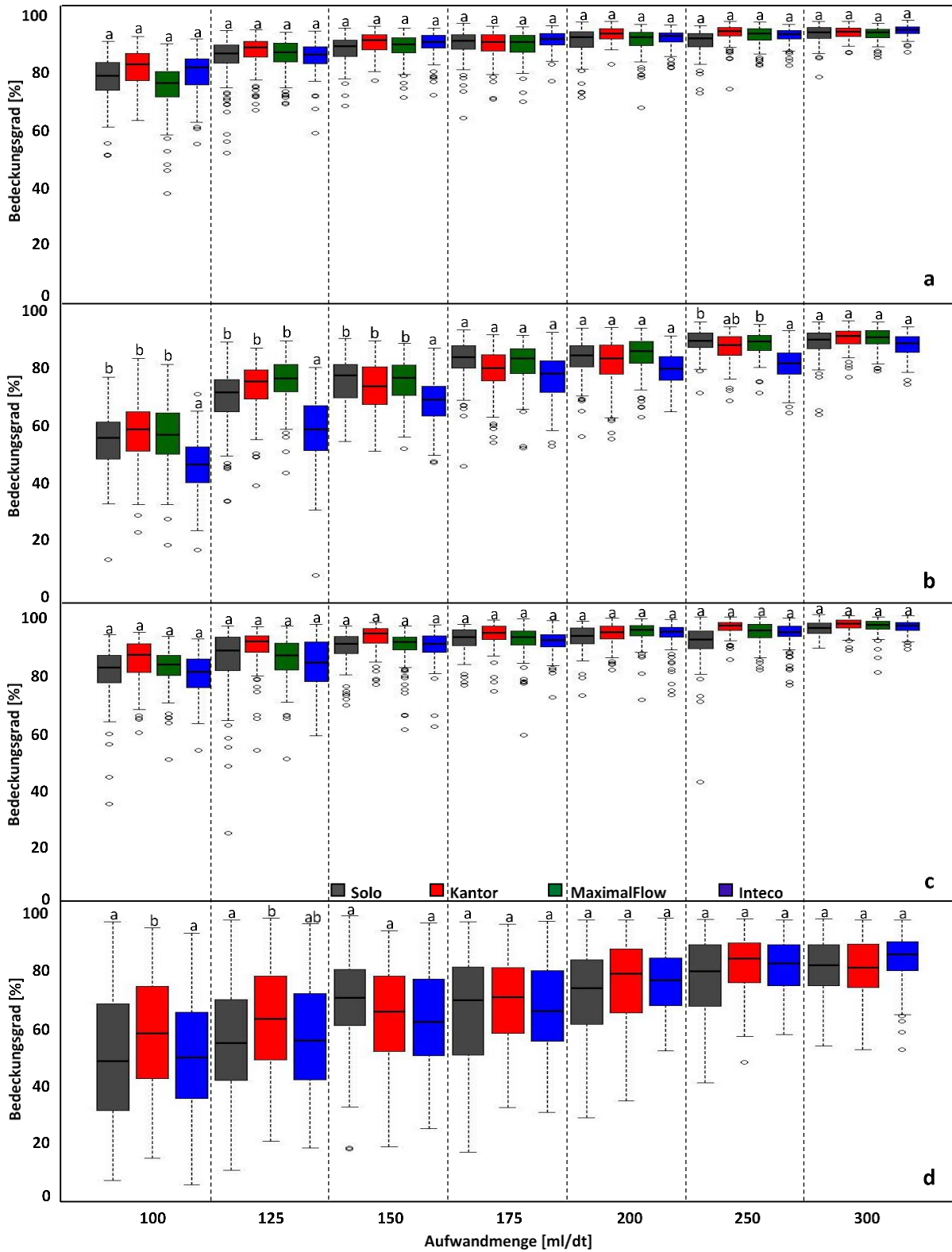


Abb. 34: Bedeckungsgrade der Einzelkornoberfläche in [%] (\pm SD) der Beizen EfA[®] (a), Rubin[®]TT (b), Landor[®]CT Formel M (c) und Zardex[®]G (d) in jeweils vier Varianten (Solo, mit Kantor[®], mit MaximalFlow[®] und mit Inteco[®]) für alle Beizaufwandmengen (100, 125, 150, 175, 200, 250, 300 ml/dt), als Referenz der Varianten in jeder Aufwandmenge in der Haferkultur

In der Kultur Hafer konnte unter Verwendung der Beize EfA® bei keiner Aufwandmenge eine signifikante Differenzierung berechnet werden (Abb. 34 Teil a, Seite 92). Allgemein wiesen die Messwerte aller Kombinationen eine, relativ zu den anderen Kulturen, vergleichsweise kleine Streuung auf. Mit steigender Aufwandmenge nahm dabei die Datenstreuung für alle Kombination ab.

Unterschiedliche Bedeckungsgrade konnten in der Kultur Hafer, abhängig von der Aufwandmenge und der Beize-Additiv Kombination mit dem Produkt Rubin®TT gemessen werden (Abb. 34 Teil b, Seite 92). Zu allen Aufwandmengen wurden die kleinsten Messwerte für die Inteco® zugefügten Varianten ermittelt. Die prozentual gefärbte Oberfläche war bei den Aufwandmengen 100 ml/dt, 125 ml/dt und 150 ml/dt signifikant geringer, als die aller Referenzvarianten, welche sich untereinander nicht nennenswert unterschieden. Keine Differenzierungen zwischen den Varianten wurden bei den Aufwandmengen 175 ml/dt, 200 ml/dt und 300 ml/dt berechnet. Bei der applizierten Menge 250 ml/dt lag der Bedeckungsgrad der alleinigen Mittelzugabe, sowie der mit MaximalFlow® versetzten Komposition signifikant höher als von der Kombination mit Inteco®. Die Hinzugabe des Additivs Kantor® generierte Werte (bei 250 ml/dt), die sich von keiner Variante statistisch relevant unterschieden.

Im Hafer konnte mit den unterschiedlichen Beize-Additiv Kombinationen, basierend auf dem Produkt Landor®CT Formel M, zu keiner Aufwandmenge eine statistisch relevante Unterscheidung zwischen den prozentual gefärbten Kornoberflächen der Varianten ermittelt werden (Abb. 34 Teil c, Seite 92).

Die Verwendung der Beize Zardex®G zeigte für alle Aufwandmengen nahezu homogene Bedeckungsgrade (Abb. 34 Teil d, Seite 92). Einzelne Unterscheidungen konnten ausschließlich bei geringen Aufwandmengen (100 ml/dt, 125 ml/dt) ermittelt werden. Mit dem Einsatz des Zusatzproduktes Kantor® konnte gegenüber der alleinigen Mittelapplikation eine signifikant höhere Kornoberfläche benetzt werden. Eine relevante Unterscheidung gegenüber dem Referenzprodukt (Inteco®) wurde nur bei geringster Aufwandmenge nachgewiesen.

4.6.1.5. Messung der gefärbten Kornoberfläche in der Triticale

Abhängig vom eingesetzten Präparat wurden je nach Additivverwendung in der Triticale unterschiedliche Einzelkorn Bedeckungsgrade gemessen. Statistisch relevante Differenzen zwischen den Messwerten konnten für einzelne Aufwandmengen bei jeder eingesetzten Beize ermittelt werden.

Die niedrigsten Messwerte für die prozentual gefärbte Oberfläche auf dem Einzelkorn wurden bei allen Aufwandmengen in den Varianten Solo und in Kombination mit dem Additiv MaximalFlow®, basierend auf der Beize EfA® gemessen (Abb. 35 Teil a, Seite 94). Eine Signifikanz konnte zwischen beiden Kombinationen nicht berechnet werden. Die einheitlich

Ergebnisse

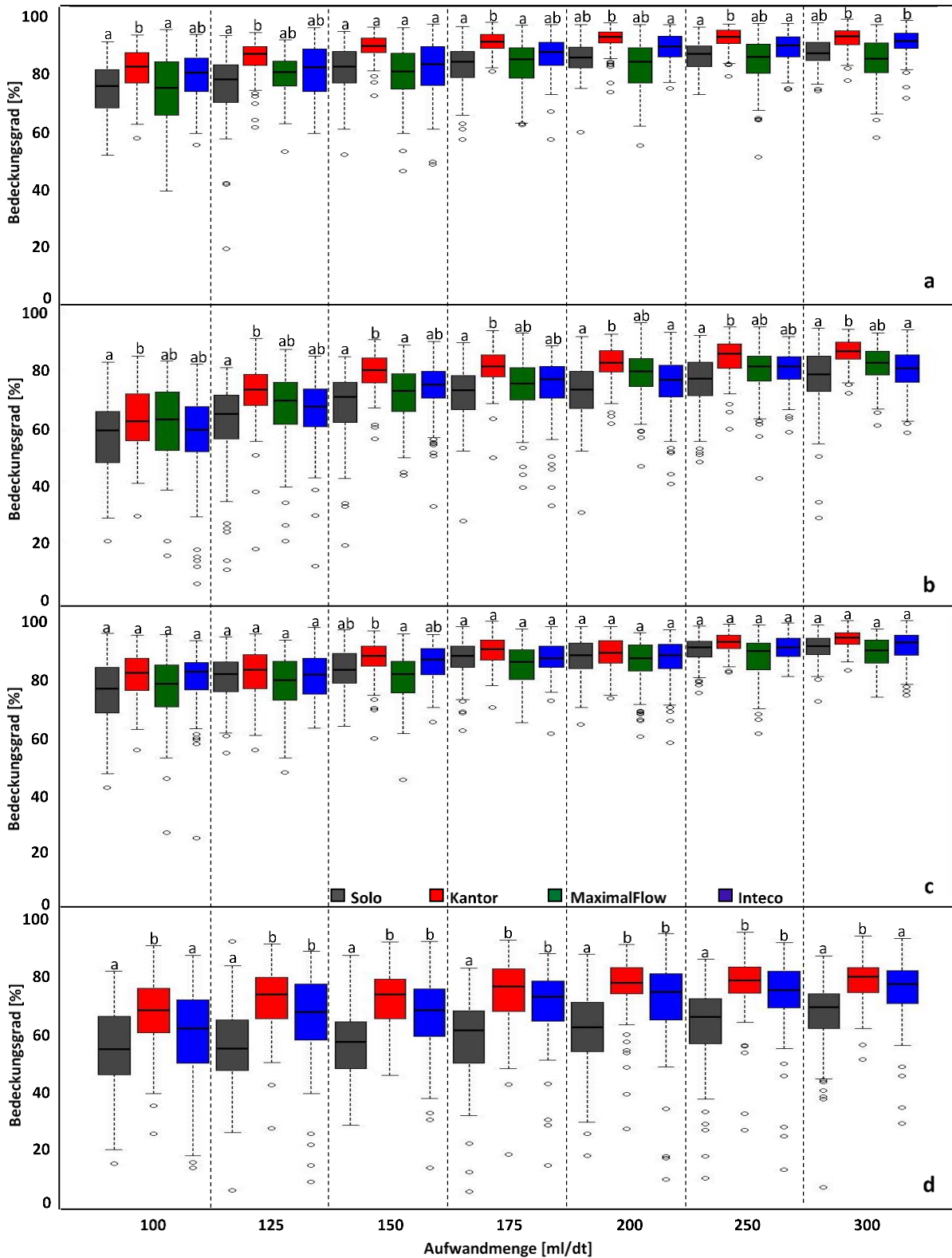


Abb. 35: Bedeckungsgrade der Einzelkornoberfläche in [%] (\pm SD) der Beizen Efa® (a), Rubin®TT (b), Landor®CT Formel M (c) und Zardex®G (d) in jeweils vier Varianten (Solo, mit Kantor®, mit MaximalFlow® und mit Inteco®) für alle Beizaufwandmengen (100, 125, 150, 175, 200, 250, 300 ml/dt), als Referenz der Varianten in jeder Aufwandmenge in der Triticale

höchsten Messwerte wurden bei jeder Referenzstufe durch die Kombination mit dem Zusatz Kantor[®] detektiert. Eine statistisch relevante Unterscheidung gegenüber der alleinigen Mittelapplikation wurde für die Aufwandmengen 100 ml/dt bis 175 ml/dt berechnet, gegenüber der Kombination mit MaximalFlow[®] für die Aufwandmengen 100 ml/dt, 150 ml/dt, 175 ml/dt und 300 ml/dt. Die Kombination mit dem Zusatz Inteco[®] generierte Messwerte, die einheitlich zwischen den Referenzvarianten lagen. Es konnte nahezu keine statistisch relevante Unterscheidung gegenüber den Varianten Solo und mit MaximalFlow[®] berechnet werden (Ausnahme gegenüber MaximalFlow[®] bei 300 ml/dt). Bei den Aufwandmengen 150 ml/dt, 200 ml/dt und 250 ml/dt lagen die Messwerte für die gefärbte Fläche der Kombination zudem signifikant niedriger als die der Kombination mit dem Additiv Kantor[®].

In der Triticale konnten unterschiedliche Messgrößen für den Bedeckungsgrad der Kornoberfläche mit Verwendung der Beize Rubin[®]TT gemessen werden (Abb. 35 Teil b, Seite 94). Bei allen applizierten Mengen wurden die kleinsten Messwerte mit dem alleinigen Mitteleinsatz generiert. Unter Zugabe des Additivs Kantor[®] wurden bei jeder Aufwandmenge der größte Bedeckungsgrad gemessen. Einheitlich lagen die Messwerte signifikant höher als die der alleinigen Mittelapplikation. Die weiteren eingesetzten Zusatzstoffe unterschieden sich nicht nennenswert von der Solo Variante. Statistisch relevante Unterschiede zwischen den Messwerten der Additive konnten vereinzelt ermittelt werden. Signifikant höher war der Bedeckungsgrad gegenüber der Kombination mit MaximalFlow[®] bei Aufwandmenge 150 ml/dt und gegenüber der mit Inteco[®] versetzten Variante bei den applizierten Mengen 200 ml/dt und 300 ml/dt.

Die Auswirkungen auf den Bedeckungsgrad der Kornoberfläche waren in der Kultur Triticale mit allen Kombinationen der Beize Landor[®]CT Formel M nahezu homogen (Abb. 35 Teil c, Seite 94). Die einzige statistisch erfassbare Differenzierung konnte zwischen den Kombinationen mit dem Additiv Kantor[®] und MaximalFlow[®] bei der Aufwandmenge 150 ml/dt berechnet werden, wobei die gefärbte Fläche mit dem Kantor[®] Zusatz nennenswert höher lag. Die einheitlich niedrigsten Bedeckungsgrade der Oberfläche auf dem Einzelkorn wurde mit der alleinigen Applikation der Beize Zardex[®]G gemessen (Abb. 35 Teil d, Seite 94). Die jeweils höchsten gefärbten Flächen wurden in der Kombination mit dem Additiv Kantor[®] detektiert. Die Messwerte unterschieden sich zu jeder Aufwandmenge signifikant von der Solo Variante. Statistisch erfassbare Unterschiede konnten auch zwischen dem Referenzprodukt Inteco[®] und der alleinigen Mittelzugabe ermittelt werden. Für die Aufwandmengen 125 ml/dt bis 250 ml/dt waren die Bedeckungsgrade der Kombination signifikant höher. Eine Differenzierung gegenüber dem zweiten Additiv Kantor[®] konnte für die Aufwandmengen 100 ml/dt und 300 ml/dt berechnet werden.

5. Diskussion

Der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln in der Saatgutbehandlung stellt eine qualitative prophylaktische Maßnahme dar, die im Rahmen der Zertifizierung von Saatgut die grundlegende Basis konventioneller Anbausysteme bedeutet. Der Anbau von Feldfrüchten wird weltweit mit über 50% durch Getreideanbau dominiert (*Knowles*, 2008). Dabei werden besonders fungizide Präparate bei der Behandlung von Saatgut eingesetzt.

Mit dem Einsatz verschiedener Ergänzungspräparate konnte in Feldapplikation bereits eine, auf unterschiedlichen Wirkungen beruhende, Erhöhung der biologischen Effizienz dokumentiert werden (*Steurbaut*, 1993).

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, sowohl technische, als auch biologische Effekte durch die Zugabe von flüssigen adhäsiven Additiven in die Beizlösung, anhand verschiedener Getreidekulturen (Weizen, Gerste, Roggen, Hafer, Triticale) zu dokumentieren. Neben der Bewertung der adhäsiven Stärke applizierter Mittel, durch eine standardisierte Simulation mechanischen Stresses, wurden darüber hinaus neue Messmethoden erarbeitet, die es erlauben, weitere technische Aspekte zu bewerten. Resultierend aus der Veränderung der Beizlösung, konnten so Einflüsse auf den Staubabrieb, die Fließfähigkeit und die Verteilung der Beizlösung auf der Zielfläche Saatkorn dokumentiert werden. Zusätzlich wurde eine biologische Bewertung der Aufnahme von Wirkstoffen aus der Beize in wachsende Getreidepflanzen vorgenommen.

Versuchsdesign

Im Versuchsaufbau waren unterschiedliche Saatgutbehandlungsmittel enthalten, die sich durch ihre Formulierung unterschieden. Ebenso wurden unterschiedliche Ergänzungshilfen in dem Versuch eingesetzt, um die Wirksamkeit gegenüber der jeweiligen alleinigen Produktapplikation bezüglich verschiedener technischer Ansprüche einer Getreidebeizung zu untersuchen.

Die im Versuchsaufbau ursprünglich vorgesehene Kombination der Produkte Zardex®G und dem Additiv MaximalFlow® konnte nicht hergestellt werden (vgl. Tab 14, Seite 26). Ziel war die Bildung einer Öl-in-Wasser Emulsion. Es handelt sich um ein heterogenes System, bestehend aus einer Flüssigkeit, die in einer anderen in Form von Tropfen dispergiert ist (*Pacek et al.*, 1994). Grundlegend sind die zwei Flüssigkeiten, nicht miteinander mischbar und chemisch nicht reaktiv. Erst Emulgatoren, bzw. Tenside ermöglichen in ihrer Eigenschaft als oberflächenaktive Substanzen, durch Adsorption und Akkumulation an der Wasser-Öl-Grenzfläche eine Bindung zu einer beständigen Emulsion. *Binks* (2002) nennt als Möglichkeit der Homogenisierung zweier nicht mischbarer Flüssigkeiten den Einsatz von oberflächenaktiven Nanopartikeln. Im speziellen Fall von Silikonöl und Wasser wird darüber hinaus eine stabilisierende Wirkung durch die Verwendung von Siliciumdioxid-Nanopartikeln

aufgeführt (*Binks und Whitby, 2003*). Sind solche Tenside nicht vorhanden, zerfällt die Emulsion. Inwieweit es sich bei dem beobachteten Ausflocken um einen reversiblen Prozess (Flokulation, Aufrahmen), oder einen irreversiblen (Koaleszenz, Demulgierung) handelt (*Aronson, 1988*), ist auf Grundlage des Versuches nicht zu erklären. *Griffin (1954)* begründet die fehlende Mischbarkeit dagegen mit der Klassifizierung des nichtionischen Tensids innerhalb des Additivs. Tenside bilden je nach HLB-Wert extreme Affinitäten für Wasser oder Lipide. Das Mineralöl basierte Siloxan (Silikonöl) des Additivs MaximalFlow[®] ist mit einem geringen HLB-Wert (4 - 6) geeignet Verbindungen mit Wasser-in-Öl Systemen einzugehen. Für wasserbasierte Lösungen wären Tenside mit höheren HLB-Werten notwendig. Die nicht Mischbarkeit ist laut dem Autor somit durch die Formulierung von Präparat und Additiv zurückzuführen.

Abriebmessungen

Nach *Brühbach (1973)* wird Getreide aufgrund seiner spezifischen Korngröße zu den Schüttgütern gezählt. In den Versuchsteilen I und II wurde durch eine mechanische Beanspruchung eine dynamische Bewegung zwischen Getreidekörnern erzeugt, die als Resultat eine Änderung der Gestalt bzw. Masse des jeweiligen Schüttgutes zur Folge hatte. Dieser Prozess wird von der deutschen Industrienorm (DIN) 50 320 als Verschleiß definiert. Es handelt sich um einen fortschreitenden Materialverlust aus der Oberfläche eines festen Körpers, hervorgerufen durch mechanischen Ursprung mittels Kontakt, bzw. Relativbewegungen eines festen, flüssigen oder gasförmigen Gegenkörpers. In materialwissenschaftlicher Literatur wird der Begriff „Verschleiß“ sowohl für den eigentlichen Vorgang des Verschleißens als auch für das Resultat verwendet (*Sommer et al., 2014*). In nachfolgender Diskussion wird der Begriff ausschließlich für das Resultat verwendet.

Bei der Entstehung von Staub in Folge von mechanischen Einwirkungen handelt es sich um einen adhäsiven Verschleiß. In der Literatur wird dieses Phänomen als Resultat von Kontakten zwischen Körpern mit gleicher oder ähnlicher Härte beschrieben (*Popov, 2009*). Dies entspricht den Kontakten zwischen den Saatkörnern durch Bewegung. Darüber hinaus kommt es in Folge der Reibung von Mikrorauhigkeiten zu einem Herauslösen von oberflächennahen Volumenelementen, den sog. Verschleißteilen (*Popov, 2009*).

Die Simulation einer mechanischen Beanspruchung von Getreidekörnern erfolgte durch eine Messung mittels *Heubach*-Dustmeter. Es handelt sich um ein geschlossenes System, das unter standardisierten Bedingungen durchzuführen ist. Die Versuchsbedingungen werden vom Julius-Kühn Institut vorgegeben (*Heimbach, 2011*). Mögliche adhäsive Verluste lassen sich in verschiedenen Formen nachweisen. Genannte Methode deklariert dabei die Residualmengen an Verschleiß, die durch das spezifische Charakteristikum bei gegebenem Luftstrom auf die Zielfläche (Filter) transportiert werden kann. Es muss davon ausgegangen werden, dass die Bestimmung der Filterresiduen nicht dem vollständigen Verlust am Zielort

(Korn) entspricht. Grobpartikel werden nicht erfasst. Untersuchungen von *Heimbach* und *Stähler* (2011) belegen, dass je nach Kultur und Beizmittel nicht unerhebliche Mengen an Grobpartikeln entstehen können. Diese konnten als Ablagerungen in Saatsäcken nachgewiesen werden. Alternative Messmethoden identifizieren den Verlust als Referenzmessung von gestresstem zu ungestresstem Saatgut (Cipac MT 194). Dabei unterliegen die gestressten Körner einer standardisierten Samenbelastungsanalyse durch ein fünffaches Fallen von einer definierten Höhe. Die Wirkstoffdifferenz zwischen beanspruchten und unbeanspruchten Saatkörnern wird in Form der Retention am Korn bestimmt. Jeglicher Verlust wird dabei erfasst und in der Analyse berücksichtigt. Eine Differenzierung zwischen Feinstaub und Grobpartikeln erfolgt dagegen nicht. Die Partikelgröße kann entscheidend sein, in welchem Umfang ein gesundheitsschädigendes Potential von den Residuen ausgeht. Grundsätzlich ist die Relevanz eines möglichen unbemerkten Einatmens emittierendes Staubes in Folge eines Beizprozesses ist für den Menschen gegeben. Partikel mit einem Durchmesser größer 10 µm, der sog. Grobstaub, werden beim Einatmen durch natürliche Barrieren (Schleimhäute, Nasenhaare) aus der Atemluft gefiltert. Eine gesundheitsschädigende Gefahr ist dagegen durch das Einatmen von kleineren und kleinsten Staubpartikeln gegeben (*Heinrich et al.*, 2002). Laut der DIN ISO 7708 handelt es sich um alveolengängigen Schwebstaub (respirable particulates, PM_{2.5}). Dieser kann über die Luftröhre bis in Lunge vordringen. Der inhalationsfähige Stoff, jeglicher Art, kann dort weiter, über die die Luft-/Blutshranke, sog. Alveolen, in die Blutbahn gelangen. Nachweise solche Stoffe konnten bereits im Blut (*Sørensen et al.*, 2003), wie in allen Organen, einschließlich des Gehirns erlangt werden (*Donaldson et al.* 1997; *Li et al.* 1997). Epidemiologische Untersuchungen haben gezeigt, dass die partikuläre Luftverschmutzung in der städtischen Umwelt, welche die überregional größte Quelle für Feinstaub darstellt, mit einem erhöhten Risiko einhergeht Herz- und Lungenerkrankungen zu bekommen (*Dockery et al.* 1993; *Peters et al.* 2001).

Die Bewertung der Exposition von Feinstaub, infolge eines Beizprozesses richtet sich dabei nach der potentiellen Gefährdungsmöglichkeit der Aktivsubstanzen durch endokrine Störungen (endocrine disruption (ED)). Eine Kausalität der schädlichen Auswirkungen auf Wildtiere, als direkte Folge der Aussetzung gegenüber vielen ED Pestiziden konnte dabei bereits in diversen Studien festgestellt werden. In einigen Fällen hat sich gezeigt, dass Auswirkungen auf die Bevölkerung und somit vermehrt auf den Anwender auftraten (*Grote et al.*, 2004; *Hayes et al.*, 2002; *Lavado et al.*, 2004; *Nicolopoulou and Samati*, 2001; *Reeder et al.*, 2005). Im Unterschied zu dauerhaft vorhandenen Emissionen, ist in Folge einer Pflanzenschutzmaßnahme, wie dem Beizprozess nur lokal und temporär mit einer Partikelfreisetzung zu rechnen. Eine Abnahme der Staubmengen konnte nach einem Aussaatprozess bei steigender Entfernung zur bearbeiteten Fläche nachgewiesen werden.

Durch Bodendeposition im Bestand, in Petrischalen auf offenem Boden, sowie durch vertikal aufgespannte Gazeetze wurde die Menge der freigesetzten Wirkstoffe aufgefangen (*Heimbach et al.*, 2012). Eine Halbierung der detektierten Aktivsubstanz wurde dabei bereits nach 5 m ermittelt. Es gilt somit zu bewerten, in wie weit Getreidesaatgut und applizierte Pflanzenschutzmittel eine emittierende Quelle für unbewusste Partikelfreisetzung darstellen.

Grundstaubbelastung

Der entstandene Basisstaub der untersuchten Kulturen und Sorten, die in Abb. 13, Seite 40 dargestellt wurden, entspricht in Materialwissenschaften einer als Festkörperreibung bezeichneten Beanspruchung (*Pigors*, 1993). Der Reibkontakt erfolgt dabei direkt im Festkörperbereich, ohne durch einen Zwischenstoff, wie Haft-, Reaktions- oder Schmierstoffschichten separiert zu sein. Der Autor führt an, dass anders als bei einer zusätzlichen Behandlung der Oberfläche, die sog. Trockenreibung Abriebpartikel verursacht, die dem eigentlichen Material (Körner) entsprechen. Verunreinigungen bilden dabei Störfaktoren, die das Resultat der Reibung (= Verschleiß) verfälschen können (*Köhler*, 2005). Vor der Aufreinigung des Saatgutes wurden in allen Kulturen und dazugehörigen Sorten höhere Basisstaubmengen detektiert als danach (Abb. 13, Seite 40). Dies könnte ein Hinweis darauf sein, dass kleinkörniges Getreide generell zu wenig Verschleiß aus dem eigentlichen Korn neigt. *Schulze* (2014) beschreibt die grundsätzliche Verschleißanfälligkeit von trockenen Grobpartikeln (>100 µm) als gering, da die Haftkräfte sich den Gewichtskräften unterordnen. Zusätzlich ist die Härte der Verschleiß bildenden Materialien ein entscheidender Faktor. In Untersuchungen von *Kruschov* und *Babichev* (1960) konnten ein Zusammenhang zwischen Materialhärte und Verschleißresistenz nachgewiesen werden. Für den aktuellen Versuch kann daraus abgeleitet werden, dass die Hauptquelle eines möglichen Staubesatzes durch Verunreinigungen extern an die Saatkörner herangetragen wurden. Durch die fehlende analytische Identifikation der Staubbestandteile kann anhand des Versuches nicht erklärt werden, ob überhaupt ein Verschleiß in einem messbaren Rahmen durch die Reibung zwischen den Getreidekörnern entsteht. Die deutlichen Schwankungen der freigesetzten Staubmengen zwischen Kulturen und Sorten deuten darauf hin, dass die Lagerung des für die Produktion von zertifiziertem Saatgut, verwendeten Basisaatguts heterogene Bedingungen aufweist. Dass es sich bei dem nicht pestiziden Basisabrieb der Körner um eine ungefährliche Quelle entstehenden Staubes handelt, kann nicht grundsätzlich bestätigt werden. Die Entstehung von humanen Erkrankungen, wie dem Organic Dust Toxic Syndrome (ODTS) konnte in der Arbeit von *Smit et al.* (2005) in Folge von Saatgut Qualitätskontrollen an Grassaatgut, das mit Endotoxinen kontaminiert war, dokumentiert werden. Diese Erkrankung steht im Zusammenhang mit dem Einatmen von sehr hohen Konzentrationen an Schimmelpilzsporen (109 Sporen/m³) oder Bakterien (1 – 2 µg/m³ Endotoxin). Eine generelle

Beziehung zwischen einem Mikroflora-Besatz des Getreidestaubs und menschlichen Atemwegserkrankungen konnten schon *Chan et al.* (1985) zuvor für die Ernte selbst, sowie das verarbeitende Gewerbe in der landwirtschaftlichen Getreideproduktion dokumentieren. An Getreide haften die gegen Ende der Vegetation auftauchenden Schwärzepilze *Alternaria alternata* und *Cladosporium herbarum*, deren Sporen sich an geernteten Getreidekörnern befinden können (*Machacek et al.*, 1951). *Lacy* (1980) führt darüber hinaus an, dass auch eine Einlagerung, bei der das Getreide einer Veränderung des Wassergehaltes, einer Erhitzung oder einer Belüftung unterliegt kann, zu keiner Reduktion der dominanten Besatzpathogene führte. Zusätzlich konnten aus Getreidestaub auch verschiedene Gram-negative Bakterienstämme (*Pantoea agglomerans*, *Pseudomonas*-Arten, *Serratia*-Arten, *Acinetobacter*-Arten) isoliert werden (*DeLucca et al.*, 1984), die als Zerfallsprodukte Endotoxine bilden. Es kann somit davon ausgegangen werden, dass auch bei der Verwendung von Getreide als Saatgut gesundheitsschädigende Stauffreisetzung, ohne den Zusatz eines chemischen Einsatzes von Pflanzenschutzmitteln, entstehen. In wie weit der, in diesem Versuch, detektierte Basisstaub verschiedene gesundheitsschädigende Substanzen aufweist, wurde nicht ermittelt.

Die grundlegende Entstehung von Staub an Saatgut erhöht die Bedeutung der Aufreinigung von Saatgut vor der Verwendung als Behandlungsmedium mit chemischen Substanzen. In der Arbeit von *Nikolakis et al.* (2009) wird dem Basisstaub eine erhebliche Bedeutung in Bezug auf die Menge potentieller Abrasionen nach der chemischen Behandlung zugesprochen. Dabei wird auf adäquate Aspirationssysteme verwiesen, die im Rahmen der Zertifizierung von Saatgut-Beizanlagen berücksichtigt werden. Im aktuellen Versuch wurde das Saatgut der Weizensorte Potenzial sowohl in Teilversuch I, als auch in Teilversuch II verwendet. Während im ersten Versuchsteil eine explizite Aufreinigung des Saatgutes stattfand, wurde darauf im zweiten Teil verzichtet, da es sich um einen intraspezifischen Vergleich handelt. Die Höhe der Grundstaubbelastung von 1,5 g/dt konnte jedoch nicht in Folge der chemischen Behandlung wiedergefunden werden. Maximale Werte (EFA®: 0,95 g/dt; Rubin®TT: 0,94 g/dt; Landor®CT Formel M: 0,56 g/dt; Zardex®G: 0,9 g/dt) der solo applizierten Produkte lagen dabei mindestens um ein Drittel niedriger als ohne Behandlung. Dies könnte bedeuten, dass Flüssigbeizen in der Lage sind anhaftende Staubpartikel an die Saatkörner zu binden und die Emissionsquelle generell zu mindern. Eine Änderung der Residualzusammensetzung des entstehenden Beizstaubes ist jedoch anzunehmen.

Vergleich verschiedener Sorten

Im Unterschied zur Messung des Basisstaubs, handelt es sich bei dem Abrieb von chemisch behandelten Saatkörnern nicht um das Resultat einer Trockenreibung. Vielmehr kommt es in Folge zu Reibungen zwischen festen Grenzschichten, die gegenüber dem Grundmaterial modifizierte Eigenschaften aufweisen. Dies wird in der Literatur als Grenzreibung bezeichnet

(*Steinhilper* und *Albers*, 2008). Infolge der Anlagerung von chemischen Stoffen hat das Beizverfahren keinen Einfluss auf die Grundfestigkeit der Körner, da diese auf der inneren Struktur basiert (*Griepentrog*, 1994). Änderungen können jedoch in Form der Zusammensetzung des Verschleißes bestehen. In materialwissenschaftlicher Literatur ist der Abtrag von Oberflächenschichten einer chemisch modifizierten Oberfläche anders als bei unbehandelten Abriebmessungen als „Korrosiver Verschleiß“ definiert (*Popov*, 2009).

Im aktuellen Versuch wurden unterschiedliche Sorten einer Kultur in einem homogenen Beizprozess einheitlich über sieben Aufwandmengen behandelt. In allen Aufwandmengen und allen Sorten wurden Staubabriebe detektiert (Tab 22, Seite 43). Es ist somit davon auszugehen, dass bei der fungiziden Behandlung von Getreidesaatgut grundsätzlich mit dem Auftreten von Verlusten in Form von Beizstaub zu rechnen ist. Diese Erkenntnis ist bei Feldapplikationen bereits vollständig anerkannt. In aktuellen Untersuchungen wurde belegt, dass auch Blattapplikationen ein unvollständiges Verfahren darstellen, da nur ein Teil des Pestizids tatsächlich auf Pflanzen verbleibt und Verluste in den Boden verloren gehen (*Balan et al.*, 2008, *Salyani et al.* 2007).

Mit einer Regressionsanalyse wurde untersucht, ob ein Zusammenhang zwischen der verabreichten Dosis einer Beize und der daraus resultierenden Staubentwicklung (vgl. Dosis-Wirkung-Beziehung) zu detektieren ist und in wie weit eine einheitlich kulturspezifische Interaktion bei einem Behandlungsmittel besteht.

Insgesamt wurden aus 80 möglichen Varianten in 24 Fällen eine signifikante Beziehung zwischen der Aufwandmenge und dem Staubabrieb ermittelt (Tab 22, Seite 43). Statistisch erfassbare positive Beziehungen zwischen der verabreichten Dosis (Aufwandmenge) und der daraus resultierenden Wirkung (Staubabrieb) konnten nur vereinzelt, in insgesamt sieben Fällen, in den Kulturen Hafer und Triticale mit dem Einsatz der Beizen EfA[®], Rubin[®]TT und Zardex[®]G ermittelt werden. Größtenteils konnte anhand der Regressionsanalyse keine einheitliche Interaktion zwischen der Aufwandmenge und den Sorten einer Kultur detektiert werden. Differenzen konnten sowohl zwischen den Kulturen als auch zwischen den eingesetzten Sorten innerhalb einer Kultur detektiert werden. Grundsätzlich wird in der Literatur der Partikelgröße ein Effekt auf die Entstehung von Verschleiß zugesprochen (*Mührel*, 1983). Überlegungen, dass bei einer höheren Tausendkornmasse ein höherer oder niedrigerer Abrieb für einen definierten Abschnitt an applizierten Aufwandmengen detektiert werden kann, konnte anhand des Versuches nicht bestätigt werden. Unterscheidungen könnten dagegen eher auf der kultur- und sortenspezifischen Ausprägung der Körner beruhen. In Untersuchungen von *Nawrot et al.* (2010), sowie *Baker et al.* (1984) konnte zwischen einzelnen Sorten der Kultur Weizen eine Änderung der Lipidgehalte, sowie der Lipidzusammensetzung der Samenschale ermittelt werden, so dass ebenfalls von einem Einfluss auf die Bindung zu extern aufgetragenen Substanzen auszugehen ist.

Neben Differenzen zwischen den Sorten einer Kultur, ergaben sich für die einzelnen Kulturen individuelle Zusammenhänge zwischen Aufwandmenge und Staubabrieb bei einem Behandlungsmittel (Tab 22, Seite 43). Die Vergleichbarkeit zwischen den einzelnen Kulturen ist durch grundlegende Unterschiede in der Beschaffenheit der Körner nicht gegeben. Die Kulturen Gerste und Hafer weisen im Gegensatz zu den Kulturen Weizen, Roggen und Triticale eine Deckspelze auf. Auch die Oberflächen der Fruchtkörper der Kulturen Weizen, Roggen und Triticale differieren in ihrer Beschaffenheit. Roggenkörner sind im Vergleich zu Weizen und Triticale deutlich unregelmäßiger in Form und Größe, was ebenfalls in der Ausprägung der Oberhautzellen zu detektieren ist (Möller und Wintons, 1905). Schon Fuller und Tabor (1975) konnten abhängig von der charakteristischen Oberflächenbeschaffenheit differenzierte Anhaftungsvermögen an Festkörpern dokumentieren. Mills konnte bereits kurz zuvor (1972) unabhängig davon nachweisen, dass die Haftfähigkeit von Saatgutbehandlungsmitteln maßgeblich durch die Eigenschaften der Kornoberfläche beeinflusst wird. Dabei konnten abhängig von der zu behandelnden Kultur unterschiedliche Anhaftungsvermögen nachgewiesen werden. Laut Popov (2015) resultiert aus der mechanischen Belastung einer groben Oberfläche, relativ zu ebeneren Oberflächen, durch die geringere Anzahl an Kontaktpunkten ein geringerer Abrieb. Im aktuellen Versuch konnten ebenfalls, abhängig von der Kultur, unterschiedliche Ausprägungen erhöhter Abriebe bei gesteigerten Aufwandmengen detektiert werden. Ein statistisch messbarer Einfluss der Aufwandmenge wurde in der Kultur Hafer in zehn von 16 Sorten berechnet, in der Kultur Triticale in sechs von 16, in den Kulturen Gerste und Roggen in jeweils vier von 16, im Weizen dagegen überhaupt nicht. Anhand der Ergebnisse ist davon auszugehen, dass die unterschiedlichen Kulturen einen Einfluss auf die Höhe der zusätzlichen Staubentwicklung bei gesteigerter Aufwandmenge haben. Es handelt sich um adjustierte p-Werte für alle Beizen und Kulturen, wodurch ein direkter Vergleich der statistischen Aussagekraft zwischen den Kulturen möglich ist. Für die Referenz unterschiedlicher Sorten innerhalb einer Kultur ist eine unterschiedliche Beschaffenheit der Kornoberfläche ebenfalls denkbar. In neun von 20 möglichen Vergleichen konnte keine einheitliche Art der Regression (positiv/ negativ) über die jeweiligen vier Sorten detektiert werden. Differenzen der zu benetzenden Kornoberfläche können zwischen Sorten durch Schwankungen der spezifischen Dichte bestehen. Dobraszczyk et al. (2000) fanden heraus, dass das Hektolitergewicht, als spezifisches Gewicht von Getreide, zwischen einzelnen Sorten einer Kultur deutlich schwankte. Je nach definierter Masse (g), die für einen Beizvorgang genutzt werden soll, ergeben sich unterschiedliche Volumen. Denkbar wäre eine Normierung auf dieselbe zu benetzende Oberfläche, um eine Referenz zwischen einzelnen Tausendkornmassen herzustellen. Die sortenspezifische Diskrepanz der Dosis-Wirkung Beziehung kann ebenfalls durch die individuelle Kornform beeinflusst werden. Nach Popov (2015) hat neben der Beschaffenheit von Oberflächen auch

die Form des Körpers einen Einfluss auf den Abrieb. Unterschiede in der Ausprägung der Einzelkornmasse zwischen Genotypen werden maßgeblich durch die Kornform, d.h. die Kornlänge und Breite beeinflusst. Entsprechende Untersuchungen von *Campbell et al.* (1999) und *Dholakia et al.* (2003) konnten diesen genetischen Zusammenhang dokumentieren. Untersuchungen von *Salamini et al.* (2002) und *Willcox* (2004) definieren die potenzielle Korngröße, bzw. Masse als ein polygenes Merkmal. Die Ausprägung dieses Merkmals ist dagegen allgemein durch die Umwelt beeinflusst. Ein Zusammenhang zur Wasserverfügbarkeit, sowie zur vorherrschenden Temperatur während der Kornfüllung konnte bereits in mehreren Arbeiten dokumentiert werden (*Gooding et al.*, 2003; *Rharrabti et al.*, 2003). Die Komplexität zur Ausfüllung der möglichen genetisch fixierten Masse der zuvor determinierten Anzahl an Körnern je Ähre unterliegt weiteren Begrenzungen. *Chowdhury* und *Wardlaw* konnten schon 1978 in ihren Untersuchungen die unterschiedlichen Temperaturansprüche von Kornanlage und Kornfüllung an die Einflussgröße Witterung deklarieren. Somit stellt sich die Frage, ob neben der genetischen Veranlagung, bereits die Witterungsbedingungen in der Kornfüllung der Saatgutanzucht einen Einfluss auf die Ausbildung der Kornform und Kornoberflächenbeschaffenheit haben und ob darüber hinaus ein potentiellen Einfluss auf die Haftfähigkeit zu chemischen Substanzen besteht. Der Vergleich unterschiedlicher Beizrezepturen sollte somit immer innerhalb einer definierten Sorte stattfinden, da der physikochemische Einfluss der Genetik dabei konstant ist.

Neben den sortenspezifischen Einflüssen auf die Messgröße ist von einem Einfluss der physikochemischen Eigenschaften der applizierten Beize auszugehen. Bei vier eingesetzten Produkten und fünf verwendeten Kulturen ergaben sich 20 Vergleiche zu je vier Sorten. Insgesamt konnte in elf Sortenreferenzen eine Homogenität bezüglich der Art der Regression berechnet werden. In den Kulturen Weizen, Roggen, Hafer und Triticale konnten mit Verwendung des Suspensionskonzentrats EfA[®] ein einheitlicher Trend der Dosis-Wirkungs-Beziehung ermittelt werden. In der Kultur Roggen ergab sich dabei ein negativer Zusammenhang, in den Kulturen Weizen, Hafer und Triticale ein positiver. Darüber hinaus wurde mit dem Präparat Rubin[®]TT in den Kulturen Gerste (negativ), Roggen (positiv) und Triticale (positiv) ein einheitlicher Zusammenhang über die jeweils vier getesteten Sorten ermittelt. Durch die einheitlich detektierten Zusammenhänge in sieben von möglichen zehn Vergleichen, ist davon auszugehen, dass der Einfluss der chemischen Charakteristiken der Suspensionskonzentrate einen stärkeren Einfluss auf das kulturspezifische Abriebverhalten aufweist, als die physikalischen Gegebenheiten der sortenspezifischen Kornoberflächen. Mit dem Einsatz der Suspensionskonzentrat-Beize Landor[®]CT Formel M konnten nahezu vollständig negative Beziehungen zwischen der Aufwandmenge und dem Beizstaub ermittelt werden (Ausnahme: Weizen Sorte 3). Anders als bei den Referenzprodukten ist dem Präparat vom Hersteller schon ein Additiv (Formel M) beigefügt. Dies könnte ein Hinweis darauf sein,

dass der Effekt eines Zusatzes die Einflüsse der unterschiedlichen Sortencharakteristiken überlagert und der Zusammenhang somit aussagekräftiger wird. Anhand der aufgeführten Ergebnisse (Tab 22, Seite 43) ist davon auszugehen, dass Suspensionskonzentrate eine homogenere Abschätzung möglicher Beizstaubentwicklungen über verschiedene Aufwandmengen zulassen, als die Verwendung der alternativ formulierten wasserbasierten Feuchtbeize für eine definierte Kultur. Mit dem Produkt Zardex®G konnte in keiner Kultur über die vier getesteten Sorten einheitlich positive oder negative Zusammenhänge generiert werden. Eine mögliche Erklärung könnte in den unterschiedlichen Klassifizierungen mittels HLB-Wert liegen. Die hydrophile Lösung ist auf Tenside angewiesen, um eine stabile Bindung zum lipophilen Saatkorn zu ermöglichen (vgl. *Griffin*, 1954). Denkbar ist, dass das Fehlen des dreiwertigen Alkohols Glycerin nicht durch die alternative Beimischung von Diolen (1,2-Propylenglykol; Ethylenglykol) kompensiert werden kann. Die Autoren *Pistorius et al.* (2009) führen in ihrer Arbeit ebenfalls an, dass die Formulierung und das Vorhandensein sowie die Wahl der Polymere einen Einfluss auf den Abrieb haben.

Referenz der Beize Additiv Kombinationen

Nach der Verwendung von alleinigen Saatgutbehandlungsmitteln wurden in einem weiteren Versuch (Ergebnisteil 4.2, Seite 44) untersucht, in wie weit unterschiedliche adhäsive Kleber, die in den Beizprozess inkorporiert werden, eine Wirkung auf die Haftfähigkeit der Beize an den Körnern aufweisen. Im Vergleich zu Feldapplikationen sind durch die zeitliche und räumliche Entkoppelung von Applikation und Wirkort, spezifische Anforderungen gegeben, um eine möglichst hohe Zielgerichtetheit der Ausbringung zu generieren. Die Hauptursache die einen Stress für die applizierten Substanzen darstellt, ist mechanischen Ursprungs. Diese differenziert sich deutlich von den möglichen Stressfaktoren, die auf Feldapplikationen einwirken können, welche hauptursächlich auf dem Einfluss der Witterung beruhen. Kleber-Additive können dazu genutzt werden das Anhaften der Spritzbrühe bzw. des Spritzbelages an die Pflanzen zu erhöhen (*Steurbaut*, 1993), die Abdriftgefahr durch Wind zu mindern (*McMullan*, 2000), die Beständigkeit gegenüber Regen und UV-Strahlung zu verbessern (*Mainx et al*, 2004; *Zedda et al.*, 2004; *Braig et al.*, 2004). Das stabile Anhaften an die Zielregion entspricht auch bei der Verwendung in der Saatgutbehandlung der notwendigen Wirkung, um auch bei mechanischen Stresseinwirkungen beständig zu bleiben.

Die Verwendung von Kleber-basierten Adhäsivstoffen in der Saatgutbehandlung differiert je nach Anwendungsgebiet flüssiger Komponenten. *Robinson* und *Mayberry* verglichen schon 1976 verschiedenen Applikationssysteme. Dabei definierten sie die Beizung von Getreidesaatgut als die simpelste Form der Applikation, da die zu applizierenden Substanzen in einem Vorgang, generell ohne Kleber, auf die Saatkörner aufgetragen werden. Andere komplexere Flüssigbehandlungen von Saatgut, wie das „Film coating“ oder das Pillieren umfassen mehr Substanzen, die in verschiedenen Schichten, unter herkömmlicher Nutzung

von Klebern, aufgetragen werden (*Halmer*, 1988). Somit kann der Verwendung von Additiven bei der Behandlung von Saatgut keine technische Notwendigkeit, sondern ein möglicher technischer Zusatzeffekt zugesprochen werden.

Je nach Einsatz der verschiedenen adhäsiven Additive konnten durch die Grenzreibung in Folge einer Oberflächenmodifikation verschiedene Abriebe und Dosis- Wirkung-Beziehungen gemessen werden (Tab 25, Seite 46). Diese fiel dabei je nach applizierter Beize in Referenz zu den beigefügten Additiven unterschiedlich aus. Während sich mit dem Einsatz von Additiven mit der Beize EfA[®] in 14 von möglichen 15 Vergleichen eine geringere Steigung der Regressionsgeraden, relativ zum solo applizierten Produkt berechnen ließ, wurde dies mit der Beize Rubin[®]TT lediglich in vier von 15 Vergleichen ermittelt. Darüber hinaus deuten die Ergebnisse darauf hin, dass die Ausprägung der Interaktion dabei stark durch die verwendete Kultur beeinflusst wird. Drei der vier flacher ausgeprägten Steigungen der Additiv bedingten Nutzung der Beize Rubin[®]TT konnten in der Kultur Weizen detektiert werden. Die Kombination der Beize Landor[®]CT Formel M mit einem Additiv führte in 13 von 15 Vergleichen zu einer flacheren Regressionsgeraden über die Aufwandmengen, relativ zur alleinigen Mittelapplikation, die Beize Zardex[®]G in sechs von möglichen neun Vergleichen. Zusätzlich konnte in nahezu allen Vergleichen mit mindestens einem Zusatzstoff eine Änderung der Art der Regression dokumentiert werden. Es ist somit davon auszugehen, dass Additive, je nach Kombinationsbeize, in der Lage sind, die Dosis-Wirkung-Beziehung zwischen Aufwandmenge und Staubabrieb schwächer zu gestalten.

Mit dem Einsatz der Suspensionskonzentrate EfA[®] und Rubin[®]TT konnte in Kombination mit den Additiven Kantor[®], MaximalFlow[®] und Inteco[®] in allen Kulturen in der überwiegenden Anzahl applizierter Mengen eine signifikante Reduzierung des entstehenden Staubes gemessen werden (Abb. 15, Seite 50; Abb. 16, Seite 52; Abb. 17, Seite 54; Abb. 18, Seite 55; Abb. 19, Seite 56). Bereits *Schnier* et al. (2003) konnten in Untersuchungen belegen, dass der Einsatz von Additiven zu einer geringeren Abrasion von chemisch behandeltem Mais, bei einer definierten Aufwandmenge, führte. Dabei wurde der Formulierung das Zusatzprodukt beigemischt und in einem Applikationsprozess auf die Körner aufgebracht. Entstehender Staub wurde dabei mittels Filtererfassung am Luftausstrom einer pneumatischen Drillmaschine aufgefangen. Die Studie konnte eine Staubreduktion von 50% feststellen. Da die reduzierenden Staubemissionen in allen Kulturen detektiert wurden, ist davon auszugehen, dass die verbesserte Anhaftung von Chemikalien durch den Zusatz von adhäsiven Additiven unabhängig von den genetischen Gegebenheiten der Körner (Kornform und Oberflächenbeschaffenheit) zu erwarten ist. Die ähnlich hohen Lipidgehalte der Getreidekörner ermöglichen eine vergleichbare Bindung zwischen Zusatzprodukt und Oberfläche (*Bhatty* et al, 1974), die gegenüber dem Soloprodukt differiert. Darauf deuten die Ergebnisse des Abriebtests mit der Beize Landor[®]CT Formel M in allen Kulturen hin. Durch

den vorherigen Zusatz eines Additivs (Formel M) lagen die Abriebmengen des solo applizierten Produktes bereits auf einem verhältnismäßig niedrigen Niveau. Signifikant niedrigere Staubmengen wurden in nahezu allen Kulturen (Ausnahme Weizen) bei geringen Aufwandmengen berechnet. Denkbar ist, dass die applizierte Menge der limitierende Faktor war, um eine flächendeckende Benetzung um das Korn zu generieren und Einzelpartikel somit leichter abgerieben werden können. Auch in Kombination mit der alternativ formulierten wasserbasierten Feuchtbeize Zardex®G konnten statistisch erfassbare Unterschiede in der überwiegenden Anzahl an Vergleichen berechnet werden. Dies ist aufgrund des amphiphilen Charakters der enthaltenen Tenside zu erklären. Diese nicht ionischen Tenside ermöglichen eine verbesserte Phasenbindung mit lipophilen und hydrophilen Charakteren (*Whiddon, 2010, De et al., 2014*), so dass auch bei der alternativen Formulierung weniger Stäube entstehen. Die Fähigkeit von Pflanzenölen (Sojaöl) entstehende Stäube zu binden ist ein Charakteristikum, das man sich bereits im Rahmen von Fütterungsstrategien zunutze macht. Hohe Konzentrationen von suspendierten Partikeln aus Futtermitteln sind Hauptverursacher für die Belastung von Stallluft mit hohen Staubmengen (*Heber et al., 1988*). In Untersuchungen von *Heber (2002)* und *Guarino (2007)* trug der Zusatz von Sojaöl zur Futtermitteln zu einer deutlichen Verbesserung der Luftqualität in Schweineställen bei. Die entstehende Staubmenge konnte deutlich verringert werden.

Im aktuellen Versuch ist die Wirkung der Additive auf zwei Effekte zurückzuführen. Zum einen ist in der überwiegenden Anzahl an Vergleichen eine Reduktion der absoluten Staubemissionen zu detektieren, zum anderen ist eine Änderung der Dosis-Wirkungs-Beziehung zu erkennen. Sowohl Differenzen in der Ausprägung der Art einer Regression als auch die Erlangung eines gegenläufigen Effektes wurden dabei ermittelt. Eine Differenzierung der eingesetzten Additive konnte für die überwiegende Anzahl an Vergleichen mit den Beizen EfA® und Rubin®TT nachgewiesen werden (weniger stark mit der Beize Landor®CT Formel M). Im Roggen waren die Staubabrieb mit dem Zusatzprodukt MaximalFlow® nahezu vollständig signifikant höher als die der Vergleichspräparate (Abb. 17, Seite 54). Dies konnte ebenfalls in der Gerste mit der Beize Rubin®TT (Abb. 16, Seite 52), in der Triticale mit der Beize EfA® (Abb. 19, Seite 56) und im Hafer (Abb. 18, Seite 55) bei den drei höchsten Aufwandmengen ermittelt werden. Die geringere Haftfähigkeit von Silikonölen konnte bereits in Feldapplikationen nachgewiesen werden. *Penner et al. (2002)* fanden heraus, dass keine Erhöhung der Retention auf den Blättern stattfand, sondern eine gegenteilige Abstoßung der Spritztropfen. Eine vollständige Übertragbarkeit auf die dokumentierten Effekte in einem Beizprozess ist jedoch nicht gegeben. Während eine erhöhte Pflanzenverträglichkeit durch Verringerung der Blattabsorption von Herbiziden mit der abstoßenden Wirkung silikonöhlhaltiger Additive bei Feldapplikationen einen Nutzen bei der Unkrautbekämpfung haben kann, ist dies bei der Saatgutbehandlung nicht gewollt. Anhand von Saatgutbehandlungen konnten

Unterscheidungen bezüglich der Fähigkeit Polymere am Saatkorn zu binden in Untersuchungen von *Bardin* und *Huang* (2003) über verschiedene Additive festgestellt werden. Eine Ableitung auf spezifische Inhaltsstoffe konnte dabei anhand verschiedener Kleber, ein definiertes Kontrollmittel an Zuckerrübensamen zu binden, jedoch nicht ermittelt werden. Die detektierten Ergebnisse ermöglichen somit erstmals eine selektive Einteilung von adhäsiven Additiven für die Nutzung mit Saatgutbehandlungsmitteln. Die detektierte Mindermenge an entstehendem Staub kann somit durch Modifikationen der Zusammensetzung der Beizlösung beeinflusst werden und stellt damit eine zusätzliche Möglichkeit dar, bereits im Beizprozess eine Optimierung der Anhaftung zu generieren. Neben dieser Veränderung konnten bereits anhand technischer Transformationen staubmindernde Effekte detektiert werden. 2011 konnten *Biocca* et al. eine alternative Abluftableitung für pneumatische Sähmaschinen entwickeln. Die bodennahe Umleitung führte zu einer geringeren Freisetzung von Aktivsubstanzen in die Umgebung. Ein weniger witterungsunabhängiger Umbau wurde 2015 durch den Einbau eines Filtersystems an vorhandenen Sähmaschinen als staubreduzierende Maßnahme entwickelt (*Biocca* et al., 2015). Im Unterschied dazu könnte die Änderung der Beizlösungsrezeptur eine Staubminderung bei allen gegebenen Aussaattechniken ermöglichen. Im Gegensatz dazu ermöglicht die technische Transformation auch die Verwendung von stark emittierenden Saatgutpartien.

Analytische Wirkstoffdetektion in Beizstaubresiduen

Die Freisetzung von Beizstaub in Folge einer mechanischen Beanspruchung ist eng verbunden mit einer potentiellen Kontamination von Umwelt und Anwender mit pestiziden Wirkstoffen. Je nach Art der emittierten Wirkstoffe können bei Aufnahme in den Körper Gesundheitsschäden verursacht werden. Ein Erfassen von Nichtzielorganismen, wie es im Frühjahr 2008 durch Abrieb von insektiziden Wirkstoffen (Chlothianidin, Imidacloprid) aus behandeltem Saatgut während der Aussaat von Mais im südlichen Deutschland auftrat, ist dabei ein denkbare ernstzunehmendes Risiko (*Pistorius* et al., 2008). Im aktuellen Versuch konnten in allen solo behandelten Kulturen zu jeder Aufwandmenge die produktspezifischen Aktivsubstanzen detektiert werden. Ebenfalls konnte dies in den mit Additiven versetzten Varianten detektiert werden. Die Detektion von Aktivsubstanzen in den Staubresiduen weist darauf hin, dass es für das Behandlungsmittel Rubin®TT einen starken Zusammenhang zwischen der Wirkstoffmenge und den abgeriebenen Staubmengen gibt. Aussagekräftige Beziehungen aller Wirkstoffe konnten über die verschiedenen Kulturen und für die unterschiedlichen Beize-Additiv-Kombinationen innerhalb der Kultur Weizen nachgewiesen werden (Abb. 20, Seite 58; Abb. 21, Seite 58). Der beste Zusammenhang der Varianten konnte nachgewiesen werden, wenn der Schnittpunkt der Regressionsgeraden nicht bei Null lag. Da dies auch in Folge des ersten Versuches mit vorausgegangener Aufreinigung detektiert wurde,

liegt die Vermutung nahe, dass auch noch nach gründlicher Reinigung eine Restverschmutzung der Oberfläche gegeben war. Dies lässt die Annahme zu, dass die Differenz des Schnittpunktes der jeweiligen Regressionsgerade mit der Ordinate (Intercept) dem Basisstaub entspricht. Einen Zusammenhang zwischen der Menge des Staubabriebs und detektierter Wirkstoffmenge konnte auch in der Arbeit von *Hofmann et al. (2015)* aufgeführt werden. Die Autoren führen weiter auf, dass die Beziehung unterschiedliche Verläufe je nach behandelter Zielkultur aufweisen kann. Dies könnte ein Hinweis darauf sein, warum die linearen Zusammenhänge gemittelt über die verschiedenen Kulturen weniger aussagekräftig ausfallen. Die Bestimmtheitsmaße der Einzelwirkstoffe waren für die Beizen Rubin[®]TT (Abb. 20, Seite 58; Abb. 21, Seite 58) über die Kulturen geringer als die des linearen Zusammenhanges mit unterschiedlichen Beize-Additiv Kombinationen innerhalb einer Kultur. Im Gegensatz zu Getreide ist anzunehmen, dass die spezifische Interaktion von Kultur und applizierter Beize bei kleinsamigen Kulturen wie Gemüse, die eine zusätzliche Pillierung benötigen, individueller ausfällt, da verschiedene Schichten chemischer Substanzen aufgetragen werden. Denkbar ist, dass Aktivsubstanzen äußerer Schichten dabei stärker in den Staubresiduen wiedergefunden werden als innere. Untersuchungen liegen diesbezüglich jedoch noch nicht vor. Im Unterschied zu anderen Beizetechniken handelt es sich bei der Saatgutbehandlung im Getreide um eine einheitliche Applikation in einem Durchgang, so dass jeder Wirkstoff direkt an der Oberfläche lokalisiert ist.

Wirkstoffdetektion in Getreidepflanzen

Die Notwendigkeit systemische Fungizide als Saatgutbehandlungsmittel zur Behandlung von Getreide einzusetzen ist grundsätzlich gegeben. Bodenbürtige Krankheitserreger wie *Gaeumannomyces graminis*, *Rhizoctonia cerealis* oder *Fusarium culmorum* sind in der Lage sowohl Wurzeln als auch die Sprossbasis oberhalb des Bodens zu befallen (*Cook, 1980; Cook und Naiki, 1982; Lemańczyk und Kwaśna, 2013*). Insofern eine Infektion innerhalb des Bodens oder als samenbürtiger Prozess stattfindet, kann nicht differenziert werden, ob ein Schutz durch systemische Aktivität, induzierte Resistenz in der Pflanze oder aus einer Schutzzone des Fungizids im Boden resultiert (*Bateman, 1980*). Der Nachweis von Einzelwirkstoffen in wachsenden Sprosssteilen stellt somit auch einen Schutz gegenüber luftverbreiteten Sporen, wie sie bei *Fusarium culmorum* exemplarisch als Infektionsweg vorkommen (*Bateman et al., 2007*).

Bei der analytischen Auswertung der Wirkstoffaufnahme von Pyrimetanil, Prochloraz und Triticonazol, wurden alle Aktivsubstanzen zu jedem Zeitpunkt und zu jeder Aufwandmengen in den Kulturen Weizen und Gerste detektiert (Abb. 22, Seite 60; Abb. 23, Seite 61). Die Werte des *in vitro* Versuches sind dabei als hoch zu deuten. Fehlende Absorptionen an Bodenpartikel ermöglichen eine Ausschöpfung des Aufnahmepotentials als einzige Bezugsquelle bei gegebener Aufwandmenge (*Allen-King et al., 2002*). Der Faktor Zeitpunkt wurde für alle

Wirkstoffe in der Varianzanalyse als signifikante Einflussgröße berechnet (Tab 26, Seite 62; Tab 28, Seite 63; Tab 30, Seite 65). Eine Abnahme von Wirkstoffgehalten, die mittels Saatgutbehandlung appliziert wurden, konnte in Pflanzen über die Zeit bereits für diverse Wirkstoffe in unterschiedlichen Pflanzen bestätigt werden (*Thielert et al.*, 1986; *Tischner und Hofmann*, 1987; *Parida et al.*, 1990; *Stein-Dönecke et al.*, 1992). Eine grundsätzliche Metabolisierung von systemischen Wirkstoffen ist durch den Eintritt in symplastische Pflanzenabschnitte gegeben, in denen sie dem pflanzlichen Stoffwechsel unterliegen. Eine große Variabilität zwischen Wirkstoffen konnte diesbezüglich schon in unterschiedlichen Untersuchungen festgestellt werden (*Briggs et al.*, 1974; *McDougall*, 1979)

Eine Differenzierung der aufgenommenen Wirkstoffmengen konnte für alle Wirkstoffe zwischen den Kulturen Weizen und Gerste in geringem Umfang detektiert werden (vgl. Abb. 22, Seite 60; Abb. 23, Seite 61). Zu nahezu allen Referenzmöglichkeiten (mit/ohne Additiv, alle Zeitpunkte und Aufwandmengen) wurden höhere Wirkstoffgehalte in der Kultur Weizen nachgewiesen. Aufnahmedifferenzen zwischen Pflanzenfamilien konnten in der Literatur bereits vermehrt dokumentiert werden. Anhand des Wirkstoffes Prochloraz wurden sowohl bei Blattapplikationen (*Mc Dougall*, 1979; *Phillips*, 1993) als auch bei Saatgut- und Bodenbehandlungen (*Mislankar und Tull*, 2003) Unterschiede festgestellt. Unterschiedliche Aufnahmen von Fungiziden innerhalb einer Pflanzenfamilie (*Poaceae*) sind bislang wenig betrachtet worden. Denkbar ist, dass kulturspezifische Massezuwächse einen Einfluss auf den Wirkstoffgehalt haben. Ein alternativer Ansatz ist, dass nicht die Kultur selbst, sondern die Anhaftungen an unterschiedlichen Oberflächenstrukturen einen Einfluss auf die erneute Freisetzung der Wirkstoffe haben. Darauf könnten auch die stabileren Wirkstoffgehalte in der Gerste zum Ende der Probenahme (6.Wochen nach Aussaat) hindeuten. Während zu allen vorherigen Probenahmeterminen im Weizen höhere Wirkstoffgehalte (aller Aktivsubstanzen) detektiert wurden, konnte dies zum letzten Zeitpunkt nicht mehr einheitlich festgestellt werden.

Im aktuellen Versuch (Ergebnisteil 4.4, Seite 59) erfolgte die Anzucht der Getreidepflanzen unter kontrollierten Bedingungen, so dass ein selektiver umweltbedingter Einfluss nicht gegeben war. Auch die Formulierung war für alle drei zu detektierenden Wirkstoffe gleich. Differenzen zwischen den Wirkstoffgehalten konnten innerhalb einer Kultur gefunden werden. Im Weizen wurde der Wirkstoff Pyrimethanil zu jedem Zeitpunkt, jeder Aufwandmenge und in beiden Kombinationsvariationen (mit/ ohne Additiv) in höchstem Umfang detektiert, der Wirkstoff Triticonazol in mittlerem Umfang und das Prochloraz am geringsten. In der Gerste wurde dagegen der Wirkstoff Triticonazol in nahezu allen Proben in größtem Umfang nachgewiesen, der Wirkstoff Pyrimethanil wies leicht geringere Gehalte auf und das Prochloraz konnte erneut in geringstem Umfang detektiert werden. Aktivsubstanzen, die als Saatgutbehandlungsmittel appliziert werden, nimmt die Pflanze durch Diffusion und den

Massenstrom auf. Dabei gelangen Wasser und anorganische Ionen über die Wurzelepidermis in die Pflanze. Nach dem Passieren der Wurzelrinde gelangen die gelösten Stoffe im Wasser in den Zentralzylinder und fließen in das Xylemsystem, dass eine Translokation in der Pflanze bewirkt (*Campbell et al.*, 2006). Die Diskrepanz zwischen der Aufnahme der einzelnen Wirkstoffe kann dabei Resultat der physiokochemischen Eigenschaften der Aktivsubstanzen, der Einflüsse durch Umwelt und Pflanze, sowie der Formulierung des applizierten Produktes sein (*Baker und Hunt*, 1981).

Der Wirkstoff Prochloraz wurde im Vergleich zu den weiteren Wirkstoffen zu jedem Zeitpunkt in beiden Kulturen in geringstem Umfang nachgewiesen. Eine mögliche Erklärung könnte in der Ermittlung der Lipophilität über den Octanol-Wasser-Verteilungskoeffizienten (K_{ow}) liegen. In Untersuchungen von *Briggs* (1982) wurde eine Beziehung zwischen dem K_{ow} und der translozierten Menge an Aktivsubstanzen ermittelt. Dabei wurden maximale Mengen an Wirkstoffen gemessen, die eine mittlere Polarität (K_{ow} 1,5 – 2,0) aufwiesen. Der Wirkstoff Prochloraz weist von den drei detektierten Wirkstoffen den höchsten K_{ow} (4,06) auf, während die Aktivsubstanzen Triticonazol (K_{ow} =3,29) und Pyrimethanil (K_{ow} =2,8) näher am Beziehungsoptimum liegen.

Die Wirkstoffe Pyrimethanil und Prochloraz gelten als lokal systemisch. Die Aufnahme und Translokation erfolgt somit nur in einem limitierenden Umfang. Im Gegensatz zum Prochloraz konnte der Wirkstoff Pyrimethanil in beiden Kulturen in deutlich höherem Umfang nachgewiesen werden, obwohl der Anteil in dem Produkt Rubin[®]TT lediglich marginal höher liegt (Prochloraz: 38,6 g/l; Pyrimethanil: 42 g/l). Eine mögliche Erklärung könnte in der Molekülgröße liegen. Durch eine fehlende Xylemmobilität werden diese beiden Wirkstoffe hauptsächlich durch Diffusion aufgenommen. *Bauer und Schönherr* (1992) konnten in Untersuchungen eine negative Korrelation zwischen der Molekülgröße (molare Masse) und der Diffusionsrate feststellen. *Baker et al.* (1992) konnten diese grundlegende Beziehung auch für Pestizide feststellen. Mit einer molaren Masse von 199,3 g/mol umfasst der Wirkstoff Pyrimethanil lediglich 52% der Molekülgröße von Prochloraz (376,665 g/mol) und kann somit leichter diffundiert werden. In der Studie von *Phillips* (1993) konnte zudem ein geringes Translokationspotential (3%) des Wirkstoffs Prochloraz anhand von Raps festgestellt werden. Dieser Effekt könnte sich bei Saatgutapplikation im Vegetationsverlauf sogar noch verstärken. *Krepiski* (1982) fand heraus, dass nach einer Beizung von Weizenkörnern ausschließlich in den ersten sechs Wochen nach der Aussaat eine Translokation des Wirkstoffes Prochloraz vom Saatkorn in oberirdische Pflanzenteile stattfindet.

Der Wirkstoff Triticonazol wurde in beiden Kulturen in einem größeren Umfang nachgewiesen als der Wirkstoff Prochloraz. Ein Einfluss auf die Wiederfindung könnte, neben den Aufnahmemechanismen, durch die Translozierbarkeit des Wirkstoffs gegeben sein. Obwohl die Wasserlöslichkeit der Aktivsubstanz mit 7 mg/l verhältnismäßig gering ist (*Tomlin*, 1994)

(Vergleich Pyrimethanil: 121 mg/l; Prochloraz: 55 mg/l), wird sie bei der Verwendung als Saatgutbehandlung in der Literatur als sehr geeignet für Translokationsprozesse definiert. *Bhatty et al* (1974) konnte nach einer künstlichen Durchtränkung von Saatkörnern (Imbibition) nur eine geringe Akkumulation detektieren. Der Autor führt an, dass dies auf die geringen Lipidgehalte von Gerste (2-4%) und Weizen (2-3%) zurückzuführen ist. Obwohl der Wirkstoff Triticonazol ein lipophiles Charakteristikum besitzt, konnten *Quérou et al.* (1996) eine hauptsächliche Steuerung der Aufnahme über den Massenfluss detektieren. Die Rückführung auf eine Abhängigkeit zu geringen Lipidgehalten der Zielkultur wird in der Arbeit von *Phillips* (1972) deutlich. Bei Saatgutapplikationen in Soja konnte mit einem Lipidgehalt von 25-30% eine ausgeprägtere Akkumulation und eine geringere Translokation detektiert werden. Dies könnte ein Hinweis sein, dass für den Wirkstoff Triticonazol nicht die absolute Aufnahme, sondern die Translozierbarkeit die bedeutendere Einflussgröße darstellt.

Mit dem Einsatz eines Additivs (Kantor®) konnte nur ein geringer Effekt auf die Aufnahme der Wirkstoffe Pyrimethanil, Prochloraz und Triticonazol detektiert werden. Einheitlich konnte keine signifikante Wechselwirkung zwischen dem Additiv und dem Faktor Zeitpunkt ermittelt werden (Tab 26, Seite 62; Tab 28, Seite 63; Tab 30, Seite 65). Durch die fehlende signifikante Interaktion konnte davon ausgegangen werden, dass eine mögliche Wirkung eines Additivs zu jedem Zeitpunkt in gleichem Umfang stattfand. Die Höhe des Effektes war dabei jedoch wirkstoffspezifisch.

Für den Wirkstoff Pyrimethanil konnte kein Effekt auf die Aufnahme berechnet werden (Tab 27, Seite 63). Mit Ausnahme des Vergleiches in der Kultur Weizen bei mittlerer Aufwandmenge (200 ml/dt; $p = 0,326$), lagen alle p -Werte sehr nahe bei Eins. Es handelt sich um den geringsten Einfluss aller detektierten Wirkstoffe. Bei den Aktivsubstanzen Prochloraz und Triticonazol konnte mit dem Einsatz des Additivs bei zunehmender Aufwandmenge eine steigende Relevanz anhand abnehmender p -Werte berechnet werden (Tab 29, Seite 64; Tab 31, Seite 65). Für den Wirkstoff Prochloraz konnte bei höchster Aufwandmenge im Weizen eine hoch signifikante Differenz zwischen den Varianten mit und ohne Additiv detektiert werden. Die festgestellte Diskrepanz, hinsichtlich der Wirkung von Additiven, auf die Aufnahme von Aktivsubstanzen konnten auch *Baker et al.* (1992) bei Blattapplikationen feststellen. In einem Test über vier Kulturen mit 25 Chemikalien, die mit und ohne Additiv zu drei Zeitpunkten nach der Applikation analysiert wurden, konnte in 88% eine erhöhte Aufnahme festgestellt werden und in 66% eine erhöhte Translokation. Eine relative Erhöhung der Translokation zur Aufnahme wurde nicht detektiert. Im aktuellen Versuch war es dagegen nicht möglich zwischen Aufnahme und Translokation zu unterscheiden. Da die Wurzeln mit geerntet wurden, ist auch eine erhöhte Akkumulation denkbar, die dann jedoch nicht, bzw. noch nicht in den Spross transloziert wurde. Somit konnte auch ein Effekt auf lokal systemische Wirkstoffe dokumentiert werden. Dies könnte ein Grund sein, weshalb sowohl die p -Werte des

systemischen Wirkstoffs (Triticonazol) als auch die des lokal-systemischen Wirkstoffs (Prochloraz) mit steigender Aufwandmenge abnehmen und damit eine zunehmende Relevanz aufweisen. Die einmalig nachgewiesene Signifikanz für den Wirkstoff Prochloraz deutet auf eine Erhöhung der Aufnahme hin, die anhand des Versuches jedoch nicht abschließend bestätigt werden kann. Die selektive Aufnahmesteigerung in nur einer Kultur deckt sich ebenfalls mit den Ergebnissen von *Baker et al. (1992)*. Anders als im aktuellen Versuch konnten jedoch unterschiedliche Ausprägungen einer erhöhten Wirkstoffaufnahme abhängig von der Familienzugehörigkeit detektiert werden. Im Vergleich zu Rosengewächsen (Erdbeere), Fuchsschwanzgewächsen (Zuckerrübe) und Kohl (Raps), konnte der geringste Effekt in einem Süßgras (Mais) ermittelt werden. Dies könnte darauf hindeuten, dass die Erhöhung der Aufnahme auch in Weizen und Gerste als verhältnismäßig gering zu deklarieren ist.

Die Ergebnisse indizieren eine steigende Relevanz von Additiven in Bezug auf die Aufnahme von Aktivsubstanzen, bei steigender Aufwandmenge. Dies deckt sich mit der erhöhten Diskrepanz der Abriebmengen zwischen den Varianten mit und ohne Additiv. Dabei konnte ebenfalls der größte Verlust bei höchster Aufwandmenge dokumentiert werden (vgl. Abb. 15 Teil a, Seite 50). Somit ist auch für Praxisaufwandmengen mit einer Diskrepanz zwischen Soll- und Ist-Menge angebrachter Aktivsubstanzen zu rechnen. Die im Rahmen der Zertifizierung von Beizstellen durchgeführten Beizgradanalysen werden jedoch direkt nach der Behandlung, ohne Simulation einer standardisierten mechanischen Beanspruchung ermittelt. Durch die Deklaration einer schwachen Anhaftung ohne Additiv ist davon auszugehen, dass es, je nach Höhe des potentiellen Abriebs, zu einer Überschätzung der vorhandenen Substanzen am Zielort Korn kommt. Eigene Untersuchungen, die jedoch hohe Schwankungen aufwiesen, konnten die unterschiedlichen Residualmengen am Korn nach dem Heubachttest ebenfalls belegen, die sich mit steigender Aufwandmenge stärker voneinander differenzieren (Anhangsabb. 2, Seite 143). Dies legt den Schluss nahe, dass nicht der Aufnahmemechanismus in die Pflanzenwurzel durch den Zusatz eines Additivs erhöht wird, sondern dass durch die bessere Anhaftung eine Mehrmenge für die Aufnahme zur Verfügung steht. Anhand der durchgeführten Untersuchungen kann dagegen nicht belegt werden, in wie weit Additive bei Saatgutapplikationen überhaupt in der Lage sind auf die Aufnahme wirken zu können. Es ist, im Unterschied zu Feldapplikationen, von keiner direkten Wirkung auszugehen. Während bei Feldapplikationen die direkte Aufnahme durch Kutikula hydratisierende Stoffe (*Manthey und Nalewaja, 1992*), sowie Stomata Infiltrationen (*Stevens et al., 1991*) gefördert wird, entfaltet sich eine mögliche Wirkung bei Saatgutapplikationen zeitlich verzögert. Ob Änderungen der physiochemischen Eigenschaften auch nach dem Trocknen und einem erneuten Aufweichen noch eine Wirkung haben konnte bisher nicht belegt werden. Eine weitere Differenzierung zu Feldapplikationen liegt in der räumlichen Diskrepanz zwischen

Aufnahme und Applikation der Aktivsubstanzen. Diese findet in die Wurzel überwiegend durch den Massenstrom und gering über Diffusion statt. Der Applikationsort Korn entspricht somit nicht dem Ort der Aufnahme. Eine weitere Differenz zu Blattapplikationen liegt im vornehmlichen Aufnahmemechanismus über das Blatt, der Diffusion. Additive wie Netzmittel können dabei ihre eigene Penetration und die des Wirkstoffes beschleunigen, indem sie eine sog. „Diffusionsfront“ in der Kutikula aufbauen, welcher der Wirkstoff dann folgt (Bauer und Schönherr, 1997; Stock und Holloway, 1993). Da die Wurzelaufnahme von Wirkstoffen jedoch hauptsächlich über den Transpirationsstrom gesteuert wird, ist keine Übertragbarkeit gegeben. Auch diese Unterschiede könnten Hinweise darauf sein, dass die erhöhte Aufnahme nicht auf direkten Beeinflussungen der physiochemischen Eigenschaften von Pflanze und Behandlungsprodukt beruhen, sondern auf der technisch optimierten Anhaftung.

Im aktuellen Versuch wurde lediglich ein Additiv (Kantor®) in Bezug auf die Aufnahme getestet. Es ist davon auszugehen, dass diese Effekte sich nicht mit jedem weiteren Additiv erlangen lassen. In der Arbeit von *Bardin* und *Huang* (2003) konnte für biologische Behandlungsmittel belegt werden, dass eine differenzierte Wirkung für verschiedener Additive bezüglich des adhäsiven Anhaftungsvermögens besteht. Zusätzlich konnte eine praktische Relevanz in Bezug auf die fungizide Wirkung hergestellt werden. Dabei konnte anhand des Krankheitserregers *Phytophthora* an Zuckerrüben ein direkter Zusammenhang zwischen der Menge aufgebracht Substanzen und der fungiziden Wirkung ermittelt werden. Ob durch die differenzierten Verluste im vorliegenden Versuch eine praktische Relevanz in Bezug auf eine ausreichende Wirkung gegenüber Krankheitserregern ermittelbar ist, wurde bisher jedoch nicht nachgewiesen.

Eine generelle Übertragbarkeit der *in vitro* Versuche auf Feldversuche ist nicht gegeben. Denkbar ist eine stärkere Unterscheidung zwischen den Varianten mit und ohne Additiv. *Kawahar* et al. (2003) fanden heraus, dass die Zugabe von Additiven zu einer geringeren Auswaschung von Pestiziden im Boden führte. Dabei konnte aus einer wässrigen Lösung, bestehend aus dem Pestizid, Tanninsäure und einem mehrwertigen Salz, ein Komplex gebildet werden, der die Auslaugung minderte. Auch hier konnte jedoch nicht geklärt werden, ob die erhöhte Aufnahme auf der Minderung von Verlusten beruht.

Fließfähigkeitmessungen

Die Fließfähigkeit beschreibt die Bewegung eines Gutes entlang derselben Partikel, bzw. entlang einer externen Oberfläche (*Peleg*, 1977). Um einen kontinuierlichen und homogenen Fluss von Schüttgütern zu erzeugen, ist es notwendig das Fließverhalten zu charakterisieren (*Kamath* et al., 1994). Die Hauptwirkung erfolgt durch Reibung zwischen den Körnern. Diese wird in der Literatur als Wechselwirkung bzw. Kraftübertragung zwischen den Körnern in Folge von Berührungen definiert (*Mührel*, 1983), welche maßgeblich durch die Haftkräfte zwischen den einzelnen trockenen Partikeln (van-der-Waals-Kraft) beeinflusst wird (*Schulze*, 2014). Die

Relevanz in der Saatgutbehandlung ist dabei grundlegend gegeben, da die chemisch modifizierten Getreidekörner bei Ver- und Endpackungsvorgängen, sowie bei der Aussaat Reibungsprozessen ausgesetzt sind. Anders als die Identifikation von Verlustmengen, hat die Bewertung der Reibung von Grenzschichten mit unterschiedlichen Kornoberflächen ein rein technisches Interesse.

Die Messung des Fließverhaltens von behandeltem Getreide wurde in vorliegender Arbeit erstmals durch eine dynamische Erfassung entstehender Energie mittels *Revolution Powder Analyser* durchgeführt. Neben der Erfassung der Auslaufzeit aus einem Trichter und der Erfassung des Böschungswinkels nach dem Auslaufen aus einem Trichter, gilt das sog. „Avalanching“ Prinzip zu einer von drei Möglichkeiten zur Bestimmung des Fließverhaltens von Schüttgütern. Die ursprünglich für Pulver deklarierte Methode lässt sich aufgrund der physikalischen Klassifizierung von Schüttgütern (nach *Brühbach*, 1973) auch für Getreide zur Ermittlung der trockenen Fließfähigkeit verwenden.

Die Messungen von Abrieb und Fließfähigkeit resultieren beide aus der mechanischen Beanspruchung einer sich drehenden Trommel. Während bei dem Heubachttest der Abrieb in Folge von Kontakten einzelner Partikel determiniert wird, unterscheidet sich die Betrachtungsweise des Schüttgutes bezüglich der Fließfähigkeit. *Schulze* (2014) definiert die Ansicht nicht abhängig von den Kräften an den einzelnen Partikeln des Schüttgutes, sondern durch Kräfte auf den Begrenzungsflächen einzelner Volumenelemente und die daraus folgende Verformung. Die wissenschaftliche Betrachtung des Schüttgutes erfolgt als Kontinuum.

Referenz der Beize Additiv Kombinationen

Die Gesamtbetrachtung der Getreidekörner erfolgt als Schüttgut. Mit einer stabilen Lagerungsfeuchte der einzelnen Getreidekulturen (ca. 14%) sind kohäsive Kräfte zwischen den Partikeln nur in geringem Umfang vorhanden. Die Autoren *Marinelli* und *Carson* (1992) fanden heraus, dass mit geringerer Partikelgröße, sowie mit einer zunehmenden Heterogenität zwischen den Größen der Partikel eine zunehmende potentielle Kohäsion auftritt. Entgegen dessen besteht zwischen adhäsiver Haftkraft und Partikeldurchmesser eine Proportionalität (*Schulze*, 2014). Dies konnte anhand der Ergebnisse nicht bestätigt werden. Die kleinsten Körner, sowie die größte Kornheterogenität wies die Kultur Roggen auf (*Möller* und *Wintons*, 1905). Eine höhere Energiefreisetzung als in der Referenzkulturen konnte dagegen nicht detektiert werden. Dies könnte bedeuten, dass die Beziehung nur für dasselbe Material gegeben ist, kohäsive Kräfte aufgrund der geringen Feuchte nicht in messbarem Umfang vorhanden sind, und dass in Folge der Oberflächenkonditionierung neue spezifische Interaktionen zwischen den Körnern entstehen. Grundlegend wird das Fließverhalten durch die Art der Interaktion zwischen Schüttgut (behandeltem Gut) und Partikeln der Applikationsmittel beeinflusst (*Hollenbach* et al., 1984).

Abhängig von den eingesetzten Präparaten konnten innerhalb einer Kultur unterschiedliche Fließverhalten gemessen werden (Abb. 25, Seite 72; Abb. 26, Seite 74; Abb. 27, Seite 75; Abb. 28, Seite 76; Abb. 29, Seite 78). Es ist davon auszugehen, dass dies auf die physikochemischen Eigenschaften des jeweiligen Präparates, bzw. auf das Vorhandensein von Tensiden zurückzuführen ist (Whiddon, 2010), sowie auf das durch den HLB-Wert definierte Zusammenpassen zweier Phasen (Griffin, 1959).

Der Zusatz der verschiedenen Additive führte zu einer Änderung des Fließverhaltens. Anhand der Suspensionskonzentrate EfA[®] und Rubin[®]TT wurden in Kombination mit den Additiven Kantor[®] und Inteco[®] in allen applizierten Kulturen geringere Energiemengen gemessen, als in der Solo-applizierten Variante. Ebenso konnte eine Veränderung der Dosis-Wirkungs-Beziehung ermittelt werden. Die Steigerung der Aufwandmenge führte zu einer geringeren Änderung der Fließfähigkeit im Vergleich zur Kontrolle. Bei Kombination der Beizen EfA[®] und Rubin[®]TT mit den Additiven Kantor[®] und Inteco[®] ist somit nur von geringen Änderungen der Fließfähigkeit bei variablen Beizaufwandmengen zu rechnen. Dies konnte ebenfalls für die wasserbasierte Feuchtbeize Zardex[®]G ermittelt werden. Jedoch differenzierten die Varianten mit und ohne Additiv weniger stark voneinander. Im Unterschied zu den Suspensionskonzentraten konnte bei dem Produkt Zardex[®]G auch bei alleiniger Applikation nahezu keine statistische Signifikanz für die Änderung der Aufwandmenge ermittelt werden. Es ist davon auszugehen, dass wasserbasierte Feuchtbeizen einen elastischen Einsatz im Getreide in Bezug auf die Fließfähigkeit bei variierenden Aufwandmengen zulassen. Auch mit dem Produkt Landor[®]CT Formel M fielen die Änderungen der Dosis-Wirkungs-Beziehung zwischen den Varianten mit und ohne Additiv geringer aus. Ein geringerer Effekt steigender Aufwandmenge wurde lediglich in sechs von möglichen 15 Vergleichen detektiert. Es ist davon auszugehen, dass die Ergänzung mit Additiven durch das bereits vorhandene Zusatzprodukt Formel M, eine schwächer ausgeprägte Änderung relativ zur alleinigen Mittelapplikation zur Folge hat als bei vergleichbaren Suspensionskonzentraten, die ohne Präparat-Additiv appliziert werden.

Im Gegensatz zu den Additiven Kantor[®] und Inteco[®] führte das Zusatzpräparat MaximalFlow[®] zu höheren Energiefreisetzungen je Lawine als bei alleiniger Mittelzugabe. Daraus kann geschlossen werden, dass der Einsatz von Additiven allgemein zu einer Veränderung der Grenzschicht zwischen den Kornoberflächen führt und Reibungsverhalten dabei maßgeblich beeinflusst. Im Gegensatz zu dem Additiv MaximalFlow[®] beinhalten die Produkte Kantor[®] und Inteco[®] Pflanzenöle (Sojaöl) mit deren Einsatz die entstandenen Lawinen kleiner waren und das Schüttgut gleichmäßiger fließen konnte. Schulze (2014) erklärt die Wirkung von Fließhilfsmitteln mit einer Reduzierung der Haftkräfte zwischen den einzelnen Partikeln eines Schüttgutes. Van de Mark und Sandefur (2005) führen die Wirkung von Pflanzenölen in Oberflächenbeschichtungen auf die, als Koaleszenz definierte Interaktion von Partikeln der

einzelnen Substanzen zurück. Eine Verringerung der Oberfläche, welche kleiner als die Summe der Mischungspartner bei getrennter Betrachtung (Vgl. Emulsion) ist, könnte laut *Iranie et al* (1959) auf die effektive Wirkung durch ein Fließhilfsmittel hinweisen. Dies ist gegeben, wenn die Partikelgröße des Additivs kleiner als die des Applikationsmittels ist. Das genauere Ausfüllen von Zwischenräumen und Unebenheiten auf Oberflächen führt zu weniger Reibung (*Peleg und Hollenbach*, 1984). Diese Beschreibung könnte die geringer gemessenen Energiemengen der Zusätze Kantor® und Inteco® erklären. Der differenzierte Mechanismus gegenüber dem Produkt MaximalFlow® könnte dabei auf die Zusammensetzung der eingesetzten Präparate zurückzuführen sein. Pflanzenöle bestehen aus Glycerin und verschiedenen Fettsäuren, sog. Glyceride. Verschiedene funktionelle Gruppen (Doppelbindungen, Ethylenoxide, Hydroxylgruppen, Ester) sind verantwortlich für die starke Verwendung von Pflanzenöl-basierten Polymeren bei der Entwicklung von Farb- und Coating-Techniken (*Dutton und Scholfield*, 1963; *Baumann*, 1988). Eine Reibung beeinflussende Wirkung kann mit dem Charakteristikum des sog. „Drying“ erklärt werden. Das Abtrocknen der Benetzungsfläche ist ein Pflanzenöl-spezifisches Phänomen, das auf die individuellen Fettsäuremuster und speziell auf den Anteil ungesättigter Fettsäuren zurückzuführen ist (*Lu und Larock*, 2009; *Meir et al.*, 2007). Chemisch kommt es dabei zu einer durch Luftkontakt ermöglichten Autoxidation, die eine Polymerisation benachbarter Fettsäuren und einer damit einhergehenden hautartigen Filmbildung um die zu benetzende Fläche ermöglicht (*Tumosa und Mecklenburg*, 2013). Die gleichmäßiger ausgefüllte Oberfläche ist somit in Kombination mit einem effektiven Abtrocknen verantwortlich für die Verbesserung der Fließeigenschaften. Alternative Öle, die nicht pflanzlichen Ursprungs sind, differieren in ihren Eigenschaften trocknend auf die Oberflächenbeschichtung einzuwirken. Der Effekt einer verbesserten Fließeigenschaft konnte mit dem Zusatzprodukt MaximalFlow® nicht detektiert werden. Es handelt sich um ein „Non-Drying“ Additiv, welches durch alternative chemische Reaktionen eine Film Bildung um das Saatkorn ermöglicht (*Meir et al*, 2007). Das Co-polymer, das aus Polysiloxanen (Silikon) besteht, ist ausschließlich durch gesättigte Fettsäuren gekennzeichnet. Der Einfluss auf die Trocknung der Oberfläche verläuft dabei deutliche langsamer, was darüber hinaus einen Initiator einer Film-Degradierung darstellen kann (*Lu und Larock*, 2009). Mit dem unvollständigen Abtrocknen der Oberfläche bleibt ein kohäsives Potential zwischen den einzelnen Körnern, aufgrund ihrer Grenzreibung bestehen. *Schulze* (2014) nennt dazu eine zusätzliche Oberflächenspannung, die durch vorhandene Flüssigkeit entsteht und eine zusätzliche Haftkraft (Flüssigkeitsbrücken) zwischen einzelnen Partikeln bewirkt. Dies konnte anhand der detektierten Ergebnisse, als Referenz zur solo applizierten Variante, sowie als Vergleich zu den übrigen Zusatzstoffen bestätigt werden. In Kombination mit den Suspensionskonzentraten EfA® und Rubin®TT nahm die Fließfähigkeit bei steigender Aufwandmenge ab. Es ist davon auszugehen, dass die Kombination aus Beize und Additiv

eine negativ wirkende Lösung in Bezug auf die Fließeigenschaften von Schüttgütern bilden. Eine allgemeine Beziehung zwischen Haftkraft und Flüssigkeitsmenge konnte für Flüssigkeitsbrücken bereits nachgewiesen werden (*Schulze*, 2014). Eine besondere Beziehung zwischen Beize und Additiv konnte mit dem Produkt Landor[®]CT Formel M und dem Zusatzmittel MaximalFlow[®] detektiert werden. Während in Kombination mit den weiteren Suspensionsbeizmitteln eine negative Dosis-Wirkung-Beziehung ermittelt werden konnte, nahm die gemessene Energie mit zunehmender Aufwandmenge der Beize ab. Denkbar ist ein Kompensationsvermögen durch das bereits vorhandene Additiv Formel M. Die Autoren *Iranie et al.* (1959) und *Hollenbach et al.* (1982) führen in ihren Arbeiten anhand von Zucker auf, dass ab einer bestimmten Konzentration des Konditionierers die Kapazität des Hauptapplikationsmittels nicht ausreicht, um eine Inklusion der Partikel zu ermöglichen. Es kann zur Segregation zwischen Additiv und Hauptapplikationsmittel kommen. Dies erklärt, weshalb die entstehende Energie in jeder Kultur mit der Kombination aus Landor[®]CT Formel M und MaximalFlow[®] mit steigender Aufwandmenge kleiner wird. Die relative Erhöhung des Beizanteils an der Gesamtlösung ermöglicht eine größere Einlagerung der konstant beigefügten Menge des Additivs. Somit erfolgt eine bessere Bindung zwischen den Einzelkomponenten und das kohäsive Potential des Silikonöls wird verringert.

Korrelation von Staubabrieb und Energieaufwand

Für die Applikation von flüssigen Beizmitteln auf Getreidekörner sind grundlegend unterschiedliche Bindungen zwischen den verschiedenen Komponenten notwendig. Zum einen wird eine Bindung zwischen Beize und Additiv gebildet, die möglichst stabil und homogen sein soll. Ebenso soll die entstandene Lösung eine feste Bindung an den Zielort Einzelkorn ermöglichen. Die Bewertung des adhäsiven Potentials ist komplementär zur Kohäsivität zu sehen. Eine Bindung, bzw. Haftung zwischen den Körnern soll nicht bestehen, um einen gleichmäßigen Fluss zu ermöglichen. In wie weit über die eingesetzten Beizrezepturen eine einheitliche Wirkung zu erzielen war, die letztlich auf die Dosis-Wirkung-Beziehung zurückzuführen ist, wurde anhand einer Korrelationsanalyse ermittelt.

Reibung und Verschleiß sind das Resultat eines sog. Tribo-Systems, in dem der Kontaktzustand von Körpern zueinander beschrieben wird (*Blau*, 1997). In materialwissenschaftlicher Literatur wird dem adhäsiven Anhaften von Beschichtungen auf unebene Oberflächen ein einheitlicher Effekt auf Reibung und Verschleiß zugesagt (*Kato*, 2000). Diese Aussage ist komplementär zu den im vorliegenden Versuch detektierten Ergebnissen. Anhand von 80 Korrelationsanalysen konnten individuelle lineare Beziehungen zwischen den Messgrößen Staubabrieb und Fließfähigkeit berechnet werden (Tab 35, Seite 80). Die Art der Korrelation (positiv, negativ), sowie die statistische Aussagekraft differierte dabei für alle Beize-Additiv Kombinationen über die Kulturen und innerhalb einer Kultur über

alle Beize-Additiv Kombinationen. Dies ist ein Hinweis darauf, dass die Interaktion aus der Oberflächenbeschaffenheit, den physikochemischen Eigenschaften der Beize und den physikochemischen Eigenschaften des Additivs höchst individuelle Wirkungen auf die unterschiedlichen Messgrößen haben. Bisherige Forschungen bewerteten den Einfluss von Polymeren auf den Abrieb und Verschleiß als Referenz zu unbehandelten Oberflächen. Im vorliegenden Versuch lag der Fokus dagegen auf der Referenz zwischen den eingesetzten Polymeren. Vergleichbare individuelle Beziehungen konnten *Jia et al. (2007)* anhand unterschiedlicher Polymere mit einem Tribometertest (Pin-on-Disk) ermitteln. Mit einem Ölzusatz wurden einheitlich niedrigere Reibungskoeffizienten für das jeweilige Polymer gemessen, der Abrieb variierte dagegen gegenüber dem alleinig getesteten Polymer.

Zusätzlich bewerten die verwendeten Test-Systeme unterschiedliche Interaktionen. Während der Abriebtest die Polymer-Substrat Interaktion (Beize-Additiv mit Kornoberfläche) in Folge der Polymer-Polymer Interaktion (Beize-Additiv mit Beize-Additiv) bewertet, wird bei der Untersuchung der Fließfähigkeit ausschließlich die Polymer-Polymer Interaktion dokumentiert. Während eine Änderung der Anhaftung durch den einheitlich amphiphilen Charakter der Zusatzstoffe erklären lässt (*Whiddon, 2010, De et al., 2014*), ist die Wirkung auf das Fließverhalten durch unterschiedliche Bestandteile deutlich differenzierter zu betrachten. Besonders das Vorhandensein ungesättigter Fettsäuren ermöglicht eine intensivere Bindung von Wasserteilchen und führt zu einem schnelleren Abtrocknen des Gutes, so dass Kohäsive Kräfte zwischen den Polymerschichten nicht mehr gegeben sind (*Lu und Larock, 2009*). Eine allgemein gültige Beziehung zwischen den Messgrößen ist somit nicht möglich. Vielmehr muss die Dosis-Wirkung-Beziehung anhand der vorliegenden Beize-Additiv Kombination und der zu behandelnden Kultur als individuelles Resultat der Interaktion aus Polymer-Polymer und Polymer-Substrat angesehen werden.

Messung des Bedeckungsgrades auf der Kornoberfläche

Die Applikation von flüssigen Substanzen auf Getreidesaatgut in einem einzigen Prozess resultiert in keiner vollständigen Ummantelung der Einzelkörner, wie es in vergleichbaren Behandlungsmethoden durch „Film coating“ oder Pillieren erzeugt wird (*Robinson und Mayberry, 1976*). Somit stellt die Analyse des Bedeckungsgrades eines Einzelkorns ein Getreide spezifisches Kriterium für die Bewertung unterschiedlicher Zusammensetzungen von Beizlösungen dar.

Es wurde eine Methode entwickelt, die auf die Detektion des Farbtons der applizierten Beize validiert. Die sog. *OKS-SeedCheck* Analysemethode war geeignet, unabhängig von der zu untersuchenden Kultur, direkt auf den Zielfarnton gelehrt zu werden. Anhand der Erkennung einzelner Farben auf einem schwarzen Hintergrund, konnten die Einzelkörner in ihrer Größe deklariert werden. Prozentual wurde die gefärbte Fläche erfasst. Es ist zu beachten, dass es

sich dabei um keine vollständige Bewertung der Beizmittelverteilung handelt, da für die Analyse lediglich die glatte Seite der Körner (ohne Furche) abgelichtet wurde. Denkbar ist eine erhöhte Schwankung zwischen zu detektierenden Bedeckungsgraden, da durch die starke individuell ausgeprägte Unebenheit der Kornfurche eine tendenziell größere Fehlerquelle gegeben ist. Die aktuelle Analyse bezieht sich somit allein auf die Charakteristiken der kulturspezifischen Kornoberflächenbeschaffenheit. Damit wurde erstmals eine Methode geschaffen, die es erlaubt die farbliche Bedeckung auf Einzelkornebene zu analysieren.

Referenz der Beize Additiv Kombinationen

Die Erfassung des Bedeckungsgrades der Einzelkornoberfläche wurde anhand verschiedener Kombinationen aus Beizen und Additiven in allen behandelten Kulturen optisch erfasst. Einheitlich konnte festgestellt werden, dass der Bedeckungsgrad auf dem Einzelkorn mit zunehmender Aufwandmenge anstieg (Abb. 31, Seite 85; Abb. 32, Seite 87; Abb. 33, Seite 90; Abb. 34, Seite 92; Abb. 35, Seite 94). Ein vergleichbarer Zusammenhang von Blattbenetzung und Aufwandmenge ist bereits anhand von Feldapplikationen, in Untersuchungen von *Pergher* und *Gubiani* (1995) detektiert worden.

Eine Auswertung, in wie weit die zunehmende Aufwandmenge eine statistisch erfassbare Änderung der Messgröße hervorruft wurde nicht durchgeführt. Es ist jedoch anzunehmen, dass der Effekt eines steigenden Bedeckungsgrades monokausal durch die applizierte Menge erklärt werden kann. Einheitlich konnte auch anhand der Boxplots eine zunehmende Bedeckung der Oberfläche bei steigender Aufwandmenge detektiert werden. Da der mögliche Wertebereich der zu erfassenden Größe durch eine obere (100%) und untere (0%) Grenze beschränkt ist, handelt es sich um keine Normalverteilung der Daten, sondern um eine approximative Normalverteilung. Mit Annäherung an die obere Grenze ist den Messwerten eine Sättigung gesetzt. Es ist davon auszugehen, dass die Funktion über die applizierten Mengen nicht linear, sondern unterproportional verlaufen würde, so dass keine einheitliche Bewertung für die Einflussgröße Aufwandmenge abzuleiten ist. Vielmehr handelt es sich um individuelle Grenzsteigungen, die iterativ für jedes Delta der Aufwandmengen einzelne Werte annehmen würde. Weiter ist auffällig, dass die Heterogenität zwischen den Körnern (Streuung der Einzelmesspunkte) in nahezu allen Kulturen mit zunehmender Aufwandmenge abnahm. Dies könnte darauf hindeuten, dass die Korn-zu Korn Homogenität und die Aufwandmenge positiv korrelieren. Neben der absoluten Zunahme des Oberflächen-Bedeckungsgrades ist somit von einem sekundären Effekt auszugehen. Durch die Applikation auf beschleunigte Zielflächen (Rotor-Stator-Beizung) handelt es sich um ein saatzspezifisches Phänomen, dass bei alternativen Pflanzenschutzbringungen keine Relevanz hat. In der Kultur Roggen lagen die Bedeckungsgrade für jede Aufwandmenge deutlich niedriger als in allen übrigen Kulturen bei derselben applizierten Beize. Es handelt sich um einen kulturspezifischen Effekt, der möglicherweise auf die Heterogenität der Korngrößenprägung zurückzuführen ist (vgl.

Möller und Wintons, 1905). Zudem könnte die geringe Tausendkornmasse (TKM) des Roggens (32,7g) einen Einfluss auf die absolute Oberflächenbenetzung haben. Bei einer definierten Beizmasse liegt somit eine relativ hohe Anzahl an Körnern vor. Die zu benetzende Oberfläche ist damit als verhältnismäßig groß anzusehen, so dass bei einer definierten Applikationsmenge weniger Oberfläche je Korn eingefärbt werden kann.

Differenzen zwischen den Beizen konnten im Versuch detektiert werden. In allen Kulturen lagen die Werte der prozentualen Oberflächenbedeckung für die Beize Zardex®G niedriger als die der Suspensionskonzentrate. Eine mögliche Erklärung könnte durch die Formulierung gegeben sein. Die wasserbasierte Feuchtbeize könnte aufgrund des hydrophileren Charakters gegenüber den übrigen SC-Beizen eine höhere Oberflächenspannung aufweisen und somit bei einer definierten Applikationsmenge zu einem geringeren Bedeckungsgrad führen.

Eine verbesserte Oberflächenbenetzung konnte selektiv für einzelne Aufwandmengen mit dem Einsatz aller Additive in allen Kulturen detektiert werden. Die größten Differenzen zur alleinigen Mittelzugabe wurden dabei überwiegend bei den geringsten Applikationsmengen detektiert, weniger ausgeprägt waren diese bei hohen Aufwandmenge. Dies deutet darauf hin, dass die Wirkung in Bezug auf die prozentuale Oberflächenbedeckung umso größer ist, je limitierender die Menge der Applikationssubstanz ist. Dies konnte auch anhand der solo applizierten Präparate EfA® und Rubin®TT gegenüber Landor®CT Formel M detektiert werden. Der Bedeckungsgrad war mit der Beize Landor®CT Formel M bei gegebener Aufwandmenge höher. Bei den Zusatzpräparaten trugen alle Substanzen zu einer verbesserten Oberflächenbedeckung bei. Sowohl Silikon basierte Zusatzstoffe (*Green*, 2001) als auch Pflanzenöle (*Miller und Westra*, 1996) sind in der Lage die Oberflächenspannung applizierter Flüssigkeiten zu senken. Für Pflanzenschutzmittel wurde dieser Effekt bereits anhand von Feldapplikationen detektiert. Durch den Einsatz von Additiven wurden die physikochemischen Eigenschaften von Spritzbrühen hinsichtlich ihrer Viskosität verändert (*Green*, 2001). *Hazen* (2000) führte darüber hinaus auf, dass durch die Änderung der Viskosität ein geringerer Kontaktwinkel zwischen applizierten Tropfen und Zielfläche generiert wird, so dass bei gleicher Applikationsmenge eine größere Fläche benetzt werden kann, die dann jedoch dünner ausgeprägt ist. Ebenfalls belegen Studien von *Friloux und Berger* (1996), dass bei einer hohen Applikationsgeschwindigkeit eine Minderung der Oberflächenspannung zu einem geringeren Abprallen von Tropfen führt. Diese Relevanz kann teilweise für die Applikation von Beizmitteln auf das Saatgut übertragen werden. Die Applikation erfolgt mit hohen Geschwindigkeiten, bedingt durch die Beschleunigung von Getreide und Lösungsverteilung, jedoch ist durch das geschlossene System je nach Auslastung nur wenig Raum für Verluste gegeben. Anders als bei der Saatgutapplikation kann die Applikation von Spritzbrühen, die mit Additiven versehen wurde, durch technische Modifikationen unterstützt werden. Besonders der Düsentyp und der

Düsendruck können eine Wirkung bezüglich der Tröpfchengröße aufweisen (*Spanoghe et al., 2007*). Bei der Behandlung von Saatgut variieren die technischen Gegebenheiten dagegen nicht. Dies belegt, dass die detektierten Erhöhungen der oberflächlichen Bedeckung hauptsächlich auf die Zusammensetzung der Beizlösung zurückzuführen sind.

Dadurch, dass adhäsive Additive zu einer höheren Oberflächenbedeckung bei einer definierten Applikationsmenge beitragen, sind mögliche Rückschlüsse auf das Abriebverhalten denkbar. Bei Berührung zweier oder mehrerer Körner in demselben Flächenumfang, läge das Potential zum Abrieb durch die geringere Wirkstoffkonzentration je gefärbter Fläche für die Variante mit einem Additivzusatz geringer als ohne. Ein geringerer Wirkstoffverlust, in Form von Staubabrieb, kann einen direkten Einfluss auf die Aufnahme von Wirkstoffen in die Pflanze aufweisen. Ein Einfluss der technisch optimierten Beizmittelverteilung auf das technische Abriebverhalten und die biologische Aufnahme von Wirkstoffen ist anhand der ermittelten Ergebnisse als gering zu betiteln. Eine signifikante Erhöhung der Wirkstoffaufnahme konnte lediglich selektiv bei hohen Aufwandmengen detektiert werden, die größten Effekte auf die oberflächliche Benetzung dagegen bei höchster Limitierung der Aufwandmenge. Ein direkter Einfluss der homogeneren Beizmittelverteilung auf die Aufnahme, welcher bei Feldapplikationen dokumentiert wurde (*Baker et al., 1992*), ist bei der Saatgutbehandlung durch die räumliche Diskrepanz von Applikation und Aufnahme nicht gegeben. Angebrachte Wirkstoffe müssen vor der Aufnahme zur Wurzel verlagert werden, so dass dabei eher der Beizgrad von Bedeutung ist. Eine gleichmäßigere Beizmittelverteilung könnte jedoch einen Effekt auf das Reibungsverhalten zwischen den einzelnen Körnern aufweisen. Dies deckt sich mit den Aussagen von *Iranie et al. (1959)*, der eine verringerte Reibung von Oberflächen auf das Ausfüllen von Unebenheiten durch kleine Partikel der Additive zurückführt. Jedoch ist der Bedeckungsgrad nicht als alleiniges Kriterium für die Erklärung von Unterschieden bezüglich der Reibung zu nennen. Vielmehr ist dies als Diskrepanz bei einer einheitlichen Applikationsmenge zu einer Variante ohne Additiv zu sehen. Die Änderung der physikochemischen Eigenschaften ist dabei entscheidend für mögliche Haft- und Verteilungswirkungen zwischen applizierter Lösung und Zielfläche (*Green, 2001*). Darauf weisen auch die Ergebnisse von *Schnier et al. (2003)* hin, dessen additiv-bedingte Staubreduktion in der Kultur Mais detektiert wurde. Da in Folge des Filmcoatings auch ohne Additiv bereits eine vollständige Ummantelung des Saatkorns gegeben war, ist davon auszugehen, dass es sich bei der Beeinflussung der Beizmittelverteilung um ein Getreidesaatgut spezifisches Phänomen handelt, das nur auf Grundlage der Applikationstechnik eine sekundäre Ursache für eine verbesserte Anhaftung und selektiv für bestimmte Zusatzstoffe eine verbesserte Fließfähigkeit darstellt.

6. Zusammenfassung

Die Verwendung von Saatgut in Kombination mit einer chemischen Behandlung stellt die Grundlage konventionellen Pflanzenbaus dar. Unter Verwendung verschiedener flüssiger Saatgutbehandlungsmittel über verschiedene Aufwandmengen (100 ml/dt, 125 ml/dt, 150 ml/dt, 175 ml/dt, 200 ml/dt, 250 ml/dt, 300 ml/dt) wurde in vorliegender Arbeit untersucht, in wie weit der Zusatz von adhäsiven Additiven einen Einfluss auf die Haftfestigkeit der Beize am Korn, die Fließfähigkeit des behandelten Saatgutes, sowie den Bedeckungsgrad der Einzelkornoberfläche aufweist. Ebenso wurde untersucht, ob sich aus einer möglichen Änderung des Verlustpotentials in Form von Abrieb eine differenzierte Wirkstoffaufnahme in der Pflanze wiederfindet. Als Ergebnisse der durchgeführten Versuche können Aussagen zur strategischen Nutzung von Additiven in der Saatgutbehandlung von Getreide abgeleitet werden.

Anhand der Testung verschiedener unbehandelter Kulturen und Sorten mit dem *Heubach*-Test, konnte Getreidesaatgut ohne einer vorausgegangenen Behandlung als emittierende Staubquelle identifiziert werden. Es ist davon auszugehen, dass oberflächliche Verschmutzungen auch nach der chemischen Beizapplikation zur Freisetzung von Staubpartikeln beitragen.

Nach der Behandlung mit fungiziden Pflanzenschutzmitteln kommt es immer zu einer Entwicklung von Beizstaub. Diese identifizierte Schwachstelle weist je nach Oberflächenstruktur und physikochemischen Eigenschaften des applizierten Produktes unterschiedliche Dosis-Wirkung-Beziehungen auf. Mit der zusätzlichen Identifizierung des Zusammenhangs von Staub- und Wirkstoffmenge, ist durch die Exposition von Feinstaub eine Gefährdung von Anwender und Umwelt gegeben.

Adhäsive Additive führen zu einer Senkung der absoluten Exposition von Feinstaub, sowie zu einer schwächeren Dosis-Wirkung-Beziehung. In den Kulturen Weizen, Gerste, Roggen, Hafer und Triticale konnte eine geringere Beizstaubentwicklung gemessen werden als bei alleiniger Mittelzugabe bei einer definierten Aufwandmenge. Der amphiphile Charakter vorhandener Tenside trug einheitlich für alle verwendeten Additive zu einer Intensivierung der Haftkräfte zwischen Beizlösung und Korn bei. Tendenziell eignen sich Pflanzenöle dabei besser als Silikonöle.

Die Differenzen der technischen Anhaftung lassen sich anhand der Wirkstoffaufnahme in wachsende Getreidepflanzen wiederfinden. Eine Aufnahmeerhöhung konnte mit dem Einsatz des Additivs Kantor® und der Beize Rubin®TT sowohl für den systemischen Wirkstoff Triticonazol, als auch für den lokal-systemischen Wirkstoff Prochloraz nachgewiesen werden. Eine erhöhte Relevanz ist bei steigender Aufwandmenge in den Kulturen Weizen und Gerste berechnet worden, was sich mit den Ergebnissen der detektierten Differenz emittierender Staubmengen deckt.

Gegenüber den konventionellen Methoden zur Messung der Fließfähigkeit in Getreide (Trichter, Böschungswinkel), konnte eine alternative Möglichkeit zur Deklaration des dynamischen Fließverhaltens identifiziert werden. Anhand der unterschiedlichen Beize-Additiv Kombinationen konnten mit dem *Revolution-Powder Analyser* durch adhäsive Zusätze eine Verbesserung des Fließverhaltens mit den Additiven Kantor® und Inteco® festgestellt werden, eine Verschlechterung dagegen mit dem Additiv MaximalFlow®. Die Pflanzenöl-haltigen Produkte Kantor® und Inteco® führten zu einem schnelleren Abtrocknen, wogegen das polysiloxanhaltige Produkt MaximalFlow® kohäsive Kräfte zwischen den Einzelkörnern ermöglichte. Durch die differenzierte Wirkung von Additiven auf die Messgrößen Haftfestigkeit und Fließverhalten ergaben sich je nach Kultur und verwendetem Saatgutbehandlungsmittel individuelle Beziehungen (Korrelationen). Eine allgemein gültige Beziehung der Messgrößen gibt es nicht.

Erstmals wurde in vorliegender Arbeit eine Methode verwendet, mit der der Bedeckungsgrad der Kornoberfläche durch ein Beizmittel detektiert werden konnte. Mit der Software *OKS-SeedCheck* war es möglich, eine, auf den Farbton des Behandlungsmittels kalibrierte, Methode zu nutzen, mit der die prozentual gefärbte Fläche optisch ermittelt wurde. Der Einsatz der einzelnen Zusatzprodukte führte Abesonders bei hoher Limitierung der Aufwandmenge zu einer signifikanten Erhöhung der oberflächlichen Bedeckung, verglichen mit der alleinigen Mittelapplikation. Dieser, für Getreidesaatgut, spezifische Aspekt lässt (neben der erhöhten Haftfestigkeit) mögliche Rückschlüsse auf die physikalischen Parameter Reibung und Verschleiss erahnen. Diese gilt es in zukünftiger Forschung deutlicher zu identifizieren.

Dem Einsatz adhäsiver Additive kann somit ein einheitlicher Effekt auf die Haftfähigkeit und Verteilung auf der Zielfläche zugesprochen werden, wogegen sich ein positiver Effekt auf die Fließfähigkeit selektiv mit dem Einsatz von Pflanzenöl basierten Zusatzpräparaten generieren lässt.

7. Summary

The use of seed and the chemical treatment of those is the basis of conventional plant cultivation. In the present study a comparison between adjuvant added and single treated cereal seed was conducted for different application levels (100 ml dt⁻¹, 125 ml dt⁻¹, 150 ml dt⁻¹, 175 ml dt⁻¹, 200 ml dt⁻¹, 250 ml dt⁻¹, 300 ml dt⁻¹) using various liquid seed treating agents to evaluate the influence on the technical parameters adhesive strength of the slurry on the grain, the flowability of the treated seed, and the degree of coverage of the single grain surface. It was also investigated whether a differentiated active ingredient uptake into the plant could result from a possible change in the loss potential in the form of abrasion. As a result of the experiments, statements on the strategic use of additives in the seed treatment of cereals can be derived.

By testing various untreated crops and varieties using the *Heubach*-test, cereal seed could be identified as an emitting source of dust without any previous treatment. It is to be assumed that superficial contamination also contributes to the release of dust particles after chemical treatment.

After treatment with fungicidal plant protection products a general release of dust occurs. Depending on the surface structure and the physicochemical properties of the applied product, this identified weak spot indicates different dose-effect relationships. The additional identification of the relationship between the quantity of dust and the active substance leads to the fact, that the exposure of fine dust causes a danger to the user and to the environment. Adhesive adjuvants lead to a reduction in the absolute exposure level of fine dust, as well as to a weaker dose-effect relationships. In the crops of wheat, barley, rye, oats and triticale, a lower dust release could be measured, compared to single product application for a defined application rate. The amphiphilic character of existing surfactants contribute uniformly for all used adjuvants to an intensification of the adhesive forces between the slurry solution and the grain. There is a tendency, that vegetable oils are more suitable for this purpose than silicone oils.

The technical determined reduction of the absolute amount of active ingredient losses led to an increased uptake of those in growing cereal plants wheat and barley. Using the seed dressing Rubin[®]TT a higher amount of the systemic active ingredient triticonazole as well as for the local systemic active substance prochloraz, when adding adjuvant Kantor[®]. An increased relevance has been calculated with increasing application rates in the crops wheat and barley, which is consistent with the results of the detected difference of emitting dust levels. Compared to conventional methods for measuring the flowability in seeds (hopper, slope angle), an alternative possibility for declaring the dynamic flow behavior was identified. Using the *Revolution-Powder Analyser* an improvement of flowability was determined when adding adjuvants Kantor[®] and Inteco[®] to slurry solution (compared to single use), whereas the addition

of the adjuvant MaximumFlow[®] showed a decline of flowability. This could be attributed to the existing fatty acid pattern of the respective adjuvant. The vegetable oil containing products Kantor[®] and Inteco[®] resulted in a faster drying, whereas the polysiloxane containing product MaximalFlow[®] allowed cohesive forces between the individual grains after application. The differentiated effects of adjuvants on measured variables adhesion strength and flowability resulted in individual relationships (correlations) depending on the crop seed and the seed treatment agent used. A generally valid relationship of the measured variables can not be assumed.

For the first time a method was used in the present work, that was able to determine the degree of surface coverage for each kernel after being treated with a seed dressing. The *OKS-SeedCheck* software was calibrated to the colour of the treatment agent and measured the height and width of single kernels to evaluate the percentage of colored surface by optical analysis. The addition of all adjuvants led to a significant increase of superficial coverage, particularly in the case of a high limitation of the application rates, compared to the single. This effect, that is specific for cereal seed, due to application technology, might support the explanation of the impact of adjuvants on friction and wear. This should be more clearly identified in future research.

The use of adhesive adjuvants can be attributed to a uniform effect on the adhesion and distribution on the target surface, whereas a positive effect on the flowability can be generated, due to selective use of vegetable oil based supplementary preparations.

8. Quellenverzeichnis

Agrios G.N., 2005: Plant pathology, 5th edn. Elsevier, New York

Allen-King R.M., Grathwohl P., Ball W.P., 2002: New modeling paradigms for the sorption of hydrophobic organic chemicals to heterogeneous carbonaceous matter in soils, sediments and rocks. *Adv. Water Resour.* 25, 985 – 1016.

Amer A., Horne D., Poppe J., 1993: In-vivo evaluation of adjuvants for more effective control of celery leaf-spot (*Septoria apiicola*) and Powdery Mildew (*Erysiphe graminis*) of wheat with fungicides. *Pesticide Science*: 113-120

Anastassiades M., Lehotay S., Štajnbaher D., Schenck F.J., 2003: Fast and Easy Multiresidue Method Employing Acetonitrile Extraction/Partitioning and “Dispersive Solid-Phase Extraction” for the Determination of Pesticide Residues in Produce. *Journal of AOAC International* 86 (2):. 412 – 431.

Anonymous: Z-Saatgut; Qualitätssicherung. <http://www.z-saatgut.de/qualitaetssicherung> (abgerufen am 24. März 2016)

Anonymous, 1980: The HLB System a time-saving guide to emulsifier selection. ICI Americas Inc. 1980

Anonymous, 2001: Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (Trinkwasserverordnung- TrinkwV 2001). Dritte Verordnung. Stand 26.November 2015

Anonymous, 2006: Beizen – damit junge Pflanzen unbeschadet bleiben. Industrie Agrar Verband

Anonymous, 2007: Physikalische und chemische Eigenschaften von Pflanzenschutzmitteln. Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit. Stand: Juni 2007

Anonymous, 2012: Adjuvants Oils, surfactants and other additives for farm chemicals. Revised. Grains Research & Development Corporation. Published December 2011. ISBN: 978-1-921779-32-9

Anonymous, 2013: Bayer – 90 Jahre Kompetenz in Beizen (Memento vom 4. November 2013 im Internet Archiv)

Anonymous, 2015: Biopesticide reports. <http://report.agropages.com/> (abgerufen am 05.04.2016)

Anonymous, 2016: Definition Abriebfestigkeit. Chemie.de, Lexikon <http://www.chemie.de/lexikon/Abriebfestigkeit.html>. Abgerufen am 14.04.2016

- Aronson M.P., 1988:** The Role of Free Surfactant in Destabilizing Oil-in-Water Emulsions. *Langmuir* 1994, 5: 494-501
- Bachelard E.P., 1967:** Effects of seed treatments with gibberellic acid on subsecent growth of some eucalypt seedlings. *New Phytol.* 1968: 67, 595-604.
- Bailey C.H., 1925:** The chemistry of wheat flour, The Chemical Catalog Company, New York.
- Baker E. A., Hunt G. M., 1981:** Developmental changes in leaf epicuticular waxes in relation to foliar penetration. *The New Phytologist*, 88: 731-747.
- Baker E.A., Hayes A.L., Butler R.C., 1992:** Physicochemical Properties of Agrochemicals: Their Effects on Foliar Penetration. *Pestic. Sci.* 1992, 34: 167 - 182.
- Baker J.E., Woo S.M., Nelson D.R., Fatland C.L., 1984:** Olefins as major components of epicuticular lipids of three *Sitophilus weevils*. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 77: 877 - 884.
- Balan M.G., Abi-Saab O.J.G., da Silva C.G., do Rio A., 2008:** Deposition of the spraying suspension for three spray nozzles under different meteorological conditions. *Semina Ciências Agrárias* 29: 293 – 298.
- Bardin S.D., Huang H.C., 2003:** Efficacy of stickers for seed treatment with organic matter or microbial agents for the control of damping-off of sugar beet. *Plant Pathology Bulletin* 12: 19 – 26.
- Bateman G.L., 1980:** Uptake and Translocation of Fungicides in Wheat after Seed Treatment, as Measured by Disease Response to *Fusarium culmorum*. *Pestic. Sci.* 1980, 11, 651-659.
- Bateman G.L., Gutteridge R.J., Gherbawy Y., Thomsett M.A., Nicholson P., 2007:** Blackwell Publishing Ltd Infection of stem bases and grains of winter wheat by *Fusarium culmorum* and *F. graminearum* and effects of tillage method and maize-stalk residues. *Plant Pathology* (2007) 56: 604 – 615.
- Bauer H., Schönherr J., 1992:** Determination of mobilities of organic compounds in plant cuticles and correlation with molar volumes, *Pestic. Sci.* 35: 1 – 11.
- Baumann H., Buhler M., Fochem H., Hirsinger F., Zobelein H., Falbe J., 1988:** Natural fats and oils – renewable raw materials for the chemical industry. *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.* 27: 41 – 62.
- Beckman C.H., 1987:** The nature of wilt diseases of plants. APS, St Paul, MN

- Bhatty R.S., Rossnagel B.G., 1980:** Lipids and Fatty Acid Composition of Riso 1508 and Normal Barley. *Cereal Chem.* 57 (6): 382 – 386.
- Biocca M., Conte E., Pulcini P., Marinelli E., Pochi D., 2011:** Sowing simulation tests of a pneumatic drill equipped with systems aimed at reducing the emission of abrasion dust from maize dressed seed. *J. Environ Sci Health* 46(6): 438 - 448.
- Biocca M., Pochi D., Fanigliulo R., Gallo P., 2015:** Dust Emissions During the Sowing of Maize Dressed Seeds and Drift Reducing Devices. *The Open Agriculture Journal*, 9: 42 – 47.
- Binks B.P., 2002:** Particles as surfactant similarities and differences. *Current Opinion in Colloid & Interface Sci.* 7: 21 – 41
- Binks B.P., Whitby C.P., 2003:** Silica Particle-Stabilized Emulsions of Silicone Oil and Water: Aspects of Emulsification. *Langmuir*, 20: 1130-1137
- Blau P.J., 1997:** Four great challenges conforming our understanding and modeling of sliding friction, In: D. Dowson (Ed.), *Tribology for Energy Conservation (Leeds-Lyon 24)*, Tribol. Ser: 34 117 – 128.
- Bundesministeriums der Justiz und für Verbraucherschutz, 2012:** Gesetz zum Schutz der Kulturpflanzen (Pflanzenschutzgesetz - PflSchG)
- Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit, 2015:** Kodeliste für Kennzeichnungstexte und sonstige Auflagen zum Pflanzenschutzmittelverzeichnis. Stand: Juli 2015
- Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit, 2015:** Liste der zugelassenen Pflanzenschutzmittel in Deutschland mit Informationen über beendete Zulassungen. Stand: Oktober 2015
- Bretz F., Hothorn T., Westfall P., 2010:** Multiple Comparisons using R. s.l. : Chapman and Hall/CRC , 2010.
- Briggs, D. E., Waring, R. H., Hackett, A. M., 1974:** The metabolism of carboxin in growing barley. *Pestic. Sci.* 5:599-607.
- Brübach, M., 1973:** Der Einfluß der Korngröße, der Granulatfestigkeit und der Reibung auf die Verteilung von Dünge- und Pflanzenschutz-Granulaten. Diss. TU Berlin
- Bruehl G.W., 1987:** Soilborne plant pathogens. Macmillan, NY
- Bundesministeriums der Justiz und für Verbraucherschutz, 2012:** Gesetz zum Schutz der Kulturpflanzen (Pflanzenschutzgesetz - PflSchG)

- Callan N.W., Mathre D.E., Miller J.B., 1990:** Bio-priming seed treatment for biological control of *Pythium ultimum* preemergence damping-off in *sh2* sweet corn. *Plant. Dis.* 74: 368-372
- Campbell K.G., Bergman C.J., Gualberto D.G., Anderson J.A., Giroux M.J., Hareland G., Fulcher R.G., Sorrells M.E., Finney P.L., 1999:** Quantitative trait loci associated with kernel traits in a soft x hard wheat cross. *Crop Sci.* 39: 1184–1195.
- Campbell N.A., Reece J.B., Markl J., 2006:** *Biologie.* 6. Aufl. Imprint der Pearson Education Deutschland GmbH 2006.
- Chan-Yeung M., Enarson D., Grzybowski S., 1985:** Grain dust and respiratory health. *Can Med Assoc. J.* 1985; 133: 969 - 973.
- Chowdhury S.I., Wardlaw I.F., 1978:** The effect of temperature on kernel development in cereals. *Austr. Journal of Agricultural Research* 29(2): 205 – 223.
- CIPAC (Collaborative International Pesticide Analytical Council):** MT 175 Determination of seed-to-seed uniformity of distribution for liquid seed-treatment formulations. In: *Handbook N.*
- CIPAC (Collaborative International Pesticide Analytical Council):** MT 194 - Adhesion to treated seeds. In: *Handbook N.*
- Cochran W.G., 1957:** Analysis of covariance: Its nature and uses. *Biometrics.* Bd. 13, 3: 261-281.
- Cook R.J., 1980:** *Fusarium* root rot of wheat and its control in the pacific northwest. *Plant Disease*, 64 (12): 1061 – 1066
- Cook R.J., Naiki T., 1982:** Virulence of *Gaeumannomyces graminis var. tritici* from fields under short –term and long-term wheat cultivation in the Pacific Northwest, USA. *Plant Pathology* (1982) 31, 201-207
- De A., Bose R., Kumar A., Mozumdar S., 2014:** Targeted Delivery of Pesticides Using Biodegradable Polymeric Nanoparticles. Springer Verlag New Delhi, Heidelberg, New York. 2014
- Degussa AG, 1981:** AEROSIL zur Verbesserung des Fließverhaltens pulverförmiger Substanzen. Schriftenreihe Pigmente Nr. 31. In: Schulze D., 2014: Pulver und Schüttgüter – Fließigenschaften und Handhabung. 3. Auflage. Springer Verlag Berlin Heidelberg

- DeLucca A.J., Godshall M.A., Palmgren M.S., 1984:** Gram negative bacterial endotoxins in grain elevator dusts. *Am Ind Hyg Assoc J* 1984; 45: 336 - 339.
- Dholakia B.B., Ammiraju J.S.S., Singh H., Lagu M.D., Röder M.S., Rao V.S., Dhaliwal H.S., Ranjekar P.K., Gupta V.S., Weber W.E., 2003:** Molecular marker analysis of kernel size and shape in bread wheat. *Plant Breed.* 122: 392–395.
- DIN EN ISO 6186, 1998:** Kunststoffe – Bestimmung der Rieselfähigkeit. In: Schulze D., 2014: Pulver und Schüttgüter – Fließigenschaften und Handhabung. 3. Auflage. Springer Verlag Berlin Heidelberg
- DIN ISO 7708:** Luftbeschaffenheit – Festlegung von Partikelgrößenverteilungen für die gesundheitsbezogene Schwebstoffprobennahme. Berlin: Beuth 1995.
- Dobraszczyk B.J., Whitworth M.B., Vincent J.F.V., Khan A.A., 2000:** Single Kernel Wheat Hardness and Fracture Properties in Relation to Density and the Modelling of Fracture in Wheat Endosperm. *Journal of Cereal Science* 35 (2002): 245 – 263
- Dockery D.W., Pope A.C. III, Xu X., Spengler J.D., Ware J.H., Fay M.E., 1993:** An association between air pollution and mortality in six U.S. cities. *N Engl J Med* 329: 1753 – 1759.
- Donaldson K., Brown D.M., Mitchell C., Dineva M., Beswick P.H., Gilmour P., 1997:** Free radical activity of PM₁₀: ironmediated generation of hydroxyl radicals. *Environ Health Perspect* 105(suppl 5): 1285 – 1289.
- Dutton H.J., Scholfield C.R., 1963:** Recent developments in the glyceride structure of vegetable oils. *Prog. Chem. Fats Lipids* 6: 313 – 339.
- EEC. European workshop on the impact of endocrine disrupters on human health and wildlife. European Economic Community; 1996.**
http://europa.eu.int/comm/environment/endocrine/documents/reports_conclusions_en.htm.
- Evans, L.T., 1993.** *Crop Evolution, Adaptation, and Yield.* Cambridge University Press, Cambridge, UK
- FAO, 2009.** *World Agriculture Towards 2030–2050. Global Perspective Studies Unit*
- Fages J., Mulard D., 1988:** Isolement de bacteries rhizospheriques et effet de leur inoculation en pots chez Zea mays. *Agronomie* 8: 309 - 14.

- Field R., Dastgheib F., 1996:** Enhancing uptake and translocation of systemic active ingredients. In: Pesticide Formulation and adjuvant Technology. CRC Press, Boca Raton, New York: 241-295.
- Fischer G.W., Holton C.S., 1957:** Biology and control of the smut fungi. Ronald Press. New York, 622p
- Fishel F.M., 2008:** Pesticide Characteristics. Agronomy Department, UF/IFAS Extension. <http://edis.ifas.ufl.edu>. Abgerufen am 30.03.2016.
- Fletcher R.A., Hofstra G., Jian-Guo G., 1986:** Comparative Fungitoxic and Plant Growth Regulating Properties of Triazole Derivatives. *Plant Cell Physiol*, 27 (2): 367 - 371.
- Foy C.L., 1987:** Adjuvants: Terminology, classification, and mode of action. In: Chow, P.N.P., Grant, C.A., Hinshalwood, A.M., Simundson, E. (Eds.), *Adjuvants and Agrochemicals*. CRC Press, Boca Raton, FL, pp. 1–15.
- Friloux K.M., Berger P.D., 1996:** The relation of tallowamine ethoxylates to dynamic surface tension and field performance. In H. M. Collins, ed. *Pesticide Formulations and Application Systems*, 15. Aufl. STP 1268. West Conshohocken, PA: ASTM.: 145 – 157.
- Fuller K.N.G., Tabor F.R.S., 1975:** The effect of roughness on the adhesion of elastic solids. *Proc. R. Soc. Lond. A.345*: 327 – 342.
- GFS, 2016:** Qualität mit System sichern. Informationen zum Qualitätssicherungssystem für Z-Saatgut (QSS)
- Goggi A.S., 2011:** Evolution, purpose and advantages of seed treatments. III Seed Congress of the Americas, Santiago, Chile. 2011
- Gooding M.J., Ellis R.H., Shewry P.R., Schofield J.D., 2003:** Effects of restricted water availability and increased temperature on the grain filling, drying and quality of winter wheat. *Journal of Cereal Science* 37: 295 - 309.
- Green J., 2000:** Adjuvant Outlook for Pestizides. *Pesticide Outlook*: 196-199
- Green J.M., 2001:** Herbicide adjuvants. In: UC Davis WRIC Weed Science School, September 26-28, 2001, Woodland, CA.
- Green J.M., Foy C.L., 2004:** Adjuvants – Tools for enhancing herbicide performance. *Weed Biology and Management*, 375-401.
- Greenway W.T., 1969:** A wheat hardness index. *Cereal Science Today* 14 (1969) 4–7

- Griffin W.C., 1949:** Classification of surface active agents by "HLB". *Journal of Cosmetic Sci:* 311-326. 1949
- Grote K., Stahlschmidt B., Talsness C.E., Gericke C., Appel K.E., Chahoud I., 2004:** Effects of organotin compounds on pubertal male rats. *Toxicology* 202(3): 145 – 58.
- Grunwald G., Lyr H., Wollgiehn R., Klepel M., 1990:** Andoprim: a novel fungicide with an unconventional mode of action and special selectivity for Phytophthora species. *Pestic. Sci.* 30: 323-325. In: Lyr H., 1995: *Modern selective fungicides*. 2nd edition. Gustav Fischer Verlag Stuttgart
- Guarino M., Jacobson L.D., Janni K.A., 2007:** Dust Reduction from oil based Feed Adjuvants. *Applied Engineering in Agriculture*. 23(3): 329-332.
- Hallmann j., Quadt-Hallmann A., von Tiedemann A., 2009:** *Phytomedizin, Grundwissen Bachelor*. 2. Auflage Eugen Ulmer Verlag.
- Halmer P., 1988:** Technical and commercial aspects of seed pelleting and film-coating. In *Application to Seeds and Soil*, ed. T. 1. Martin: 191-204.
- Hayes T., Haston K., Tsui M., Hoang A., Haeffele C., Vonk A., 2002:** Herbicides: feminization of male frogs in the wild. *Nature*. 419(6910): 895 – 896
- Heber A. J., Stroik M, Nelssen J.L., Nichols D.A., 1988:** Influence of environmental factors on concentrations and inorganic content of dust in swine finishing buildings. *Trans. ASAE* 31(3): 875 – 881.
- Heber A.J., 2002:** Effects of high-oil corn and soybean oil adjuvants on dustiness of ground corn and feed. *Applied Engineering in Agriculture*. 45(5): 1593–1598.
- Heimbach U.; 2011:** Heubach Method to Determine the Particulate Matter of Maize Seeds Treated with Insecticides. <http://www.jki.bund.de/heubachen.html>. [Online] Julius Kühn-Institute, 18. Dec 2011.
- Heimbach U., Stähler M., 2011:** unpublished Material. In: Forster R., Giffard H., Heimbach U., Laporte J.M., Lückmann J., Nikolakis A., Pistorius J., Vergnet C., 2011: ICPBR-Working Group Risks posed by dusts: overview of the area and recommendations. In: 11th International Symposium of the ICP-BR Bee Protection Group, Wageningen (The Netherlands), November 2-4, 2011.
- Heinrich J., Grote V., Peters A., Wichmann E.H., 2002:** Gesundheitliche Wirkungen von Feinstaub: Epidemiologie der Langzeiteffekte. *Umweltmedizin in Forschung und Praxis* 7(2): 91 – 99.

- Heydecker W., Coolbear P., 1977:** Seed treatments for improved performance-survey and attempted prognosis. *Seed Sci. Technol.* 5;353-425.
- Hock B., Niessner R., 1995:** *Immunochemical Detection of Pesticides and their Metabolites in the Water Cycle* – VCH Verlagsgesellschaft mbH, Weinheim
- Hochberg E.G., 1996:** The market for Agricultural pesticide inert ingredients and adjuvants. In: Pritchard D.W., Foy C.L., *Pesticide Formulation and Adjuvant Technology*. CRC Press, Boca Raton, NY, pp. 203-209.
- Hollenbach A.M., Peleg M., Rufner R., 1982:** Effect of four anticaking agents on the bulk characteristics of ground sugar. *Journal of Food Science*, 47: 538 – 544.
- Hollenbach A.M., Peleg M., Rufner R., 1983:** Interparticle surface affinity and the bulk properties of conditioned powders. *Powder Technology*, 35: 51 – 62.
- Holmberg K., Matthews A., 2009:** *Coatings Tribology, Properties, Mechanisms, Techniques and Applications in Surface Engineering*. 2. Auflage. Elsevier Science 2009.
- Humpisch G., 2008:** Belüften und Trocknen von Saatgut. In: Kruse M., 2008: *Handbuch Saatgutaufbereitung*. Agrimedia GmbH, 2008
- Irani R.R., Callis C.F., Liu T., 1959:** Flow conditioning and anticaking agents. *Industrial and Engineering Chemistry*, 51(10): 1285 – 1288.
- Jackson L.L., Fear D.S., 1968:** Lipids of rust fungi. II. Stigmast-7-enol and stigmasta-7,24(28)-dienol in flax rust uredospores. *Phytochemistry* 7: 651. In: Lyr H., 1995: *Modern selective fungicides*. 2nd edition. Gustav Fischer Verlag Stuttgart
- Jeffer K.A., Tuppen R.J., 1986:** Application of pesticides to seeds. Requirements for efficient treatment of seeds. In: *Seed Treatment*, ed. K. A. Jeffer, 3: 17-45 . Thornton Heath/Surrey, England: Brit. Crop Prot. Council.
- Jespers A.B.K., 1994:** Mode of action of the phenylpyrrole fungicide fenpiclonil in *Fusarium sulphureum*. Thesis Wageningen Agricult. Univ. N.L. 1994. In: Lyr H., 1995: *Modern selective fungicides*. 2nd edition. Gustav Fischer Verlag Stuttgart
- Kamath S., Puri V.M., Manbeck H.B., 1994:** Letter: flow property measurement using the Jenike cell for wheat flour at various moisture contents and consolidation times. *Powder Technology*, 81(3): 293 – 297.
- Kataria H.R., Yadav J.P.S., Grover R.K., 1961:** Interactions of chemical fertilizers with seed dressing fungicides in controlling *Rhizoctonia solani*. *Journal of plant diseases and Protection* 88: 11, 641-650

- Kato K., 2000:** Wear in relation to friction — a review. *Wear* 241: 151 – 157.
- Kawahar A., Morinaga K., Nakamura M., Shimono S., Fumoto S., Ozawa S., 2003:** Agricultural compositions. US Patent Application 0,013,684.
- Kaye B.H., 1997:** Characterizing the flowability of a powder using the concepts of fractal geometry and chaos theory. *Part Part Syst Charact* 14: 53 – 66.
- Khan A.A., Peck N.H., Samimy C., 1980:.** Seed osmoconditioning: physiological and biochemical changes. *Isr. 1. Bot.* 29: 33 – 44.
- Khruschev M.M., Babichev M.A., 1960:** Research on Wear of Metals, N.E.L. Translation 893, East Kilbride, 1960.
- Köhler M., 2005:** Beitrag zur Bestimmung des COULOMB'schen Haftreibungskoeffizienten zwischen zwei metallischen Festkörpern. 1. Aufl., Culliver Verlag Göttingen 2005.
- Kohn H. und Gonell H.W., 1950:** Schüttungskenngrößen staubförmiger (dispenser) Stoffe und ihre Messung, Teil 1. *Staub*, 22: 293-322
- Kohn H. und Gonell H.W., 1951:** Schüttungskenngrößen staubförmiger (dispenser) Stoffe und ihre Messung, Teil 2. *Staub*, 23: 420 - 456
- Knowles A., 2008:** Recent developments of safer formulations of agrochemicals. *Environmentalist*, 28 (1): 35 - 44.
- Krepiski W.J., 1982:** Translocation of (¹⁴C) – prochloraz applied as a liquid seed dressing, in wheat grown to maturity. FBC Limited. BayerCropScience AG, Monheim, Germany. Unpublished.
- Kruse M., 2008:** Handbuch Saatgutaufbereitung. Agrimedia GmbH, 2008
- Kudsk P., Kopp Mathiassen S., 2007:** Analysis of adjuvant effects and their interactions with variable application parameters. *Crop Protection* 26: 328 - 334
- Kulka M., von Schmeling B., 1966:** Carboxin fungicides and related compounds. In Lyr H., 1995: Modern selective fungicides. 2nd edition. Gustav Fischer Verlag Stuttgart
- Kutz G., 2007:** Formulierungskonzepte für Emulsionen – ausgewählte Beispiele. Emulsionen – Formulierung Herstellung Charakterisierung. Basel 2007.
- Kutzbach H.D. und Scherer R., 1977:** Das Reibverhalten von Körnerfrüchten - Eine Schrifttumsübersicht. *Grundl. Landtechnik*, .27 (6): 213 – 219.

- Lacy J., 1980:** The microflora of grain dusts. In: Dosman J.A., Cotton D.J., eds. Occupational pulmonary disease. Focus on grain dust and health. NewYork: Academic Press, 1980: 417 - 440.
- Langhans A., 1920:** Der Böschungswinkel, eine neue physikalische Konstante. Kolloid-Zeitschrift, 27: 101 - 123
- Lavado R., Thibaut R., Raldúa D., Martín R., Porte C., 2004:** First evidence of endocrine disruption in feral carp from the Ebro River. Toxicol Appl Pharmacol 196(2): 247 – 257.
- Lewis J.A., Papavizas G.C., 1991:** Biocontrol of plant diseases: the approach for tomorrow. Crop Prot 10:95–105
- Li X.Y., Gilmour P.S., Donaldson K., MacNee W., 1997:** In vivo and in vitro proinflammatory effects of particulate air pollution (PM₁₀). Environ Health Perspect 105(suppl 5): 1279 – 1283.
- Lowther C.V., 1950:** Chlamydospore germination in physiologic races of *Tilletia caries* and *Tilletia foetida*. Phytopathology 40:590-603.
- Lu Y., Larock R.C., 2009:** Novel polymeric materials from vegetable oils and vinyl monomers: preparation, properties, and applications. ChemSusChem 2: 136 – 147.
- Lyr H., 1995:** Modern selective fungicides. 2nd edition. Gustav Fischer Verlag Stuttgart
- Machacek J.E., Cherewick W.J., Meed H.W., Broadfoot W.C., 1951:** A study of some seed-borne diseases of cereals in Canada, 11 kinds of fungi and prevalence of disease in cereal seed. SciAgric 1951; 31:193 - 198.
- Mainx H.-G., Wollenbeber H-W., Gruenewald C., 2004:** Method for improving the resistance of plant protection agents to rain. US Patent Application 0,171,492.
- Manthey F.A., Nalewaja J.D., 1992:** Relative wax solubility and phytotoxicity of oil to green foxtail [*Setaria viridis* (L.) Beauv.]. In C. L. Foy, ed. Adjuvants for Agrichemicals. Boca Raton, FL: CRC Press. 463 – 471.
- Marinelli J., Carson J.W., 1992:** Solve solids flow problems in bins, hoppers and feeders. Chemical Engineering Progress, 88(5): 22 – 28.
- Mathre D.E., Johnston R.H., Grey W.E., 2001:** Small Grain Cereal Seed Treatment. The Plant health instructor
- Maude R.B., 1996:** Seedborne diseases and their control: Princeples and practices. CAB International, Wallingford, U.K.: 280p

- McDougall J. 1979:** The metabolism of (3 H) BTS 40542 in wheat plants at a vegetative growth stage. Boots plc. BayerCropScience AG, Monheim, Germany. Unpublished.
- McMullan P.M., 2000:** Utility Adjuvants. *Weed Tehnology* 14 (4): 792 – 797.
- Meir M.A.R., Metzger J.O., Scubert U.S., 2007:** Plant oil renewable resources as green alternatives in polymer science. *Chem. Soc. Rev.* 36: 1788 – 1802.
- Miller P., Westra P., 1996:** Herbicide surfactants and adjuvants, no. 0.559. Colorado State University Cooperative Extension, Production Crop Series.
- Mills J.T., 1972:** Adhesion of seed treatment fungicides to seeds of different crops. *Can. J. Plant Sci.* 52: 449 – 458.
- Mislankar S., Tull P., 2003:** Uptake of ¹⁴C prochloraz Residues in Soil by Rotational Crops Under Confined Conditions. Aventis CropScience UK Ltd. BayerCropScience AG, Monheim, Germany. Unpublished.
- Mitchell P., 1975:** Protonmotive redox mechanism of the cytochrome b-c 1 complex in the respiratory chain: Protonmotive ubiquinone cycle. *FEBS letters* 56: 1. In: Lyr H., 1995: *Modern selective fungicides*. 2nd edition. Gustav Fischer Verlag Stuttgart
- Möller J., Wintons A.L., 1905:** *Mikroskopie der Nahrungs- und Genußmittel aus dem Pflanzenreiche*. 2. Auflage. Springer Verlag Berlin Heidelberg
- Morris C.F., Paulsen G.M., 1985:** Development of hard winter wheat after anthesis as affected by nitrogen nutrition. *Crop Science*, 25: 1010.
- Mührel K., 1983:** *Transport, Umschlag, Lagerung in der Landwirtschaft*. Berlin
- Mulqueen P.J., 1990:** Surfactants for agrochemical formulation. In: Karsa, D.R. (Ed.), *Industrial Applications of Surfactants*, vol. II. The Royal Society of Chemistry: 276 302.
- Nawrot J., Gawlk M., Szanfrank J., Szafrank B., Synak E., Warchalewski J.R., Piasecka-Kwiatkowska D., Blaszcak W., Jelinski T., Fornal J., 2010:** The effect of wheat grain composition, cuticular lipids and kernel surface microstructure on feeding, egg-laying, and the development of the granary weevil, *Sitophilus granaries*. *Journal of Stored Products Research*, 46: 133 – 141.
- Nicolopoulou P., Stamanti P., 2001:** The impact of endocrine disrupters on the female reproductive system. *Hum. Reprod. Update*, 7(3): 323 – 330.
- O`Leary A.L., Jones A.L., 1987:** Factors Influencing the Uptake of Fenarimol und Flusiazol by Applea Leaves. *Disease Control and Pest Man.*, 77 (11): 1564 – 1568.

- Pacek, A. W.; Nienow, A. W.; Moore, 1994:** On the structure of turbulent liquid - liquid dispersed flows in an agitated vessel. *Chem. Eng. Sci.*, 1994, 49: 3485.
- Parida T., Nayak M., Sridhar R., 1990:** Fate of carbendazim in rice tissues after seed or foliage treatments. *Pestic. Sci.*, 30: 303 - 308.
- Peleg M., 1977:** Flowability of food powders and methods for its evaluation – a review. *Journal of Food Process Engineering*, 1: 303 – 328.
- Peleg M., Hollenbach A.M., 1984:** Flow conditioners and anticaking agents. *Food Technology*, 38(3): 93 – 102.
- Penner D., Sprague C.L., Burrow R.F., 2002:** Compositions and methods of protecting cultivated plants from herbicidal injury. US Patent Application 0,010,096.
- Pergher G., Gubiani R., 1995:** The effect of spray application rate and airflow rate on foliar deposition in a hedgerow vineyard. *J. agric. Engng Res.*, 61, 205-216
- Peters A., Doring A., Wichmann H.E., Koenig W., 1997:** Increased plasma viscosity during an air pollution episode: a link to mortality? *Lancet*, 349: 1582 – 1587.
- Phillips M.J., 1993:** The metabolism of [¹⁴C] -prochloraz in oilseed rape. Schering AG. BayerCropScience AG, Monheim, Germany. Unpublished.
- Phillips R.E., Egli D.B., Thompson, J.R., 1972:** Absorption of herbicides by soybean seeds and their influence on emergence and seedling growth, *Weed Sci.*, 20 (1972): 506 - 510.
- Pigors O., 1993:** Werkstoffe in der Tribotechnik. Renningen: Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, 1993
- Pochi D., Biocca M., Fanigliulo R., Gallo P., Pulcini P., Conte E., 2011:** An innovative system to reduce dust drift during sowing of dressed seeds with pneumatic drills. In: Proc XIV Symp Pestic Chem; 2011August 30- September 1; Piacenza, Italy 2011.
- Popov V.L., 2009:** Kontaktmechanik und Reibung: Ein Lehr- und Anwendungsbuch von der Nanotribologie bis zur numerischen Simulation. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg 2009.
- Prasad R., 1993:** Role of adjuvants in modifying the efficacy of a bioherbicide in forest species: compatibility studies under laboratory conditions. *Pesticide Science*, 38 (1993), pp. 273 – 275.
- Quérou R., Euvrad M., Gauvrit C., 1997:** Uptake of Triticonazole, during Imbibition, by Wheat Caryopses after Seed Treatment. *Pestic. Sci.*, 1997, 49: 284 – 290.

- Raaijmakers J.M., Paulitz T.C., Steinberg C., Alabouvette C., Moëgne-Loccoz Y., 2009:** The rhizosphere: a playground and battlefield for soilborne pathogens and beneficial microorganisms. *Plant Soil*, (2009) 321:341–361
- Reeder A., Ruiz M.O., Pessier A., Brown L.E., Levenson J.M., Phillips C.A., 2005:** Intersexuality and the cricket frog decline: Historic and geographic trends. *Environ Health Perspect*, 113(3): 261 – 265.
- Rharrabti Y., Royo C., Villegas D., Aparicio N., del Moral L.F.G., 2003:** Durum wheat quality in Mediterranean environments I. Quality expression under different zones, latitudes and water regimes across Spain. *Field Crops Research* 80: 123 - 131.
- Robinson F.E., Mayberry K.S., 1976:** Seed coating, precision planting and sprinkler irrigation for optimum stand establishment. *Agron. J.*, 68: 694 - 95
- Roos E.E., Moore F.D., 1975:** Effect of seed coating on performance of lettuce seeds in greenhouse soil tests. *J. Am. Soc. Hortie. Sci.*, 100:573-76
- Salamini F., Ozkan H., Brandolini A., Schafer-Pregl R., Martin W., 2002:** Genetics and geography of wild cereal domestication in the Near East. *Nature Reviews Genetics*, 3: 429 - 441.
- Salyani M., Farooq M., Sweeb. R.D., 2007:** Spray deposition and mass balance in citrus orchard applications. *Trans. ASABE* 50:1963 – 1969.
- Schnier H.F., Wenig G., Laubert F., Simon V., Schmuck R., 2003:** Honey bee safety of imidacloprid corn seed treatment. *Bulletin of Insectology*, 56 (1): 73 - 75.
- Schulze D., 2014:** *Pulver und Schüttgüter. Fließeigenschaften und Handhabung. 3. Ergänzte Aufl.*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2006, 2009, 2014.
- Schwanz H., Pippel G., 2008:** Saatgutreinigung. In: Kruse M., 2008: *Handbuch Saatgutaufbereitung*. Agrimedia GmbH, 2008
- Schwedes J., 1970:** *Fließverhalten von Schüttgütern in Bunkern*. Verlag Chemie. Weinheim. In: Schulze D., 2014: *Pulver und Schüttgüter – Fließeigenschaften und Handhabung. 3. Auflage*. Springer Verlag Berlin Heidelberg
- Schwinn F., 1994:** Seed treatment – a panacea for plant protection? *Seed Treatment: Progress and Prospects*. BCPC Publications. Monograph 57, 3. Retrieved: September 9, 2014.

- Segler G. und Scherer R., 1976:** Systematische Untersuchungen über einige physikalische Kenngrößen des Getreidekornes in Abhängigkeit vom Feuchtegrad am Beispiel der Maissorte Inra 258. *Grundl. Landtechnik*, 26 (4): 121-128
- Shen Z.X., Welbaum G.E., 1999:** Comparison of fungicide, SAR inducers, and monopotassium phosphate as control measures for seedling diseases of muskmelon, cucumber, and tomato. In: VI Symposium on Stand Establishment and ISHS Seed Symposium. A Liptay, CS Vavrina and GE Welbaum, eds; May 1999. *Acta Horticulturae*, 504: 113-120.
- Smart N.A., 1968:** Use and residues of mercury compounds in agriculture. *Residue Rev.*, 23: 1–36.
- Smit L.A.M., Wouters I.M., Hobo M.M., Eduard W., Doekers G., Heedrik D., 2005:** Agricultural seed dust as a potential cause of organic dust toxic syndrome. *Occup Environ Med.* 2006, Jan; 63, 1: 59–67.
- Sørensen M., Daneshvar B., Hansen M., Dragsted L.O., Hertel O., Knudsen L., Loft S., 2003:** Personal PM_{2.5} Exposure and Markers of Oxidative Stress in Blood. *Environ Health Perspect* ,111: 161–165.
- Spanoghe P., De Schampheleire M., Van der Meeren P., Steurbaut W., 2007:** Review Influence of agricultural adjuvants on droplet spectra. *Pest Manag Sci.*, 63: 4 – 16.
- Stein-Dönecke U., Führ F., Wienecke J., Hartwig J., Leicht, W., 1992:** Influence of soil moisture on the formation of dressing zones and uptake of imidacloprid after seed treatment of winter wheat. *Pflanzenschutz-Nachr.*, 45: 327-68.
- Steinhilper W., Albers A., 2008:** Konstruktionselemente des Maschinenbaus 2. 6. Aufl. Berlin Heidelberg : Springer, 2008
- Steurbaut W., 1993:** Adjuvants for use with foliar fungicides. *Pesticide Science*, 38: 85–91.
- Stevens P.J.G., Gaskin R.E., Hong S.O., Zabkiewicz J.A., 1991:** Contributions of stomatal infiltration and penetration to enhancements of foliar uptake by surfactants. *Pestic. Sci.*, 33: 371–382.
- Stock D., Holloway P., 1993:** Possible mechanism for surfactant-induced foliar uptake of agrochemicals. *Pesticide Science*, 38: 165–178.
- Tadros T.F., 2005:** Applied surfactants, Principles and Applications. Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA

- Tann R., 2010:** Adjuvant classification – chemistry, functionality, terminology. In: 9th International Symposium on Adjuvants for agrochemicals ED. By Baur P. und Bonnet M. Freising, Germany. ISAA: 27–36.
- Taylor A.G., Harman G.E., 1990:** Concepts and Technologies of selected seed treatments. *Annu. Rev. Phytopathol.*, 28: 321–339.
- Thalberg K., Lindholm D., Axelsson A., 2004:** Comparison of different flowability tests for powders for inhalation. *Powder Technol.*, 146: 206–213.
- Thielert W., Steffens W., Führ F., Kuck R.H., Scheinpflug H., 1986:** Uptake and translocation of (*benzene ring* ¹⁴C) triadimenol from the dressing zone of winter wheat and winter barley caryopsis after seed treatment. *Pflanzenschutz-Nachr.*, 39: 97 - 187.
- Tischner H., Hoffmann G. M., 1987:** Uptake of triadimenol in barley plants after seed treatment with Baytan and effectiveness against powdery mildew (*Erysiphe graminis* f.sp. *hordei*). *Pflanzenschutz-Nachr.*, 40: 217-286.
- Tomlin C., 1994:** The Pesticide Manual, 10th edn. British Crop Protection Council and The Royal Society of Chemistry, Farnham and Cambridge, 1994: 1034 - 1035.
- Tumosa C. S., Mecklenburg M. F., 2013:** Oil Paints: The Chemistry of Drying Oils and the Potential for Solvent Disruption. In: Mecklenburg, Marion F., Charola, A. Elena and Koestler, Robert J., *New Insights into the Cleaning of Paintings: Proceedings from the Cleaning 2010 International Conference*, Universidad Politecnica de Valencia and Museum Conservation Institute. Washington, DC: Smithsonian Institution, (Smithsonian Contributions to Museum Conservation): 51-58.
- Ulrich J.T., Mathre D.E., 1972:** Mode of action of oxathiin systemic fungicides. V. Effect on electron transport system of *Ustilago maydis* and *Saccharomyces cerevisiae*. *J. Bacteriol.*, 110: 628-632
- van De Mark M.R., Sandefur K., 2005:** Vegetable oils in paint and coatings, in: S.Z. Erhan (Ed.), *Industrial Uses of Vegetable Oils*, AOCS Press, Illinois, 2005: 149–168.
- van Ittersum, M.K., Rabbinge, R., 1997.** Concepts in production ecology for analysis and quantification of agricultural input-output combinations. *Field Crops Res.* 52, 197–208.
- van Ittersum M.K., Cassman K.G., Grassini P., Wolf J., Tittonell P., Hochman Z., 2013:** Yield gap analysis with local to global relevance—A review, *Field Crops Res.*, 143: 4-17.
- van-Valkenburg J.W., 1982:** Terminology, classification, and chemistry. In: *Adjuvants for Herbicides*. Weed Science Society of America, Illinois: 1–9.

- Vullriede S., Leuenberger A., Luckhard J., 2015:** QuestPro – measuring seed to seed distribution. European root health forum 2015.
- Whiddon C., 2010:** The black art of surface chemistry. In: 9th International Symposium on Adjuvants for agrochemicals ED. By Baur P. und Bonnet M. Freising, Germany. ISAA: 27-36.
- Willcox G., 2004:** Measuring grain size and identifying Near Eastern cereal domestication: evidence from the Euphrates valley. Journal of Archaeological Science 31: 145-150.
- Wouters I.M.F., Geldart D., 1996:** Characterising semi-cohesive powders using angle of repose. Part Part Syst Charact 13: 254–259
- Zedda A., Ferri G., Sala M., 2004:** Preparation of sterically hindered amine esters. US Patent 6,677,451.

9. Anhang

Angaben zur Probe:

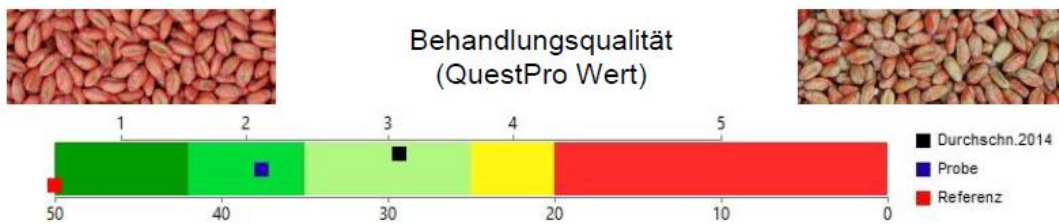
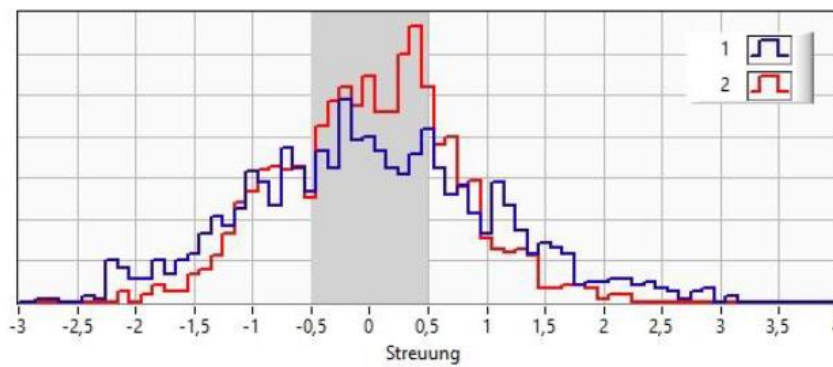
Saatgutpartie:	Beizversuche Julian Rudelt
Getreideart:	Weizen
Beizmittel:	Landor CT
Datum der Beizung:	

Ergebnisübersicht:

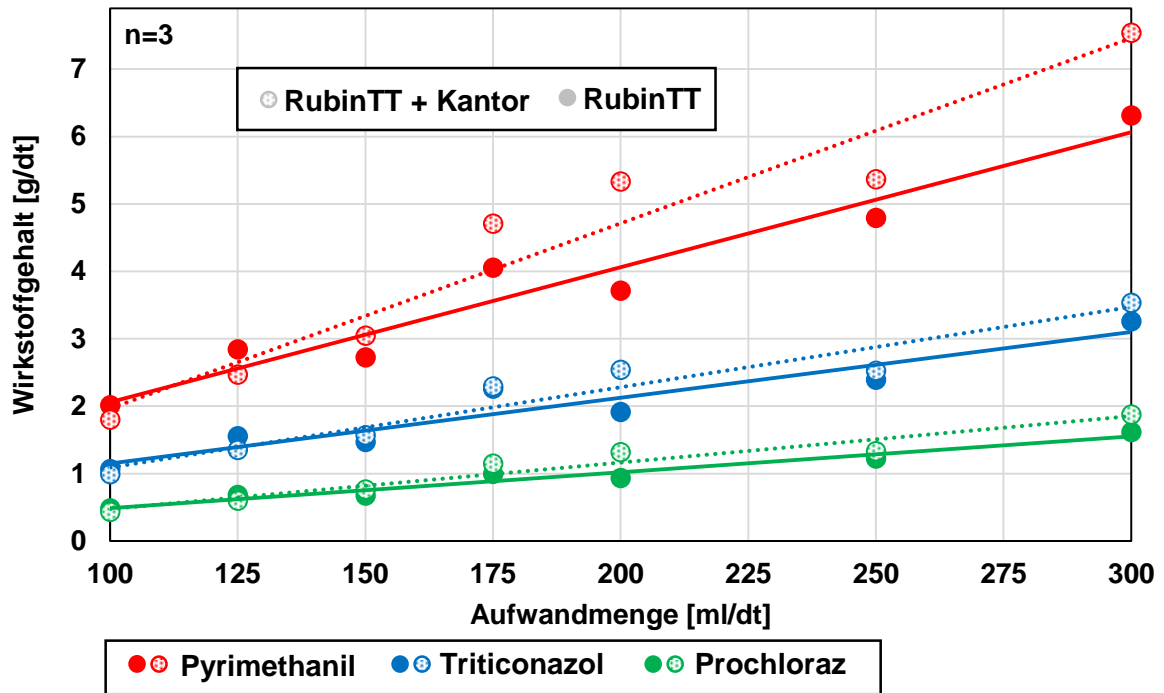
Nr.	Referenz	Bemerkungen	Beizgrad	Bewertung	QuestPro Wert	Note
1	Standardbeizung mit Sorte 2 Probe 5	Sorte 2	91%	Gut	37,61	2
2	Laborreferenz		100%	Gut	50,00	1

Beizgrade: 85 – 115 % Gut gebeizt
 < 85 % unterbeizt
 > 115 % überbeizt

QUEST Pro-Wert: Note 1 = sehr gut
 Note 5 = unzureichend



Anhangsabb. 1: Beizgradanalyse, sowie QuestPro- Einzelkornanalyse einer mit Landor®CT Formel M behandelten Weizenprobe bei einer Applikationsmenge von 200 ml/dt



Anhangsabb. 2: Wirkstoffgehalte [g/dt] an Weizenkörnern in den Varianten Rubin[®]TT und Rubin[®]TT + Kantor[®] zum Zeitpunkt nach dem Heubachttest für die Wirkstoffe Pyrimethanil, Triticonazol und Prochloraz

Danksagung

Ich danke Herrn Prof. Verreet dafür, dass er mir die Möglichkeit gegeben hat, am Institut für Phytopathologie meine Promotion anzufertigen. Für das Vertrauen, sowie den Freiraum bei der Bearbeitung der Thematik möchte ich mich in aller Aufrichtigkeit bedanken.

Herrn Dr. Klink danke ich für die konstruktive Zusammenarbeit, sowie die kritische Begutachtung der erarbeiteten Ziele. Ebenso danke ich Dr. Tim Birr für die freundschaftliche Zusammenarbeit.

Für die finanzielle Unterstützung bedanke ich mich ganz herzlich bei der Petkus Technologie GmbH. Hervorzuheben sind dabei Mark Scholze, Dr. Doreen Thoren, sowie Dr. Heike Knörzer. Ganz besonders bedanke ich mich in diesem Zuge auch bei Dr. Christian Engel, dessen Vorschlag meiner Person initial zum Antritt der Promotionsstelle führte.

Hinsichtlich der methodischen Erarbeitung neuer Analysewege gilt ein großer Dank Herrn Dr. Peter Schirg, Herrn Dr. Hubert Wehage, sowie Herrn Fritz Kunkel. Besonders Herrn Kunkel ist dabei, unter Berücksichtigung der Entwicklung einer neuen Analysesoftware, ein großer Dank verpflichtet. Besonderer Dank gilt ebenfalls Matthias Lipfert, der sich der analytischen Auswertung meiner Proben annahm und jederzeit mit Rat und Tat zur Stelle war.

Meinen Kondoktoranden Georg, Wanja, Christoph, Stöver, Stefan und Tolke gilt ein sehr großer Dank. Ich konnte mich stets auf sie verlassen und die Zusammenarbeit war immer freundschaftlich, nett und konstruktiv.

Meiner Eltern danke ich für die stetige Unterstützung. Besonders danke ich Tanja, dass sie mich so sehr in der Zeit unterstützt hat und ein außergewöhnliches Engagement in den Familienzusammenhalt gebracht hat.

Curriculum vitae

Persönliche Daten

Name	Julian Rudelt
Anschrift	Lütt Steenbusch 2, 24145 Kiel
Geburtsort	Neumünster
Geburtstag	20.04.1988
Familienstand	ledig
Staatsangehörigkeit	deutsch

Berufserfahrung/Praktika Schulausbildung

1998-2007	Max-Planck-Schule, Kiel; Abschluss: Abitur
-----------	--

Zivildienst

07/2007-03/2008	Zivildienst bei der Landeshauptstadt Kiel; Betriebsteil: Grünflächenamt; Abteilung 67.0: Forstamt
-----------------	---

Hochschulausbildung/Promotion

10/2008-06/2014	Christian-Albrechts-Universität zu Kiel Studium der Agrarwissenschaften Schwerpunkt: Nutzpflanzenwissenschaften Thema der Bachelorarbeit: „Düngestrategien in Mais“ Abschluss: Bachelor of Science
	Thema der Masterarbeit: „Epidemie und Schaddynamik von Weizenpathogenen in Schleswig-Holstein (2013) als Einordnung in das 19-jährige IPS-Winterweizenmonitoring“ Abschluss: Master of Science
04/2014-04/2017	Promotion zum Dr. Agr. an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel im Institut für Phytopathologie

Berufserfahrung/Praktika

2009-2013	jährliche dreimonatige Praktika auf landwirtschaftlichen Betrieben
03/2013-03/2014	Wissenschaftliche Hilfskraft im Institut für Grünland und Futterbau
03/2015	Inhaber des Pflanzenschutz-Sachkundenachweises für Anwendung inkl. Beratung und Abgabe
04/2014-04/2017	wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Phytopathologie der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel