

ABDRIFTBEDINGTE PFLANZENSCHUTZMITTELRÜCKSTÄNDE IN
UNBEHANDELTEN KULTUREN AUF ANGRENZENDEN FLÄCHEN

von
Hannah Bolz
aus Neustadt an der Weinstraße

Angenommene Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktors der Naturwissenschaften
Fachbereich 7: Natur- und Umweltwissenschaften
Universität Koblenz-Landau

Berichterstatter:
Prof. Dr. Ralf B. Schäfer, Landau
Prof. Dr. Roland Kubiak, Neustadt/Wstr.

Tag der Disputation: 17.06.2020

Danksagung

Für die Bereitstellung des Themas und die sehr gute Betreuung möchte ich mich beim Bundesinstitut für Risikobewertung, vor allem bei Frau Dr. Britta Michalski und Herrn Christian Sieke, herzlich bedanken.

Vielen Dank an Herrn Prof. Dr. Ralf B. Schäfer, der sich bereit erklärt hat das Erstgutachten zu übernehmen und zu jeder Zeit bei Fragen geholfen hat.

Vielen Dank an Herrn Prof. Dr. Roland Kubiak für die Möglichkeit die Dissertation an der RLP AgroScience GmbH zu bearbeiten und die Übernahme des Zweitgutachtens.

An dieser Stelle möchte ich mich außerdem bei den Mitarbeitern des Instituts für Agrarökologie bedanken, für die große Hilfsbereitschaft und gute Zusammenarbeit in den letzten Jahren. Danke für die Mithilfe bei den Versuchen und das Gießen am Wochenende. Danke an Dr. Matthias Trapp und Dr. Gunnar Fent für die wertvollen Tipps und die konstruktive Kritik. Danke an Christian Staffa für die ständige Diskussionsbereitschaft und von dem ich lernte, dass es keine Probleme sind, sondern Herausforderungen. Danke an Samy, der immer Zeit gefunden hat mir bei technischen Herausforderungen zu helfen und ohne den die Windtunnelversuche nicht so reibungslos funktioniert hätten. Danke an Melanie und Victor, die immer Notfall-Schokolade hatten und mir gute Freunde geworden sind. Danke an Klaus, der immer ein offenes Ohr hatte und mir bei Herausforderungen jeglicher Art geholfen hat. Danke Djamal für deine Unterstützung bei der Statistik. Danke Christoph, für die Teepausen und die Tipps zur Pflanzenaufzucht. Danke Martin S., der sich den Kopf über meine kranken Tomaten zerbrochen hat. Natürlich auch vielen Dank an die gesamte GIS-Gruppe, die mich am IfA aufgenommen hat und von der ich immer gern ein Teil war.

Vergessen möchte ich auch nicht meinen Zimmerkollegen Niklas, dass er mich in *seinem* Büro aufnahm, jeden meiner Vorträge anhörte und mir viele wertvolle Tipps gegeben hat. Danke für die tolle Zeit und die Unterstützung.

Danke an meine wunderbare Familie, ihr habt mich alle auf eure Weise unterstützt! Vor allem will ich meiner Mutter und meiner Schwester Katrin danken, ohne die ich vielleicht nie mein Studium aufgenommen und erfolgreich beendet hätte.

Danke Christian, du hast immer an mich geglaubt, mich in meinem Werdegang unterstützt und mich dazu gebracht aus meiner Komfortzone hinaus zu wachsen. Du hast meinen Blick auf die Welt verändert.

Inhaltsverzeichnis

DANKSAGUNG	I
INHALTSVERZEICHNIS.....	III
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	VI
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	VIII
TABELLENVERZEICHNIS	XII
ZUSAMMENFASSUNG	1
ABSTRACT	2
1 EINLEITUNG	3
1.1 LANDWIRTSCHAFT UND PFLANZENSCHUTZMITTEL IN DEUTSCHLAND.....	3
1.1.1 <i>Abdrift von Pflanzenschutzmitteln auf Nicht-Zielflächen</i>	6
1.1.1.1 Abdrifteckwerte	8
1.1.1.2 Abdrift auf umliegende, aufragende Vegetation	9
1.2 VERWENDETE METHODEN.....	12
1.2.1 <i>Semi-Freilandversuche in einem Windtunnel</i>	12
1.2.1.1 Pyranin als Tracer für Abdriftversuche	13
1.2.1.2 Auswahl der Versuchspflanzen	14
1.2.2 <i>Ermittlung von Nachbarschaftsverhältnissen mit geographischen Informationssystemen</i>	15
2 ZIELSETZUNG	16
3 EXPERIMENTELLER TEIL – SEMI-FREILANDVERSUCHE IM WINDTUNNEL	17
3.1 MATERIAL UND METHODEN.....	17
3.1.1 <i>Eigenschaften von Pyranin</i>	17
3.1.2 <i>Bestimmung des Tropfenspektrums</i>	18
3.1.3 <i>Aufbau des Testsystems</i>	18
3.1.4 <i>Allgemeiner Ablauf der Abdriftversuche</i>	21
3.1.5 <i>Bearbeitung der Proben und Fluoreszenzmessung im Labor</i>	21
3.1.6 <i>Ermittlung der Bodendeposition im Windtunnel</i>	21
3.1.7 <i>Abdriftversuche mit Erdbeeren als Versuchspflanze</i>	22
3.1.8 <i>Abdriftversuche mit Tomaten als Versuchspflanze</i>	22
3.1.9 <i>Abdriftversuche mit Kopfsalat als Versuchspflanze</i>	23
3.1.10 <i>Ermittlung der Kalibriergeraden</i>	24
3.1.11 <i>Validierung der Kalibriergeraden</i>	25
3.1.12 <i>Auswertung der Fluoreszenzwerte</i>	26
3.1.13 <i>Regressionsanalysen</i>	26
3.2 ERGEBNISSE	28
3.2.1 <i>Bestimmung des Tropfenspektrums</i>	28
3.2.2 <i>Blindwert, Nachweis- und Bestimmungsgrenze von Pyranin</i>	29
3.2.3 <i>Auswertung der Rohdaten</i>	29
3.2.4 <i>Bodendeposition im Windtunnel</i>	30
3.2.5 <i>Graphische Beurteilung der Messwerte</i>	31
3.2.6 <i>Regressionsanalysen</i>	35
3.2.6.1 <i>Ergebnisse Testsystem Raumkultur, Versuchspflanze Erdbeere</i>	36
3.2.6.2 <i>Ergebnisse Testsystem Flächenkultur, Versuchspflanze Erdbeere</i>	37
3.2.6.3 <i>Ergebnisse Testsystem Raumkultur, Versuchspflanze Tomate</i>	38
3.2.6.4 <i>Ergebnisse Testsystem Flächenkultur, Versuchspflanze Tomate</i>	39

3.2.6.5	Ergebnisse Testsystem Raumkultur, Salat als Versuchspflanze	40
3.2.6.6	Ergebnisse Testsystem Flächenkultur, Versuchspflanze Salat	41
4	RÄUMLICHE ANALYSEN VON NACHBARSCHAFTSVERHÄLTNISSEN MIT GEOINFORMATIONSSYSTEMEN (GIS)	42
4.1	MATERIAL UND METHODEN.....	42
4.1.1	<i>Datengrundlage</i>	42
4.1.2	<i>Vorbereitung der Daten</i>	42
4.1.3	<i>Ermittlung der realen Gartenflächen in Rheinland-Pfalz</i>	45
4.1.4	<i>Puffer- und Schnittflächenberechnungen</i>	46
4.1.5	<i>Erstellung von Heatmaps</i>	47
4.1.6	<i>Erstellung von Near-Tabellen</i>	47
4.2	ERGEBNISSE	49
4.2.1	<i>Schnittflächenberechnung – Deutschland</i>	49
4.2.2	<i>Heatmaps</i>	50
4.2.3	<i>Near-Berechnungen für ganz Deutschland auf Grundlage der ATKIS-Daten</i>	53
4.2.3.1	<i>Kleingärten in Nachbarschaft zu Raum- und Flächenkulturen</i>	54
4.2.3.2	<i>Garten-Potentialflächen in Nachbarschaft zu Raum- und Flächenkulturen</i>	55
4.2.4	<i>Ermittlung der realen Gartenflächen in Rheinland-Pfalz</i>	56
4.2.5	<i>Schnittflächenberechnung – Rheinland-Pfalz</i>	57
4.2.6	<i>Near-Berechnungen RLP: Garten-Realflächen in Nachbarschaft zu Raum- und Flächenkultur</i>	59
4.2.7	<i>Near-Berechnungen mit den ökologisch und konventionell bewirtschafteten Flächen in RLP</i>	60
5	DISKUSSION	62
5.1	SEMI-FREILANDVERSUCHE IM WINDTUNNEL.....	62
5.1.1	<i>Beurteilung der ermittelten Rückstandshöhen auf den Versuchsobjekten</i>	62
5.1.2	<i>Diskussion der Regressionsanalysen</i>	63
5.1.3	<i>Beurteilung der Testsysteme Raumkultur und Flächenkultur</i>	65
5.1.4	<i>Übertragung der Ergebnisse auf das Freiland</i>	68
5.2	NACHBARSCHAFTSANALYSEN MIT GIS.....	73
5.2.1	<i>Modellierungsvorschriften der ATKIS-Daten und daraus resultierende Limitierungen</i> ..	73
5.2.2	<i>Ermittlung der Gartenflächen</i>	74
5.2.3	<i>Schnittflächen von Gärten mit Puffern um landwirtschaftlich genutzte Flächen</i>	75
5.2.4	<i>Hotspots in Deutschland</i>	76
5.2.4.1	<i>Hotspots der Gartenflächen in Deutschland</i>	76
5.2.4.2	<i>Hotspots landwirtschaftlicher Flächen in Deutschland</i>	77
5.2.4.3	<i>Hotspots von landwirtschaftlichen Flächen und angrenzenden Gärten</i>	78
5.2.4.4	<i>Vergleich der Hotspotanalysen mit der Near-Tabelle</i>	78
5.2.5	<i>Analysen mit den ATKIS- und den ALKIS-Daten im Vergleich (RLP)</i>	79
5.2.5.1	<i>Extrapolation der ALKIS/MAD-Berechnungen für RLP auf Deutschland</i>	80
5.2.6	<i>Nachbarschaftsverhältnisse von ökologisch und konventionell bewirtschafteten Betrieben in RLP</i>	81
5.3	FAZIT	81
5.4	AUSBLICK	82
6	LITERATURVERZEICHNIS	84
ANHANG	91	
I.	STABILITÄT VON PYRANIN IM WINDTUNNEL UND ABWASCHBARKEIT VON VERSCHIEDENEN OBERFLÄCHEN	91

II.	LINEARER ZUSAMMENHANG ZWISCHEN APPLIKATIONSZEIT UND RÜCKSTANDSHÖHE	93
III.	ERMITTLUNG DER KALIBRIERGERADEN	94
IV.	ROHDATEN DER WINDTUNNELVERSUCHE UND AUSWERTUNG DER MESSWERTE	107
V.	ERGEBNISSE DER REGRESSIONSANALYSE MIT R OHNE TRANSFORMATION DER MESSWERTE	124
VI.	ERGEBNISSE DER REGRESSIONSANALYSE MIT R NACH TRANSFORMATION DER X- UND Y- WERTE	130
VII.	NACHBARSCHAFTSANALYSEN MIT GIS.....	140
VIII.	LEBENS LAUF	145
IX.	EIDESSTÄTTLICHE ERKLÄRUNG.....	149

Abkürzungsverzeichnis

ADI	Acceptable Daily Intake (Duldbare tägliche Aufnahmemenge)
AdV	Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland
AEW	Abdrifteckwerte
ALKIS	Amtliches Liegenschaftskatasterinformationssystem
AOEL	Acceptable Operator Exposure Level (duldbare Exposition des Anwenders)
ARfD	Akute Referenzdosis
ATKIS	Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem
BfR	Bundesinstitut für Risikobewertung
BDG	Bundesverband Deutscher Gartenfreunde e.V.
BG	Bestimmungsgrenze
BVL	Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit
BW	Blindwert
Fa	Firma
GIS	Geographische Informationssysteme/geographical information systems
Hg	Herausgeber
IfA	Institut für Agrarökologie
InVeKoS	Integriertes Verwaltungs- und Kontrollsystem
JKI	Julius Kühn-Institut
MAD	Multifunktional anwendbarer Landbedeckungs-Datensatz
NG	Nachweisgrenze
NOAEL	No Observed Adverse Effect Level

NVS	Nationale Verzehrsstudie
o.D.	Ohne Datum
Papa	Panel Pflanzenschutzmittel-Anwendungen
PflSchG	Pflanzenschutzgesetz
PPP	Plant protection product
PSM	Pflanzenschutzmittel
RHG	Rückstandshöchstgehalt
RLP	Rheinland-Pfalz/Rhineland-Palatinate
UBA	Umweltbundesamt
VELS	Verzehrsstudie zur Ermittlung der Lebensmittelaufnahme von Säuglingen und Kleinkindern

Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 1: BLICK IN DEN WINDTUNNEL AUF DIE ZIELFLÄCHE UND DAS WINDREGISTER.	18
ABBILDUNG 2: SCHEMATISCHE DARSTELLUNG DER GRUNDFLÄCHE IM INNEREN DES WINDTUNNELS UND DES VERSUCHSAUFBAUS.	19
ABBILDUNG 3: AUSRICHTUNG DER MESSPUNKTE UND DÜSEN (TESTSYSTEM FLÄCHENKULTUR).	20
ABBILDUNG 4: BODENDEPOSITION IM WINDTUNNEL IN ABHÄNGIGKEIT VOM TESTSYSTEM. GENOMMEN WURDE DER MITTELWERT ALLER VERSUCHE MIT DEM JEWEILIGEN TESTSYSTEM PRO ENTFERNUNG.....	30
ABBILDUNG 5: ERGEBNISSE DES VERSUCHS MIT DEM TESTSYSTEM FLÄCHENKULTUR UND ERDBEEREN ALS VERSUCHSPFLANZE. DIE ERGEBNISSE WURDEN GETRENNT NACH ENTFERNUNG AUFGETRAGEN. AUF DER ABSZISSE SIND DIE RÜCKSTÄNDE IN DER PETRISCHALE [$\mu\text{G}/\text{CM}^2$], AUF DER ORDINATE DIE RÜCKSTÄNDE AUF DEM ESSBAREN TEIL DER VERSUCHSPFLANZEN [$\mu\text{G}/\text{G}$] AUFGETRAGEN.	31
ABBILDUNG 6: ERGEBNISSE DES VERSUCHS MIT DEM TESTSYSTEM FLÄCHENKULTUR UND TOMATEN ALS VERSUCHSPFLANZE. DIE ERGEBNISSE WURDEN GETRENNT NACH ENTFERNUNG AUFGETRAGEN. AUF DER ABSZISSE SIND DIE RÜCKSTÄNDE IN DER PETRISCHALE [$\mu\text{G}/\text{CM}^2$], AUF DER ORDINATE DIE RÜCKSTÄNDE AUF DEM ESSBAREN TEIL DER VERSUCHSPFLANZEN [$\mu\text{G}/\text{G}$] AUFGETRAGEN.	32
ABBILDUNG 7: ERGEBNISSE DES VERSUCHS MIT DEM TESTSYSTEM FLÄCHENKULTUR UND KOPFSALAT ALS VERSUCHSPFLANZE. DIE ERGEBNISSE WURDEN GETRENNT NACH ENTFERNUNG AUFGETRAGEN. AUF DER ABSZISSE SIND DIE RÜCKSTÄNDE IN DER PETRISCHALE [$\mu\text{G}/\text{CM}^2$], AUF DER ORDINATE DIE RÜCKSTÄNDE AUF DEM ESSBAREN TEIL DER VERSUCHSPFLANZEN [$\mu\text{G}/\text{G}$] AUFGETRAGEN.	32
ABBILDUNG 8: ERGEBNISSE DES VERSUCHS MIT DEM TESTSYSTEM RAUMKULTUR UND ERDBEEREN ALS VERSUCHSPFLANZE. DIE ERGEBNISSE WURDEN GETRENNT NACH ENTFERNUNG AUFGETRAGEN. AUF DER ABSZISSE SIND DIE RÜCKSTÄNDE IN DER PETRISCHALE [$\mu\text{G}/\text{CM}^2$], AUF DER ORDINATE DIE RÜCKSTÄNDE AUF DEM ESSBAREN TEIL DER VERSUCHSPFLANZEN [$\mu\text{G}/\text{G}$] AUFGETRAGEN.	33
ABBILDUNG 9: ERGEBNISSE DES VERSUCHS MIT DEM TESTSYSTEM RAUMKULTUR UND TOMATE ALS VERSUCHSPFLANZE. DIE ERGEBNISSE WURDEN GETRENNT NACH ENTFERNUNG AUFGETRAGEN. AUF DER ABSZISSE SIND DIE RÜCKSTÄNDE IN DER PETRISCHALE [$\mu\text{G}/\text{CM}^2$], AUF DER ORDINATE DIE RÜCKSTÄNDE AUF DEM ESSBAREN TEIL DER VERSUCHSPFLANZEN [$\mu\text{G}/\text{G}$] AUFGETRAGEN.	34
ABBILDUNG 10: ERGEBNISSE DES VERSUCHS MIT DEM TESTSYSTEM RAUMKULTUR UND SALAT ALS VERSUCHSPFLANZE. DIE ERGEBNISSE WURDEN GETRENNT NACH ENTFERNUNG AUFGETRAGEN. AUF DER ABSZISSE SIND DIE RÜCKSTÄNDE IN DER PETRISCHALE [$\mu\text{G}/\text{CM}^2$], AUF DER ORDINATE DIE RÜCKSTÄNDE AUF DEM ESSBAREN TEIL DER VERSUCHSPFLANZEN [$\mu\text{G}/\text{G}$] AUFGETRAGEN.	34
ABBILDUNG 11: PYRANIN-RÜCKSTÄNDE IN DEN PETRISCHALEN UND AUF DEN ERDBEEREN IM TESTSYSTEM RAUMKULTUR MIT TRANSFORMIERTER REGRESSIONSGERADE.	36
ABBILDUNG 12: PYRANIN-RÜCKSTÄNDE IN DEN PETRISCHALEN UND AUF DEN ERDBEEREN IM TESTSYSTEM FLÄCHENKULTUR MIT TRANSFORMIERTER REGRESSIONSGERADE.	37
ABBILDUNG 13: PYRANIN-RÜCKSTÄNDE IN DEN PETRISCHALEN UND AUF DEN TOMATEN IM TESTSYSTEM RAUMKULTUR MIT TRANSFORMIERTER REGRESSIONSGERADE.	38
ABBILDUNG 14: PYRANIN-RÜCKSTÄNDE IN DEN PETRISCHALEN UND AUF DEN TOMATEN IM TESTSYSTEM FLÄCHENKULTUR MIT TRANSFORMIERTER REGRESSIONSGERADE.	39
ABBILDUNG 15: PYRANIN-RÜCKSTÄNDE IN DEN PETRISCHALEN UND AUF DEM SALAT IM TESTSYSTEM RAUMKULTUR MIT TRANSFORMIERTER REGRESSIONSGERADE.	40
ABBILDUNG 16: PYRANIN-RÜCKSTÄNDE IN DEN PETRISCHALEN UND AUF DEM SALAT IM TESTSYSTEM FLÄCHENKULTUR MIT TRANSFORMIERTER REGRESSIONSGERADE.	41
ABBILDUNG 17: VORBEREITUNG DER VERWENDETEN ATKIS-DATEN. ECKIG UMRANDET: ZWISCHENSTUFEN, RUND UMRANDET: FÜR DIE WEITEREN ANALYSEN VERWENDETE DATENSÄTZE.	43

ABBILDUNG 18: VORBEREITUNG DER VERWENDETEN ALKIS-DATEN. ECKIG UMRANDET: ZWISCHENSTUFEN, RUND UMRANDET: FÜR DIE WEITEREN ANALYSEN VERWENDETE DATENSÄTZE.....	44
ABBILDUNG 19: ERMITTLUNG DER GARTEN-REALFLÄCHEN MIT DEM MAD UND DEN ALKIS-DATEN. RUND UMRANDETE DATEN WURDEN FÜR DIE WEITEREN BERECHNUNGEN VERWENDET.	46
ABBILDUNG 20: BERECHNUNG DER SCHNITTFLÄCHEN VON PUFFERFLÄCHEN MIT GARTENFLÄCHEN.....	47
ABBILDUNG 21: FLÄCHENDICHTE DER KULTURARTEN FLÄCHENKULTUR (LINKS) UND RAUMKULTUR (RECHTS).....	50
ABBILDUNG 22: FLÄCHENDICHTE DER GARTENKATEGORIEN AT_KLEINGARTEN (LINKS) UND AT_GARTEN-POTENTIALFLÄCHE (RECHTS).....	51
ABBILDUNG 23: FLÄCHENDICHTE DER SCHNITTFLÄCHEN VON AT_KLEINGARTEN MIT AT_PUFFER-FLÄCHENKULTUR (2 M) (LINKS) UND AT_PUFFER-RAUMKULTUR (5 M) (RECHTS).	52
ABBILDUNG 24: FLÄCHENDICHTE DER SCHNITTFLÄCHEN VON AT_GARTEN-POTENTIALFLÄCHE MIT AT_PUFFER-FLÄCHENKULTUR (2 M) (LINKS) UND AT_PUFFER-RAUMKULTUR (5 M) (RECHTS).	53
ABBILDUNG 25: ANTEIL DER KLEINGÄRTEN, DIE MIT 0 M ABSTAND ZU RAUM- ODER FLÄCHENKULTUREN LIEGEN.....	54
ABBILDUNG 26: ANTEIL DER KLEINGÄRTEN, DIE IN EINEM ABSTAND > 0 BIS 20 M ZU RAUM- UND FLÄCHENKULTUREN LIEGEN.	55
ABBILDUNG 27: ANTEIL DER GARTEN-POTENTIALFLÄCHEN, DIE IN 0 M ABSTAND ZU RAUM- ODER FLÄCHENKULTUREN LIEGEN.	56
ABBILDUNG 28: KUMULATIVER ANTEIL DER GARTEN-POTENTIALFLÄCHEN, DIE IN EINEM ABSTAND >0 – 20 M ZU RAUM- UND FLÄCHENKULTUREN LIEGEN.....	56
ABBILDUNG 29: AUSSCHNITT AUS DEM DATENSATZ MAD-GARTEN.....	57
ABBILDUNG 30: FLÄCHENGRÖÖE DER SCHNITTFLÄCHEN EINES 5 M PUFFERS UM RAUMKULTUREN MIT VERSCHIEDENEN GARTENFLÄCHEN. BERECHNUNGEN FÜR RLP AUS BASIS DER ALKIS-, ATKIS- UND MAD-DATEN.	58
ABBILDUNG 31: FLÄCHENGRÖÖE DER SCHNITTFLÄCHEN EINES 2 M PUFFERS UM FLÄCHENKULTUREN MIT VERSCHIEDENEN GARTENFLÄCHEN. BERECHNUNGEN FÜR RLP AUS BASIS DER ALKIS-, ATKIS- UND MAD-DATEN.	58
ABBILDUNG 32: ABSTAND VON GARTEN-REALFLÄCHEN ZU RAUM- UND FLÄCHENKULTUREN IN RLP AUF BASIS DER ALKIS/MAD-DATEN.	59
ABBILDUNG 33: AUFSCHLÜSSELUNG GARTEN-REALFLÄCHEN, DIE EINEN ABSTAND VON >0 M BIS 20 M ZU RAUM- UND FLÄCHENKULTUREN HABEN IN 1 M ABSTÄNDEN. BERECHNUNGEN AUF BASIS DER ALKIS/MAD-DATEN.	60
ABBILDUNG 34: ERGEBNISSE DER NEAR-BERECHNUNGEN MIT ÖKOLOGISCH BEWIRTSCHAFTETEN FLÄCHEN ALS IN-FEATURE UND KONVENTIONELL BEWIRTSCHAFTETEN ALS NEAR-FEATURE.	61
ABBILDUNG 35: AUFSCHLÜSSELUNG DER ÖKOLOGISCH BEWIRTSCHAFTETEN FLÄCHEN, DIE EINEN ABSTAND VON >0 M BIS 20 M ZU KONVENTIONELL BEWIRTSCHAFTETEN HABEN IN 1 M ABSTÄNDEN.	61
ABBILDUNG 36: STADT- UND GEMEINDE Typen 2015. QUELLE: (KUHLMANN, 2017).	80
ABBILDUNG 37: STABILITÄT VON PYRANIN IM WINDTUNNEL AUF TOMATEN.....	91
ABBILDUNG 38: STABILITÄT VON PYRANIN IM WINDTUNNEL AUF ERDBEEREN.	92
ABBILDUNG 39: STABILITÄT VON PYRANIN IM WINDTUNNEL IN PETRISCHALEN. DIE VERSUCHSOBJEKTE WURDEN 20 MIN IM WINDTUNNEL GELAGERT.	92
ABBILDUNG 40: GRAPHISCHE DARSTELLUNG DER FLUORESZENZMITTELWERTE DER VERWENDETEN STANDARDS IN ABHÄNGIGKEIT VON DER KONZENTRATION. DIE KALIBRIERGERADE WURDE MITTELS	

EINFACHER LINEARER REGRESSION ERMITTELT. AUFGEFÜHRT SIND ZUDEM DIE REGRESSIONSGLEICHUNG UND DAS BESTIMMTHEITSMAB R^2	95
ABBILDUNG 41: GRAPHISCHE DARSTELLUNG DER FLUORESCENZMITTELWERTE DER VERWENDETEN STANDARDS IN ABHÄNGIGKEIT VON DER KONZENTRATION. DIE KALIBRIERGERADE WURDE MITTELS GEWICHTETER LINEARER REGRESSION ERMITTELT. AUFGEFÜHRT IST ZUDEM DIE REGRESSIONSGLEICHUNG.....	97
ABBILDUNG 42: ABWEICHUNG DER MITTELS GEWICHTETER LINEARER REGRESSION BERECHNETEN SCHÄTZWERTE VON DEN ZUGEHÖRIGEN SOLLWERTEN ALLER STANDARDS DER KALIBRIERGERADEN... ..	98
ABBILDUNG 43: KONZENTRATIONEN DES PYRANINS IN DEN WASCHLÖSUNGEN. DIE GESTRICHELTEN LINIEN MARKIEREN DIE GRENZEN DES KALIBRIERBEREICHS (0,08 MG/L UND 3 MG/L). DIE GEPUNKTETE LINIE MARKIERT $y = 0,01$ MG/L.....	120
ABBILDUNG 44: VERGLEICH DER KALIBRIERGERADEN MIT UND OHNE DEN STANDARD 0,01 MG/L. DIE KALIBRIERGERADEN WURDEN MITTELS GEWICHTETER LINEARER REGRESSION ERSTELLT. DIE PUNKTE BILDEN DIE STANDARDS UND DEREN FLUORESCENZWERT AB.	122
ABBILDUNG 45: DIAGNOSTIC PLOTS: ERDBEERE, TESTSYSTEM FLÄCHENKULTUR, OHNE TRANSFORMATION.	124
ABBILDUNG 46: DIAGNOSTIC PLOTS: ERDBEERE, TESTSYSTEM RAUMKULTUR, OHNE TRANSFORMATION.....	125
ABBILDUNG 47: DIAGNOSTIC PLOTS: SALAT, TESTSYSTEM FLÄCHENKULTUR, OHNE TRANSFORMATION.	126
ABBILDUNG 48: DIAGNOSTIC PLOTS: SALAT, TESTSYSTEME, RAUMKULTUR, OHNE TRANSFORMATION.....	127
ABBILDUNG 49: DIAGNOSTIC PLOTS: TOMATE, TESTSYSTEM FLÄCHENKULTUR, OHNE TRANSFORMATION..	128
ABBILDUNG 50: DIAGNOSTIC PLOTS: TOMATE, TESTSYSTEM RAUMKULTUR, OHNE TRANSFORMATION.	129
ABBILDUNG 51: LOG-TRANSFORMIERTE PYRANIN-RÜCKSTÄNDE IN DEN PETRISCHALEN (Z) UND AUF DEN ERDBEEREN (W) IM TESTSYSTEM RAUMKULTUR MIT ERMITTELTEN REGRESSIONSGERADEN UND KONFIDENZINTERVALL.	131
ABBILDUNG 52: DIAGNOSTIC PLOTS: ERDBEERE, TESTSYSTEM RAUMKULTUR, MIT TRANSFORMATION.	131
ABBILDUNG 53: LOG-TRANSFORMIERTE PYRANIN-RÜCKSTÄNDE IN DEN PETRISCHALEN (Z) UND AUF DEN ERDBEEREN (W) IM TESTSYSTEM FLÄCHENKULTUR MIT ERMITTELTEN REGRESSIONSGERADEN UND KONFIDENZINTERVALL.	132
ABBILDUNG 54: DIAGNOSTIC PLOTS: ERDBEERE, TESTSYSTEM FLÄCHENKULTUR, MIT TRANSFORMATION...	133
ABBILDUNG 55: LOG-TRANSFORMIERTE PYRANIN-RÜCKSTÄNDE IN DEN PETRISCHALEN (Z) UND AUF DEN TOMATEN (W) IM TESTSYSTEM RAUMKULTUR MIT ERMITTELTEN REGRESSIONSGERADEN UND KONFIDENZINTERVALL.	134
ABBILDUNG 56: DIAGNOSTIC PLOTS: TOMATE, TESTSYSTEM RAUMKULTUR, MIT TRANSFORMATION.....	134
ABBILDUNG 57: LOG-TRANSFORMIERTE PYRANIN-RÜCKSTÄNDE IN DEN PETRISCHALEN (Z) UND AUF DEN TOMATEN (W) IM TESTSYSTEM FLÄCHENKULTUR MIT ERMITTELTEN REGRESSIONSGERADEN UND KONFIDENZINTERVALL.	135
ABBILDUNG 58: DIAGNOSTIC PLOTS: TOMATE, TESTSYSTEM FLÄCHENKULTUR, MIT TRANSFORMATION.	136
ABBILDUNG 59: LOG-TRANSFORMIERTE PYRANIN-RÜCKSTÄNDE IN DEN PETRISCHALEN (Z) UND AUF DEN SALAT (W) IM TESTSYSTEM RAUMKULTUR MIT ERMITTELTEN REGRESSIONSGERADEN UND KONFIDENZINTERVALL.	137
ABBILDUNG 60: DIAGNOSTIC PLOTS: SALAT, TESTSYSTEM RAUMKULTUR, MIT TRANSFORMATION.	137
ABBILDUNG 61: LOG-TRANSFORMIERTE PYRANIN-RÜCKSTÄNDE IN DEN PETRISCHALEN (Z) UND AUF DEN SALAT (W) IM TESTSYSTEM FLÄCHENKULTUR MIT ERMITTELTEN REGRESSIONSGERADEN UND KONFIDENZINTERVALL.	138
ABBILDUNG 62: DIAGNOSTIC PLOTS: SALAT, TESTSYSTEM FLÄCHENKULTUR, MIT TRANSFORMATION.....	139

ABBILDUNG 63: HEATMAPS DER DATENSÄTZE WEINBAU, OBSTPLANTAGE UND HOPFEN (ATKIS). FÜR
HOPFEN UND WEINBAU WURDEN 20.000 LAYEREINHEITEN ALS RADIUS GEWÄHLT. 140

Tabellenverzeichnis

TABELLE 1: APPLIKATIONSZEITEN DER VERSUCHE IM WINDTUNNEL MIT ERDBEEREN ALS VERSUCHSPFLANZE.	22
TABELLE 2: APPLIKATIONSZEITEN DER VERSUCHE MIT TOMATEN ALS VERSUCHSPFLANZE.	23
TABELLE 3: APPLIKATIONSZEITEN DER VERSUCHE IM WINDTUNNEL MIT KOPFSALAT ALS VERSUCHSPFLANZE.	24
TABELLE 4: PIPETTIERSCHEMA FÜR DIE KALIBRIERUNG.....	24
TABELLE 5: TROPFENZAHL PRO MINUTE BEI APPLIKATION VON WASSER. VERWENDETE DÜSE: XR 11003-VK, KERAMIK (FLACHSTRAHLDÜSE, FA. TEEJET), APPLIKATIONSHÖHE: 100 CM. 999 TROPFEN PRO MINUTE IST DIE MAXIMALE ANZAHL, DIE VON DEM LASER-NIEDERSCHLAGS-MONITOR GEMESSEN WERDEN KANN.....	28
TABELLE 6: TROPFENZAHL PRO MINUTE BEI APPLIKATION VON WASSER. VERWENDETE DÜSE: ATR 80 (HOHLKEGELDÜSE, FA. ALBUZ), APPLIKATIONSHÖHE: 175 CM. 999 TROPFEN PRO MINUTE IST DIE MAXIMALE ANZAHL, DIE VON DEM LASER-NIEDERSCHLAGS-MONITOR GEMESSEN WERDEN KANN.	29
TABELLE 7: ZUSAMMENSETZUNG DER AUS DEN ATKIS UND ALKIS-DATEN ERZEUGTEN DATENSÄTZE.	45
TABELLE 8: FÜR DIE NEAR-TABELLE VERWENDETE INPUT- UND NEAR-FEATURE.....	48
TABELLE 9: ERGEBNISSE DER DEUTSCHLANDWEITEN SCHNITTFLÄCHENBERECHNUNG MIT DEN ATKIS- DATEN. SCHNITTFLÄCHEN VON PUFFERN UM VERSCHIEDENE RAUM- BZW. FLÄCHENKULTUREN MIT DEN DATENSÄTZEN AT_KLEINGARTEN, AT_WOHNENMITGARTEN UND AT_GARTENPOTENTIALFLÄCHE. IN KLAMMERN STEHT DER ANTEIL AN DER GESAMTFLÄCHE DER JEWEILIGEN DATENSÄTZE (AT_KLEINGARTEN, AT_WOHNENMITGARTEN BZW. AT_GARTENPOTENTIALFLÄCHE).....	49
TABELLE 10: FLÄCHENGRÖßEN DER VERWENDETEN DATENSÄTZE AUF BASIS DER ATKIS-DATEN. DIE ZAHLEN BEZIEHEN SICH AUF GANZ DEUTSCHLAND.....	49
TABELLE 11: VERGLEICH DER EXPERIMENTELL ERMITTELTEN RÜCKSTANDSWERTE AUF ERDBEEREN MIT VON MACLACHLAN UND HAMILTON ZUSAMMENGESTELLTEN RÜCKSTANDSWERTEN AUS VERSCHIEDENEN STUDIEN. * = WERTE AUS MACLACHLAN UND HAMILTON (2010).	70
TABELLE 12: VERGLEICH DER EXPERIMENTELL ERMITTELTEN RÜCKSTANDSWERTE AUF TOMATEN MIT VON MACLACHLAN UND HAMILTON ZUSAMMENGESTELLTEN RÜCKSTANDSWERTEN AUS VERSCHIEDENEN STUDIEN. * = WERTE AUS MACLACHLAN UND HAMILTON (2010).	70
TABELLE 13: VERGLEICH DER EXPERIMENTELL ERMITTELTEN RÜCKSTANDSWERTE AUF SALAT MIT VON MACLACHLAN UND HAMILTON ZUSAMMENGESTELLTEN RÜCKSTANDSWERTEN AUS VERSCHIEDENEN STUDIEN. * = WERTE AUS MACLACHLAN UND HAMILTON (2010).	71
TABELLE 14: KLEINGARTEN-RANKING DEUTSCHLAND, QUELLE: BUNDESVERBAND DEUTSCHER GARTENFREUNDE E.V. (HTTPS://WWW.KLEINGARTEN-BUND.DE/DE/BUNDESVERBAND/ZAHLEN-UND- FAKTEN/).....	77
TABELLE 15: ERGEBNISSE DER GRAVIMETRISCHEN BESTIMMUNG VON WASSER BEI UNTERSCHIEDLICHEN APPLIKATIONSZEITEN. AUFGEFÜHRT IST DER MITTELWERT VON 4 MESSPUNKTEN PRO ENTFERNUNG. A,B,C, D, E, F: UNABHÄNGIGE VERSUCHE. 30: APPLIKATIONSZEIT 30 S. 60/2: APPLIKATIONSZEIT 60 S, NORMIERT AUF 30 S.	93
TABELLE 16: MESSWERTE DER BLINDPROBEN.	94
TABELLE 17: FLUORESCENZWERTE DER STANDARDS ZUR ERMITTLUNG DER KALIBRIERGERADEN.	95
TABELLE 18: ABWEICHUNG DER ÜBER EINE EINFACHE LINEARE REGRESSION BERECHNETEN KONZENTRATIONEN (SCHÄTZWERT) VON DEN ANGESETZTEN KONZENTRATIONEN DER STANDARDS (SOLLWERT) AM BEISPIEL DER KALIBRIERGERADE FÜR DEN VERSUCH MIT SALAT ALS VERSUCHSKULTUR, TESTSYSTEM FLÄCHENKULTUR, ENTFERNUNG 3 UND 5 M, WIEDERHOLUNG NR. 3.....	96

TABELLE 19: ABWEICHUNG DER ÜBER EINE GEWICHTETE LINEARE REGRESSION BERECHNETEN KONZENTRATIONEN (SCHÄTZWERT) VON DEN ANGESETZTEN KONZENTRATIONEN DER STANDARDS (SOLLWERT).	97
TABELLE 20: ROHDATEN ZU DEN KALIBRIERGERADEN FÜR DIE ERDBEERVERSUCHE MIT DEM TESTSYSTEM FLÄCHENKULTUR.	99
TABELLE 21: ROHDATEN ZU DEN KALIBRIERGERADEN FÜR DIE ERDBEERVERSUCHE MIT DEM TESTSYSTEM RAUMKULTUR.	99
TABELLE 22: ROHDATEN ZU DEN KALIBRIERGERADEN FÜR DIE TOMATENVERSUCHE MIT DEM TESTSYSTEM FLÄCHENKULTUR.	101
TABELLE 23: ROHDATEN ZU DEN KALIBRIERGERADEN FÜR DIE TOMATENVERSUCHE MIT DEM TESTSYSTEM RAUMKULTUR.	103
TABELLE 24: ROHDATEN ZU DEN KALIBRIERGERADEN FÜR DIE SALATVERSUCHE MIT DEM TESTSYSTEM FLÄCHENKULTUR.	105
TABELLE 25: ROHDATEN ZU DEN KALIBRIERGERADEN FÜR DIE SALATVERSUCHE MIT DEM TESTSYSTEM RAUMKULTUR.	106
TABELLE 26: ERDBEERVERSUCH, TESTSYSTEM: FLÄCHENKULTUR, VERSUCHSOBJEKT: PETRISCHALE. ROHDATEN, BEARBEITETE MESSWERTE.....	108
TABELLE 27: ERDBEERVERSUCH, TESTSYSTEM: FLÄCHENKULTUR, VERSUCHSOBJEKT: ERDBEEREN. ROHDATEN, BEARBEITETE MESSWERTE.....	109
TABELLE 28: ERDBEERVERSUCH, TESTSYSTEM: RAUMKULTUR, VERSUCHSOBJEKT: PETRISCHALE. ROHDATEN, BEARBEITETE MESSWERTE.....	110
TABELLE 29: ERDBEERVERSUCH, TESTSYSTEM: RAUMKULTUR, VERSUCHSOBJEKT: ERDBEERE. ROHDATEN, BEARBEITETE MESSWERTE.....	111
TABELLE 30: TOMATENVERSUCH, TESTSYSTEM: FLÄCHENKULTUR, VERSUCHSOBJEKT: PETRISCHALE. ROHDATEN, BEARBEITETE MESSWERTE.....	112
TABELLE 31: TOMATENVERSUCH, TESTSYSTEM: FLÄCHENKULTUR, VERSUCHSOBJEKT: TOMATE. ROHDATEN, BEARBEITETE MESSWERTE.....	113
TABELLE 32: TOMATENVERSUCH, TESTSYSTEM: RAUMKULTUR, VERSUCHSOBJEKT: PETRISCHALE. ROHDATEN, BEARBEITETE MESSWERTE.....	114
TABELLE 33: TOMATENVERSUCH, TESTSYSTEM: RAUMKULTUR, VERSUCHSOBJEKT: TOMATE. ROHDATEN, BEARBEITETE MESSWERTE.....	115
TABELLE 34: SALATVERSUCH, TESTSYSTEM: FLÄCHENKULTUR, VERSUCHSOBJEKT: PETRISCHALE. ROHDATEN, BEARBEITETE MESSWERTE.....	116
TABELLE 35: SALATVERSUCH, TESTSYSTEM: FLÄCHENKULTUR, VERSUCHSOBJEKT: SALAT. ROHDATEN, BEARBEITETE MESSWERTE.....	117
TABELLE 36: SALATVERSUCH, TESTSYSTEM: RAUMKULTUR, VERSUCHSOBJEKT: PETRISCHALE. ROHDATEN, BEARBEITETE MESSWERTE.....	118
TABELLE 37: SALATVERSUCH, TESTSYSTEM: RAUMKULTUR, VERSUCHSOBJEKT: PETRISCHALE. ROHDATEN, BEARBEITETE MESSWERTE.....	119
TABELLE 38: ANZAHL AN GESICHERTEN UND NICHT GESICHERTEN MESSWERTEN.	121
TABELLE 39: AUFSCHLÜSSELUNG IN GESICHERTE UND NICHT GESICHERTE WERTE NACH VERSUCHSPFLANZE UND TESTSYSTEM.	121
TABELLE 40: UNTERSCHIEDE DER KALIBRIERGERADEN MIT UND OHNE DEN STANDARD 0,01 MG/L.....	122
TABELLE 41: ERGEBNISSE SCHNITTFLÄCHENBERECHNUNG IN RLP MIT DEN ATKIS- UND DEN ALKIS-DATEN. SCHNITTFLÄCHEN VON PUFFERN UM VERSCHIEDENE KULTURARTEN MIT DEN DATENSÄTZEN	

KLEINGARTEN, GARTEN, GARTEN-POTENTIALFLÄCHE BZW. MAD-GARTEN. IN KLAMMERN STEHT DER ANTEIL AN DER JEWELIGEN GESAMTGARTENFLÄCHE.....	141
TABELLE 42: FLÄCHENGRÖßEN DER FÜR DIE BERECHNUNGEN IN RLP VERWENDETE DATENSÄTZE.....	141
TABELLE 43: ANTEIL DER KLEINGÄRTEN AN DER GESAMTKLEINGARTENANZAHL, DIE EINEN ABSTAND VON > 0 BIS 20 M ZU RAUM- ODER FLÄCHENKULTUR HABEN.	142
TABELLE 44: ANTEIL DER GARTEN-POTENTIALFLÄCHEN AN DER GESAMTANZAHL MIT ABSTAND VON > 0 BIS 20 M ZU RAUM- ODER FLÄCHENKULTUR.....	142

Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der Abdrift von Pflanzenschutzmitteln (PSM), die auf Lebensmittelkulturen in angrenzenden Flächen, insbesondere in benachbarte Haus- und Kleingärten, gelangt. In einer Reihe von Windtunnelversuchen wurde die Abdrift von PSM aus Flächen- und Raumkulturen während der Applikation mit zwei verschiedenen Testsystemen nachgestellt. Das Testsystem Flächenkultur simuliert die Applikation auf Flächenkulturen, das Testsystem Raumkultur die auf Raumkulturen. Auf der Nicht-Zielfläche wurden die auf Grund von Abdrift entstandenen Rückstände des verwendeten Tracers Pyranin nach der Applikation entfernungsabhängig auf den Lebensmittelkulturen Kopfsalat, Erdbeeren und Tomaten gemessen. Durch die gleichzeitige Messung der Bodendeposition konnten die Messwerte mit Hilfe von Regressionsgleichungen ($R^2 = 0,88$ bis $0,97$) in Bezug zu den Abdrifteckwerten (AEW) gebracht werden. Dadurch war es möglich, erste Abschätzungen der Höhe von Rückständen vorzunehmen, die über Abdrift von landwirtschaftlichen Flächen auf benachbarte Lebensmittelkulturen im Freiland gelangen können. Diese Abschätzung ist zunächst limitiert auf die drei Versuchspflanzen. Die Versuche zeigen, dass sich die meisten durch Abdrift entstehenden Rückstände auf Salatköpfen wieder finden, gefolgt von Erdbeeren und Tomaten.

Neben dem experimentellen Teil wurden Analysen mit Geoinformationssystemen (GIS) durchgeführt, um die Nachbarschaftsverhältnisse zwischen landwirtschaftlich genutzten Flächen und Gartenflächen für ganz Deutschland und speziell für Rheinland-Pfalz (RLP) zu analysieren. Dazu wurden für die deutschlandweiten Berechnungen die Daten des amtlichen topographisch-kartographischen Informationssystems (ATKIS) und für die RLP-weiten Berechnungen die Daten des amtlichen Liegenschaftskatasterinformationssystem (ALKIS) verwendet. Beachtet werden muss, dass auf Grund der Datenbeschaffenheit eine Abgrenzung der Gartenflächen zu Wohnflächen nicht möglich ist. Deutschlandweit liegen etwa 1,1 % aller potentiellen Gartenflächen innerhalb eines 5 m Pufferbereichs um Raumkulturen bzw. innerhalb eines 2 m Pufferbereichs um Flächenkulturen. Für RLP sind es 0,75 %. Mit Hilfe eines Landbedeckungsdatensatzes der Fa. RLP AgroScience GmbH und den ALKIS-Daten konnte jedoch die exakte Gartenfläche für RLP auf 47.437 ha bestimmt werden. Basierend auf dieser Datengrundlage liegen 1,2 % der Gartenfläche von RLP innerhalb der genannten Pufferbereiche. Des Weiteren ergaben Berechnungen, dass 3 % der Gärten in RLP direkt angrenzend zu landwirtschaftlich genutzten Flächen liegen.

Im Rahmen dieser Arbeit wurden nicht nur Gärten betrachtet, die an landwirtschaftliche Flächen grenzen, sondern auch Nachbarschaftsverhältnisse zwischen ökologisch und konventionell bewirtschafteten Flächen untersucht. Diese Berechnungen erfolgten mit den Daten des Integrierten Verwaltungs- und Kontrollsystems (InVeKoS). Insgesamt grenzen in RLP 47,1 % aller ökologisch bewirtschafteten Flächen unmittelbar an konventionell bewirtschaftete Flächen an.

Abstract

This project is about spray drift of plant protection products (PPP) onto fruit and vegetable food commodities grown in gardens or allotments next to agricultural fields. The amount of spray drift transported into gardens during the treatment of tall growing crops and field crops was simulated in a wind tunnel. Therefore, two test systems were established: test system field crops, which simulates the application of PPP to field crops and test system tall growing crops, which simulates the application to tall growing crops. After the application, distance-related residues of the applied tracer pyranine were measured on strawberries, tomatoes and lettuce positioned in the non-target area. It was possible to connect the residues on the food cultures to the basic drift values by regression analysis ($R^2 = 0.88$ to 0.97) due to the simultaneous measurement of the ground deposition during the trials. Consequently, first estimates of residues on food commodities, which are cultivated adjacent to agricultural fields, were possible. However, these estimations are limited to the three crops investigated. The results of the trials show that most residues in areas adjacent to agricultural fields can be found on lettuce followed by strawberries and tomatoes.

In addition to the wind tunnel trials, the geographical relationships of gardens and agricultural areas were analyzed by means of geographical information systems (GIS). These analyses were conducted for Germany with ATKIS (authoritative topographic-cartographic information system) data and for Rhineland-Palatinate (RLP) with ALKIS (authoritative real estate cadastre information system) data. Due to the nature of the data, it was not possible to distinguish garden areas from residential areas. In Germany, 1.1 % of the garden areas are situated within a 5 m buffer around tall growing crops and within a 2 m buffer around field crops. In Rhineland-Palatinate, 0.75 % of the garden area lies within these buffer zones. Furthermore, it was possible to estimate almost exactly the garden area of RLP with the ALKIS-data used in connection with a land cover dataset available from the RLP AgroScience GmbH. As a result, 47,437 ha are covered with house gardens and allotments in RLP. Based on this data 1.2 % of the garden area in RLP are within the aforementioned buffer zones. Furthermore, 3 % of the gardens in RLP are directly adjacent to agricultural used areas.

In the framework of this project also the geographical relationships between organic and conventional farming areas were analyzed using InVeKoS data. 47.1 % of the organic farming areas in Rhineland-Palatinate are directly adjacent to conventional farming areas (0 m distance).

1 Einleitung

Etwas mehr als die Hälfte der Fläche Deutschlands wird landwirtschaftlich genutzt (51,6 %), gefolgt von Waldflächen (30,6 %) und Siedlungs- und Verkehrsflächen (13,7 %) (Umweltbundesamt, 2018). Von diesen 13,7 % Siedlungs- und Verkehrsflächen werden ungefähr 1,9 % von etwa 17 Millionen Hobbygärtnern als Haus- oder Kleingärten genutzt (Bundesverband Deutscher Gartenfreunde e.V., 2008). Eine Studie des *Bundesverbands Deutscher Gartenfreunde e.V.* (BDG) zur Nutzung von Kleingärten zeigt, dass es sich bei 12 % der in Kleingärten angelegten Vegetation um Lebensmittel liefernde Pflanzen handelt. Da sich die Siedlungsbereiche immer weiter ausdehnen, ist die landwirtschaftliche Flächennutzung rückläufig (Umweltbundesamt, 2018). Auf Grund der knappen Flächenressourcen stehen viele Siedlungsflächen in engem Kontakt zur Landwirtschaft. Dadurch können ausgebrachte Pflanzenschutzmittel (PSM) durch Abdrift des Sprühnebels auch auf private Grundstücke gelangen. Dort können Anwohner über verschiedene Wege mit den Rückständen in Kontakt kommen: durch den Aufenthalt auf dem Grundstück während der Applikation, durch Haus- und Gartenarbeiten oder durch den Verzehr von exponierten Lebensmitteln, die auf dem Grundstück angebaut wurden. Zur Exposition von Anwohnern wurden diverse Studien durchgeführt, um die Expositionshöhe zu quantifizieren (z.B. Zande et al., 2014a, Vermeulen et al., 2019). Eine Datengrundlage über die Höhe der durch Abdrift entstehenden PSM-Rückstände auf benachbarten Lebensmittelkulturen existiert nach aktuellen Kenntnissen jedoch nicht.

Daher konzentriert sich die vorliegende Arbeit darauf, wie sich die PSM-Rückstände auf der Vegetation von Nachbarflächen verteilen. Betrachtet werden durch Abdrift entstehende Rückstandsmengen auf Lebensmittelkulturen in Haus- und Kleingärten, die an landwirtschaftliche Flächen grenzen. Des Weiteren soll quantifiziert werden, wie häufig Haus- und Kleingärten benachbart zu landwirtschaftlich genutzten Flächen liegen.

Das Forschungsprojekt wurde vom *Bundesinstitut für Risikobewertung* (BfR) finanziert und im Rahmen einer Promotion durchgeführt. Die Bearbeitung des Projekts erfolgte am *Institut für Agrarökologie* (IfA) der *RLP AgroScience GmbH*. Neben dem BfR und dem IfA wurde die Promotion von der *Universität Koblenz-Landau* betreut.

1.1 Landwirtschaft und Pflanzenschutzmittel in Deutschland

Deutschland umfasst eine Fläche von ca. 35.740.900 ha. Davon werden ca. 18.442.300 ha landwirtschaftlich genutzt (Umweltbundesamt, 2018). Auf dieser Fläche werden nach Berechnungen des *Umweltbundesamtes* (UBA) jährlich durchschnittlich 8,8 kg PSM bzw. 2,8 kg Wirkstoff je Hektar Anbaufläche ausgebracht (Stand 2015) (Umweltbundesamt, 2019). In Deutschland sind 1.742 PSM (mit Vertriebsserweiterungen) (Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL), 2019) mit einem oder mehreren von 263 genehmigten Wirkstoffen (EU Pesticide database) zugelassen (Stand: Oktober 2019). Bevor PSM zugelassen werden, müssen sie toxikologisch untersucht und in Hinblick auf mögliche Risiken bewertet

werden. Das BVL ist für die Zulassung zuständig und arbeitet mit drei Behörden zusammen: Für die Überprüfung der Wirksamkeit und des Nutzens ist das *Julius Kühn-Institut* (JKI) zuständig, die Bewertung der Auswirkungen auf den Naturhaushalt erfolgt im UBA und die gesundheitliche Risikobewertung übernimmt das BfR (Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, 2019a). Für jedes PSM können auf Grundlage der Überprüfung Anwendungsbestimmungen festgelegt werden, bei deren Einhaltung ein sicherer Einsatz des Mittels gewährleistet ist, ohne Anwender, Verbraucher, Anwohner oder den Naturhaushalt zu schädigen. Für die Bewertung des Risikos für Verbraucher und Anwender sind zwei Faktoren wichtig: die Toxizität und die Exposition.

Bei den Untersuchungen zur Toxizität werden verschiedene gesundheitsbezogene Endpunkte zumeist im Tierversuch geprüft, z.B. Kanzerogenität, Reproduktions- und Entwicklungstoxizität oder Neurotoxizität, und anschließend der NOAEL (No observed adverse effect level) festgelegt. Das ist die maximale Dosis, bei der kein gesundheitsschädlicher Effekt festgestellt werden kann. Um die unterschiedlichen Empfindlichkeiten zwischen Mensch und Tier sowie zwischen menschlichen Individuen zu berücksichtigen, wird der NOAEL anschließend noch durch einen Sicherheitsfaktor geteilt. Auf diese Weise werden aus den Studien verschiedene Grenzwerte abgeleitet: der ADI (Acceptable Daily Intake, = duldbare tägliche Aufnahmemenge = die Menge, die täglich und lebenslang aufgenommen werden kann ohne erkennbares gesundheitliches Risiko), die ARfD (Akute Referenzdosis = die Menge, die ohne erkennbares gesundheitliches Risiko an einem Tag aufgenommen werden kann) und der AOEL (Acceptable Operator Exposure Level = duldbare Exposition des Anwenders). Ein weiterer Grenzwert ist der Rückstandshöchstgehalt (RHG), bei dem es sich jedoch um keinen toxikologischen Grenzwert handelt. Dieser Wert gibt die maximale Rückstandsmenge eines Wirkstoffes an, die in bzw. auf der behandelten Kultur sein darf und ist somit wirkstoff- und kulturspezifisch. Der Wert wird anhand der kritischsten vorgesehenen Anwendung (z.B. höchste Aufwandmenge, kürzeste Wartezeit zwischen letzter Behandlung und Ernte) unter Einhaltung der guten landwirtschaftlichen Praxis ermittelt. Der RHG wird folglich bei sachgerechter Anwendung eines PSM nicht überschritten. Des Weiteren muss der RHG so niedrig festgesetzt werden, dass es bei Einhaltung des RHG zu keinem gesundheitlichen Risiko für den Verbraucher kommen kann. Existiert für einen Wirkstoff kein RHG, wird für diesen Wirkstoff der Standardwert von 0,01 mg/kg festgesetzt (Verordnung (EG) Nr. 396/2005 Absatz 22 bzw. Kapitel III Artikel 18 Absatz 1b).

Die Exposition wird für alle dem PSM potentiell ausgesetzten Personengruppen getrennt ermittelt. In Hinblick auf die Verbraucherexposition ist sie abhängig von der behandelten Kultur, die nach der Ernte verzehrt wird, von den Anwendungsbedingungen (Zeitpunkt, Menge, Häufigkeit, Wartezeit) und von der Menge, die Verbraucher von diesem Lebensmittel üblicherweise verzehren. Je nachdem wie hoch die Verzehrsmenge und der Rückstand in der Kultur sind, variiert auch die Exposition. (Bundesinstitut für Risikobewertung, o.D.) Das indikationsbezogene Zulassungsverfahren erfolgt kultur- und schadorganismusspezifisch und betrachtet dementsprechend nur die Rückstandssituation in der behandelten Kultur oder in Folgekulturen, die auf derselben landwirtschaftlichen Fläche angebaut werden.

Abdriftbedingte PSM-Rückstände auf Lebensmittelkulturen, die auf benachbarten Flächen wachsen, werden gegenwärtig im Zulassungsverfahren nicht berücksichtigt. Wenn private oder kommerzielle Ertragsflächen direkt neben landwirtschaftlichen Flächen liegen, ist die Rückstandshöhe, die auf Abdrift zurückgeht, auf dort erzeugten Lebensmitteln meist unbekannt. Vor allem bei Lebensmittel liefernden Pflanzen, deren essbarer Teil oberirdisch wächst und die nicht vor dem Verzehr geschält werden, sind nennenswerte Rückstandskonzentrationen aus Abdrift denkbar. Als nennenswerte Rückstandskonzentrationen werden diejenigen verstanden, die den RHG des betrachteten Wirkstoffes bzw. eine Konzentration von 0,01 mg/kg bei fehlendem RHG überschreiten. Dieser Fall tritt vor allem dann auf, wenn sich der Behandlungszeitpunkt der landwirtschaftlichen Fläche und die Fruchtreife benachbarter Kulturen überschneiden.

Ein besonderes Konfliktpotential besteht, wenn ökologisch bewirtschaftete Flächen in geringer Distanz zu konventionell bewirtschafteten liegen. Seit Jahren steigt der Anteil der ökologisch bewirtschafteten Flächen an der gesamten landwirtschaftlichen Fläche an. 2004 wurden 4,5 % der landwirtschaftlichen Flächen ökologisch bewirtschaftet, 2017 waren es 8,2 % (Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, 2019b). Das in der *Deutschen Nachhaltigkeitsstrategie* verankerte Ziel der Bundesregierung ist einen Anteil von 20 % zu erreichen (Die Bundesregierung, 2016). Die Betriebe müssen ihre Flächen nach der EG-Öko-Basisverordnung (EG) 834/2007 und der Durchführungsvorschrift Verordnung (EG) Nr. 889/2008 bewirtschaften, um das Bio-Siegel zu erhalten. Erlaubt sind dabei nur wenige, nicht synthetisch-chemisch hergestellte Wirkstoffe, die in Anhang II der Verordnung 889/2008 aufgeführt sind. Werden dennoch Rückstände konventioneller PSM in den ökologisch erzeugten Lebensmitteln gefunden, können die Lebensmittel nicht mehr unter dem Bio-Siegel verkauft werden. Der Ursprung der PSM-Rückstände ist dabei irrelevant. So können abdriftbedingte PSM-Rückstände im schlimmsten Fall zur Aberkennung des Bio-Siegels führen, ohne dass der Landwirt darauf einen Einfluss hat.

Die angebauten Kulturarten lassen sich in zwei Kategorien unterteilen: Raumkulturen und Flächenkulturen, wobei der Einsatz von PSM mit unterschiedlichen Applikationstechniken erfolgt. Bei Raumkulturen handelt es sich im Wesentlichen um die Dauerkulturen Hopfen, Wein, Obstbäume und Obststräucher. Bei diesen Kulturen erfolgt die Applikation von PSM vor allem in den Raum hinein, die Düsen sind horizontal oder sogar nach oben gerichtet. Bei Flächenkulturen handelt es sich um Kulturen wie Getreide, Hackfrüchten oder Ölsaaten. Die Applikation der PSM erfolgt von oben auf die Fläche. Die Düsen sind folglich nach unten gerichtet.

Auch die Häufigkeit der Behandlungen und die eingesetzten PSM unterscheiden sich zwischen den Kulturen. Einen Überblick darüber geben die Papa (Panel Pflanzenschutzmittel-Anwendungen)-Erhebungen des JKI. Das JKI sammelt jährlich PSM-Anwendungsdaten von Erhebungsbetrieben und wertet diese aus. Unter anderem werden auf Grundlage dieser Erhebungen die Behandlungshäufigkeiten verschiedener Kulturen ermittelt. Die

Behandlungshäufigkeit wird pro Fläche angegeben. Die folgenden Werte zur Behandlungshäufigkeit beziehen sich auf das Jahr 2017. Die höchste Behandlungshäufigkeit fand sich demnach im Apfelanbau mit 20,8 Behandlungen pro Jahr, gefolgt von Weinbau (10,1), Kartoffeln (9,8) und Hopfen (7,2). Abgesehen vom Kartoffelanbau befanden sich die Behandlungshäufigkeiten bei Flächenkulturen zwischen 1,4 (Mais) und 5,6 (Winterraps) Behandlungen pro Jahr und lagen somit deutlich niedriger als bei Raumkulturen (Julius Kühn-Institut, o.D.). Andere Jahre zeigen ein ähnliches Verteilungsmuster. Die Anwendung von PSM erfolgt vor allem in der Vegetationsphase (Frühjahr bis Herbst) und ist abhängig von den Witterungsbedingungen, der Infektionsgefahr und dem Befallsdruck. In Flächenkulturen finden Herbizidanwendungen vor allem im Frühjahr und Herbst statt. Anwendungen von Fungiziden und Insektiziden hingegen nur bei Erreichen von Schwellenwerten. Im Weinbau müssen regelmäßig protektiv Fungizide gespritzt werden, da nur wenige kurativ wirksame Fungizide zur Verfügung stehen. Die Anwendung erfolgt von Ende April bis Mitte August alle 10 bis 14 Tage je nach Witterungsbedingungen und Infektionsdruck. Dadurch handelt es sich bei den PSM-Anwendungen im Weinbau vor allem um Fungizidanwendungen (8,6 Behandlungen pro Jahr). Herbizidanwendungen finden vor allem im Frühjahr statt, teilweise eine zweite Behandlung im Sommer. Behandlungen mit Insektiziden erfolgen nur selten, da Schadorganismen durch Pheromon-Anwendungen und Raubmilbenpopulationen kontrolliert werden (Roßberg, 2009; Julius Kühn-Institut, o.D.). Im Hopfenbau werden in der Regel zweimal pro Saison Herbizide eingesetzt. Insektizide werden bei Bedarf eingesetzt, was im Hopfenbau häufiger (2,9 Behandlungen pro Jahr) als im Weinbau (0,3 Behandlungen pro Jahr) vorkommt. Fungizidbehandlungen sind, wie auch im Weinbau, die häufigsten Anwendungen (6,2 Behandlungen pro Jahr) (Roßberg, 2006; Julius Kühn-Institut, o.D.). Der Apfelanbau ist am behandlungsintensivsten. Vor allem Fungizide müssen über einen längeren Zeitraum gegen Apfelschorf und Apfelmehltau eingesetzt werden (19,0 Behandlungen pro Jahr) (Roßberg & Harzer, 2015; Julius Kühn-Institut, o.D.). Auch der Einsatz von Insektiziden ist im Apfelanbau häufiger als in anderen Kulturarten (4,7 Behandlungen pro Jahr).

1.1.1 Abdrift von Pflanzenschutzmitteln auf Nicht-Zielflächen

PSM können sich über verschiedene Wege während, aber auch lange nach der Applikation in der Umwelt verbreiten. Die Art und Weise, wie sie in die Umwelt gelangen, hängt von ihren physiko-chemischen Eigenschaften ab, z.B. von Dampfdruck, Wasserlöslichkeit oder physikalischer, chemischer und biologischer Abbaubarkeit (Capel et al., 2001; Bedos et al., 2002). Sie gelangen beispielsweise über Verflüchtigung in die Atmosphäre, versickern mit Regenwasser im Boden, können bei starkem Regen durch Oberflächenabfluss die Zielfläche verlassen, werden von Pflanzen oder Tieren aufgenommen und metabolisiert oder driften während der Applikation auf Nachbarflächen ab (Werf, 1996).

Die vorliegende Arbeit legt ihren Fokus auf Abdrift. Schampheleire et al. (2009) unterscheiden vier Hauptfaktoren, die Abdrift bestimmen: Die Wetterbedingungen, die Applikationstechnik, die Umgebungsstruktur und die physiko-chemischen Eigenschaften des PSM. Das Wetter

beeinflusst die Abdrift unter anderem durch die Windgeschwindigkeit, die Windrichtung und die Lufttemperatur (Nordby & Skuterud, 1975). Die Parameter der Applikationstechnik, die einen Einfluss auf Abdrift haben, sind die Fahrgeschwindigkeit des Traktors, die Spritzbalkenhöhe, der Spritzdruck sowie der Düsentyp und die daraus resultierende Tröpfchengröße (Nordby & Skuterud, 1975; Nuyttens et al., 2007). Die Umgebungsstruktur kann Abdrift zum Beispiel durch Pufferstreifen oder Filterstrukturen wie Hecken beeinflussen (Davis et al., 1994). Die physiko-chemischen Eigenschaften, die neben der Applikationstechnik die Tröpfchengröße bestimmen und dadurch einen Einfluss auf die Abdrift haben, sind die Viskosität, die Oberflächenspannung, die Dichte und die Verdunstungsrate der ausgebrachten Spritzbrühe (Schampheleire et al., 2009). Wichtiger als die physiko-chemischen Eigenschaften des Wirkstoffs an sich sind die der verwendeten Formulierung, die zum Beispiel durch Zugabe von Additiven verändert werden können (Carlsen et al., 2006). Neben diesen Einflussfaktoren hängt die Höhe der Abdrift auch von der zu behandelten Kultur ab. Bei der Applikation auf Raumkulturen entsteht mehr Abdrift als bei der Applikation auf Flächenkulturen, da die Düsen im ersten Fall horizontal bzw. nach oben gerichtet sind (Ganzelmeier et al., 1995). Dadurch, dass PSM durch Abdrift auf Nicht-Zielflächen gelangen, kann einerseits ein ökologischer Schaden auf der Nichtzielfläche, andererseits aber auch ein ökonomischer Schaden entstehen, da nicht die komplette für die Wirkung notwendige Menge an PSM auf der Zielfläche ankommt (Schampheleire et al., 2006). Darüber hinaus kann es durch Abdrift auf Nachbarflächen zu gesundheitlichen Risiken für Anwohner und Nebenstehende kommen. Um die Exposition von diesen gering zu halten, gelten Mindestabstände, die bei der Behandlung von landwirtschaftlichen Flächen mit Pflanzenschutzmitteln zu Nachbarflächen eingehalten werden müssen. Bei den Nachbarflächen handelt es sich um für die Allgemeinheit bestimmte Flächen und „Grundstücke[n] mit Wohnbebauung und privat genutzten Gärten“ (Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit, 2016). Des Weiteren müssen die Mindestabstände zu Nebenstehenden eingehalten werden, die sich z.B. auf Wegen in der Nähe der Behandlungsfläche aufhalten. Als Mindestabstand sind seit dem Jahr 2016 2 m bei Anwendungen auf Flächenkulturen und 5 m bei Anwendungen auf Raumkulturen festgelegt (Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit, 2016).

Pflanzenschutzmittel dürfen nach § 3 Absatz 1 des Pflanzenschutzgesetzes (PflSchG) nur nach guter fachlicher Praxis eingesetzt werden. Diese Praxis sieht mehrere Punkte vor, um Abdrift zu verringern: So darf zum Beispiel die Fahrgeschwindigkeit des Traktors 8 km/h und die Windgeschwindigkeit bei der Applikation 5 m/s nicht überschreiten. Die Temperatur soll unter 25 °C liegen (Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, 2010). Des Weiteren stehen diverse Abdrift mindernde Geräte für die Applikation zur Verfügung, die beim JKI im Verzeichnis der verlustmindernden Geräte gelistet sind. Dabei handelt es sich zum Beispiel um driftmindernde Düsen, die die Abdrift um bis zu 99 % reduzieren können, da sie ein gröberes Tropfenspektrum ausbilden. Zudem gibt es Geräte wie z.B. den Tunnelsprüher für den Weinbau, welcher die Rebzeile umschließt

und dadurch PSM aus der Luftphase wieder auffangen kann (Kämpfer et al., 2014). Abdrift kann dadurch um bis zu 85 % reduziert werden (Wenneker & van de Zande, 2008).

Neben der Anpassung der Applikationstechnik ist das Anbringen von Filterstrukturen zwischen Ziel- und Nicht-Zielfläche eine weitere Möglichkeit zur Driftreduzierung. Zum Beispiel wurden von Wenneker & van de Zande (2008) Versuche zur Driftminderung durch Erlen als natürliche Barrieren durchgeführt. Für die Driftversuche wurde eine Apfelplantage mit einem Farbstoff behandelt. Die Nicht-Zielfläche, auf der die Drift gemessen wurde, war durch eine Reihe Erlen von der Apfelplantage getrennt. Nicht belaubte Erlen konnten die Drift um 10 % mindern, belaubte sogar um 60-85 %. Mehrere Studien, die sich mit der Driftreduzierung durch Filterstrukturen wie Hecken beschäftigen, wurden von Kubiak et al. (2014) zusammengefasst. Nicht belaubte Hecken und Bäume mindern Drift demnach um 10-30 %, voll ausgebildete Vegetation sogar um bis zu 90 %. Die Höhe der Filterleistung einer Hecke hängt von deren Höhe, der Durchlässigkeit, der Windgeschwindigkeit und dem Abstand der Hecke zur Behandlungsfläche ab (Davis et al., 1994). Davis et al. (1994) fanden außerdem in ihren Versuchen heraus, dass die geringste Menge an abgedrifteten PSM direkt hinter die Hecke gelangt und die Schutzwirkung dort am größten ist. Die Rückstände, die weiter entfernt von der Hecke gefunden wurden, waren höher als die, die direkt in Windrichtung hinter der Hecke gefunden wurden. Neben der Pflanzung von Hecken können zur Abdriftreduzierung auch Pufferzonen eingerichtet werden, die nicht besprüht werden dürfen (Marrs & Frost, 1997).

1.1.1.1 Abdrifteckwerte

Von 1989 bis 1992 (Ganzelmeier et al., 1995) und von 1996 bis 1999 (Rautmann et al., 2001) wurde von der *Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft*, dem heutigen JKI, eine Reihe von Versuchen durchgeführt, aus denen die Abdrifteckwerte (AEW) abgeleitet wurden. Die AEW geben die Bodendeposition von PSM in Abhängigkeit von der Entfernung zur behandelten Fläche wieder. Die Versuche wurden im Freiland durchgeführt. Verschiedene Kulturarten wurden im 90°-Winkel zur Windrichtung mit Brillantsulfoflavin bzw. einer Kupferformulierung nach der guten fachlichen Praxis behandelt. Bei den behandelten Kulturarten handelt es sich um Wein, Obstbäume, Hopfen und Ackerbaukulturen. Obstbauanwendungen wurden in frühe und späte Entwicklungsstadien eingeteilt, da die Belaubungsdichte zu unterschiedlichen Driftbelägen führt. In Windrichtung wurden Petrischalen in verschiedenen Entfernungen aufgestellt. Nach der Applikation wurden die Petrischalen eingesammelt und die Rückstandshöhe des Farbstoffes ermittelt. Die AEW sind angegeben in Prozent der Aufwandmenge und entsprechen dem 90. Perzentil der gemessenen Werte. Für die Raumkulturen Obstplantage früh und spät, Weinbau und Hopfen sind separate AEW festgesetzt, während Ackerbau alle Flächenkulturen wie Getreide und Ölsaaten zusammenfasst. Die AEW der Raumkulturen sind deutlich höher als die der Flächenkulturen. Die höchsten Rückstandswerte wurden bei der Applikation im frühen Obstbau ermittelt. Hier finden sich in 3 m Entfernung von der behandelten Kultur fast 30 % der Aufwandmenge als

Bodendeposition wieder, wohingegen es beim Ackerbau in 1 m Entfernung nur knapp 3 % sind. Zudem sind bei Raumkulturen die Spritzfolgen geringer.

1.1.1.2 Abdrift auf umliegende, aufragende Vegetation

Die durch Abdrift entstehende Bodendeposition von PSM auf Nicht-Zielflächen ist durch die AEW gut beschrieben. Entsprechende Werte für die Deposition auf aufragender Vegetation existieren nach aktueller Recherche nicht. Die Studien zu Rückständen auf aufragender Vegetation befassen sich überwiegend mit den Einflüssen verschiedener Wirkstoffe auf die Fitness der Pflanzen. Es lassen sich zwei Wege unterscheiden, wie PSM-Rückstände durch Abdrift auf die umliegende Vegetation gelangen: Zum einen durch Sedimentation, die durch die Schwerkraft bedingt ist und zum anderen durch Luftbewegungen, welche die Tröpfchen auf die Pflanzen transportieren. Diese zwei Möglichkeiten werden durch das Zusammenspiel von Windgeschwindigkeit, Tröpfchengröße, den Eigenschaften der Pflanze wie Größe, Form oder Oberflächenbeschaffenheit (Behaarung, Wachsanteil) und die benachbarte Vegetation beeinflusst (Marrs & Frost, 1997). Es wurden mehrere Studien veröffentlicht, die sich mit den Einflüssen von abgedrifteten PSM auf umliegende Vegetation beschäftigen (z.B. Marrs & Frost, 1997; Marrs et al., 1991; Davis et al., 1994). Viele dieser Studien analysieren jedoch nur die Einflüsse der abdriftbedingten PSM-Rückstände auf Wachstum oder Blütenbildung der Pflanze und quantifizieren nicht die Driftbeläge auf der Vegetation. Das Erfassen dieser Einflüsse in Freilandstudien steht vor mehreren Herausforderungen: Die abgedrifteten PSM haben – abgesehen von einigen Herbiziden - meist keinen letalen Effekt auf die Pflanzen, sondern können ggf. deren Vitalität im Vergleich zu nicht betroffenen Pflanzen beeinträchtigen. Diese Effekte zu quantifizieren ist schwierig. Des Weiteren können vor allem schwächere Langzeiteffekte durch geringere Exposition nur schwer identifiziert werden (Marrs & Frost, 1997).

Die nachfolgend beschriebenen Versuche wurden nach der guten fachlichen Praxis durchgeführt. Appliziert wurde mit der Technik für Flächenkulturen. Die beprobten Versuchsobjekte wurden immer in Windrichtung aufgestellt.

In einer Studie von Marrs und Frost (1997) wurden mit mehrjährigen Pflanzen bepflanzte Mikrokosmen in definierten Abständen neben der Versuchsfläche aufgestellt. Die Fläche wurde mit den Herbiziden MCPA, Glyphosat oder Mecoprop besprüht. Appliziert wurde auf eine niedrigwüchsige Wiese. Bei den verwendeten Düsen handelte es sich um Flachstrahldüsen, die Spritzbalkenhöhe betrug 80 cm über der Grasoberfläche und die Windgeschwindigkeit 2-3 m/s. Die Mikrokosmen wurden drei Jahre in Folge exponiert. Die meisten Effekte auf Pflanzenwachstum und Blüte wurden nahe an der applizierten Fläche gefunden. Ab einer Entfernung von 8 m unterschied sich die Entwicklung der Versuchspflanzen nicht signifikant von der Kontrolle.

In einer früheren Studie (Marrs et al., 1991) wurde mit dem gleichen Versuchsdesign der Effekt auf Pflanzen verschiedenen Alters und in unterschiedlicher Umgebung untersucht. Die Windgeschwindigkeit betrug 2-4 m/s. Es wurden die Effekte auf Pflanzen in einem Abstand von 0 m bis 4 m zur applizierten Fläche gemessen. Die meisten Pflanzen erholten sich zwar bis zum Ende der Wachstumsphase (20 Wochen nach der Versuchsdurchführung), zeigten jedoch in allen Entfernungen vier Wochen nach Versuchsdurchführung Schäden, unter anderem in Form von Chlorosen und gehemmttem Wachstum.

Davis et al. (1994) untersuchten den Einfluss von abdriftbedingten MCPA Rückständen auf Tomaten. Die Spritzbalkenhöhe betrug 75 cm über dem Boden. Die Applikation fand mit Flachstrahldüsen bei Windgeschwindigkeiten von 2-4 m/s statt. Trotz Hecke als Barrierestruktur zwischen applizierter Fläche und Tomatenpflanzen in einer Entfernung von 5 m zur applizierten Fläche wurden an den meisten Pflanzen (ca. 98 %) in einem Abstand bis zu 15 m von der Behandlungsfläche Schäden gefunden. Ohne Barrierestruktur wurden an allen Tomatenpflanzen Schäden bis zu einer Entfernung von 15 m gefunden. Bei den gleichen Versuchen mit Kuckucks-Lichtnelken traten deutlich weniger Schäden an den Pflanzen auf.

Auch wenn die aufgeführten Studien sich mit Effekten von Abdrift auf benachbarte Pflanzen beschäftigen und nicht mit der Rückstandshöhe in verzehrbaren Teilen dieser Pflanzen, zeigen sie, dass Rückstände auf benachbarte Vegetation über die Mindestabstände hinaus in ausreichend hohen Konzentrationen gelangen können, um ökologische Effekte zu verursachen. Welche Rückstandskonzentrationen hierbei erreicht werden, kann aus den Studien nicht abgeleitet werden. Neben den Studien zu den Einflüssen von Abdrift auf umliegende Vegetation befassen sich mehrere Studien auch mit den Rückstandshöhen in verschiedenen Entfernungen von der applizierten Fläche und in verschiedenen Höhen. In diesen Studien werden häufig Luftsammler verwendet (z.B. Davis et al., 1994; Løfstrøm et al., 2013; Maybank et al., 1978; Zande et al., 2014b). Rückstandsmengen werden nur angegeben, wenn diese in den Studien als Prozent der Aufwandmenge angegeben werden, da sich andere Angaben nur schlecht für einen Vergleich eignen.

Løfstrøm et al. (2013) ermittelten die Rückstandshöhe von Natrium-Fluorescein nach Applikation auf eine Flächenkultur unter Verwendung von Lockenwicklern, die sie an Masten in unterschiedlichen Höhen aufhängten. Die Spritzbalkenhöhe betrug 50 cm über der behandelten Fläche. Basierend auf dieser Datengrundlage entwickelten sie ein Modell zur Vorhersage von Rückstandswerten in verschiedenen Höhen und Entfernungen. Sowohl die Messwerte der Versuche als auch die Modellvorhersagen ergaben, dass die meiste Drift knapp über der Bodenoberfläche gefunden wurde. Dieses Ergebnis zeigte sich bei unterschiedlichen Versuchsbedingungen, wie verschiedene Windrichtungen und verschiedene Düsentypen.

Phillips und Miller (1999) führten einen Freilandversuch mit einer einzelnen, stationär in 0,5 m Höhe angebrachten Düse durch. Als Tracer verwendeten sie Orange G. Sie maßen die Rückstände in 2 m Entfernung auf passiven Kollektoren, die sie in verschiedenen Höhen

anbrachten. Auch sie fanden die meisten Rückstände in Bodennähe (0,1 m), maßen jedoch nicht die Bodendeposition. Die Rückstandshöhe nimmt mit steigender Höhe ab.

Auch Zande et al. (2014b) führten Abdriftversuche im Freiland durch und ermittelten die Rückstände in unterschiedlichen Höhen und Entfernungen. Die Balkenhöhe war 50 cm über dem nicht bewachsenen Boden und die durchschnittliche Windgeschwindigkeit betrug 2,9 m/s. Sie maßen neben der Bodendeposition auch die Menge Abdrift in Höhen von bis zu 6 m mit Abdriftkollektoren. Diese Messungen erfolgten in 5 m und 10 m Entfernung zur behandelten Kultur. Auch sie kommen zu dem Ergebnis, dass mit steigender Höhe die Rückstandsmenge abnimmt. Jedoch fanden sie, abhängig von der verwendeten Düse, in einer Höhe von 1 m teilweise höhere Rückstände als auf dem Boden. Dieser Effekt war in einer Entfernung von 5 m (knapp 1,5 % der ausgebrachten Menge) stärker ausgeprägt als in einer Entfernung von 10 m (knapp 0,8 % der ausgebrachten Menge) zur behandelten Fläche.

Der Vergleich zwischen Bodendeposition und Rückstandsmengen in verschiedenen Höhen erfolgte nur bei Zande et al. (2014b) Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass direkt oberhalb der Bodenoberfläche mehr Abdrift verbleibt als auf dem Boden. Die Rückstandshöhe nimmt dann mit steigender Höhe wieder ab. Diese Versuche lassen vermuten, dass Pflanzen in bis zu 1 m Abstand zum Boden am stärksten der Abdrift ausgesetzt sind.

Die bisher beschriebenen Arbeiten befassen sich mit der Abdrift nach Behandlung einer Flächenkultur. Grella et al. (2017) führten Abdriftversuche im Freiland durch, bei denen sie Wein bzw. Obstplantagen behandelten. Sie quantifizierten sowohl die Bodendeposition, als auch die Deposition in verschiedenen Höhen auf Luftsammlern in einer Entfernung von 5 m und 10 m zur behandelten Fläche. Nach der Applikation auf Weinreben fanden sie sowohl in 5 m Entfernung als auch in 10 m Entfernung die geringsten Rückstände in einer Höhe von 1,5 m. Die Rückstandsmenge nimmt sowohl zum Boden hin als auch nach oben hin zu. Mit einer konventionellen Düse konnten sie in 5 m Entfernung zur applizierten Fläche in einer Höhe von 5 m ca. 25 % der applizierten Menge wiederfinden. In einem weiteren Versuch ermittelten sie die abdriftbedingten Rückstände nach Behandlung einer Apfelplantage. Die in der Luft gemessene Abdrift zeigt ein anderes Bild als in den Versuchen mit Weinreben. Hier sind die Rückstandsmengen in einer Höhe von 1,5 m am höchsten und nehmen nach oben und nach unten hin leicht ab. Die gemessenen Rückstandsmengen sind niedriger. Die höchste gemessene Rückstandsmenge beträgt knapp 8 % der Aufwandmenge in einer Entfernung von 5 m zur behandelten Kultur und einer Höhe von 1,5 m.

Eine Studie von Zande et al. (2014a) zeigt die Variabilität der Rückstandshöhe durch Abdrift nach Applikation in Raumkulturen. Unter anderem Applikationstechnik und Belaubungsgrad der behandelten Kultur wirken sich stark auf die Rückstandshöhe aus. Für die Versuche verwendeten sie entweder ein Axialgebläse oder ein Querstromgebläse und das Entwicklungsstadium der Obstbäume reichte von nicht belaubt bis zur voll ausgeprägten Belaubung. Je nach Versuchsbedingungen konnten sie in einer Entfernung von 7,5 m zur

behandelten Fläche maximal 19 % bis 53 % der Aufwandmenge wiederfinden. Die Rückstände wurden in einer Höhe < 2 m mit Luftsammlern gemessen.

Eine Studie von Butler Ellis et al. (2014) betrachtet einen weiteren Aspekt: Viele Abdriftexperimente (z.B. Ganzelmeier et al., 1995, Zande et al., 2014a und 2014b, Løfstrøm et al., 2013, Davis et al., 1994) werden mit einer Spritzrichtung von 90° zur Windrichtung durchgeführt. Butler Ellis et al. (2014) führten Versuche zur Abdrift in einer Obstplantage durch. Sie maßen einmal die Rückstände nach Applikation senkrecht zur Windrichtung und in einem anderen Versuch nach Applikation in Windrichtung. Die Kollektoren wurden bei beiden Versuchen in Windrichtung hinter der applizierten Fläche angebracht. Sie fanden nach der Applikation in Windrichtung mehr Rückstände auf den Kollektoren als bei der Applikation senkrecht zur Windrichtung.

In einer Studie von Koch et al. (2002) wurden Rückstandsmengen direkt in der Vegetation gemessen. Sie führten Abdriftversuche im Freiland durch, bei denen sie u.a. die Rückstände in Hecken maßen. Sie applizierten Natrium-Fluorescein auf einer Wiese und ermittelten die Driftbeläge in einer Hecke in unterschiedlichen Höhen. Sie fanden die höchsten Rückstände in einer Höhe von 0-50 cm. Die Driftrückstände nehmen mit steigender Höhe ab.

Die aufgeführten Studien zeigen, dass auch in Entfernungen, die über die Mindestabstände hinausgehen, abgedriftete PSM-Rückstände gefunden werden. Des Weiteren deuten sie darauf hin, dass je nach Applikationstechnik in einer Höhe bis zu 1,5 m die meisten Rückstände gefunden werden und dass diese auch höher als die Bodendeposition sein können. Zudem wird deutlich, dass Rückstände nach Applikationen auf Raumkulturen sehr variabel sein können.

1.2 Verwendete Methoden

1.2.1 Semi-Freilandversuche in einem Windtunnel

Abdriftversuche im Freiland stehen vor der Herausforderung vieler unkontrollierbarer Bedingungen. Unter anderem Windgeschwindigkeit und Windrichtung, die Abdrift stark beeinflussen, lassen sich nicht kontrollieren (Hassan & Sidik, 2017). Abdriftversuche müssen deshalb spontan bei geeigneten Wetterbedingungen durchgeführt werden. Eine Reproduzierbarkeit derselben Versuchsbedingungen ist nahezu unmöglich. Eine Alternative zu Freilandversuchen sind Versuche im Windtunnel. Diese werden zum Beispiel durchgeführt, um das relative Maß an Driftreduzierung von driftmindernder Technik (z.B. Düsen) zu bestimmen (Ozkan et al., 1997, Schampheleire et al., 2008). Dazu wird die im Windtunnel gemessene Abdrift, die durch eine driftreduzierende Maßnahme erzeugt wurde, mit einer im Windtunnel gemessenen Referenz verglichen und die Abdriftreduzierung bestimmt. Schampheleire et al. (2008) verglichen beispielsweise verschiedene Filterstrukturen und ermittelten deren Driftreduzierung. Auch der Einfluss von Windgeschwindigkeit, Fahrgeschwindigkeit und Düsenart auf die Zerstäubung der Spritzflüssigkeit kann in einem

Windtunnel untersucht werden, wie es zum Beispiel von Hassan und Sidik (2017) gemacht wurde.

Phillips und Miller (1999) beschäftigten sich mit der Übertragbarkeit von Abdriftversuchen im Windtunnel auf das Freiland. Sie applizierten den Farbstoff Orange G sowohl im Freiland als auch im Windtunnel über eine stationäre Düse und maßen die Rückstände in einem Abstand von 2 m in verschiedenen Höhen. Sie versuchten die Windströmung im Windtunnel möglichst realistisch zu gestalten, indem sie Barrieren in den Windfluss einbauten. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass vor allem bei niedrigen Windgeschwindigkeiten unter 2 m/s die im Windtunnel gemessenen Rückstandsmengen vergleichbar mit denen im Freiland sind.

Stadler und Regenauer (2005) verglichen die im Windtunnel gemessene Bodendeposition mit der im Freiland gemessenen und folgerten, dass sich die Versuche nicht 1:1 auf das Freiland übertragen lassen. Sie stellten fest, dass die Bodendeposition im Windtunnel schneller abnimmt. Sie führen dies darauf zurück, dass Teile der Driftwolke an der Tunnelwand haften bleiben und somit weniger auf dem Boden deponieren kann.

Eine Übertragung von Ergebnissen aus Windtunnelversuchen auf das Freiland ist folglich abhängig von der Fragestellung möglich. Geht es um die relative Driftreduzierung verschiedener Geräte, die im Vergleich zu einer Referenz im Windtunnel gemessen werden, können die Ergebnisse auf das Freiland übertragen werden. Eine direkte Übertragung gemessener Rückstände in Abhängigkeit von der Entfernung auf das Freiland ist jedoch vor allem bei hohen Windgeschwindigkeiten nur mit Einschränkungen möglich.

1.2.1.1 Pyranin als Tracer für Abdriftversuche

Für die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Versuche im Windtunnel wurde der Fluoreszenzfarbstoff Pyranin als Tracer gewählt. Fluoreszenz-Farbstoffe werden schon seit über 50 Jahren als Tracer verwendet (Schleier et al., 2010) und finden häufig Einsatz bei Abdriftversuchen (z.B. Butler Ellis et al., 2010; Davis et al., 1994; Wenneker & van de Zande, 2008; Maybank et al., 1978; Løfstrøm et al., 2013). Von der Verwendung eines oder mehrerer PSM für die Durchführung der Abdriftversuche wurde abgesehen, da die physiko-chemischen Eigenschaften der PSM und ihrer Formulierung das Driftverhalten beeinflussen können (Schampheleire et al., 2009). PSM können unterschiedlich schnell von Pflanzen aufgenommen oder durch Photolyse abgebaut werden (Marrs & Frost, 1997). Ziel dieser Arbeit war es, eine erste Abschätzung von Rückstandshöhen auf benachbarten Lebensmittelkulturen vorzunehmen, unabhängig von dem Einfluss verschiedener Eigenschaften von PSM. Außerdem sollen die Ergebnisse in Bezug zu den von Ganzelmeier et al. (1995) und Rautmann et al. (2001) ermittelten AEW gebracht werden, die auch unter Verwendung eines Farbstoffes durchgeführt wurden.

Mit der Verwendung von Pyranin in Windtunnelversuchen wurden am *Institut für Agrarökologie* bereits gute Erfahrungen im Rahmen einer Bachelorarbeit (Seitz, 2014)

gesammelt, welche sich mit Abdriftminderung durch verschiedene Düsen und Additive beschäftigt. Auch andere Abdriftversuche und Versuche zu Applikationstechniken wurden mit Pyranin durchgeführt (z.B. Koo et al., 1999, Farooq et al., 2003, Khot et al., 2014). Nairn und Forster (2015) und Herbst und Wygoda (2006) empfehlen Pyranin als Tracer für Abdriftversuche auf Grund der guten Wasserlöslichkeit und geringen Nachweisgrenze.

1.2.1.2 Auswahl der Versuchspflanzen

Für die Versuche wurden Tomaten, Erdbeeren und Kopfsalat gewählt. Die Versuchspflanzen wurden auf Grund verschiedener Kriterien ausgewählt und stellen einen kritischen Fall für die Verbraucherexposition über die Nahrung dar. Der essbare Teil der Pflanze wächst oberirdisch und ist sowohl roh als auch ohne vorheriges Schälen verzehrbar. Die Kulturen weisen eine vergleichsweise lange Erntezeit auf und ermöglichen dadurch flexible Versuchszeiten. Wichtig waren auch eine gute Handhabung der Pflanzen und ein rasches Wachstum bis zur Fruchtreife, um Aufzucht und Versuch im gleichen Jahr zu gewährleisten. Ziel war die Auswahl von drei verschiedenen Versuchspflanzen, die sich in ihrem Habitus unterscheiden, das heißt zum Beispiel bodennah oder in die Höhe wachsen. Des Weiteren sollten die verwendeten Pflanzen möglichst häufig in deutschen Gärten angebaut werden. Dazu wurde eine Studie des BDG aus dem Jahr 2008 verwendet, in der an 83 Standorten knapp 50 ha Kleingartenfläche kartiert wurde. Die Ergebnisse zeigten, dass Tomaten zu den fünf am häufigsten in Kleingärten kultivierten Pflanzen gehören und die Garten-Erdbeere auf Platz 9 liegt. Ein weiteres Kriterium stellte die Verzehrsmenge deutscher Verbraucherinnen und Verbraucher dar. Diese wurde dem NVS (Nationale Verzehrsstudie) II-Modell (abrufbar unter: https://www.bfr.bund.de/de/a-z_index/verzehrsstudie-6262.html, zuletzt geprüft am 27.08.2019) entnommen, welches vom BfR und der Universität Paderborn auf Grundlage der NVS II Studie (Max Rubner-Institut, 2008) sowie der VELS-Studie (Verzehrsstudie zur Ermittlung der Lebensmittelaufnahme von Säuglingen und Kleinkindern) (BfR, 2005) erstellt wurde. Das NVS II-Modell gibt Verzehrsmengen-Äquivalente verschiedener Lebensmittel an. Das Verzehrsmengen-Äquivalent umfasst nicht nur das unbehandelte rohe Lebensmittel, sondern auch die aufgeschlüsselten Bestandteile verzehrfertiger Lebensmittel. Beispielsweise handelt es sich bei dem Verzehrsmengen-Äquivalent von Tomaten um roh verzehrte Tomaten, aber auch um die über z.B. Tomatensauce aufgenommene Menge an Tomaten. Das Verzehrsmengen-Äquivalent von Erdbeeren beträgt 500 g/Tag, das von Tomaten 240 g/Tag. Das Verzehrsmengen-Äquivalent der dritten Versuchspflanze Kopfsalat lässt sich nicht genau angeben, da dieser zusammen mit anderen Salatarten aufgeführt wird (80 g/Tag). Die Werte beziehen sich auf die gesamte Bevölkerung Deutschlands.

1.2.2 Ermittlung von Nachbarschaftsverhältnissen mit geographischen Informationssystemen

Geographische Informationssysteme (GIS) werden verwendet um räumliche Daten zu erfassen, zu bearbeiten und zu verwalten. Mit GIS können einfache Aufgaben erfüllt werden, wie die Kartierung von Flächen und die Erstellung von Karten, oder auch umfassendere, wie komplexe Routingalgorithmen auf Grundlage verschiedener Kriterien. In der vorliegenden Arbeit sollen Nachbarschaftsverhältnisse zwischen landwirtschaftlich genutzten Flächen und Gärten ermittelt werden. Dabei geht es um die Distanzen, die zwischen den Flächen liegen und die Ermittlung von Hotspots in Deutschland, in denen landwirtschaftliche Flächen und Gärten besonders häufig benachbart zueinander liegen. Da Abdrift mit steigender Entfernung abnimmt, ist es für die Beurteilung der Relevanz abdriftbedingter Rückstände wichtig zu wissen, wie häufig Gärten nahe an landwirtschaftlichen Flächen liegen. Für die Ermittlung der Nachbarschaftsverhältnisse in GIS wurde für Deutschland das digitale Landschaftsmodell des amtlich topographisch-kartographischen Informationssystems (ATKIS) verwendet. Für weitere Berechnungen für Rheinland-Pfalz (RLP) wurden die Daten des amtlichen Liegenschaftskatasterinformationssystems herangezogen (ALKIS). Letztere haben den Vorteil, dass sie auf dem Liegenschaftskataster basieren und dementsprechend alle Flächen erfassen und die Flächengrenzen genau eingetragen sind. Diese Daten standen jedoch nur für RLP zur Verfügung.

2 Zielsetzung

Im Zulassungsverfahren von PSM werden Rückstände, die auf benachbarte verzehrbare Kulturen gelangen, gegenwärtig nicht berücksichtigt. Dies kann unter anderem dann zu einer potentiellen und in der Regel unerkannten Exposition von Verbrauchern führen, wenn Klein- und Hausgärten, in denen Lebensmittel angebaut werden, direkt neben behandelten landwirtschaftlichen Flächen liegen und sich Ernte- und Applikationszeiträume überschneiden. Die im privaten Garten angebauten Produkte unterliegen normalerweise nicht der Lebensmittelüberwachung. Natürlich erfolgt Abdrift auch zwischen verschiedenen landwirtschaftlichen Nutzflächen. Da zum einen die produzierte Ware vermarktet wird und somit der Lebensmittelüberwachung unterliegt, zum anderen die Nutzflächen in der Regel größer sind als private Gärten und die Rückstände in den randständigen Pflanzen durch Vermischung mit der Ernte auf dem Rest der Fläche in vielen Fällen kompensiert werden, wird diese Problematik im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht in den Fokus genommen. Einen Sonderfall stellt allerdings die Nachbarschaft von konventionell und ökologisch bewirtschafteten Flächen dar, da Rückstände chemischer Pflanzenschutzmittel in ökologisch angebaute Ware weitreichende wirtschaftliche Konsequenzen haben können. Diese Nachbarschaftsbeziehung wird daher ebenfalls im Rahmen der vorliegenden Arbeit beleuchtet.

Um die Relevanz und das Ausmaß der Abdrift-Thematik besser beurteilen zu können, sollen in der vorliegenden Arbeit zwei zentrale Fragestellungen beantwortet werden:

1. Wie hoch sind durch Abdrift entstehende Rückstände von PSM auf Lebensmittel liefernden Kulturen, die benachbart zu landwirtschaftlich genutzten Flächen kultiviert werden?
2. Wie sind die Nachbarschaftsverhältnisse zwischen landwirtschaftlich genutzten Flächen und Haus- und Kleingärten bzw. ökologisch bewirtschafteten Flächen?

Die Bearbeitung der Fragen erfolgte mittels Windtunnelversuchen und geodatenbasierten Analysen. Der Hauptfokus lag auf Haus- und Kleingärten in Nachbarschaft zu landwirtschaftlichen Nutzflächen. Mit Hilfe der Windtunnelversuche wurden Rückstandshöhen auf benachbarten Lebensmittelkulturen ermittelt und anschließend mit den AEW korreliert, um eine Ermittlung der Deposition auf benachbarten Kulturen über die Bodendeposition im Freiland zu ermöglichen. Mit den geodatenbasierten Analysen wurden die Nachbarschaftsverhältnisse der genannten Flächen betrachtet und Distanzen zwischen ihnen quantifiziert. Des Weiteren wurden Hotspots detektiert, bei denen Landwirtschaftsflächen und Gärten besonders häufig nah beieinander liegen. Neben den Nachbarschaftsverhältnissen zwischen landwirtschaftlich genutzten Flächen und Haus- und Kleingärten wurden auch Nachbarschaftsverhältnisse zwischen ökologisch und konventionell bewirtschafteten Flächen betrachtet.

3 Experimenteller Teil – Semi-Freilandversuche im Windtunnel

3.1 Material und Methoden

3.1.1 Eigenschaften von Pyranin

Als Tracer für die Versuche wurde Pyranin 120 % (Fa. Simon und Werner GmbH, Chargennummer: CHT91115) verwendet. Pyranin ist ein grün-gelblicher Fluoreszenzfarbstoff. Die Fluoreszenz wurde mit dem Fluoreszenz-Reader FLx800 (Fa. BioTek) bei einem Gain von 45 gemessen. Für die Fluoreszenzmessungen wurden schwarze 96-Well-Mikrotiterplatten verwendet. Das Emissionsmaximum von Pyranin liegt bei 504 nm und das Exzitationsmaximum bei 402 nm (Herbst & Wygoda, 2006). Für die Filterung des Lichts wurde für die Anregung ein 400/30 nm Filter verwendet und für die Emission ein 508/20 nm Filter.

Pyranin ist unter den im Weiteren aufgeführten Versuchsbedingungen stabil, so dass es zu keinem Abbau des Farbstoffes während der Versuche kam. Auch der quantitative Nachweis des Farbstoffes durch das Abwaschen von den verschiedenen verwendeten Versuchsobjekten zeigte hohe Wiederfindungen im Vergleich zu den theoretisch zu erwartenden Werten. Diese Eigenschaften wurden in Vorversuchen untersucht (Anhang I).

Nachweisgrenze (NG) und Bestimmungsgrenze (BG) wurden nach der in DIN 32645:2008-11 beschriebenen Leerwertmethode (Schnellschätzung) bestimmt.

Die NG wurde mit Gleichung 1 berechnet:

$$x_{(NG)} = \phi_{n;\alpha} * s_L / b \quad (1)$$

mit

$x_{(NG)}$ = Nachweisgrenze

ϕ = Faktor zur Schnellschätzung der Nachweisgrenze $x_{(NG)}$

n = Anzahl der Wiederholungsmessungen

α = Signifikanzniveau

s_L = Standardabweichung der Messwerte der Leerprobe $y_{L,i}$

b = Steigung der Kalibriergeraden.

Die BG wurde mit Gleichung 2 berechnet:

$$x_{(BG)} = k * \phi_{n;\frac{\alpha}{2}} * s_L / b \quad (2)$$

$x_{(BG)}$ = Bestimmungsgrenze

φ = Faktor zur Schnellschätzung der Nachweisgrenze $x_{(NG)}$

n = Anzahl der Wiederholungsmessungen

α = Signifikanzniveau

S_L = Standardabweichung der Messwerte der Leerprobe $y_{L,i}$

b = Steigung der Kalibriergeraden

$k > 1$, frei wählbar.

3.1.2 Bestimmung des Tropfenspektrums

Mit einem Laser-Niederschlags-Monitor (Fa. Thies Klima) wurden Tropfenanzahl, -durchmesser, Fallgeschwindigkeit und Ausstoßmenge der verwendeten Düsen (Flachstrahldüse: XR 11003-VK, Keramik (Fa. TeeJet); Hohlkegeldüse: ATR 80 (Fa. AlbuZ)) gemessen. Die Flachstrahldüse wurde 100 cm und die Hohlkegeldüse 175 cm über dem Laser positioniert. Appliziert wurde Wasser bei einem Druck von 4 bar.

3.1.3 Aufbau des Testsystems

Für die Abdriftversuche steht auf dem Gelände der *RLP AgroScience GmbH* ein Windtunnel zur Verfügung, welcher sich aus einem Folientunnel und einem Windregister zusammensetzt (Abbildung 1). Der Folientunnel ist 55 m lang, 6,5 m breit und 3,1 m hoch und besteht aus einem feuerverzinkten Stahlrahmen, welcher mit einer Folie bespannt ist. Am Einlass des Folientunnels befindet sich ein mit der Folie abschließendes Windregister bestehend aus 26 synchron arbeitenden Ventilatoren, die Windgeschwindigkeiten bis zu 5 m/s erzeugen können. Das hintere Ende ist offen.



Abbildung 1: Blick in den Windtunnel auf die Zielfläche und das Windregister.

Der Innenbereich des Windtunnels ist geteilt in eine Zielfläche (beginnend ca. 5 m hinter dem Windregister), welche 25 m lang und 4 m breit ist und eine Nicht-Zielfläche (anschließend an die Zielfläche bis zum offenen Ende des Tunnels) (Abbildung 2). Sowohl Zielfläche als auch Nicht-Zielfläche waren während der Versuche nicht bewachsen, so dass der von dem Windregister erzeugte Luftstrom nicht durch Vegetation beeinflusst wurde.

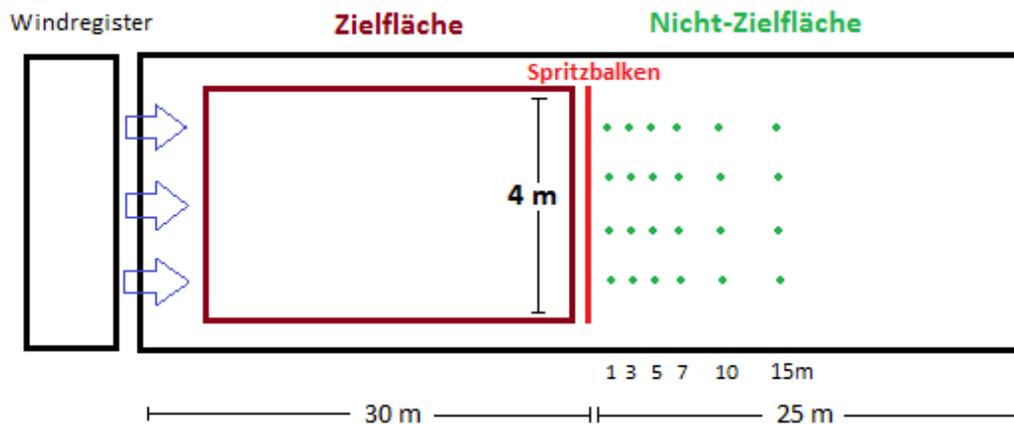


Abbildung 2: Schematische Darstellung der Grundfläche im Inneren des Windtunnels und des Versuchsaufbaus.

Für die Versuche wurde zwischen der Zielfläche und der Nicht-Zielfläche quer zur Windrichtung ein von der Firma Ebinger GmbH konstruierter Spritzbalken installiert. Das Spritzgestänge hat eine Länge von 5 m und lässt sich in der Höhe verstellen (0 m bis 1,80 m). An dem Spritzgestänge können Düsen angebracht werden, welche über einen Schlauch mit einem Spritztank (Druckspeicher Sprühgerät Spray-Matic 20S, Fa. Birchmeier) verbunden sind. Letzterer ist an einen Kompressor angeschlossen. Des Weiteren ist an dem Schlauch ein Magnetventil zwischengeschaltet, welches über eine Zeitschaltuhr gesteuert werden kann. Der Spritzbalken wurde für alle Versuche so aufgestellt, dass er sowohl links als auch rechts 50 cm über die Außenbegrenzung der Zielfläche hinausragt.

Auf der Nicht-Zielfläche wurden in den Abständen von 1, 3, 5, 7, 10 und 15 m zum Spritzbalken je 4 farblich markierte Messpunkte mit einem Abstand von je 1 m zueinander angebracht. Die äußeren Markierungen je Entfernung wurden so angebracht, dass sie in 50 cm Abstand zum Außenrand der Zielfläche liegen (Abbildung 3). Für die Versuche wurden 2 verschiedene Testsysteme verwendet:

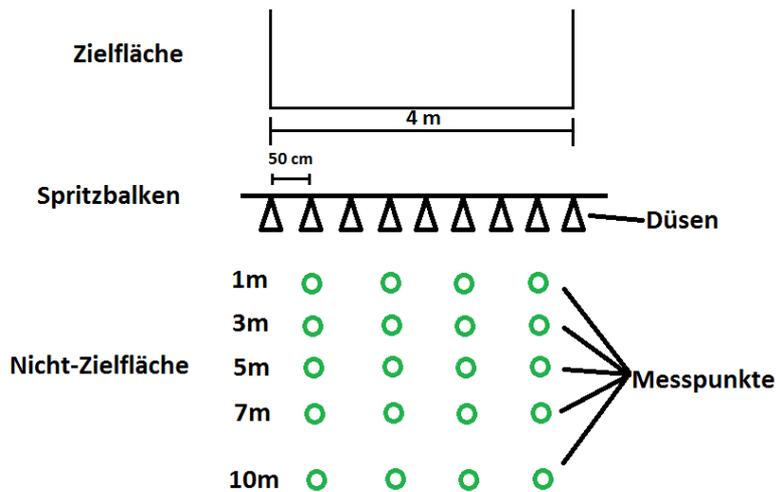


Abbildung 3: Ausrichtung der Messpunkte und Düsen (Testsystem Flächenkultur).

Testsystem 1: Simulation der Applikation von PSM auf eine Flächenkultur (kurz: Testsystem Flächenkultur)

An den Spritzbalken wurden neun Flachstrahldüsen der Firma TeeJet (XR 11003-VK, Keramik) mit je 50 cm Abstand zueinander, und somit auf 4 m Länge, angebracht. Die Düsen wurden auf den Boden gerichtet und so angebracht, dass die Spritzfächer einen Winkel von ca. 5-10° zur Balkenachse einnehmen. Die äußeren Düsen befanden sich auf Höhe der Außenränder der 4 m breiten Zielfläche. Jede zweite Düse befand sich auf Höhe eines Messpunktes (Abbildung 3). Die Düsenhöhe wurde auf 110 cm festgesetzt. Für die Versuche wurden die Messpunkte der Entfernungen 1, 3, 5, 7 und 10 m verwendet. In Abhängigkeit von der Entfernung wurden verschiedene Applikationszeiten (Tabelle 1, Tabelle 2 und Tabelle 3, Kapitel 3.1.4) verwendet, um ein Herabtropfen der Spritzflüssigkeit von den Versuchspflanzen bei hohen Applikationszeiten und geringen Entfernungen zu vermeiden. Die Entfernungen mit derselben Applikationszeit wurden gemeinsam in einem Versuch untersucht (außer Tomaten).

Testsystem 2: Simulation der Applikation von PSM auf eine Raumkultur (kurz: Testsystem Raumkultur)

Für dieses Versuchsdesign wurden Hohlkegeldüsen der Firma Albus (ATR 80) verwendet, welche in einem Abstand von 35 cm zueinander angebracht wurden. Die Düsen wurden auf den Boden ausgerichtet. Es wurden insgesamt 13 Düsen gleichmäßig auf einer Fläche von 420 cm auf dem Gestell verteilt. Der Düsenabstand zum Boden wurde auf 175 cm gesetzt. Für die Versuche mit diesem Testsystem wurden die Messpunkte der Entfernungen 1, 3, 5, 7, 10 und 15 m verwendet. In Abhängigkeit von der Entfernung wurden verschiedene Applikationszeiten (Tabelle 1, Tabelle 2 und Tabelle 3, Kapitel 3.1.4) verwendet. Die

Entfernungen mit derselben Applikationszeit wurden gemeinsam in einem Versuch untersucht (außer Tomaten).

3.1.4 Allgemeiner Ablauf der Abdriftversuche

Jeder Versuch wurde mit beiden Testsystemen durchgeführt und dreimal wiederholt. Als erstes wurde der Spritztank mit 20 l einer 0,15 g/l Lösung Pyranin gefüllt und ein Druck von 4 bar mit Hilfe eines Kompressors am Spritztank aufgebaut. Anschließend wurde die Applikationslösung so lange appliziert, bis sich keine Luft mehr im Schlauch befand. Der Spritztank wurde wieder bis zur 20 l Marke aufgefüllt, die Flüssigkeit im Tank gut durchmischt und eine Probe für die spätere Kalibrierung der Fluoreszenzmessung entnommen. Auf die Messpunkte wurden die Versuchsobjekte (Petrischale bzw. Versuchspflanze) platziert. Ca. 5 cm vor jeder Versuchspflanze wurde ergänzend eine Petrischale ohne Deckel platziert. Die Zeitschaltuhr wurde eingestellt. Die Ventilatoren des Windregisters wurden auf 42 Hz gestellt, was einer Windgeschwindigkeit von ca. 4,2 m/s auf Höhe des Spritzbalkens entspricht (gemessen mit PL-130 AN, Anemometer Fa. Voltcraft). Nach ca. 2 min hatte sich eine laminare Strömung eingestellt und die Applikation konnte über die Zeitschaltuhr gestartet werden. Ca. 10 s nach Beendigung der Applikation wurden die Versuchsobjekte und die Probe aus dem Spritztank eingesammelt, lichtdicht verpackt und in einem Labor weiterverarbeitet (siehe Kapitel 3.1.5).

3.1.5 Bearbeitung der Proben und Fluoreszenzmessung im Labor

Für die Berechnung der Konzentration wurde die Menge der Spritzflüssigkeit in den Petrischalen durch Wiegen (unter Annahme einer Dichte von 1) auf 0,01 g genau bestimmt. Das Leergewicht der Petrischalen wurde vor den Versuchen bestimmt. In jede Petrischale wurden 50 ml destilliertes Wasser gegeben und die Petrischale vorsichtig geschwenkt, so dass die Applikationslösung vom Rand gelöst wurde. Die Petrischalen wurden für ca. 10 min auf einen Schüttler gestellt. Danach wurden aus jeder Petrischale zweimal 300 µl entnommen und jeweils in eine 96-Well-Platte pipettiert. Die Probengefäße mit den Proben der Versuchspflanzen wurden geschüttelt, aus jedem je zweimal 300 µl entnommen und in eine 96-Well-Platte pipettiert. Die Fluoreszenz der Proben wurde gemessen.

3.1.6 Ermittlung der Bodendeposition im Windtunnel

Für die Ermittlung der Bodendeposition wurden die Versuche wie in Kapitel 3.1.4 beschrieben durchgeführt. Als Versuchsobjekte wurden Petrischalen mit einem Durchmesser von 145 mm und einer Höhe von 20 mm verwendet.

3.1.7 Abdriftversuche mit Erdbeeren als Versuchspflanze

Kultivierung der Erdbeerpflanzen für die Abdriftversuche

Für die Versuche wurden Erdbeerpflanzen der Sorte HUMMI® Rimona verwendet. Die Sorte trägt Früchte von Juni bis September, die eine Größe von bis zu 4 cm erreichen. Die Pflanzen wurden bis zum Ende des Nachtfrosts im Gewächshaus kultiviert, danach im Freien. Sie wurden einmal wöchentlich mit Hakaphos Blau (Fa. Compo Expert) gedüngt. Außerhalb der Versuchszeit wurden reife Früchte regelmäßig von den Pflanzen entfernt.

Durchführung der Abdriftversuche

Die Versuche wurden wie in Kapitel 3.1.4 beschrieben je dreimal mit beiden Testsystemen durchgeführt. Die Erdbeeren wurden so ausgerichtet, dass möglichst viele Früchte in Richtung des Spritzbalkens zeigten. Die Versuche wurden getrennt nach Applikationszeiten durchgeführt, welche in Tabelle 1 aufgeführt sind. Vor den Versuchen wurden 500 ml fassende Weithalsflaschen mit je 100 ml destilliertem Wasser gefüllt. Nach Durchführung der Applikation wurden die Flaschen unter die Erdbeeren gehalten und die Erdbeeren so abgeschnitten, dass sie in das Wasser fielen. Pro Pflanze wurden so viele exponierte Erdbeeren wie möglich in einem Behälter gesammelt. Im Labor wurde das Gewicht der eingesammelten Erdbeeren je Probe auf 0,01 g genau bestimmt.

Tabelle 1: Applikationszeiten der Versuche im Windtunnel mit Erdbeeren als Versuchspflanze.

Entfernung [m]	Applikationszeit [s]	
	Testsystem: Flächenkultur	Testsystem: Raumkultur
1	3	5
3	10	
5		20
7	30	
10		
15	-	

3.1.8 Abdriftversuche mit Tomaten als Versuchspflanze

Kultivierung der Tomatenpflanzen für die Versuche

Bei den Versuchspflanzen handelte es sich um Tomaten der Sorte „Phantasia“. Die Tomaten wurden in einem Gewächshaus kultiviert. Die Pflanzen wurden wöchentlich ausgegeizt und

mit Hakaphos blau (Fa. Compo Expert) gedüngt. Ab dem Zeitpunkt, an dem sie eine Höhe von 160 cm erreicht hatten, wurden sie wöchentlich auf diese Größe zurückgeschnitten.

Durchführung der Abdriftversuche

Die Versuche wurden mit beiden Testsystemen wie in Kapitel 3.1.4 beschrieben durchgeführt und je dreimal wiederholt. Die Abdriftversuche fanden, anders als bei den anderen Kulturen, für jede Entfernung einzeln statt, um den Einfluss von Luftverwirbelungen durch weiter vorne stehende Pflanzen zu minimieren. Die Tomaten wurden so ausgerichtet, dass möglichst viele Früchte in Richtung des Spritzbalkens zeigten. Die Applikationszeiten sind in Tabelle 2 aufgeführt.

Für die Versuche wurden 3,6 l fassende Fässer mit je 500 ml destilliertem Wasser vorbereitet. Pro Pflanze wurden fünf dem Spritzbalken zugewandte Früchte eingesammelt, die möglichst auf mittlerer Höhe an der Tomatenpflanze hingen. Für die Entnahme der Früchte wurde das Fass nahe unter die einzusammelnde Frucht gehalten. Die Tomate wurde mit einer Gartenschere abgeschnitten, so dass sie in das Fass fiel. Das Gewicht der Tomaten wurde im Labor je Probe auf 0,01 g genau bestimmt.

Tabelle 2: Applikationszeiten der Versuche mit Tomaten als Versuchspflanze.

Entfernung [m]	Applikationszeit [s]	
	Testsystem: Flächenkultur	Testsystem: Raumkultur
1	3	5
3	10	
5		20
7		
10	30	30
15	-	

3.1.9 Abdriftversuche mit Kopfsalat als Versuchspflanze

Bezug der Kopfsalate

Die Kopfsalate wurden am Versuchstag von einem ortsansässigen Bauern (Fa. Gemüseanbau Geil) bezogen.

Durchführung der Abdriftversuche

Vor den Versuchen wurde von 20 Salatköpfen das Gewicht bestimmt und der Mittelwert für die spätere Auswertung bestimmt. Die Versuche wurden wie in Kapitel 3.1.4 beschrieben je dreimal mit beiden Testsystemen durchgeführt. In Abhängigkeit von der Entfernung wurden verschiedene Applikationszeiten (Tabelle 3) verwendet. Die Versuche wurden getrennt nach Applikationszeit durchgeführt. Für jeden Salatkopf wurde ein 12l Eimer mit je 3l destilliertem Wasser vorbereitet. Nach der Applikation wurden die Salatköpfe vorsichtig von unten genommen und kopfüber in die Eimer gelegt. Das Pyranin wurde durch Drehen des Salatkopfes nach rechts und links im Eimer abgewaschen. Das Einsammeln der Salatköpfe erfolgte von der niedrigsten bis zur höchsten erwarteten Konzentration des Tracers.

Tabelle 3: Applikationszeiten der Versuche im Windtunnel mit Kopfsalat als Versuchspflanze.

Entfernung [m]	Applikationszeit [s]	
	Testsystem: Flächenkultur	Testsystem: Raumkultur
1	4	10
3	10	
5		
7	30	30
10		
15		

3.1.10 Ermittlung der Kalibriergeraden

Für jeden Versuchsdurchgang wurde eine Kalibrierung mit der gesammelten Tankmischungsprobe durchgeführt. Es wurden die in Tabelle 4 aufgeführten Konzentrationen angesetzt.

Tabelle 4: Pipettierschema für die Kalibrierung.

Konzentration [mg/l]	Stocklösung 1 (0,15 g/l) [µl]	Stocklösung 2 (1,05 mg/l) [µl]	destilliertes Wasser [µl]
3	20	-	980
1.05	7	-	993
0.45	3	-	997
0.105	-	100	900
0.07875	-	75	925

Es wurden je zweimal 300 µl der Standards in eine 96-Well-Platte pipettiert, die Fluoreszenz gemessen und die Mittelwerte ermittelt. Die Kalibriergerade wurde mit Hilfe einer

gewichteten, linearen Regression (Wichtung $1/x$) nach DIN 38402-51:2017-05 mit Hilfe eines von der *Wasserchemischen Gesellschaft* bereitgestellten Excel-Arbeitsblatts erstellt (Wasserchemische Gesellschaft, 2017).

Die Wichtung erfolgt durch das Dividieren der Gleichung 3 durch x_i , wodurch Gleichung 4 erhalten wird (vgl. DIN 38402-51:2017-05 und Wasserchemische Gesellschaft, 2017):

$$y_i = b * x_i + a \quad (3)$$

durch x_i :

$$\frac{y_i}{x_i} = \frac{b * x_i}{x_i} + \frac{a}{x_i} \rightarrow \frac{y_i}{x_i} = b + \frac{a}{x_i} \quad (4)$$

Als Wichtungsfaktoren wurden

$$w_i = \frac{1}{x_i} \quad (5)$$

und

$$z_i = \frac{y_i}{x_i} = w_i * y_i \quad (6)$$

festgelegt. Dadurch ergibt sich folgende neue Geradengleichung:

$$z_i = a * w_i + b \quad (7)$$

Im Vergleich zu Gleichung 3 sind bei Gleichung 7 die Bedeutungen von a und b vertauscht. Bei a handelt es sich nun um die Steigung und bei b um den y -Achsenabschnitt. Steigung a und y -Achsenabschnitt b werden berechnet und anschließend wird die Gleichung mit $*x_i$ rücktransformiert, wodurch sich wiederum Gleichung 3 ergibt.

3.1.11 Validierung der Kalibriergeraden

Zur Prüfung der Genauigkeit der Kalibriergeraden wurden die gemessenen Fluoreszenzwerte der Standards in die ermittelte Kalibriergerade eingesetzt und der Schätzwert der Konzentration ausgerechnet. Von diesem berechneten Schätzwert wurde die Abweichung in

Prozent zur angesetzten Konzentration ermittelt. Die Abweichung des Schätzwertes vom Sollwert sollte unter 20 % liegen.

3.1.12 Auswertung der Fluoreszenzwerte

Aus den gemessenen Fluoreszenzwerten wurden mit Hilfe der ermittelten Kalibriergeraden die einzelnen Konzentrationen des Pyranins in den Proben bestimmt. Aus den Konzentrationen wurden die absoluten Mengen je Probe ermittelt und auf 10 s Applikationszeit normiert, da die Applikationszeiten unterschiedlich waren. Es besteht zwischen Applikationszeit und Rückstandsmenge ein linearer Zusammenhang (siehe Anhang II), der diese Umrechnung ermöglicht. Diese absoluten Mengen wurden als relative Werte bezogen auf die Fläche (Massebelag, $\mu\text{g}/\text{cm}^2$, für die Petrischalen) bzw. das Gewicht (Massenanteil, $\mu\text{g}/\text{g}$, für die Früchte) angegeben.

3.1.13 Regressionsanalysen

Mit den Messwerten wurde eine lineare Regression durchgeführt. Dafür wurde die Deposition in den Petrischalen als unabhängige Variable x und die Deposition auf dem essbaren Teil der Versuchspflanzen als abhängige Variable y gewählt. Sowohl Massenanteil als auch Massebelag wurden vor der Regressionsanalyse mit dem natürlichen Logarithmus transformiert. Aus der Ausgangsgleichung für die lineare Regression

$$y_i = m * x_i + c \quad (8)$$

mit

m = Steigung

c = y -Achsenabschnitt

wird somit

$$\ln(y_i) = m * \ln(x_i) + c \quad (9)$$

Mit

$$y_i' = \ln(y_i) \quad (10)$$

und

$$x_i' = \ln(x_i) \quad (11)$$

ergibt sich

$$y_i' = m * x_i' + c \quad (12)$$

Für die aus der Geradengleichung geschätzten y-Werte ergibt sich dadurch folgende Gleichung:

$$y_i = e^c * x_i^m \quad (13)$$

Mit allen Messwerten der Hauptversuche wurde für jedes Testsystem und jede Versuchspflanze eine Regressionsanalyse mit der Statistiksoftware R (Version 3.3.1) durchgeführt.

3.2 Ergebnisse

3.2.1 Bestimmung des Tropfenspektrums

Tabelle 5 (Flachstrahldüse) und Tabelle 6 (Hohlkegeldüse) zeigen die Tropfenanzahl pro Minute aufgeschlüsselt nach Fallgeschwindigkeit und Durchmesser für die verwendeten Düsen. Bei beiden Düsen haben die meisten Tropfen einen Durchmesser von 0,5 mm. Die Gesamtzahl an Tropfen ist bei der Flachstrahldüse höher. Die Niederschlagsintensität beträgt laut Messgerät bei der Flachstrahldüse 58 mm/h, bei der Hohlkegeldüse 31 mm/h. Der Laser kann maximal 999 Tropfen pro Minuten zählen.

Tabelle 5: Tropfenzahl pro Minute bei Applikation von Wasser. Verwendete Düse: XR 11003-VK, Keramik (Flachstrahldüse, Fa. TeeJet), Applikationshöhe: 100 cm. 999 Tropfen pro Minute ist die maximale Anzahl, die von dem Laser-Niederschlags-Monitor gemessen werden kann.

Geschwindigkeit [m/s]	Durchmesser [mm]							
	0	0,125	0,25	0,375	0,5	0,75	1	1,25
0	0	0	0	0	30	296	89	3
0,2	0	1	0	0	699	999	175	9
0,4	0	0	0	2	999	940	70	1
0,6	0	0	0	8	999	561	34	2
0,8	0	0	1	35	999	376	23	2
1	0	2	2	184	999	340	13	0
1,4	0	5	21	369	999	170	12	0
1,8	0	17	47	438	999	72	3	1
2,2	0	29	79	481	856	56	1	0
2,6	0	46	114	464	578	34	1	0
3	0	36	150	417	418	22	0	0
3,4	0	115	401	670	521	18	0	0
4,2	0	98	414	488	244	6	0	0
5	0	100	432	326	138	2	0	0
5,8	0	56	400	216	73	3	0	0
6,6	0	57	404	199	46	0	0	0
7,4	0	29	371	128	39	0	0	0
8,2	0	0	327	103	15	0	0	0
9	0	0	317	71	13	0	0	0
10	0	0	226	68	14	0	0	0

Tabelle 6: Tropfenzahl pro Minute bei Applikation von Wasser. Verwendete Düse: ATR 80 (Hohlkegeldüse, Fa. Albuz), Applikationshöhe: 175 cm. 999 Tropfen pro Minute ist die maximale Anzahl, die von dem Laser-Niederschlags-Monitor gemessen werden kann.

Geschwindigkeit [m/s]	Durchmesser [mm]										
	0	0,125	0,25	0,375	0,5	0,75	1	1,25	1,5	1,75	2
0	0	0	0	0	36	198	132	45	10	3	5
0,2	0	0	0	0	404	665	143	28	8	1	0
0,4	0	0	0	7	717	254	21	1	0	0	0
0,6	0	0	0	23	909	114	4	0	0	0	0
0,8	0	0	0	74	851	73	1	0	0	0	0
1	0	5	4	274	999	68	1	0	0	0	0
1,4	0	3	30	402	999	26	0	0	0	0	0
1,8	0	5	63	545	777	13	1	0	0	0	0
2,2	0	10	108	492	540	8	0	0	0	0	0
2,6	0	20	162	512	371	2	0	0	0	0	0
3	0	25	187	490	227	1	0	0	0	0	0
3,4	0	99	472	702	224	0	0	0	0	0	0
4,2	0	105	510	427	66	0	0	0	0	0	0
5	0	101	430	238	17	0	0	0	0	0	0
5,8	0	62	409	112	2	0	0	0	0	0	0
6,6	0	55	383	86	3	0	0	0	0	0	0
7,4	0	44	315	49	1	0	0	0	0	0	0
8,2	0	0	299	27	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	306	18	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	223	13	0	0	0	0	0	0	0

3.2.2 Blindwert, Nachweis- und Bestimmungsgrenze von Pyranin

Blindwert, NG und BG von Pyranin wurden nach DIN 32645:2008-11 ermittelt (siehe Kapitel 3.1.1). Als NG ergibt sich 0,0002 mg/l, als BG 0,0006 mg/l. Die Berechnung ist in Anhang III aufgeführt.

3.2.3 Auswertung der Rohdaten

Für die Auswertung der Rohdaten wurde für jeden Versuch eine Kalibriergerade mittels gewichteter linearer Regression erstellt. Die Vorgehensweise und die Ermittlung sowohl der Kalibriergeraden als auch der Konzentrationen aus den Rohdaten sind in Anhang III und IV aufgeführt.

3.2.4 Bodendeposition im Windtunnel

Die Bodendeposition wurde getrennt nach Testsystem betrachtet. Von allen Versuchen wurde für jede Entfernung der Mittelwert genommen. Auf der Abszisse wurde die Entfernung, auf der Ordinate die Deposition in den Petrischalen (Massebelag in $\mu\text{g}/\text{cm}^2$) aufgetragen. Die Deposition in 1 m Entfernung zum Spritzbalken variiert zwischen den Testsystemen stark. Anschließend sinkt die Rückstandsmenge in den Petrischalen im Testsystem Raumkultur etwas stärker ab als im Testsystem Flächenkultur. Die Deposition in den Petrischalen ist im Testsystem Raumkultur etwas höher als im Testsystem Flächenkultur, mit Ausnahme der 1 m Entfernung.

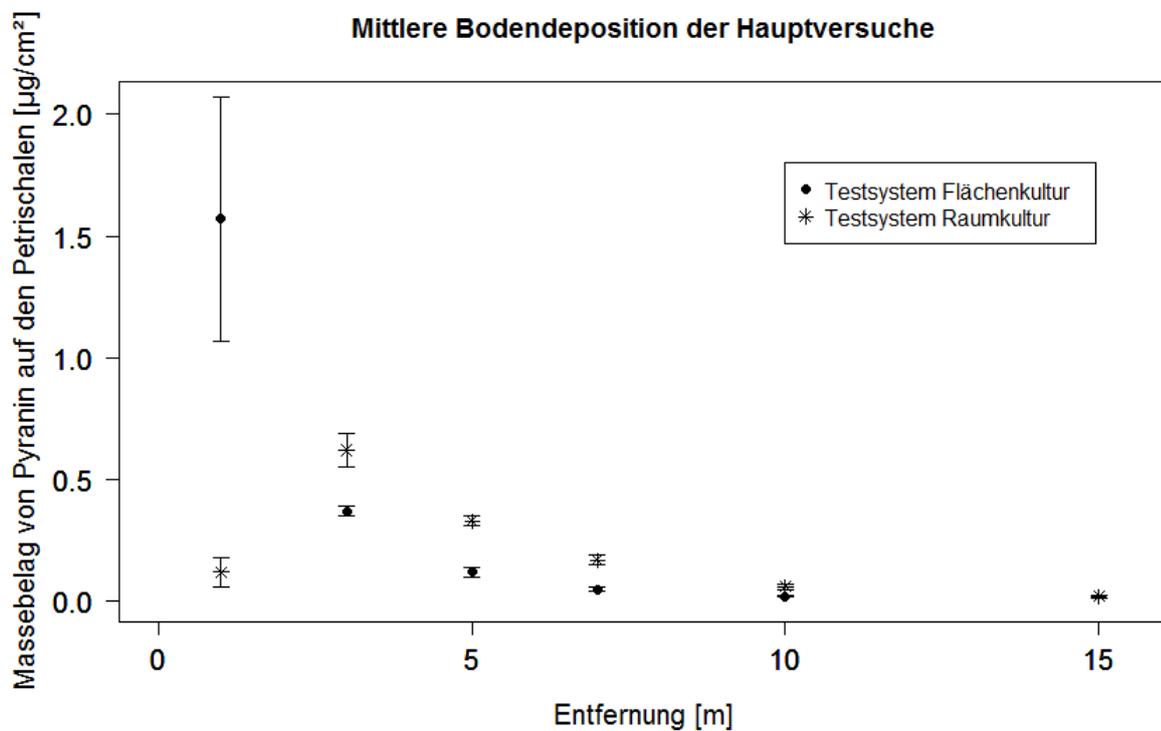


Abbildung 4: Bodendeposition im Windtunnel in Abhängigkeit vom Testsystem. Genommen wurde der Mittelwert aller Versuche mit dem jeweiligen Testsystem pro Entfernung.

3.2.5 Graphische Beurteilung der Messwerte

Die Ergebnisse der Versuche wurden getrennt nach Testsystem und Versuchspflanze betrachtet. Die Deposition in den Petrischalen (Massebelag in $\mu\text{g}/\text{cm}^2$) wurde als Abszisse, die auf dem essbaren Teil der Versuchspflanzen (Massenanteil in $\mu\text{g}/\text{g}$) als Ordinate aufgetragen. Die Werte beziehen sich auf 10 s Applikationszeit. Abbildung 5 bis Abbildung 10 zeigen die Ergebnisse der Versuche. Es ist zu erkennen, dass sowohl in den Petrischalen als auch auf dem essbaren Teil der Versuchspflanzen die Deposition mit der Entfernung abnimmt. Des Weiteren befindet sich zwischen den Werten der 1 m und 3 m Entfernung des Testsystems Flächenkultur eine Lücke, zwischen denen der 3 m und 5 m Entfernung ist ebenfalls eine kleinere Lücke (Abbildung 5 bis Abbildung 7). Außerdem fällt bei allen Abbildungen auf, dass die Messwerte mit steigender Konzentration stärker streuen. Die Voraussetzung der Varianzhomogenität für die lineare Regression ist somit nicht gegeben. Zudem scheint der Zusammenhang zwischen der Bodendeposition und der auf dem essbaren Anteil der Versuchspflanzen, vor allem beim Testsystem Flächenkultur und bei dem Versuch mit Erdbeeren im Testsystem Raumkultur, nicht linear zu sein.

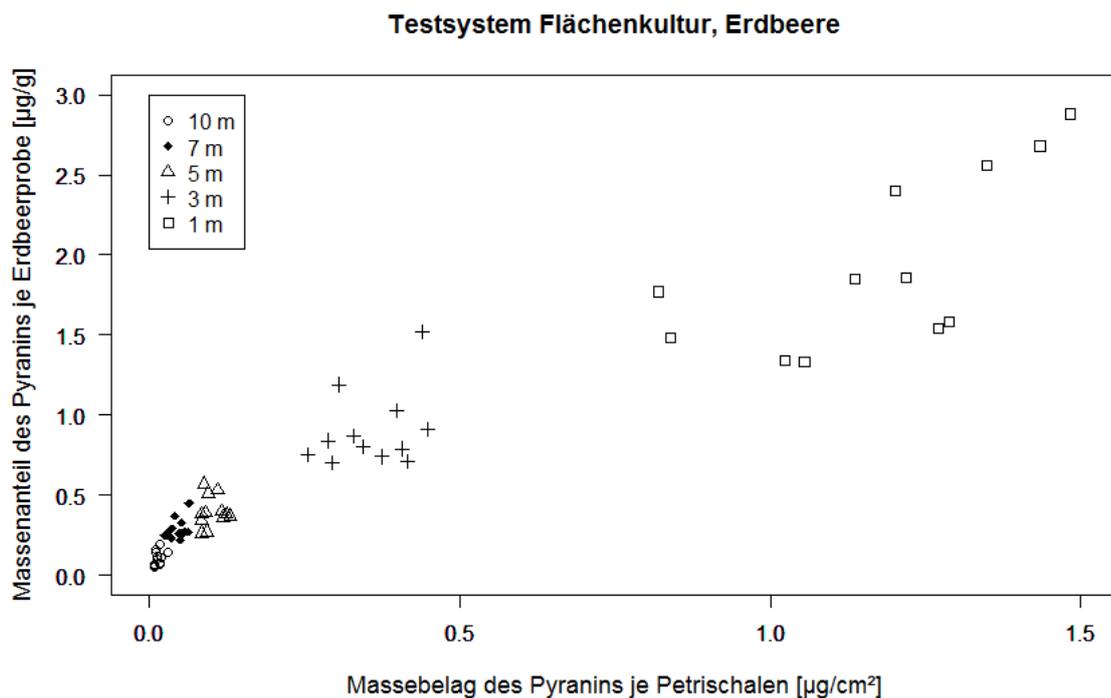


Abbildung 5: Ergebnisse des Versuchs mit dem Testsystem Flächenkultur und Erdbeeren als Versuchspflanze. Die Ergebnisse wurden getrennt nach Entfernung aufgetragen. Auf der Abszisse sind die Rückstände in der Petrischale [$\mu\text{g}/\text{cm}^2$], auf der Ordinate die Rückstände auf dem essbaren Teil der Versuchspflanzen [$\mu\text{g}/\text{g}$] aufgetragen.

Testsystem Flächenkultur, Tomate

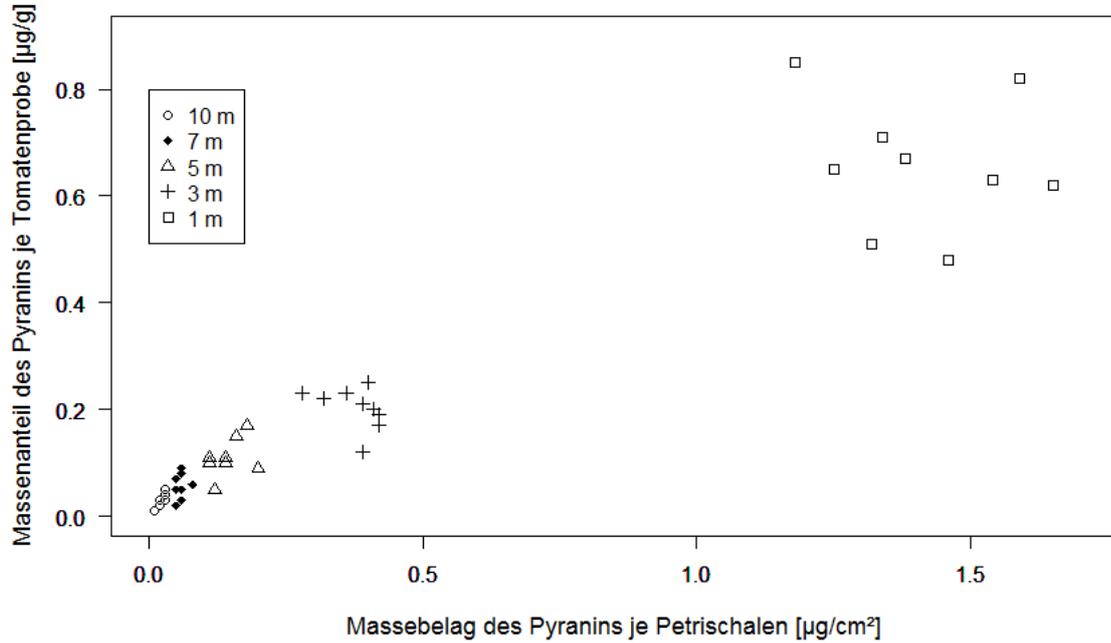


Abbildung 6: Ergebnisse des Versuchs mit dem Testsystem Flächenkultur und Tomaten als Versuchspflanze. Die Ergebnisse wurden getrennt nach Entfernung aufgetragen. Auf der Abszisse sind die Rückstände in der Petrischale [$\mu\text{g/cm}^2$], auf der Ordinate die Rückstände auf dem essbaren Teil der Versuchspflanzen [$\mu\text{g/g}$] aufgetragen.

Testsystem Flächenkultur, Salat

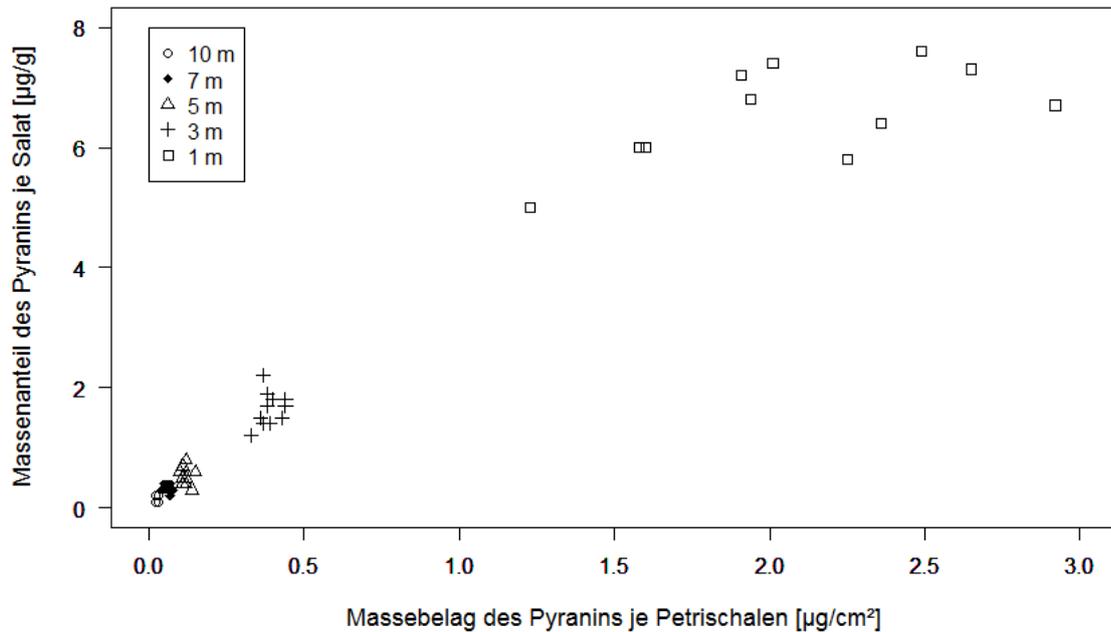


Abbildung 7: Ergebnisse des Versuchs mit dem Testsystem Flächenkultur und Kopfsalat als Versuchspflanze. Die Ergebnisse wurden getrennt nach Entfernung aufgetragen. Auf der Abszisse sind die Rückstände in der Petrischale [$\mu\text{g/cm}^2$], auf der Ordinate die Rückstände auf dem essbaren Teil der Versuchspflanzen [$\mu\text{g/g}$] aufgetragen.

Die im Testsystem Raumkultur ermittelten Rückstände auf den Versuchsobjekten in 1 m Entfernung stehen in keiner erkennbaren Beziehung zu den Rückständen der anderen Entfernungen (Abbildung 8 bis Abbildung 10). Bei den Versuchen mit Erdbeeren liegt die Rückstandshöhe auf den Versuchsobjekten in 1 m Entfernung in der gleichen Größenordnung wie die auf denen in 7 m und 10 m Entfernung (Abbildung 8). Werden Tomaten als Versuchspflanze verwendet, liegen die Rückstandshöhen auf den Petrischalen in 1 m Entfernung in der Größenordnung der in 15 m, 10 m und 7 m Entfernung gemessenen Rückstandshöhen, die Rückstandshöhe auf den Tomaten in 1 m Entfernung im Bereich der in 3 m Entfernung gemessenen Rückstandshöhen und höher (Abbildung 9). Die Rückstandshöhen auf den Versuchsobjekten der Versuche mit Kopfsalat in 1 m Entfernung streuen (Abbildung 10). Die auf den Versuchsobjekten in 1 m Entfernung gemessenen Messwerte wurden deshalb nicht für die Regressionsanalysen berücksichtigt.

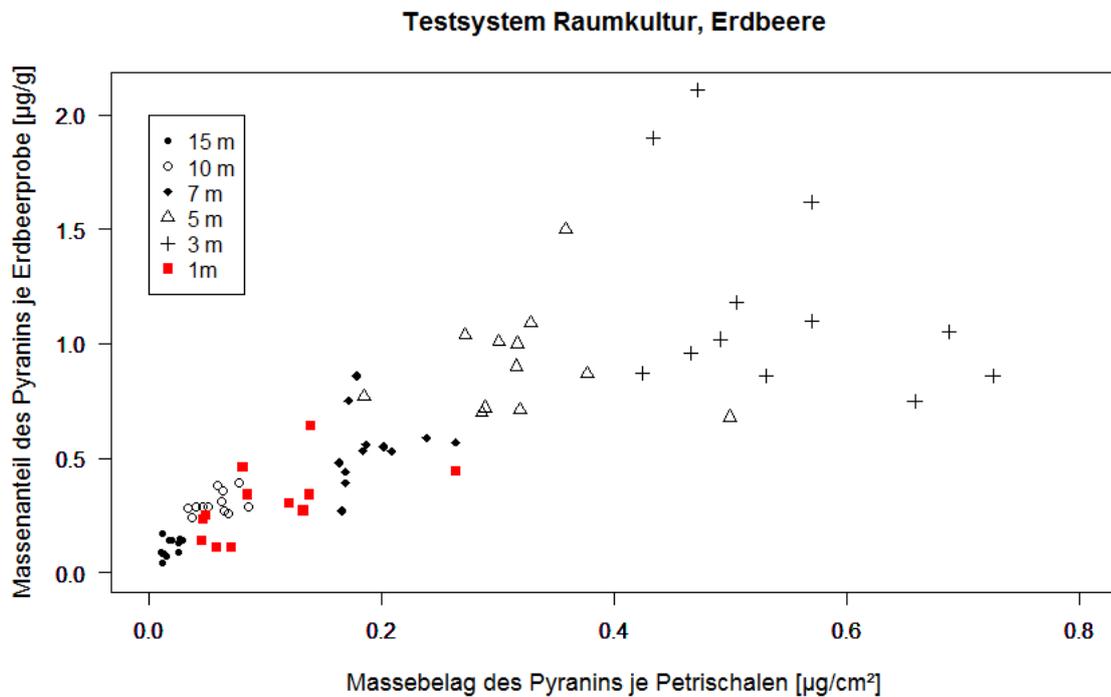


Abbildung 8: Ergebnisse des Versuchs mit dem Testsystem Raumkultur und Erdbeeren als Versuchspflanze. Die Ergebnisse wurden getrennt nach Entfernung aufgetragen. Auf der Abszisse sind die Rückstände in der Petrischale [$\mu\text{g}/\text{cm}^2$], auf der Ordinate die Rückstände auf dem essbaren Teil der Versuchspflanzen [$\mu\text{g}/\text{g}$] aufgetragen.

Testsystem Raumkultur, Tomate

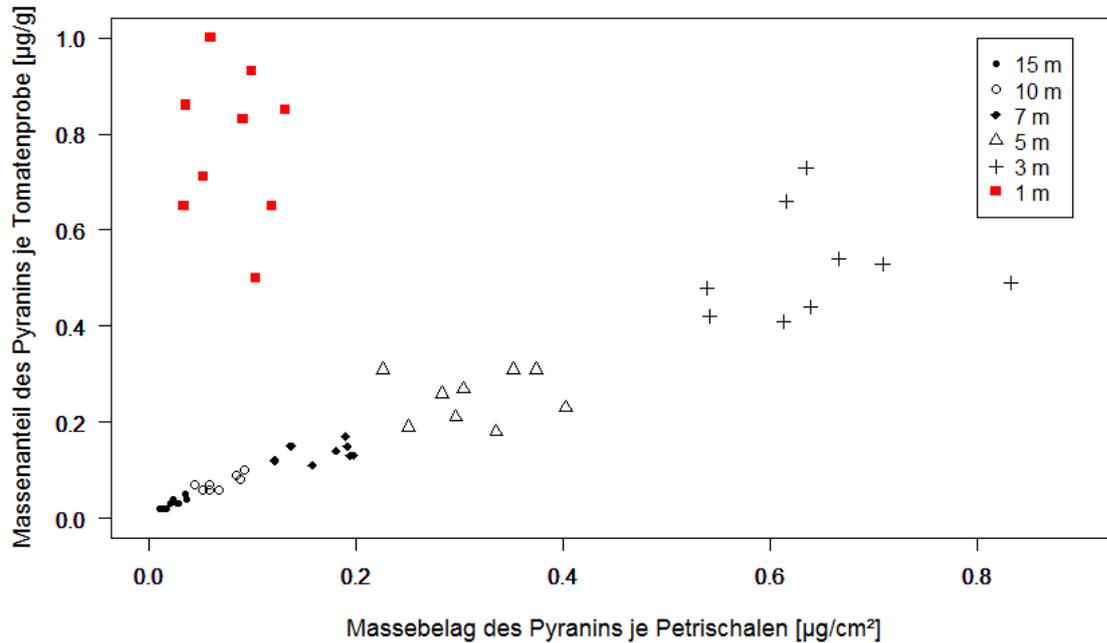


Abbildung 9: Ergebnisse des Versuchs mit dem Testsystem Raumkultur und Tomate als Versuchspflanze. Die Ergebnisse wurden getrennt nach Entfernung aufgetragen. Auf der Abszisse sind die Rückstände in der Petrischale [$\mu\text{g}/\text{cm}^2$], auf der Ordinate die Rückstände auf dem essbaren Teil der Versuchspflanzen [$\mu\text{g}/\text{g}$] aufgetragen.

Testsystem Raumkultur, Salat

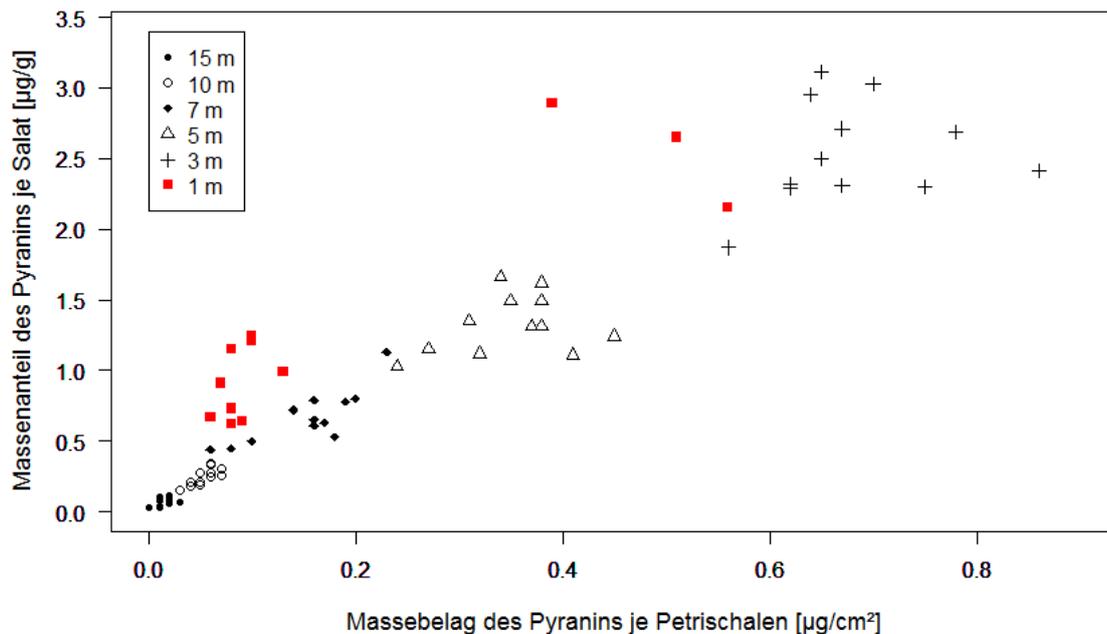


Abbildung 10: Ergebnisse des Versuchs mit dem Testsystem Raumkultur und Salat als Versuchspflanze. Die Ergebnisse wurden getrennt nach Entfernung aufgetragen. Auf der Abszisse sind die Rückstände in der Petrischale [$\mu\text{g}/\text{cm}^2$], auf der Ordinate die Rückstände auf dem essbaren Teil der Versuchspflanzen [$\mu\text{g}/\text{g}$] aufgetragen.

3.2.6 Regressionsanalysen

Aufgrund der bestehenden Heteroskedastizität wurden sowohl die x-Werte (Massebelag in der Petrischale), als auch die y-Werte (Massenanteil am essbaren Anteil der Versuchspflanzen) mit dem natürlichen Logarithmus transformiert. Bei Heteroskedastizität handelt es sich um die Ungleichheit der Varianzen. Anschließend wurde eine lineare Regression mit der Statistiksoftware R durchgeführt. Die Voraussetzungen für eine lineare Regression sind durch die log-Transformation erfüllt. Die „Diagnostic Plots“ und die detaillierten Ergebnisse aus R sind in Anhang VI aufgeführt.

3.2.6.1 Ergebnisse Testsystem Raumkultur, Versuchspflanze Erdbeere

Die Regressionsanalyse mit den log-transformierten x-Werten (Massebelag in Petrischale, $\mu\text{g}/\text{cm}^2$) und y-Werten (Massenanteil am essbaren Anteil der Versuchspflanzen in $\mu\text{g}/\text{g}$) führt zu folgender Regressionsgeraden:

$$y' = 0,67 x' + 0,57 \quad (14)$$
$$(R^2 = 0,88)$$

mit

$$x' = \ln(x) \quad (15)$$

$$y' = \ln(y) \quad (16)$$

Für die Berechnung von y_i aus x_i ergibt sich folgende Formel (Abbildung 11):

$$y_i = e^{0,57} * x_i^{0,67} \quad (17)$$

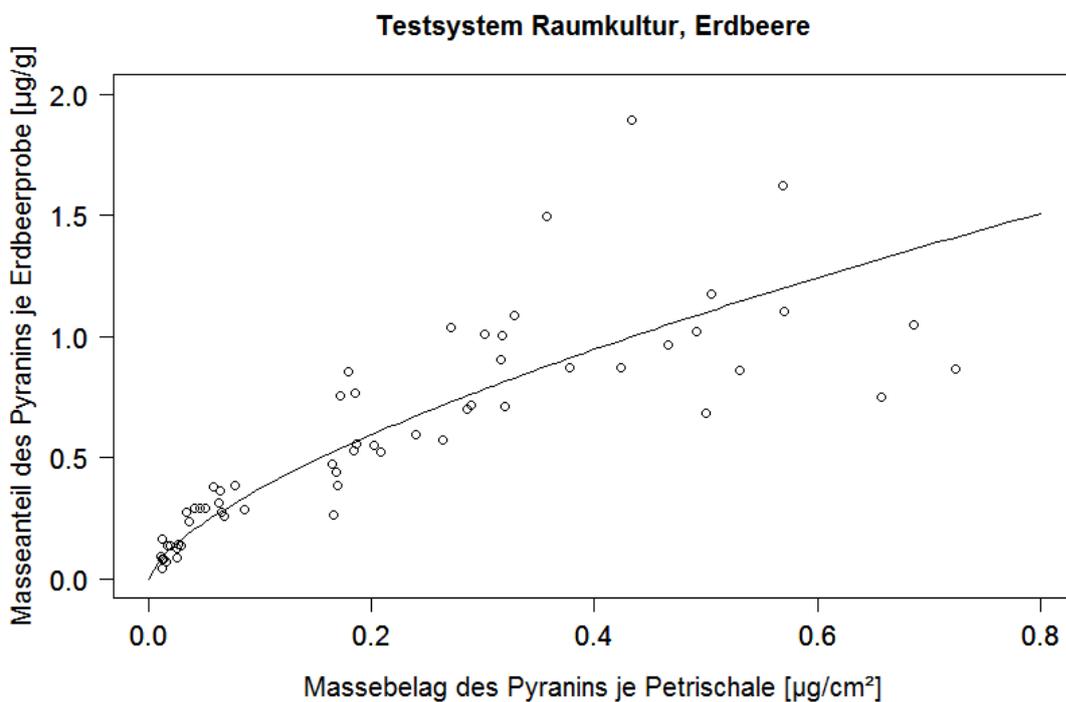


Abbildung 11: Pyranin-Rückstände in den Petrischalen und auf den Erdbeeren im Testsystem Raumkultur mit transformierter Regressionsgerade.

3.2.6.2 Ergebnisse Testsystem Flächenkultur, Versuchspflanze Erdbeere

Die Regressionsanalyse mit den log-transformierten x- und y-Werten führt analog zu folgender Regressionsgeraden:

$$y' = 0,64 x' + 0,54 \quad (18)$$
$$(R^2 = 0,93)$$

Durch die Regressionsanalyse ergibt sich folgende Formel zur Berechnung von y_i aus x_i (Abbildung 12):

$$y_i = e^{0,54} * x_i^{0,64} \quad (19)$$

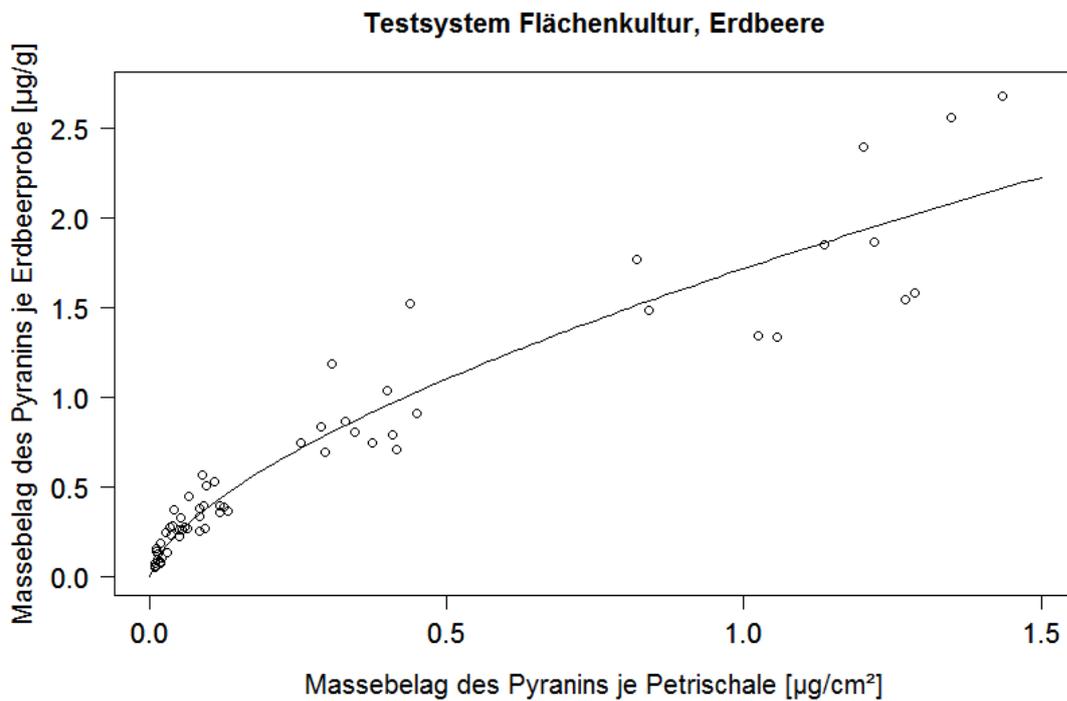


Abbildung 12: Pyranin-Rückstände in den Petrischalen und auf den Erdbeeren im Testsystem Flächenkultur mit transformierter Regressionsgerade.

3.2.6.3 Ergebnisse Testsystem Raumkultur, Versuchspflanze Tomate

Die Regressionsanalyse mit den log-transformierten x- und y-Werten führt analog zu folgender Regressionsgeraden:

$$y' = 0,83 x' - 0,39 \quad (20)$$
$$(R^2 = 0,97)$$

Durch die Regressionsanalyse ergibt sich folgende Formel zur Berechnung von y_i aus x_i (Abbildung 13):

$$y_i = e^{-0,39} * x_i^{0,83} \quad (21)$$

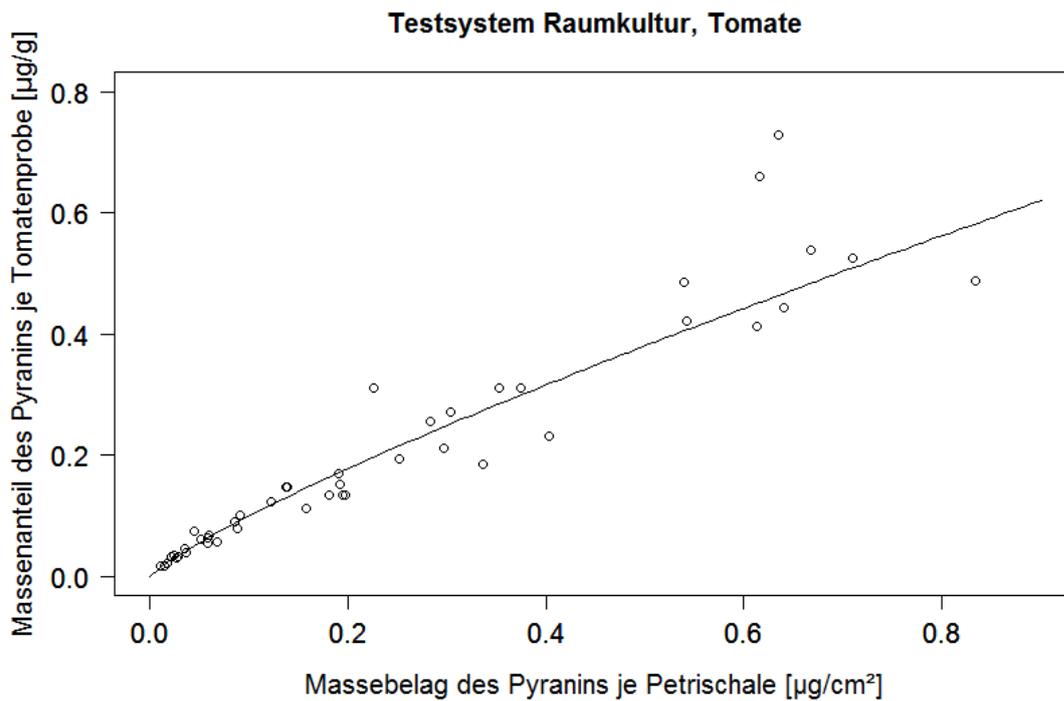


Abbildung 13: Pyranin-Rückstände in den Petrischalen und auf den Tomaten im Testsystem Raumkultur mit transformierter Regressionsgerade.

3.2.6.4 Ergebnisse Testsystem Flächenkultur, Versuchspflanze Tomate

Die Regressionsanalyse mit den log-transformierten x- und y-Werten führt analog zu folgender Regressionsgeraden:

$$y' = 0,80 x' - 0,73 \quad (22)$$
$$(R^2 = 0,93)$$

Durch die Regressionsanalyse ergibt sich folgende Formel zur Berechnung von y_i aus x_i (Abbildung 14):

$$y_i = e^{-0,73} * x_i^{0,80} \quad (23)$$

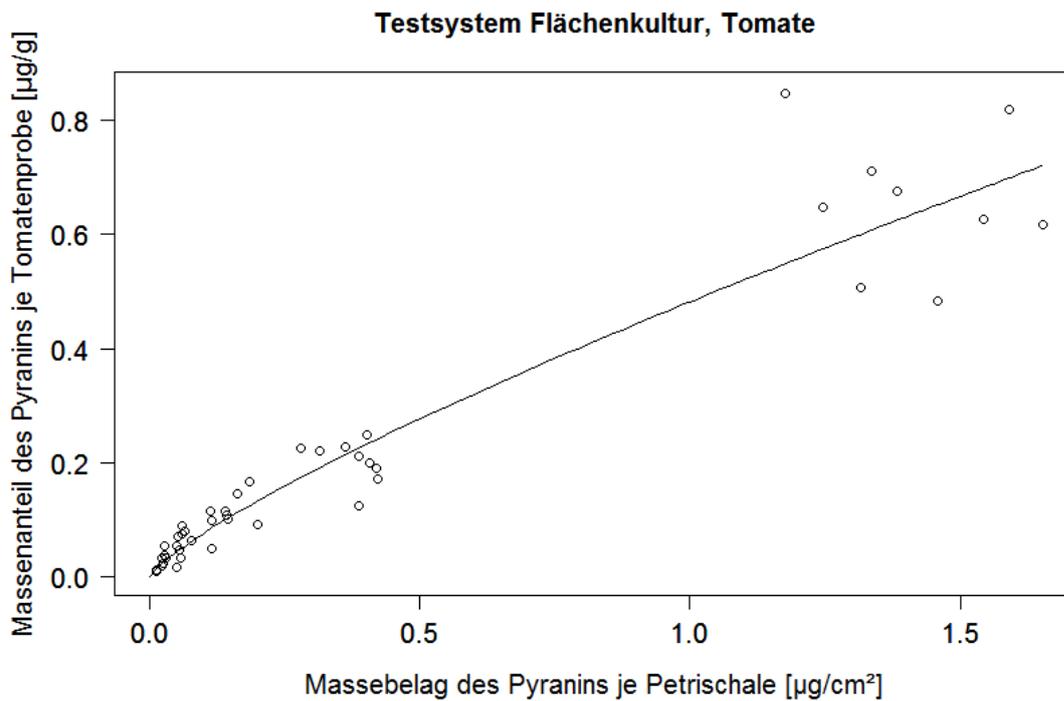


Abbildung 14: Pyranin-Rückstände in den Petrischalen und auf den Tomaten im Testsystem Flächenkultur mit transformierter Regressionsgerade.

3.2.6.5 Ergebnisse Testsystem Raumkultur, Salat als Versuchspflanze

Die Regressionsanalyse mit den log-transformierten x- und y-Werten führt analog zu folgender Regressionsgeraden:

$$y' = 0,91 x' + 1,26 \quad (24)$$
$$(R^2 = 0,97)$$

Durch die Regressionsanalyse ergibt sich folgende Formel zur Berechnung von y_i aus x_i (Abbildung 15):

$$y_i = e^{1,26} * x_i^{0,91} \quad (25)$$

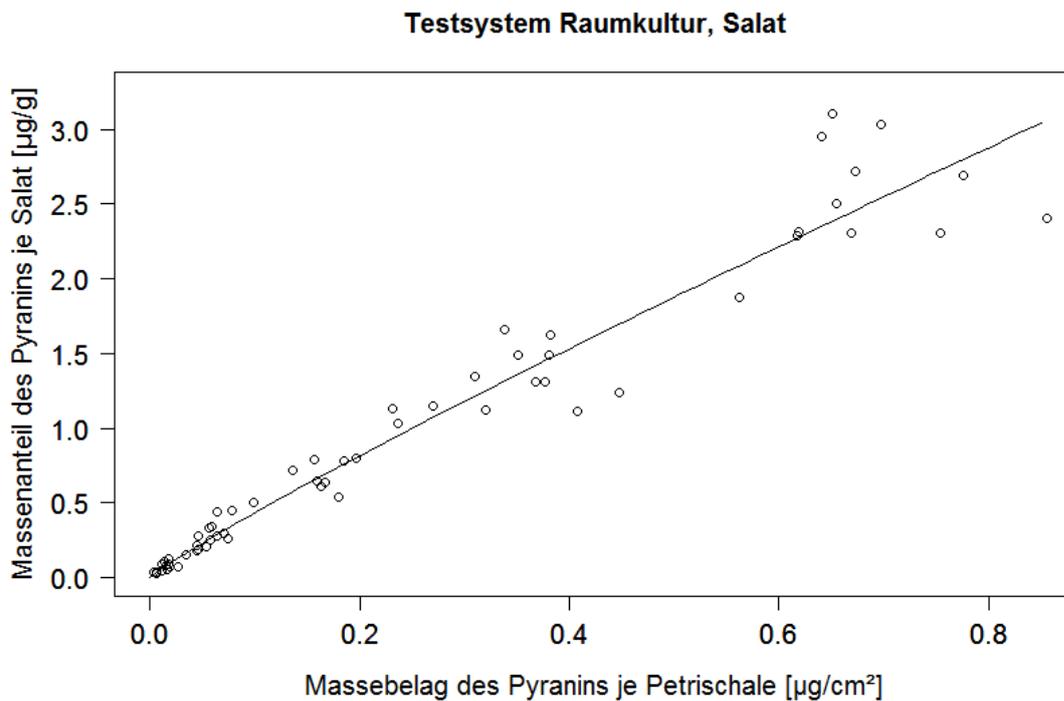


Abbildung 15: Pyranin-Rückstände in den Petrischalen und auf dem Salat im Testsystem Raumkultur mit transformierter Regressionsgerade.

3.2.6.6 Ergebnisse Testsystem Flächenkultur, Versuchspflanze Salat

Die Regressionsanalyse mit den log-transformierten x- und y-Werten führt analog zu folgender Regressionsgeraden:

$$y' = 0,85 x' + 1,26 \quad (26)$$
$$(R^2 = 0,96)$$

Durch die Regressionsanalyse ergibt sich folgende Formel zur Berechnung von y_i aus x_i (Abbildung 16):

$$y_i = e^{1,26} * x_i^{0,85} \quad (27)$$

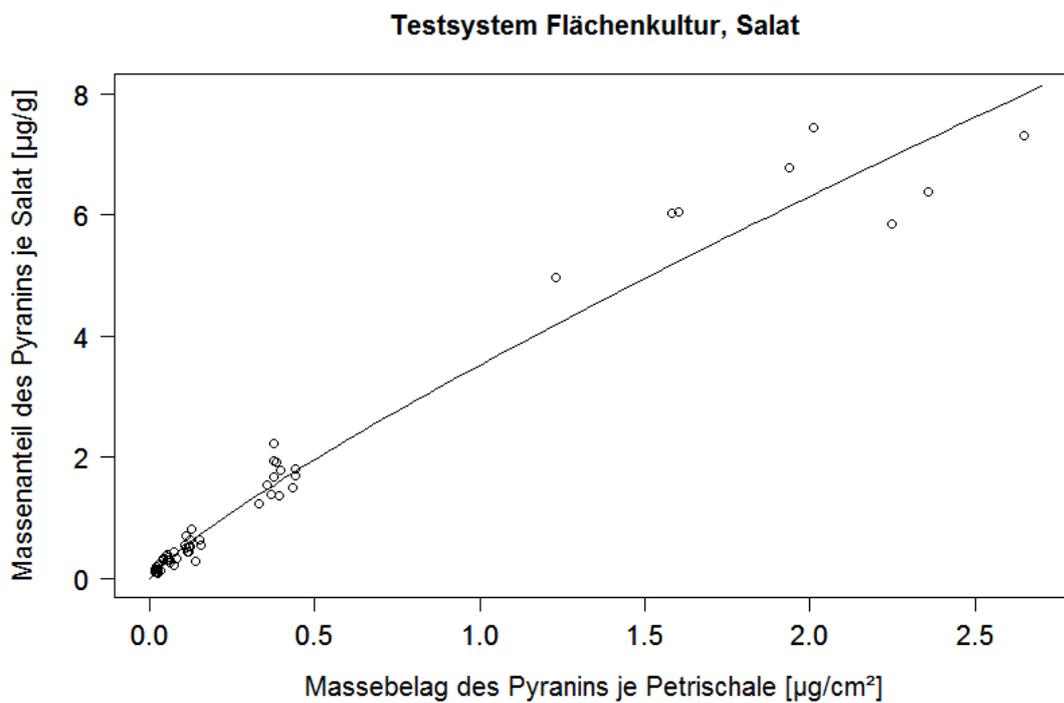


Abbildung 16: Pyranin-Rückstände in den Petrischalen und auf dem Salat im Testsystem Flächenkultur mit transformierter Regressionsgerade.

4 Räumliche Analysen von Nachbarschaftsverhältnissen mit Geoinformationssystemen (GIS)

4.1 Material und Methoden

4.1.1 Datengrundlage

Als Datengrundlage für die deutschlandweiten Berechnungen wurde das digitale Basis-Landschaftsmodell (Basis-DLM, Referenzjahr 2012) des *Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie* verwendet, welches die topographischen Objekte der Landschaft auf Grundlage des ATKIS-Objektartenkatalogs im Vektorformat beschreibt (Bundesamt für Kartographie und Geodäsie, 2018). Für die Berechnungen in RLP wurden zusätzlich Daten aus ALKIS verwendet. Alle Daten liegen als Vektorgeometrien (Esri-Shapefiles) vor.

Des Weiteren wurde für die Berechnungen in RLP ein vom *IfA* im Rahmen des Projekts „Natflo“ erstellter Landbedeckungsdatensatz (MAD (Multifunktional anwendbarer Datensatz), www.natflo.de) verwendet. Dieser beschreibt hochauflösend die Landbedeckung von RLP in 8 Kategorien. Die Kategorien umfassen dabei verschiedene Vegetationsformen (z.B. Bäume oder krautige Vegetation), versiegelte Flächen (z.B. Gebäude oder Straßen) und Wasserflächen.

Für Analysen zu ökologisch bewirtschafteten Flächen, die angrenzend zu konventionell bewirtschafteten Flächen liegen, wurden Geodaten der Antragsflächen des integrierten Verwaltungs- und Kontrollsystems (InVeKoS) aus dem Jahr 2018 für RLP verwendet. Die Daten unterscheiden ökologisch bewirtschaftete Flächen (Datensatz: *oeko_LW_RLP*) und konventionell bewirtschaftete Flächen (Datensatz *konv_LW_RLP*).

4.1.2 Vorbereitung der Daten

Für die geodatenbasierten Analysen wurde, wenn nicht anders angegeben, die Software ArcMap 10.6 der Firma Esri verwendet. Abweichungen von den Standardeinstellungen der Tools sind in geschweiften Klammern angegeben. Aus dem ATKIS(AT)-Datensatz wurden von der Objektart *AX_Landwirtschaft* alle relevanten Flächen exportiert und als eigenständiger Datensatz gespeichert. Dabei handelt es sich um Ackerland (Wert: 1010), Gartenland (Wert: 1030), Hopfen (Wert: 1012), Weingarten (Wert: 1040) und Obstplantage (Wert: 1050). Ackerland und Gartenland wurden mit dem Tool *Merge* zu dem Datensatz *AT_Flächenkultur* zusammengefügt, die restlichen zu dem Datensatz *AT_Raumkultur*. Zusätzlich wurde mit dem Tool *Merge* ein Datensatz *AT_RaumUndFlaechenkultur* erstellt. Aus der Objektart *AX_SportFreizeitUndErholungsflaeche* wurden die als Kleingarten (Wert: 4440) aufgeführten Flächen exportiert und als Datensatz *AT_Kleingarten* gespeichert. Des Weiteren wurden die Objektarten *AX_Wohnbauflaeche* und *AX_FlaecheGemischterNutzung* zu dem Datensatz *AT_WohnenMitGarten* und die Datensätze *AT_Kleingarten* und *AT_WohnenMitGarten* mit dem Tool *Merge* zu einem neuen Datensatz *AT_GartenPotentialflaeche* zusammengeführt (Abbildung 17).

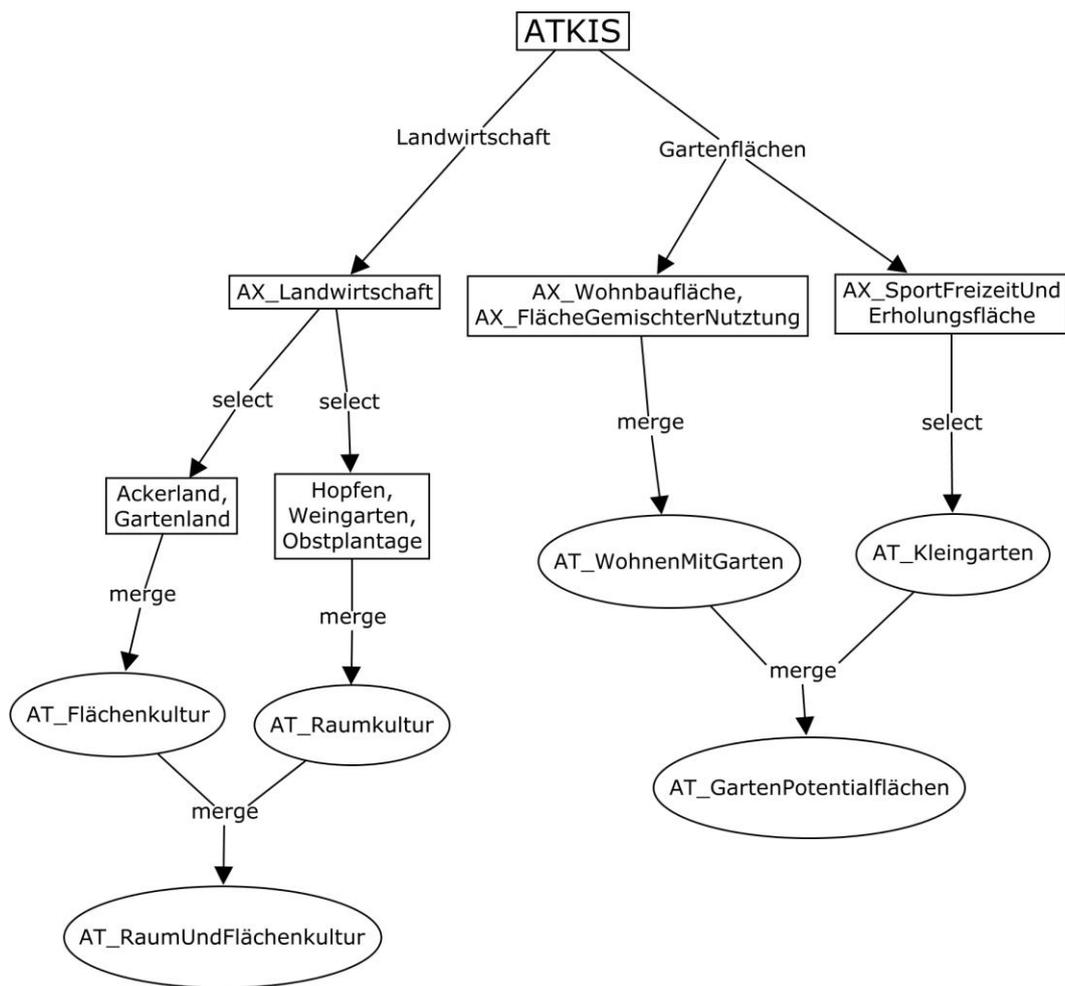


Abbildung 17: Vorbereitung der verwendeten ATKIS-Daten. Eckig umrandet: Zwischenstufen, rund umrandet: für die weiteren Analysen verwendete Datensätze.

Aus dem ALKIS(AL)-Datensatz wurden aus der Objektart „AX_SportFreizeitUndErholungsflaeche“ die als Kleingarten (Wert: 4440) und die als Garten (Wert: 4460) gekennzeichneten Flächen je als eigener Datensatz exportiert (AL_Kleingarten und AL_Garten). Laut ALKIS-Objektartenkatalog handelt es sich bei der Objektart Kleingarten um „eine Anlage von Gartengrundstücken, die [...] vorwiegend der Freizeit und Erholung dient“, wohingegen es sich bei der Objektart Garten um Flächen handelt, „die nicht im Zusammenhang mit Wohnbauflächen stehen und die keiner kommerziellen landwirtschaftlichen Nutzung dienen“ (Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland (AdV), 2018). Die Wertarten Gebäude- und Freifläche, Mischnutzung mit Wohnen (Wert: 2100), Wohnen mit Handel und Dienstleistungen (Wert: 2120), Wohnen mit Gewerbe und Industrie (Wert: 2130), Handel und Dienstleistungen mit Wohnen (Wert: 2150), Wohnen und Betrieb (Wert: 2730) aus der Objektart AX_FlaecheGemischterNutzung und die Objektart AX_Wohnbaufläche wurden zu dem Datensatz AL_WohnenMitGarten zusammengeführt. Die Datensätze

AL_WohnenMitGarten, AL_Garten und AL_Kleingarten wurden zu dem Datensatz AL_Garten-Potentialfläche zusammengeführt. Aus der Objektart AX_Landwirtschaft wurden die Datensätze AL_Flächenkultur (Ackerland (Wert: 1010), Spargel (Wert: 1013) und Gartenland (Wert: 1030)) und AL_Raumkultur (Hopfen (1012), Weingarten (1040), Obstplantage (1050) und Obstbaumplantage (Wert: 1051)) erstellt (Abbildung 18). Die beschriebene Zusammensetzung der Datensätze ist in Tabelle 7 aufgeführt.

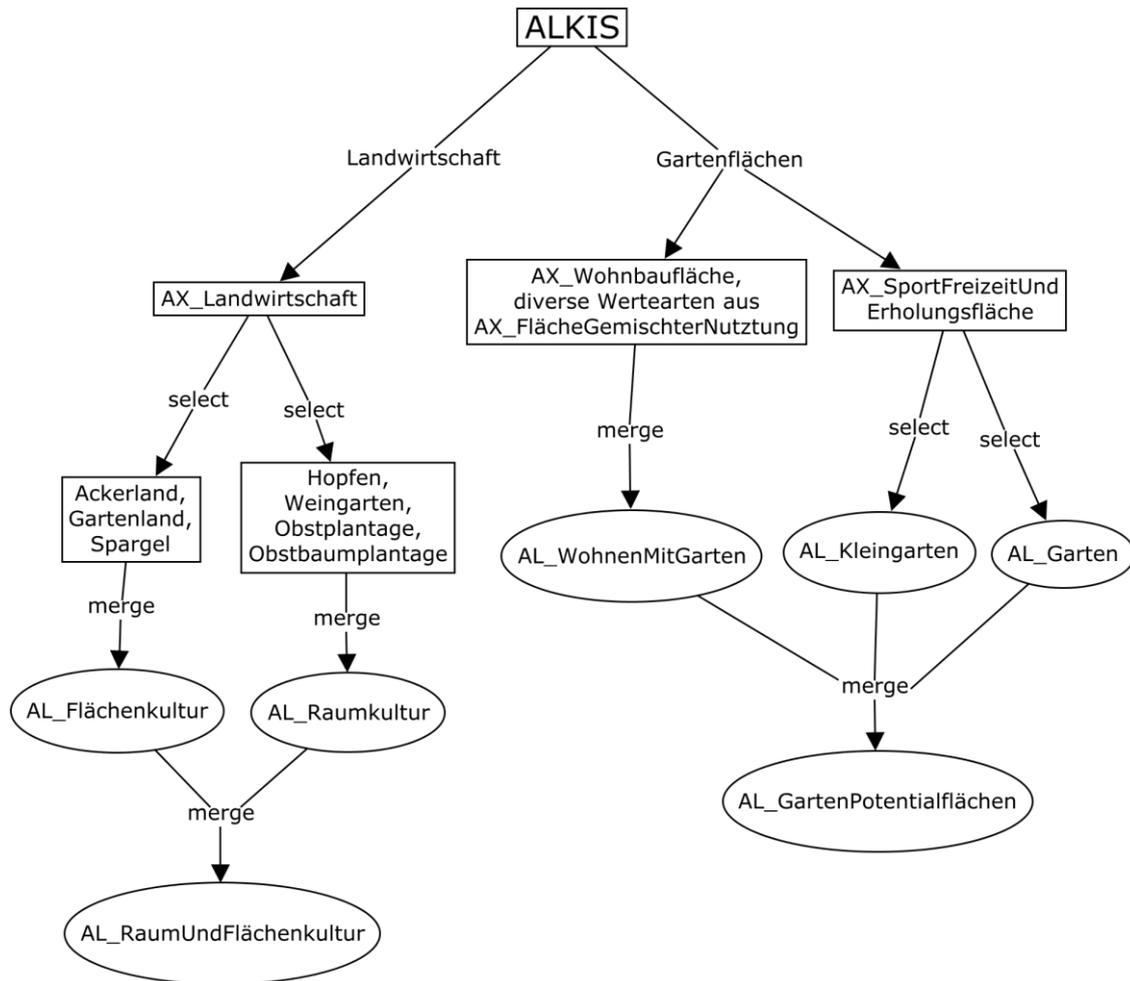


Abbildung 18: Vorbereitung der verwendeten ALKIS-Daten. Eckig umrandet: Zwischenstufen, rund umrandet: für die weiteren Analysen verwendete Datensätze.

Tabelle 7: Zusammensetzung der aus den ATKIS und ALKIS-Daten erzeugten Datensätze.

Datensätze (AT_/AL_)	ATKIS	ALKIS
Kleingarten	Objektart: AX_SportFreizeitUndErholungsflaeche, Wertart: Kleingarten (4440)	Objektart: AX_SportFreizeitUndErholungsflaeche, Wertart: Kleingarten (4440)
Garten	Nicht vorhanden	Objektart: AX_SportFreizeitUndErholungsflaeche, Wertart: Garten (4460)
WohnenMitGarten	Objektart: AX_FlaecheGemischterNutzung, AX_Wohnbauflaeche	Objektart: AX_FlaecheGemischterNutzung, Wertart: Gebäude- und Freifläche, Mischnutzung mit Wohnen (2100), Wohnen mit Handel und Dienstleistungen (2120), Wohnen mit Gewerbe und Industrie (2130), Handel und Dienstleistungen mit Wohnen (2150), Wohnen und Betrieb (2730) und Objektart AX_Wohnbauflaeche
Garten-Potentialflächen	AT_Kleingarten, AT_WohnenMitGarten	AL_Kleingarten, AL_Garten, AL_WohnenMitGarten
Flächenkultur	Objektart: AX_Landwirtschaft, Wertart: Ackerland (1010), Gartenland (1030)	Objektart: AX_Landwirtschaft, Wertart: Ackerland (1010), Spargel (1013), Gartenland (1030)
Raumkultur	Objektart: AX_Landwirtschaft, Wertart: Hopfen (1012), Weingarten (1040), Obstplantage (1050)	Objektart: AX_Landwirtschaft, Wertart Hopfen (1012), Weingarten (1040), Obstplantage (1050), Obstbaumplantage (1051)
RaumUndFlaeche n-kultur	AT_Flaechenkultur, AT_Raumkultur	

4.1.3 Ermittlung der realen Gartenflächen in Rheinland-Pfalz

Mit Hilfe des Landbedeckungsdatensatzes MAD konnten die Gartenflächen in RLP genauer quantifiziert werden. Die Objektarten „Büsche und Sträucher“, „Bäume“ und „krautige Pflanzen“ des MAD wurden mit dem Datensatz AL_WohnenMitGarten (Tool *Intersect*) zu einem neuen Datensatz MAD-Garten verschnitten. Das heißt, dass alle versiegelten Flächen aus dem Datensatz AL_WohnenMitGarten entfernt wurden. Aus den Datensätzen AL_Kleingarten, AL_Garten und MAD-Garten ergibt sich der Datensatz GartenRealflächen (Abbildung 19).

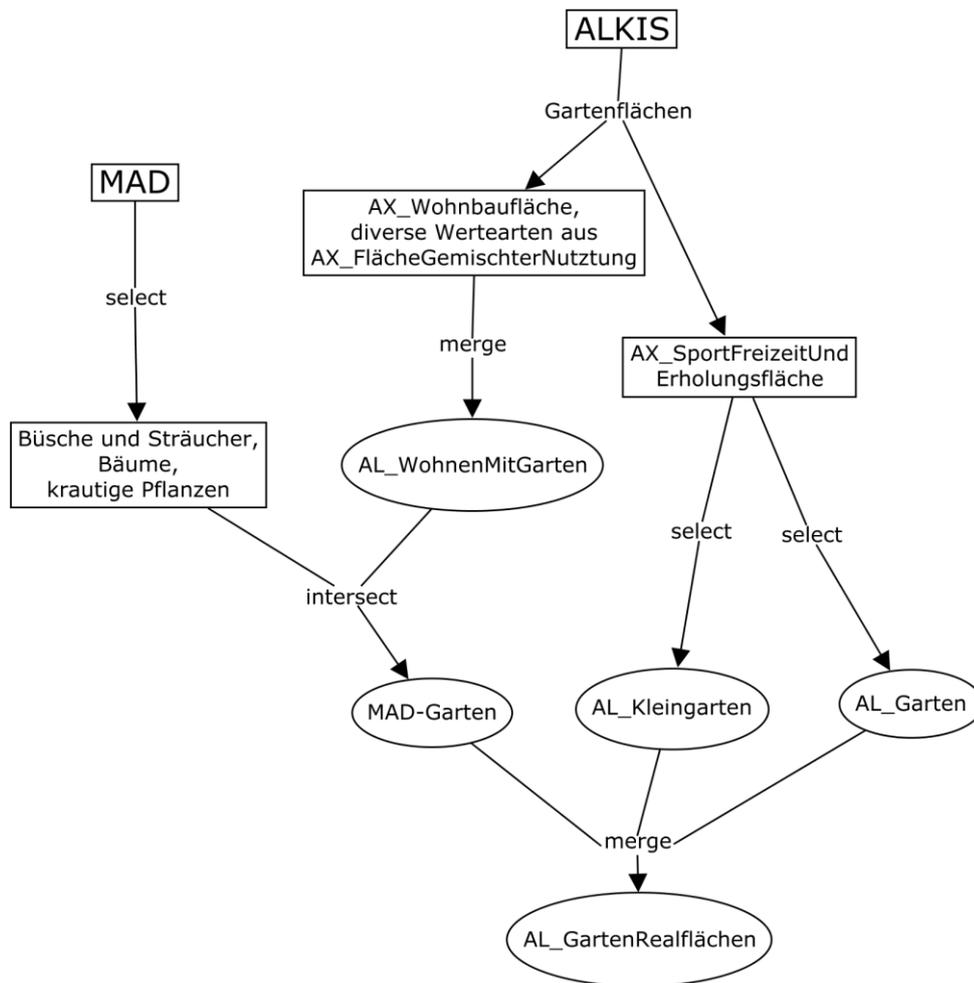


Abbildung 19: Ermittlung der Garten-Realflächen mit dem MAD und den ALKIS-Daten. Rund umrandete Daten wurden für die weiteren Berechnungen verwendet.

4.1.4 Puffer- und Schnittflächenberechnungen

Die im Weiteren beschriebenen Arbeitsschritte beziehen sich sowohl auf die ATKIS- als auch auf die ALKIS-Daten, deswegen sind die Datensätze nicht mit AL_ bzw. AT_ gekennzeichnet. Aneinander angrenzende Polygone im Datensatz Flächenkultur wurden mit Hilfe des Tools *Dissolve* {single part} zusammengeführt. Anschließend wurde um die Polygone ein Puffer von 2 m (Tool *Buffer*, {outside only}) gelegt und auf diesen wiederum das Tool *Dissolve* {single part} angewendet. Der neu erhaltene Datensatz (AT_Puffer-Flächenkultur(-RLP) bzw. AL_Puffer-Flächenkultur) wurde je mit den Datensätzen Kleingarten, WohnenMitGarten und GartenPotentialfläche, und mit den ALKIS-Daten für RLP zusätzlich mit dem Datensatz AL_Garten verschnitten (Tool *Intersect*) (Abbildung 20). Das gleiche wurde mit dem Datensatz Raumkultur durchgeführt, jedoch wurde für diesen eine Puffergröße von 5 m gewählt (AT_Puffer-Raumkultur(-RLP) bzw. AL_Puffer-Raumkultur). Die Berechnungen wurden mit den ALKIS-Datensätzen für RLP und mit den ATKIS-Datensätzen für Deutschland und zusätzlich für RLP allein durchgeführt. Zusätzlich wurden die Berechnungen mit den

Datensätzen MAD-Garten und GartenRealfläche und den Raum- und Flächenkultur-Puffern des ALKIS-Datensatzes durchgeführt.

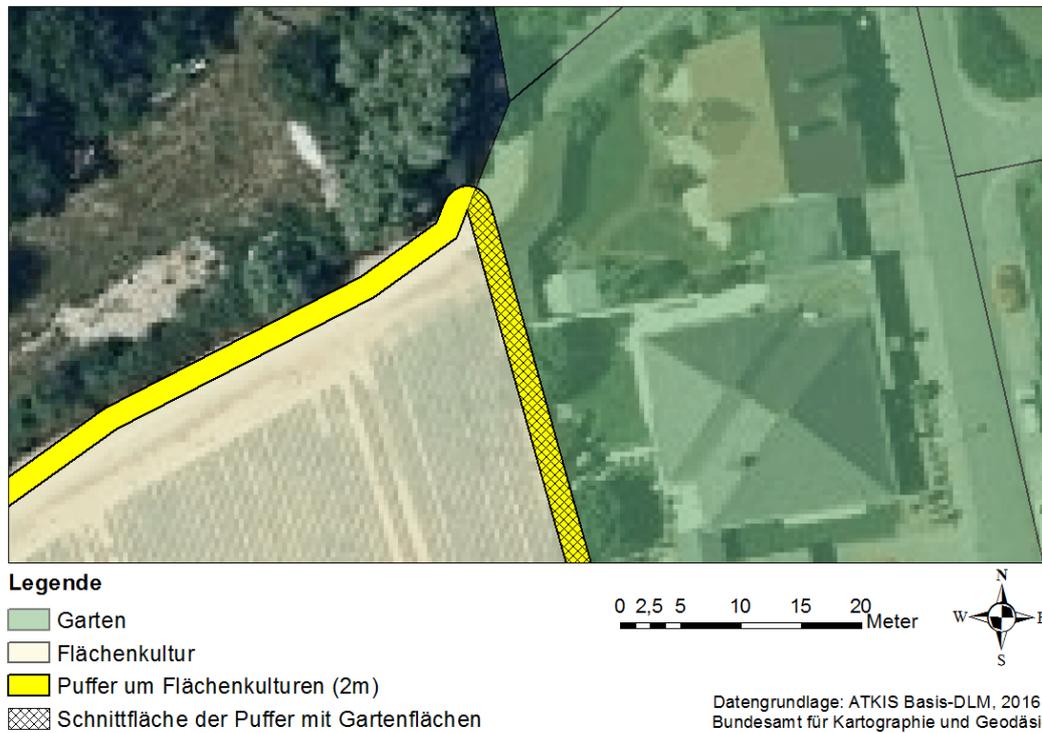


Abbildung 20: Berechnung der Schnittflächen von Pufferflächen mit Gartenflächen.

4.1.5 Erstellung von Heatmaps

Die durch die Verschneidungen neu erhaltenen Datensätze für Deutschland wurden in eine Punkt-Feature-Class umgewandelt, an die die Flächengröße der Polygone, aus denen die Punkte erstellt wurden, angehängt wurde (Tool *Feature To Point*). Mit den Punkt-Feature-Classes wurden in QGIS Desktop 2.16 Heatmaps erstellt (Tool *Heatmap*). Bei Heatmaps handelt es sich um Karten, die die Dichte von festgelegten Ereignissen in farblichen Abstufungen darstellen. In diesem Fall handelt es sich um das Ereignis „Gartenfläche liegt angrenzend zu landwirtschaftlicher Fläche“. Bei der Berechnung wurde als Feld für die Gewichtung die Flächengröße angegeben. Als Radius wurde, wenn nicht anders angegeben, 30.000 Layereinheiten gewählt. Die TIFF-Dateien wurden mit dem Tool *Clip* in ArcMap auf die deutsche Grenze angepasst.

4.1.6 Erstellung von Near-Tabellen

Die Erstellung der Near-Tabellen erfolgte mit dem Tool *Generate Near Table* und wurde sowohl mit den ATKIS-Daten für Deutschland als auch mit den ALKIS/MAD-Daten für RLP durchgeführt. Als Input-Feature wurden verschiedene Garten-Datensätze verwendet und als

Near-Feature der Datensatz RaumUndFlächenkultur. Das Tool betrachtet jede einzelne Fläche des Input-Features und ermittelt die kürzeste Distanz zur nächstgelegenen Fläche des Near-Features. Die Auswertung der Ergebnisse erfolgte mit dem Softwarepaket R. Die Near-Tabelle wurde auch mit den InVeKoS-Daten berechnet. Bei dem Input-Feature handelt es sich um die ökologisch bewirtschafteten Flächen, bei dem Near-Feature um die konventionell bewirtschafteten.

In Tabelle 8 sind die verwendeten Input- und Near-Features aufgelistet.

Tabelle 8: Für die Near-Tabelle verwendete Input- und Near-Feature.

Input-Feature	Near-Feature
AT_Kleingarten	AT_RaumUndFlächenkultur
AT_GartenPotentialfläche	AT_RaumUndFlächenkultur
AL_GartenRealfäche	AL_RaumUndFlächenkultur
oeko_LW_RLP	konv_LW_RLP

4.2 Ergebnisse

4.2.1 Schnittflächenberechnung – Deutschland

Die Ergebnisse der Berechnungen, welche mit den ATKIS-Daten durchgeführt wurden, beziehen sich auf ganz Deutschland. Die Schnittflächengröße von AT_Puffer-Flächenkultur mit AT_Kleingarten beträgt 707 ha (0,83 % von AT_Kleingarten). Die Schnittfläche von AT_Puffer-Raumkultur mit AT_Kleingarten beträgt 38 ha (0,05 % von AT_Kleingarten). Bei einer Verschneidung des Datensatzes AT_WohnenMitGarten mit AT_Puffer-Flächenkultur ergeben sich 25.877 ha (1,06 % von AT_WohnenMitGarten), mit AT_Puffer-Raumkultur 1.714 ha (0,07 % von AT_Garten-Potentialflächen). Bei den Schnittflächen mit AT_GartenPotentialflächen handelt es sich um die Summe der vorher genannten (Tabelle 9).

In Tabelle 10 sind die Gesamtflächengrößen der Datensätze angegeben, die für die Puffer- und Schnittflächenberechnungen verwendet wurden.

Tabelle 9: Ergebnisse der deutschlandweiten Schnittflächenberechnung mit den ATKIS-Daten. Schnittflächen von Puffern um verschiedene Raum- bzw. Flächenkulturen mit den Datensätzen AT_Kleingarten, AT_WohnenMitGarten und AT_GartenPotentialfläche. In Klammern steht der Anteil an der Gesamtfläche der jeweiligen Datensätze (AT_Kleingarten, AT_WohnenMitGarten bzw. AT_GartenPotentialfläche).

Schnittflächen (% der Gesamtfläche)	AT_Kleingarten [ha]	AT_WohnenMitGarten [ha]	AT_Garten-Potentialflächen [ha]
AT_Puffer-Flächenkultur	707 (0,83 %)	25.877 (1,06 %)	26.584 (1,05 %)
AT_Puffer-Raumkultur	38 (0,04 %)	1.714 (0,07 %)	1.752 (0,07 %)

Tabelle 10: Flächengrößen der verwendeten Datensätze auf Basis der ATKIS-Daten. Die Zahlen beziehen sich auf ganz Deutschland.

Flächenart	Gesamtflächengröße [ha]
AT_Flächenkultur	12.696.622
AT_Raumkultur	214.132
AT_Kleingarten	84.742
AT_WohnenMitGarten	2.437.398
AT_GartenPotentialfläche	2.522.140

4.2.2 Heatmaps

Die folgenden Abbildungen zeigen die für Deutschland berechneten Heatmaps auf Basis der ATKIS-Daten. Abbildung 21 zeigt die Flächendichte von Flächen- und Raumkulturen. Die Flächenkulturen herrschen in Sachsen-Anhalt, Sachsen und Thüringen vor und sind in Schleswig-Holstein und Mecklenburg-Vorpommern fast flächendeckend verbreitet. In Brandenburg, Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen und Bayern gibt es gebietsweise viele Flächenkulturen. Wenig bis gar kein Flächenkulturanbau findet sich in den restlichen Bundesländern. Hotspots für den Raumkulturanbau befinden sich westlich von Hamburg („Altes Land“, Obstbau (Angaben zur Kulturart vgl. Abbildung 63, Anhang VII)), in Rheinland-Pfalz an der Mosel (Wein) und im Südosten (Deutsche Weinstraße, Wein), in Baden-Württemberg im Norden (Obst und Wein), Süden (Bodensee, Obst) und Westen (Obst und Wein) sowie in der Mitte Bayerns (Hallertau, Hopfen).

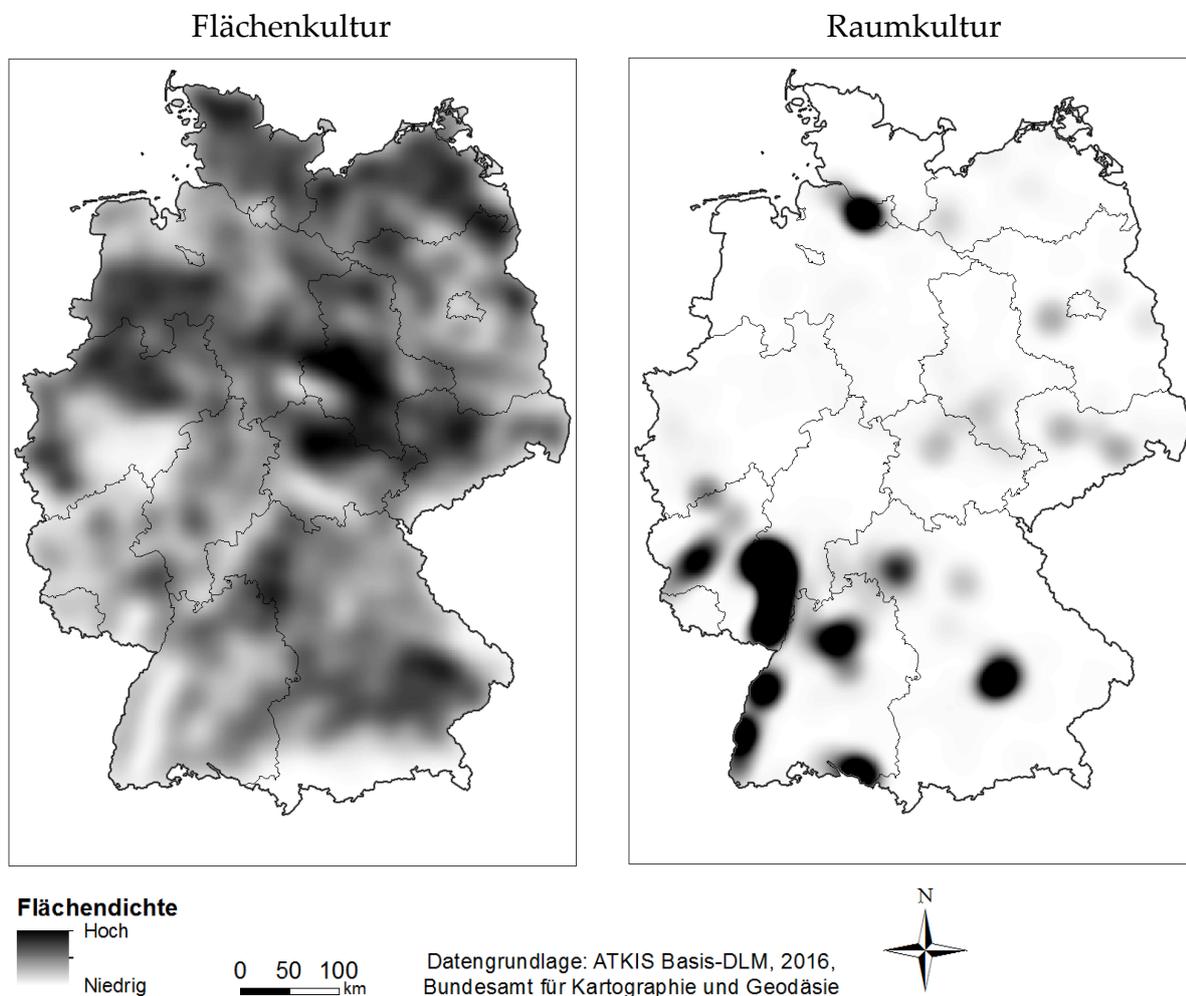


Abbildung 21: Flächendichte der Kulturarten Flächenkultur (links) und Raumkultur (rechts).

Die Hotspots der Kleingärten und Garten-Potentialflächen sind in Abbildung 22 dargestellt. Eine hohe Dichte an Kleingärten befindet sich in Berlin, Sachsen (Leipzig, Chemnitz/Zwickau, Dresden), Hamburg, Sachsen-Anhalt (Halle, Magdeburg), Hannover, Bremen, Erfurt und im Rhein-Main-Gebiet. Die größten Hotspots für Garten-Potentialflächen finden sich im Ruhrgebiet, in Berlin und Hamburg. Weitere befinden sich bei weiteren Großstädten Deutschlands, zum Beispiel in Bielefeld, Bremen, Hannover, Dresden, München und Stuttgart.

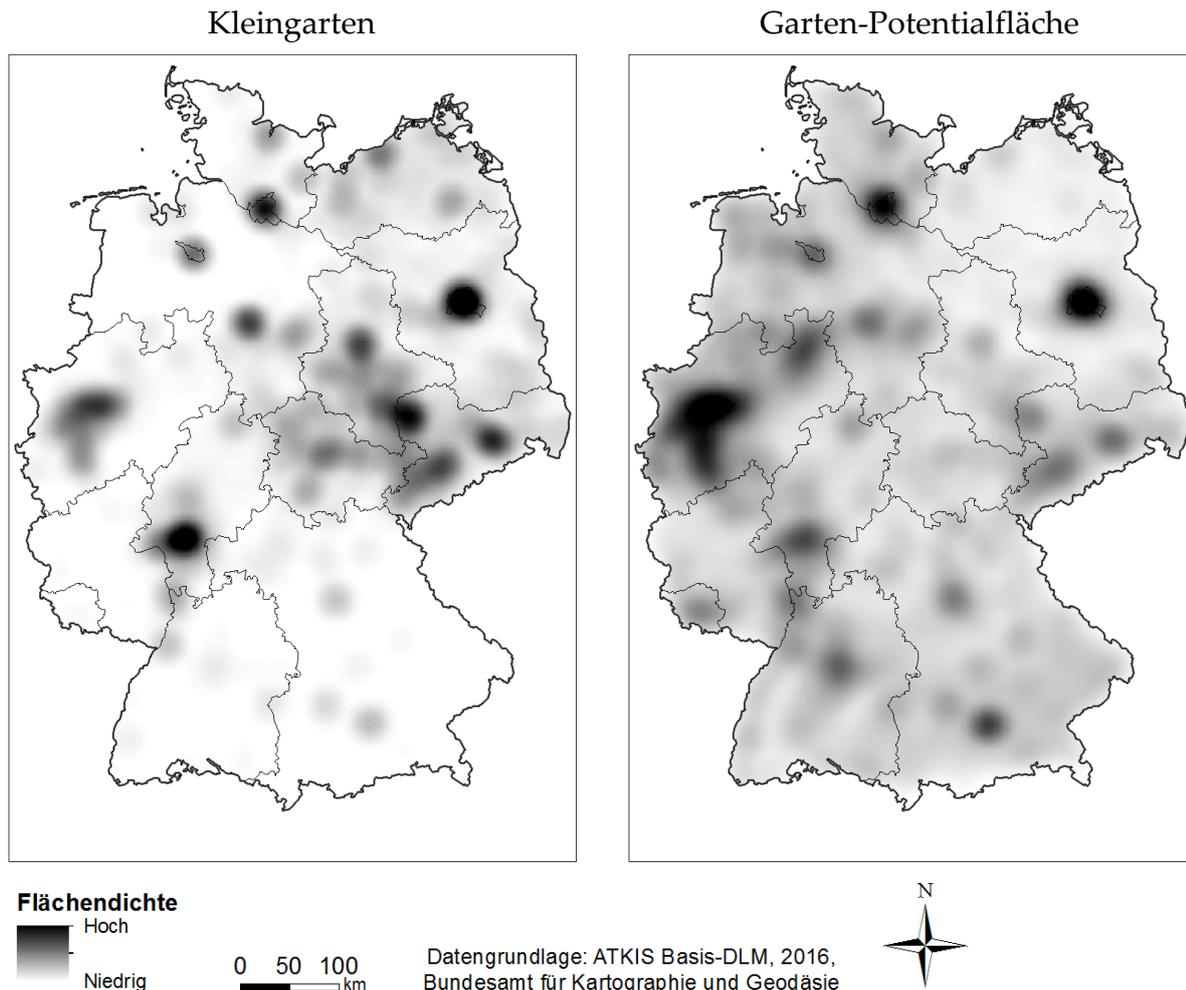


Abbildung 22: Flächendichte der Gartenkategorien AT_Kleingarten (links) und AT_ Garten-Potentialfläche (rechts).

Die Hotspots der Schnittflächen von Kleingärten mit dem Puffer um Flächenkulturen liegen in Sachsen-Anhalt, Sachsen, Thüringen und im Rhein-Main-Gebiet, die mit dem Puffer um Raumkulturen vor allem im Rhein-Main-Gebiet (Abbildung 23). Hotspots geringerer Dichte befinden sich in Sachsen, Sachsen-Anhalt, Thüringen, Hamburg und im Nordwesten Bayerns.

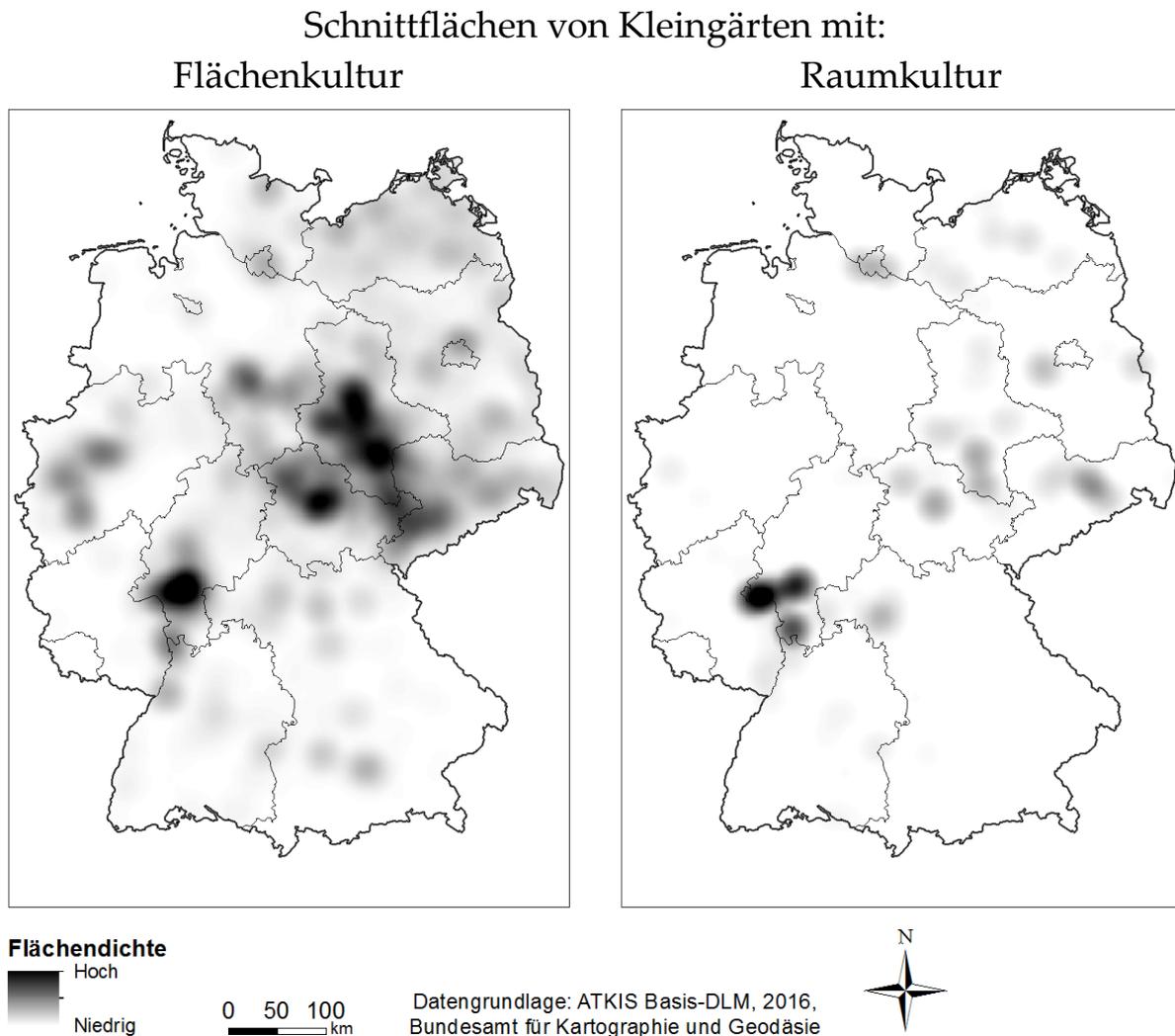


Abbildung 23: Flächendichte der Schnittflächen von AT_Kleingarten mit AT_Puffer-Flächenkultur (2 m) (links) und AT_Puffer-Raumkultur (5 m) (rechts).

Abbildung 24 zeigt die Hotspots der Schnittflächen von Garten-Potentialflächen mit Puffern um Flächenkulturen und um Raumkulturen. Erstere liegen vor allem im Ruhrgebiet. Weitere Hotspots mit geringerer Flächendichte liegen im Südosten Bayerns, um Hamburg und im Westen Sachsens. Hotspots der Schnittflächen mit Puffern um Raumkulturen liegen westlich von Hamburg („Altes Land“), im Südwesten von Rheinland-Pfalz (Deutsche Weinstraße), im Westen und im Süden von Baden-Württemberg sowie zentral in Bayern (Hallertau).

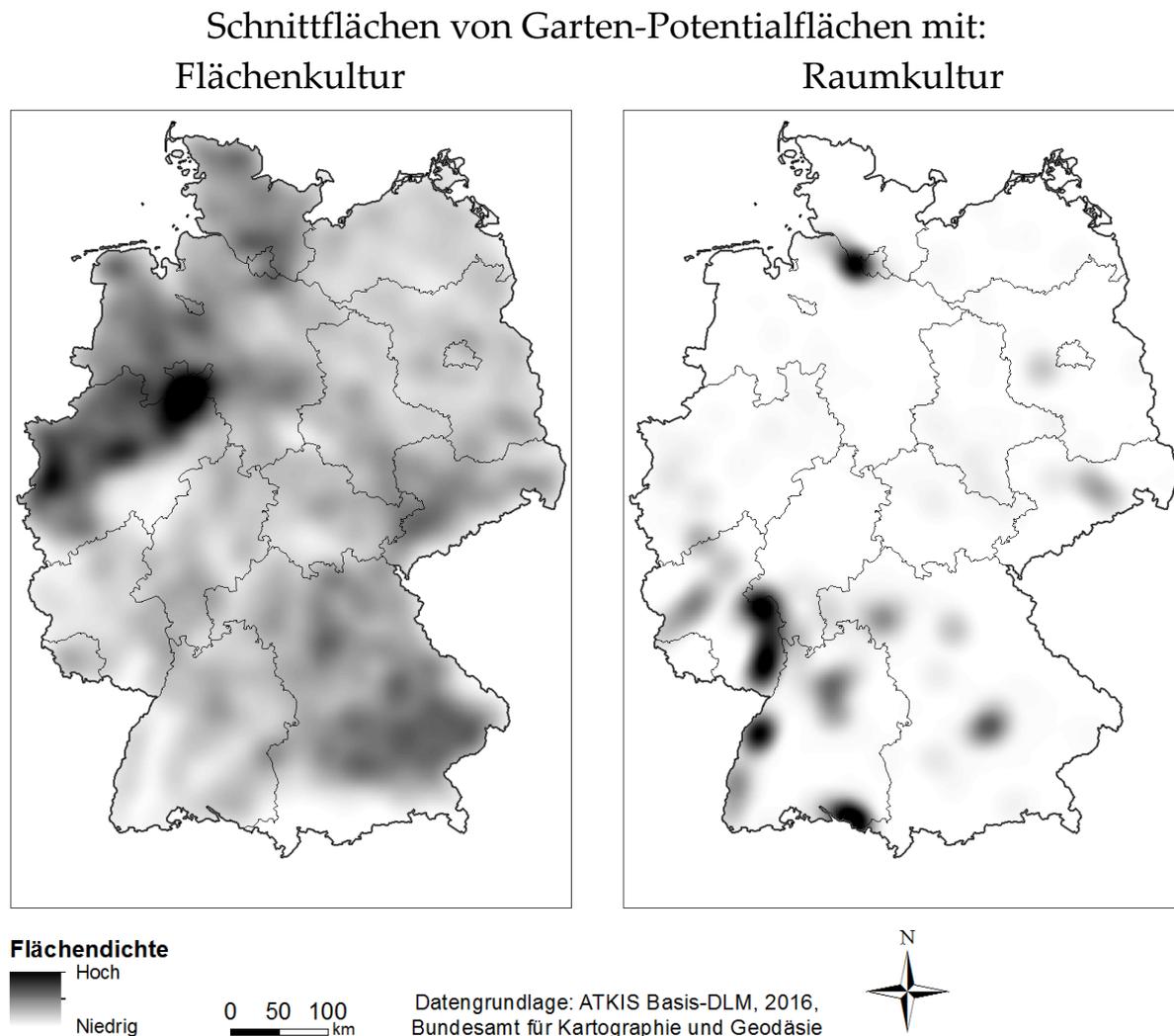


Abbildung 24: Flächendichte der Schnittflächen von AT_Garten-Potentialfläche mit AT_Puffer-Flächenkultur (2 m) (links) und AT_Puffer-Raumkultur (5 m) (rechts).

4.2.3 Near-Berechnungen für ganz Deutschland auf Grundlage der ATKIS-Daten

Die Ergebnisse der Near-Berechnungen zeigen die Abstände von allen Kleingärten bzw. Garten-Potentialflächen zu Raum- und Flächenkulturen je Bundesland. Die Ergebnisse sind angegeben in Prozent der Gesamt-(Klein)Gartenanzahl. Für die Berechnungen wurden die ATKIS-Daten verwendet.

4.2.3.1 Kleingärten in Nachbarschaft zu Raum- und Flächenkulturen

Abbildung 25 zeigt die Ergebnisse der Near-Berechnung für Kleingärten, die mit 0 m Abstand zu Raum- und Flächenkulturen liegen. In Sachsen-Anhalt liegen mit 54,5 % die meisten Kleingärten angrenzend zu Raum- oder Flächenkulturen, gefolgt von Bayern und Niedersachsen mit ca. 46 %. Die wenigsten Kleingärten grenzen in Hamburg (8,0 %), Bremen (6,9 %) und Berlin (3,6 %) direkt an Raum- und Flächenkulturen an.

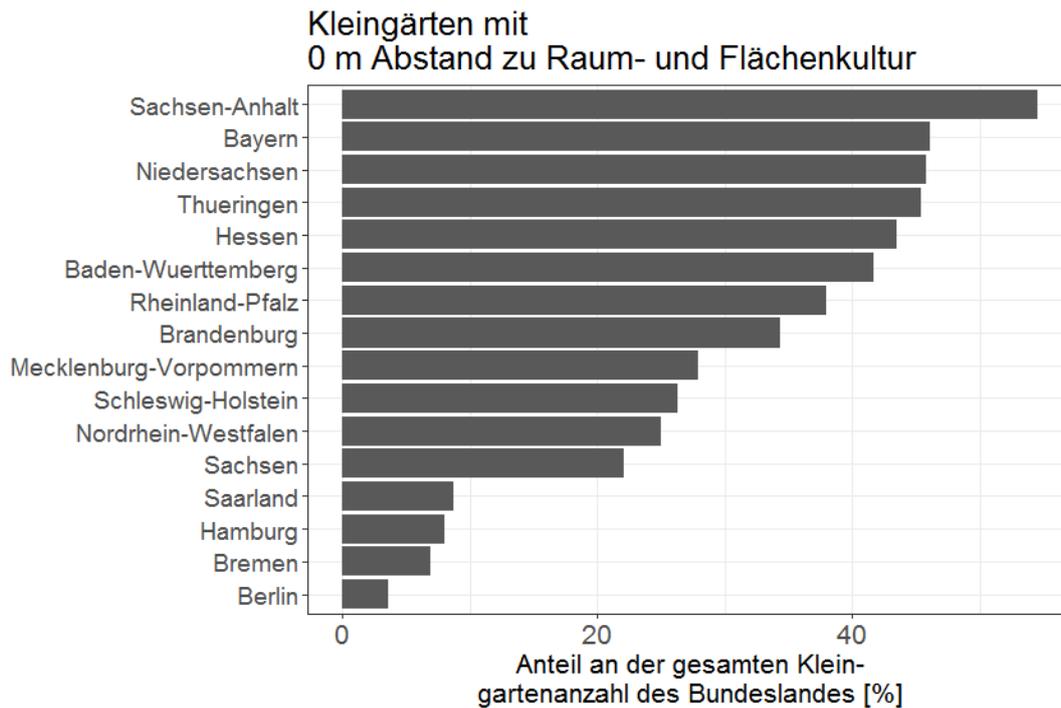


Abbildung 25: Anteil der Kleingärten, die mit 0 m Abstand zu Raum- oder Flächenkulturen liegen.

Abbildung 26 zeigt den kumulativen Anteil der Kleingartenflächen, der einen Abstand zwischen > 0 m und 20 m zu Raum- und Flächenkulturen hat, unterteilt in 1 m Schritte. Jeder Balken summiert die links von ihm liegenden auf, so dass der rechte Balken in jedem Diagramm den Gesamtprozentsatz der Kleingärten angibt, die in einem Abstand von 20 m oder weniger zu Raum- und Flächenkulturen liegen. In Rheinland-Pfalz liegen mit 6,6 % die meisten Kleingärten in diesem Abstand zu Raum- und Flächenkulturen, die zweitmeisten im Saarland (5,8 %) und die drittmeisten in Baden-Württemberg mit 4,8 %. Die wenigsten Kleingärten liegen in Hamburg (0,7 %) und Berlin (0,8 %) in einem Abstand von > 0 bis 20 m zu Raum- und Flächenkulturen (vgl. auch Tabelle 43, Anhang VII).

Abstände von Kleingärten zu Raum- und Flächenkultur

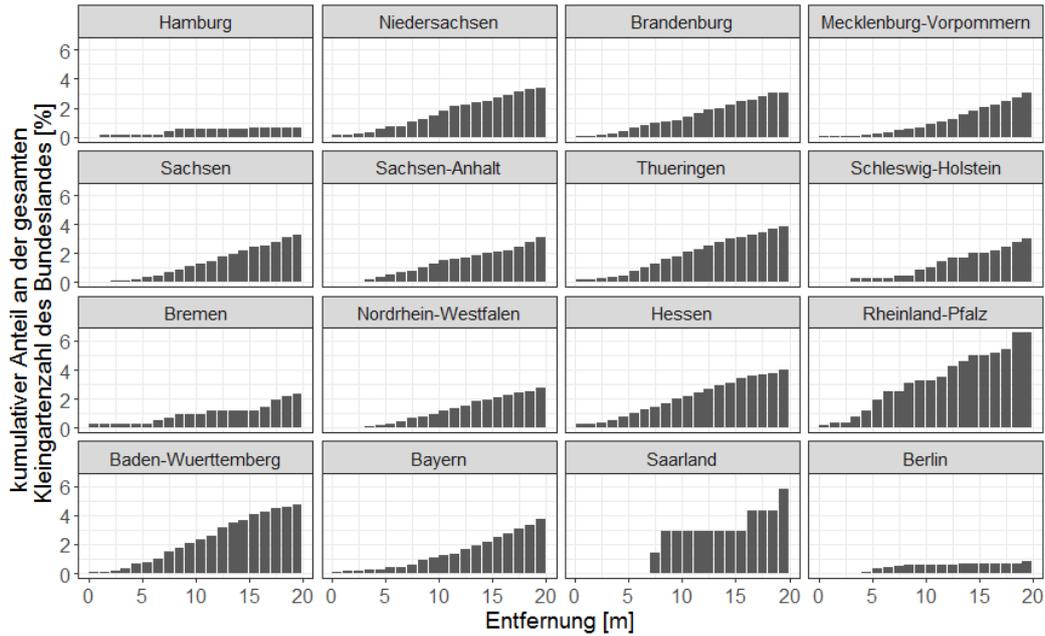


Abbildung 26: Anteil der Kleingärten, die in einem Abstand > 0 bis 20 m zu Raum- und Flächenkulturen liegen.

4.2.3.2 Garten-Potentialflächen in Nachbarschaft zu Raum- und Flächenkulturen

In Schleswig-Holstein liegen mit 57,5 % die meisten Garten-Potentialflächen in einem Abstand von 0 m zu Raum- und Flächenkulturen, gefolgt von Niedersachsen mit 51,1 % und Mecklenburg-Vorpommern mit 43,6 %. Die wenigstens liegen in Hamburg (11,7 %), Bremen (5,2 %) und Berlin (2,0 %) direkt angrenzend (Abbildung 27) zu landwirtschaftlichen Flächen.

In den meisten Bundesländern liegen zwischen 2,5 % und 3,8 % der Garten-Potentialflächen in einem Abstand von > 0 m bis 20 m zu Raum- und Flächenkulturen. Nur in Berlin (0,4 %), Bremen (0,9 %) und Hamburg (1,1 %) liegt der Anteil deutlich darunter (Abbildung 28 und Tabelle 44, Anhang VII).

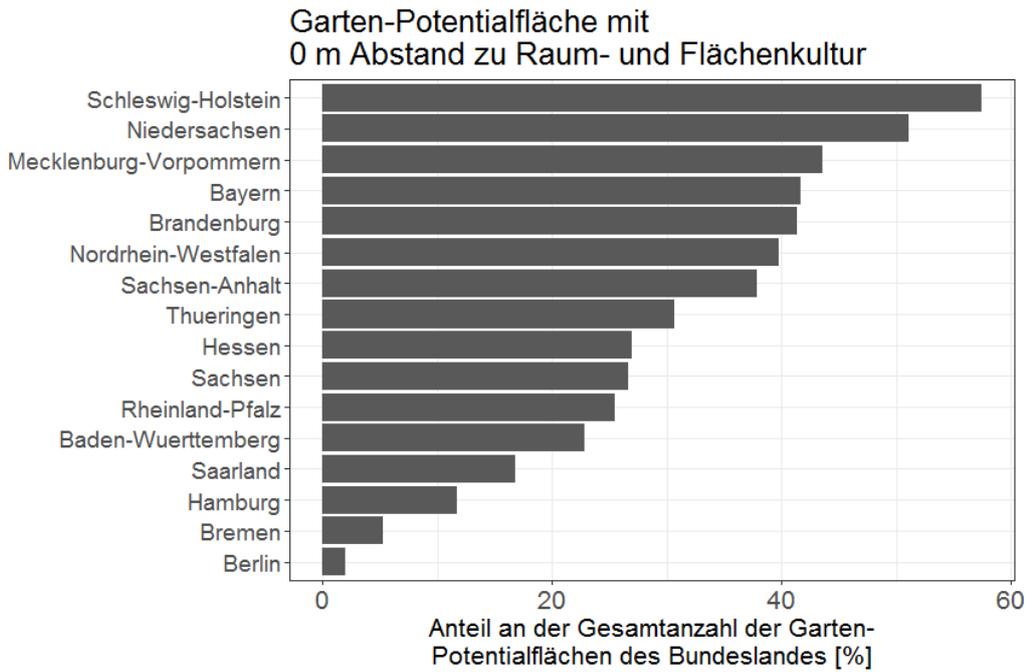


Abbildung 27: Anteil der Garten-Potentialflächen, die in 0 m Abstand zu Raum- oder Flächenkulturen liegen.

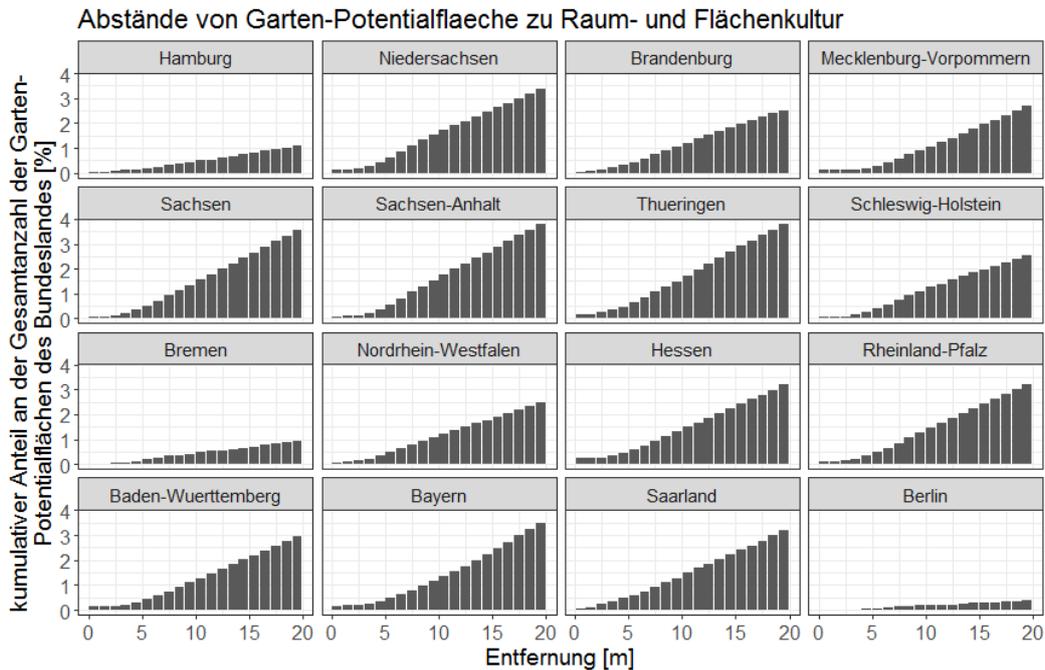


Abbildung 28: Kumulativer Anteil der Garten-Potentialflächen, die in einem Abstand >0 – 20 m zu Raum- und Flächenkulturen liegen.

4.2.4 Ermittlung der realen Gartenflächen in Rheinland-Pfalz

Die Gesamtflächengröße des Datensatzes MAD-Garten beträgt 30.695 ha. Der Datensatz GartenRealfläche (= AL_Kleingarten + AL_Garten + MAD-Garten) weist eine Gesamtgartenfläche von 47.437 ha für RLP aus. Abbildung 29 zeigt einen Ausschnitt aus dem

Datensatz MAD-Garten. Zu erkennen ist, dass versiegelte Flächen und Bebauungen nicht im Datensatz inbegriffen sind.



Abbildung 29: Ausschnitt aus dem Datensatz MAD-Garten.

4.2.5 Schnittflächenberechnung – Rheinland-Pfalz

Die Ergebnisse der Schnittflächenberechnungen für RLP sowohl mit den ATKIS-, als auch mit den ALKIS- und den MAD-Daten sind in Abbildung 30 (Schnittflächen von Gärten mit dem Puffer um Raumkulturen) und Abbildung 31 (Schnittflächen von Gärten mit dem Puffer um Flächenkulturen) dargestellt.

Die Wertart Garten liegt nur in ALKIS vor. Die ermittelten Flächengrößen der Schnittflächen von Gartenflächen und Puffern um Raumkulturen sind bei den Berechnungen mit ATKIS größer als bei den Berechnungen mit ALKIS. Des Weiteren sind die Schnittflächen mit dem Datensatz Kleingarten (ATKIS: 2 ha, ALKIS: 1 ha) deutlich geringer als die mit dem Datensatz Garten (ALKIS: 168 ha) bzw. WohnenMitGarten (ATKIS: 499 ha, ALKIS: 151 ha). Die Schnittflächengröße der Garten-Potentialflächen mit dem Puffer um Raumkulturen ergibt sich aus denen von Kleingarten, Garten (ALKIS) und WohnenMitGarten. Die Flächengröße der Garten-Realflächen, die in einem 5 m Puffer zu Raumkulturen liegen, beträgt 261 ha. Das sind 0,55 % der Gesamtflächengröße der Garten-Realflächen (47.437 ha).

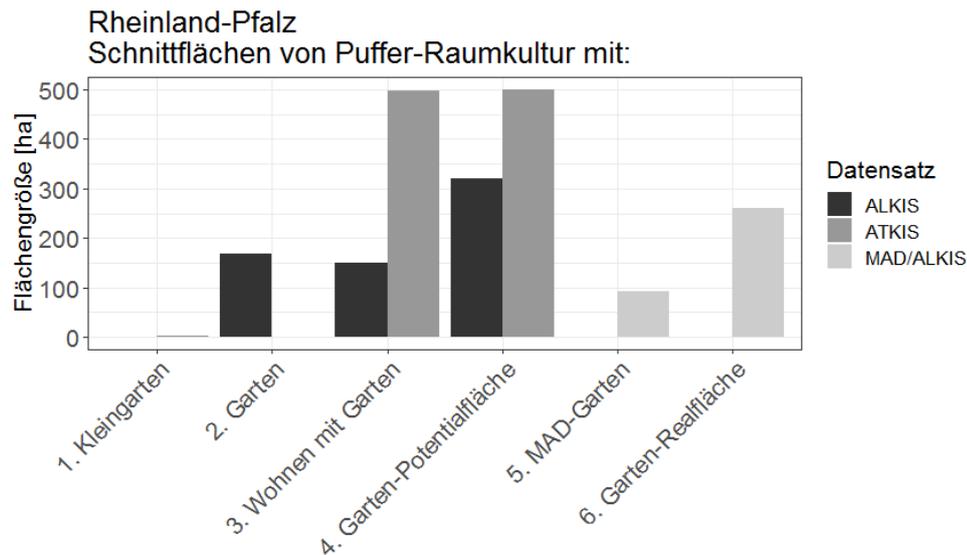


Abbildung 30: Flächengröße der Schnittflächen eines 5 m Puffers um Raumkulturen mit verschiedenen Gartenflächen. Berechnungen für RLP aus Basis der ALKIS-, ATKIS- und MAD-Daten.

Die Schnittflächenberechnungen mit einem 2 m Puffer um Flächenkulturen und Gartenflächen für RLP zeigen ein ähnliches Ergebnis (Abbildung 31), jedoch ist die Gesamtschnittflächengröße mit Puffern um Flächenkulturen größer. Mit den Garten-Realflächen ergibt sich eine Schnittflächengröße von 301 ha. Das entspricht 0,63 % der Gesamtflächengröße der Garten-Realflächen in RLP.

In Tabelle 41 im Anhang VII sind die Flächengrößen detailliert aufgeführt.

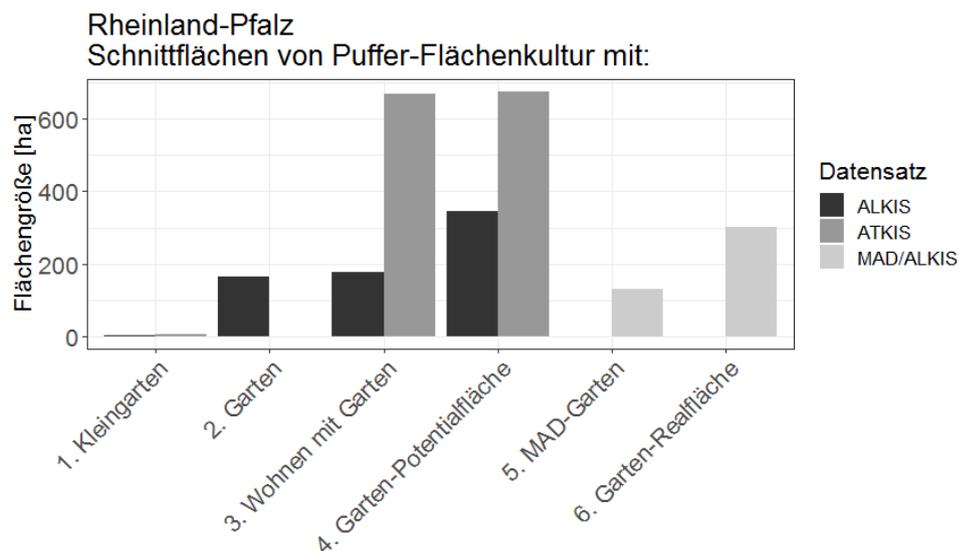


Abbildung 31: Flächengröße der Schnittflächen eines 2 m Puffers um Flächenkulturen mit verschiedenen Gartenflächen. Berechnungen für RLP aus Basis der ALKIS-, ATKIS- und MAD-Daten.

4.2.6 Near-Berechnungen RLP: Garten-Realflächen in Nachbarschaft zu Raum- und Flächenkultur

Die Berechnung der Near-Tabelle auf Grundlage der ALKIS- und MAD-Daten ergibt, dass 3,0 % aller Gärten mit 0 m Abstand zu Raum- und Flächenkulturen liegen. 7,0 % aller Gärten haben einen Abstand von > 0 m bis 20 m und 90 % der Gärten liegen mehr als 20 m entfernt von Raum- und Flächenkulturen (Abbildung 32).

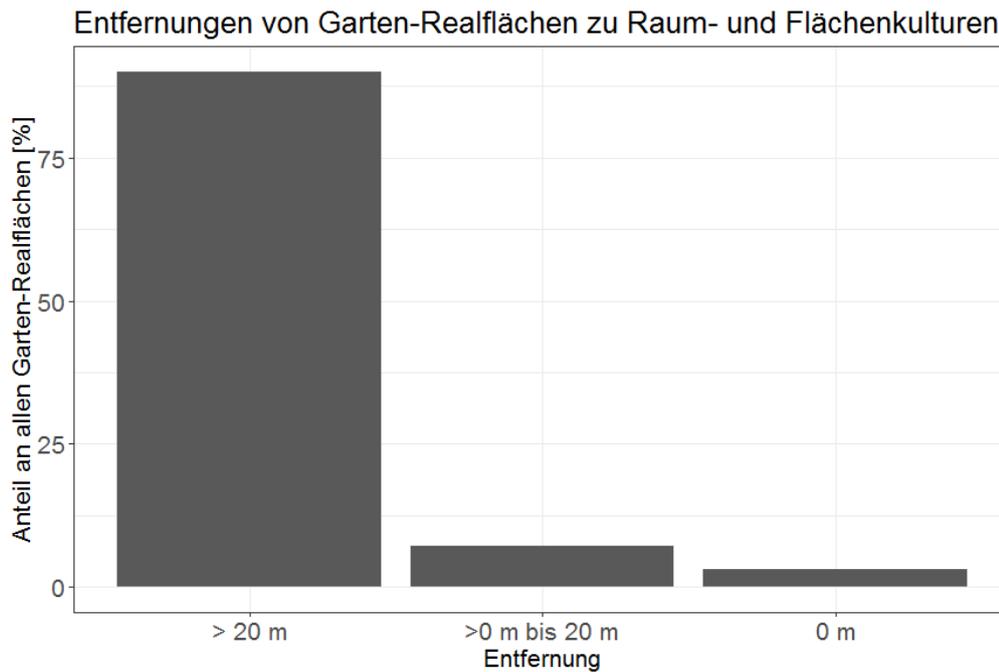


Abbildung 32: Abstand von Garten-Realflächen zu Raum- und Flächenkulturen in RLP auf Basis der ALKIS/MAD-Daten.

In Abbildung 33 sind die Gärten, die einen Abstand von >0 m bis 20 m zu Raum- und Flächenkulturen haben in 1 m Abstände aufgeschlüsselt. Die Zunahme erfolgt gleichmäßig. Zwischen 2 m und 5 m jedoch etwas steiler.

Abstände von Garten-Realflächen zu Raum- und Flächenkulturen in RLP

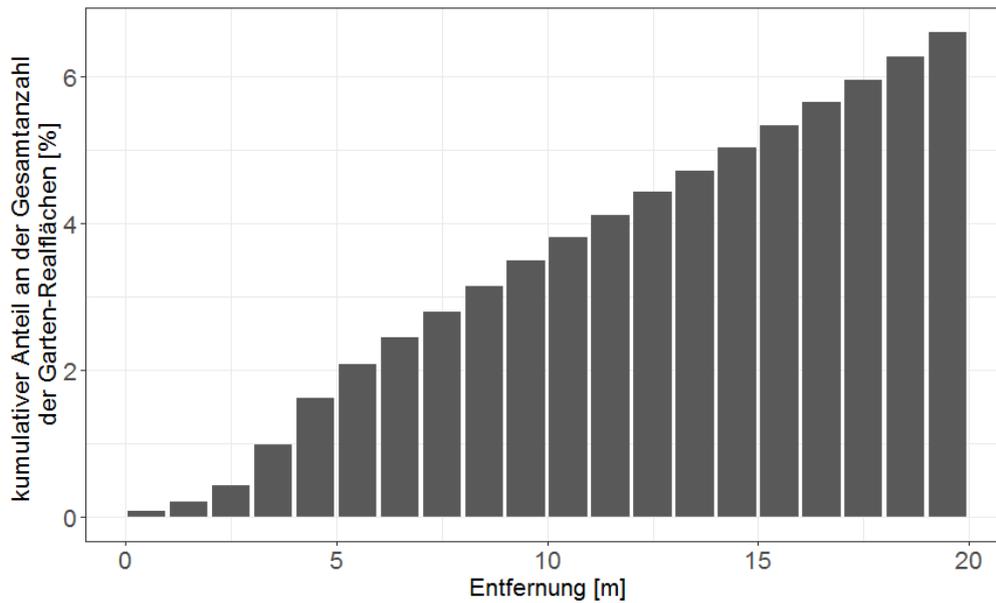


Abbildung 33: Aufschlüsselung Garten-Realflächen, die einen Abstand von >0 m bis 20 m zu Raum- und Flächenkulturen haben in 1 m Abständen. Berechnungen auf Basis der ALKIS/MAD-Daten.

4.2.7 Near-Berechnungen mit den ökologisch und konventionell bewirtschafteten Flächen in RLP

47,1 % der ökologisch bewirtschafteten Flächen in RLP liegen mit 0 m Abstand zu konventionell bewirtschafteten Flächen. 30,5 % der Flächen haben einen Abstand von > 0 m bis 20 m und 22,5 % der Flächen liegen weiter als 20 m entfernt zu konventionell bewirtschafteten landwirtschaftlichen Flächen (Abbildung 34).

Die ökologisch bewirtschafteten Flächen, die in einen Abstand von > 0 m bis 20 m zu konventionell genutzten liegen, wurden in 1 m Abstände aufgeschlüsselt. Abbildung 35 zeigt eine starke Zunahme des prozentualen Anteils an der Gesamtanzahl der Flächen bei einem Abstand von 3 m bis 5 m.

Entfernungen von ökologisch bewirtschafteten Flächen zu konventionell bewirtschafteten Flächen

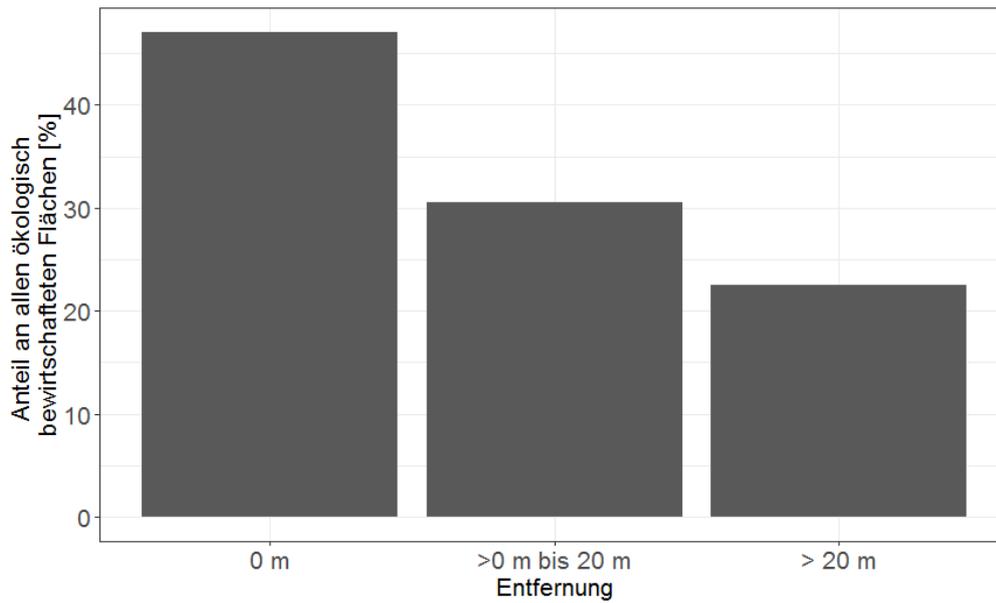


Abbildung 34: Ergebnisse der Near-Berechnungen mit ökologisch bewirtschafteten Flächen als In-Feature und konventionell bewirtschafteten als Near-Feature.

Abstände von ökologisch bewirtschafteten Flächen zu konventionell bewirtschafteten Flächen

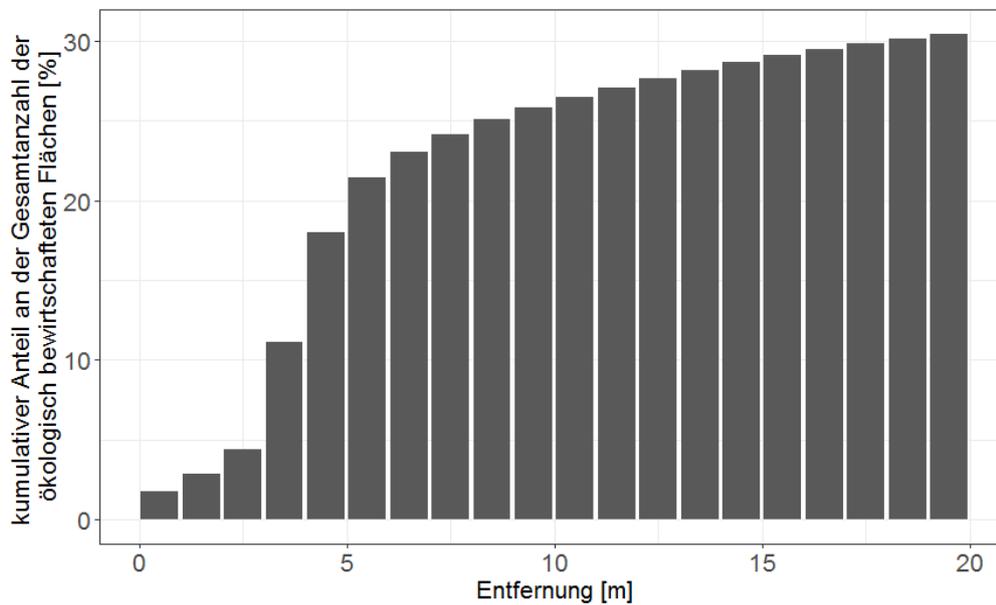


Abbildung 35: Aufschlüsselung der ökologisch bewirtschafteten Flächen, die einen Abstand von >0 m bis 20 m zu konventionell bewirtschafteten haben in 1 m Abständen.

5 Diskussion

5.1 Semi-Freilandversuche im Windtunnel

In den Versuchen konnte grundsätzlich ein hohes Bestimmtheitsmaß (R^2 von 0,88 bis 0,97) zwischen der Bodendeposition und der Deposition auf dem essbaren Teil der verwendeten Versuchskulturen im Windtunnel festgestellt werden. Die Wahl des Testsystems Windtunnel führte zu vielversprechenden Ergebnissen und lässt erste Abschätzungen der Exposition von Lebensmittelkulturen im Freiland zu. Die verwendete Methode zur Auswertung der gewonnenen Daten, Vor- und Nachteile der verwendeten Testsysteme und Möglichkeiten der Nutzung der gewonnenen Erkenntnisse werden im Folgenden diskutiert.

5.1.1 Beurteilung der ermittelten Rückstandshöhen auf den Versuchsobjekten

Eine Auffälligkeit bei den Ergebnissen der Versuche mit dem Testsystem Flächenkultur ist, dass zwischen den Rückstandshöhen in 1 m Entfernung und denen in 3 m Entfernung eine Lücke in den Scatterplots zu sehen ist (Abbildung 5 bis Abbildung 7, Kapitel 3.2.5). Das Tröpfchenspektrum der verwendeten Flachstrahldüse setzt sich aus Tropfen verschiedener Größen zusammen (Tabelle 5, Kapitel 3.1.2). Große Tropfen deponieren auf Grund ihrer Masse schneller. Sie setzen sich hauptsächlich auf den Versuchsobjekten in 1 m Entfernung ab und transportieren wegen ihrer Größe viel Pyranin. Zusätzlich zu den großen Tropfen deponieren durch die geringe Düsenhöhe auch kleinere in dieser Entfernung. Die Rückstände setzen sich also aus dem grobtropfigen und dem feinen Sprühnebel zusammen. Weiter entfernt vom Spritzbalken resultieren die Rückstände nur noch aus letzterem, da die großen Tropfen schon deponiert sind. Der feinere Sprühnebel verteilt sich jedoch auf der ganzen Versuchsfläche. Die verschiedenen Tropfengrößen in Abhängigkeit von der Entfernung ließen sich auch in den Petrischalen nach der Applikation gut erkennen.

Die im Testsystem Raumkultur verwendeten Hohlkegeldüsen zeigen ein ähnliches Tropfenspektrum wie die Flachstrahldüsen (Tabelle 6, Kapitel 3.2.1). Durch den höher gesetzten Spritzbalken deponieren die Tropfen des feinen Sprühnebels in einer Entfernung von 1 m zum Spritzbalken nicht. Die Deposition findet erst bei einer größeren Entfernung statt. Auch größere Tropfen deponieren auf Grund des höher gesetzten Spritzbalkens zum Teil erst in größeren Entfernungen. Die Driftbeläge in der Petrischale in 1 m Entfernung setzen sich deshalb nur aus wenigen Tropfen großen Durchmessers zusammen, was zu geringeren Rückstandsmengen führt. Das ließ sich nach der Applikation auch in den Petrischalen erkennen. Die Massebeläge in den Petrischalen in 1 m Entfernung sind vergleichbar mit denen in 7 m und 10 m Entfernung, unabhängig von der verwendeten Versuchspflanze (Abbildung 8 bis Abbildung 10, Kapitel 3.2.5). Die Erdbeeren wurden in Bodennähe geerntet, deshalb liegen die Rückstandshöhen auf den Erdbeeren in 1 m Entfernung auch im Bereich der Rückstandshöhe auf denen in 7 m und 10 m Entfernung, vergleichbar auch mit den Rückstandshöhen der Petrischalen. Das gleiche trifft auf die Salatköpfe zu. Da die Salatköpfe auf Grund ihrer Blattstruktur eine größere Oberfläche als Erdbeeren haben, können sie mehr

Abdrift aufnehmen. Auf Erdbeeren wurde bis zu 2,11 µg/g Pyranin (Tabelle 29, Anhang IV) gefunden, auf Salat bis zu 3,11 µg/g (Tabelle 37, Anhang IV). Dadurch, dass die Tomaten aus einer Höhe von ca. 75 cm geerntet wurden, waren diese auch bei geringen Entfernungen zum Spritzbalken der gesamten Driftwolke ausgesetzt. Das spiegelt sich in den Rückstandswerten der Versuchspflanzen in 1 m Entfernung wieder. Die Rückstandshöhen entsprechen denen in 3 m Entfernung bzw. sind etwas höher.

Die Zusammensetzung des Sprühnebels, der in 1 m Entfernung deponiert, unterscheidet sich folglich für alle Versuche stark von der des Sprühnebels, der ab 3 m Entfernung zum Spritzbalken deponiert. Dies war auch in den Petrischalen zu erkennen. In den mit 1 m Entfernung zum Spritzbalken aufgestellten Petrischalen fanden sich nach der Applikation nur wenige große Tropfen der Spritzflüssigkeit. In einer Entfernung ab 3 m waren mehr und feinere Tropfen erkennbar. Dadurch stehen die Rückstandswerte, welche in 1 m Entfernung gemessen wurden, in keiner erkennbaren Beziehung zu den Rückstandswerten, welche auf den Versuchsobjekten der anderen Entfernungen gemessen wurden. Deshalb und da eine Praxisrelevanz dieser geringen Entfernung fraglich ist, wurden die auf den Versuchsobjekten der 1 m Entfernung ermittelten Rückstandshöhen nicht in die Regressionsanalysen einbezogen.

Beim Vergleich der zwei Testsysteme in Bezug auf die Rückstandshöhe je Entfernung fällt auf, dass die Rückstände sowohl in den Petrischalen als auch auf dem essbaren Teil der Versuchspflanzen im Testsystem Raumkultur höher sind als im Testsystem Flächenkultur, abgesehen von den Rückstandshöhen auf Petrischalen und Versuchsobjekten in einer Entfernung von 1 m zum Spritzbalken. Dies lässt sich auf den höher gesetzten Spritzbalken zurückführen.

5.1.2 Diskussion der Regressionsanalysen

Beim Auftrag des Massebelags der Bodendeposition (Petrischale) gegen den Massenanteil der Deposition auf dem essbaren Teil der Versuchspflanzen kann nur teilweise ein linearer Zusammenhang festgestellt werden (Testsystem Raumkultur: Versuchspflanzen Salat (Abbildung 10) und Tomate (Abbildung 9), Kapitel 3.2.5). Die Durchführung einer linearen Regressionsanalyse für jedes Testsystem und jede Versuchspflanze führt zwar zu einem ausreichend hohen Bestimmtheitsmaß R^2 (zwischen 0,88 und 0,97), jedoch liegt eine Heteroskedastizität vor, welche sich in den Diagnostic Plots, die R bei einer Regressionsanalyse ausgibt, bemerkbar macht (Anhang V), und welche keine lineare Regression zulässt. Die Heteroskedastizität lässt sich auch in den Scatterplots (Abbildung 5 bis Abbildung 10, Kapitel 3.2.5) erkennen, da die Rückstandshöhe mit steigender Entfernung vermehrt streut. Deshalb wurden die x- und y-Werte mit dem natürlichen Logarithmus transformiert. Für die anschließende lineare Regression waren alle Voraussetzungen, wie linearer Zusammenhang, Varianzhomogenität und Normalverteilung der Residuen, erfüllt (vgl. Diagnostic Plots, Anhang VI). Auch die ermittelten R^2 -Werte liegen in allen Fällen höher

als bei der linearen Regression ohne Transformation. Bei den daraus resultierenden Regressionsgleichungen handelt es sich um Wurzelfunktionen (der Exponent zur Basis x ist kleiner als 1): Bei steigender Rückstandshöhe in den Petrischalen im niedrigen Konzentrationsbereich steigen die Rückstandshöhen auf dem essbaren Anteil der Versuchspflanzen stark an. Bei weiter zunehmender Rückstandsmenge in den Petrischalen flacht der Anstieg der Rückstandsmenge auf dem essbaren Anteil ab. Dieser Zusammenhang ist bei den Versuchen mit Erdbeeren am stärksten ausgeprägt und bei den Versuchen mit Salat im Testsystem Raumkultur am schwächsten. Das spiegelt sich auch in den Gleichungen wieder. Der Exponent zur Basis x bestimmt die Krümmung der Geraden. Je weiter dieser von 1 abweicht, desto stärker ist die Krümmung. Bei den Regressionsgleichungen der Versuche mit Erdbeeren liegt der Exponent bei 0,67 (Testsystem Raumkultur) bzw. 0,64 (Testsystem Flächenkultur), bei den Versuchen mit Tomaten bei 0,83 (Testsystem Raumkultur) bzw. 0,80 (Flächenkultur) und bei den Versuchen mit Salat bei 0,91 (Testsystem Raumkultur) bzw. 0,85 (Testsystem Flächenkultur).

Der Exponent zur Basis e bestimmt die Steigung. Je kleiner der Exponent, desto geringer die Zunahme des Massenanteils am essbaren Anteil der Versuchspflanzen im Vergleich zum Massebelag in den Petrischalen. Die Steigung der Regressionsgleichung der Versuche mit Kopfsalat ist am höchsten. Durch das bodennahe Wachstum und seine große Oberfläche auf Grund der Blattstruktur fängt von den verwendeten Versuchspflanzen der Salat die meisten Rückstände auf. Die zweitgrößte Steigung wurde bei den Regressionsgleichungen der Versuche mit Erdbeeren ermittelt. Durch ihre Bodennähe und das schlechtere Volumen : Masse-Verhältnis werden auf den Erdbeeren mehr Rückstände pro Gramm gefunden als auf den Tomaten. Die Regressionskurven der Versuche mit Tomaten haben eine Steigung kleiner 1, da die Exponenten bei beiden Testsystemen negativ sind. Somit wurden auf den Tomaten die wenigsten Rückstände im Vergleich zur Bodendeposition gefunden. Das liegt daran, dass die Tomaten aus ca. 75 cm Höhe geerntet wurden und die Driftwolke sich mit der Entfernung absetzt.

Das verwendete Testsystem hat bei den Versuchen mit Erdbeeren und Salat kaum einen Einfluss auf die ermittelte Regressionsgleichung. Bei den Versuchen mit Tomaten unterscheiden sich die Regressionsgleichungen deutlich. Im Testsystem Raumkultur (Exponent zur Basis $e = -0,39$) wurden mehr Rückstände auf den Tomaten gefunden als im Testsystem Flächenkultur (Exponent zu Basis $e = -0,79$). Dies lässt sich dadurch erklären, dass der Spritzbalken im Testsystem Raumkultur höher angebracht ist als im Testsystem Flächenkultur und die Spritzwolke in letzterem schneller unter die Erntehöhe der Tomaten absinkt. Der Höhenunterschied der Düsen macht nur bei höherwüchsigen Pflanzen wie Tomaten einen Unterschied in den abdriftbedingten Rückständen, bei bodennah wachsenden wie Erdbeeren und Salat nicht.

5.1.3 Beurteilung der Testsysteme Raumkultur und Flächenkultur

Die Kulturarten in der Landwirtschaft lassen sich anhand der verwendeten Applikationstechnik der PSM in zwei Kategorien einteilen: Raumkulturen und Flächenkulturen (siehe Kapitel 1.1). Bei Raumkulturen entsteht auf Grund der seitlich bzw. nach oben gerichteten Düsen mehr Abdrift (Ganzelmeier et al., 1995). Flächenkulturen sind in Deutschland jedoch deutlich stärker verbreitet (Flächenkultur: 66,6 %, Raumkultur: 1,1 %, Grünland: 31,2 % der landwirtschaftlichen Fläche, Datengrundlage: ATKIS). Deshalb wurden zwei Testsysteme entwickelt, die trotz der vorhandenen Limitationen im Windtunnel die Applikationstechniken möglichst realistisch abbilden sollen. Die Überlegungen zum Versuchsaufbau orientierten sich an den im Freiland durchgeführten Abdriftversuchen von Ganzelmeier et al. (1995). Die Applikation fand bei diesen Versuchen im 90°-Winkel zur Windrichtung statt. Dies ist allerdings für die Versuche im Windtunnel auf Grund der räumlichen Limitierung nicht umsetzbar. Deshalb wurde ein fest installierter Spritzbalken gewählt. Ein weiterer Unterschied zu den Freilandversuchen liegt darin, dass keine Zielkultur im Windtunnel behandelt wurde, sondern nicht bewachsener Boden. Das Einbringen einer Zielkultur hätte möglicherweise zu starken Luftverwirbelungen geführt, wodurch eine Reproduzierbarkeit der Versuche nicht mehr gegeben wäre. Ziel war es jedoch ein grundlegendes und kontrollierbares Testsystem zu etablieren, um eine Datengrundlage zu erstellen, die eine erste Abschätzung der Rückstände auf benachbarten Lebensmittelkulturen erlaubt. Bei einer gegebenen Reproduzierbarkeit und Erhalt einer ausreichend großen Datengrundlage kann dieses System zum Beispiel durch das Einbringen einer Zielkultur erweitert werden, um die Realität besser abzubilden.

Das Testsystem Flächenkultur stimmt weitgehend mit Freiland-Applikationen auf Flächenkulturen überein. Sowohl im Freiland als auch im Windtunnel findet eine nach unten gerichtete Applikation statt. Des Weiteren sind Applikationen auf den vegetationslosen Boden, beispielsweise mit Voraufbauherbiziden, auch im Freiland üblich. Nach der guten fachlichen Praxis im Pflanzenschutz soll Abdrift möglichst vermieden werden (Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, 2010). Dazu wird empfohlen, die Düsen mit 50 cm Abstand zur Zielfläche zu führen (z.B. Balsari et al., o.D.; Hortipendium, 2018). Die Düsenhöhe im Testsystem Flächenkultur wurde jedoch auf 110 cm festgelegt, da die Driftwolke im Windtunnel im Gegensatz zum Freiland schneller absinkt und deshalb bei einer Düsenhöhe von 50 cm im Windtunnel in größeren Entfernungen kaum Abdrift gemessen werden konnte.

Die Simulation der Applikation von PSM auf eine Raumkultur im Windtunnel stellte eine größere Herausforderung dar. Trifft Wind auf eine Barriere, wird er nach oben und anschließend über die Barriere hinweg geleitet. Dadurch kommt es zu starken Luftverwirbelungen. Bei der Barriere kann es sich um eine Mauer oder dicht bewachsene Vegetation handeln (Davis et al., 1994). Dies passiert auch mit der Driftwolke bei Applikation von PSM auf eine Raumkultur. Zudem wird ein Teil der Driftwolke abhängig vom Belaubungsgrad durch die zu behandelnde Kultur hindurch geleitet. Davis et al. (1994) führten eine Studie durch, die sich mit dem Einfluss einer 1,6 m hohen Hecke auf Abdrift

befasst. Trifft die Driftwolke auf die Hecke, wird sie wie beschrieben über die Hecke hinweg geleitet bzw. ein Teil deponiert in der Hecke. Direkt hinter der Hecke wurden in einer Höhe von 0,45 m und 1 m die wenigsten Rückstände gemessen. Anschließend steigt die Rückstandshöhe wieder etwas an und stagniert dann. Es wird jedoch nie die Rückstandshöhe von vor der Hecke erreicht. Bei einem Vergleichsversuch ohne Hecke nahm die Rückstandshöhe mit steigender Entfernung gleichmäßig ab. Die Versuche mit der Hecke ähneln der Applikation auf Raumkulturen. Auch hier trifft eine Driftwolke auf dicht bewachsene Vegetation und wird nach oben und über die Vegetation hinweg geleitet.

Da bei der Applikation auf Raumkulturen im Freiland auf Grund der Applikationsrichtung und -technik mehr Abdrift entsteht als bei Flächenkulturen, wurde im Windtunnel zumindest der Spritzbalken möglichst hoch gesetzt, um mehr Abdrift zu erzeugen. Es war jedoch nicht möglich im Windtunnel eine Raumkultur zu platzieren, weil diese zu große Auswirkung auf die Luftströmung gehabt und eine Reproduzierbarkeit der Versuche verhindert hätte. Dadurch geht jedoch die Filterwirkung, die die Raumkultur im Freiland hat, im Windtunnel verloren und die Düsen mussten statt wie im Freiland seitlich bzw. nach oben nun auf den Boden ausgerichtet werden. Das im Windtunnel mögliche Testsystem Raumkultur kann nur als unzureichende Näherung an die tatsächlichen Bedingungen im Freiland angesehen werden, da (1) die Filterwirkung der behandelten Kultur und (2) die Verwirbelung, die durch die behandelte Kultur entsteht, fehlen. Auch die AEW zeigen deutliche Unterschiede zwischen Bodendepositionen nach Applikationen von PSM auf Raum- und Flächenkulturen. Die AEW für Behandlungen von Flächenkulturen sind deutlich niedriger und schon bei geringen Entfernungen nahezu bei null (Ganzelmeier et al., 1995). Werden jedoch die ermittelten Bodensedimente des Testsystems Raumkultur mit denen des Testsystems Flächenkultur verglichen, unterscheiden diese sich vor allem in einer Entfernung von 1 m zum Spritzbalken. Anschließend nimmt die Rückstandshöhe, räumlich versetzt, mit der Entfernung ab (Abbildung 4, Kapitel 0). Das Testsystem Raumkultur entspricht folglich eher einer Variation des Testsystems Flächenkultur in Düsenhöhe und -typ. Die Unterschiede im Tropfenspektrum der verwendeten Düsen sind jedoch nur sehr gering. Bei beiden haben die meisten Tropfen einen Durchmesser von 0,5 mm (Tabelle 5 und Tabelle 6, Kapitel 3.2.1). Nur die Ausstoßmengen unterscheiden sich stark. Bei Verwendung der Flachstrahldüsen wird ungefähr doppelt so viel Flüssigkeit ausgestoßen wie mit den Hohlkegeldüsen. Die Beschaffenheit der Spritzwolke ist sehr ähnlich, sie „startet“ nur aus unterschiedlicher Höhe. Dadurch verschiebt sich die Abdrift nach hinten. Das führt dazu, dass im Testsystem Raumkultur kaum Rückstände auf den Versuchsobjekten in 1 m Entfernung gefunden wurden, dafür jedoch auf denen in 15 m Entfernung.

Auch beim Vergleich der ermittelten Regressionsgleichungen wird deutlich, dass eine Änderung der Balkenhöhe und des Düsentyps wenig Einfluss auf die Gleichungen der Versuche mit Erdbeeren und Salat hat und somit keinen Einfluss auf das Verhältnis von Bodendeposition zu Pflanzendeposition. Die Unterschiede zwischen den Regressionsgleichungen der Versuche mit Tomaten kommen dadurch zu Stande, dass die

Tomaten in einer Höhe von ca. 75 cm geerntet wurden. Während die Tomaten im Testsystem Raumkultur der Driftwolke ausgesetzt sind, driftet der Sprühnebel im Testsystem Flächenkultur zu einem großen Teil unter den zu erntenden Tomaten hinweg.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass das Testsystem Flächenkultur die Applikation von PSM auf Flächenkulturen realitätsnah nachstellt und sich erste Rückschlüsse auf die Rückstandshöhen auf Salat, Erdbeeren und Tomaten, die benachbart zu Flächenkulturen angebaut werden, ziehen lassen. Eine Validierung der Ergebnisse mit Hilfe von Freilandversuchen ist jedoch erforderlich. Das Testsystem Raumkultur stellt die Applikation von PSM auf Raumkulturen im Freiland jedoch nicht ausreichend realitätsnah nach. Inwieweit die Verwirbelung der Spritzwolke bei Applikation auf Raumkulturen einen Einfluss auf das Verhältnis von Bodendeposition zu Pflanzendeposition hat, wird im Folgenden weiter diskutiert. Bei der Verwirbelung der Spritzwolke werden die Tropfen ungleichmäßig im Raum verteilt. Dies hat einen umso größeren Einfluss auf das Verhältnis von Bodendeposition zu Pflanzendeposition, je weiter entfernt vom Boden die Messung der Deposition auf der Pflanze erfolgt. Sowohl bei einer Stauchung als auch bei einer Streckung der Spritzwolke steigt die Wahrscheinlichkeit, dass Boden und Pflanze gleich stark von Abdrift betroffen sind, je näher die Pflanze am Boden wächst. Liegt jedoch eine größere Distanz zwischen der Erntehöhe und dem Boden, ist es möglich, dass die Spritzwolke nur auf der Pflanze oder nur auf dem Boden deponiert. Dieser Argumentation folgend ist es für bodennah wachsende Pflanzen unerheblich, welche Applikationstechnik angewandt wird und es kann von der Bodendeposition auf die Pflanzendeposition geschlossen werden. Auf dieser Grundlage wird angenommen, dass aus den Versuchen unter Verwendung des Testsystems Raumkultur mit Erdbeeren bzw. Salat als Versuchspflanzen trotz aller Einschränkungen in Hinblick auf die Realitätsnähe des Versuchsdesigns erste Rückschlüsse auf die Rückstandshöhen von PSM auf entsprechenden Lebensmittelkulturen, die benachbart zu Raumkulturen kultiviert werden, gezogen werden können. Rückschlüsse auf Rückstandshöhen auf benachbart wachsenden Tomaten sind jedoch nicht möglich.

Diese Hypothese ließe sich im Windtunnel mit einem angepassten Testsystem Raumkultur prüfen. Um die Verwirbelungen des Sprühnebels, die während der Applikation auf Raumkulturen entstehen, nachzubilden, muss im Windtunnel eine natürliche oder künstliche Zielkultur eingebracht werden. Denkbar wäre eine künstliche Vorrichtung wie ein engmaschiges Netz oder eine löchrige Plane. Auch eine luftundurchlässige Plane kann in Betracht gezogen werden, um eine Kultur, deren Laubdecke voll ausgebildet ist, nachzustellen. Mit dem Einbringen einer Barrierestruktur müssten die Düsen nach oben bzw. zur Seite ausgerichtet und die Spritzbalkenhöhe reduziert werden. Neben einer Überprüfung der Ergebnisse der Versuche mit bodennah wachsenden Pflanzen (Salat und Erdbeeren) könnten in diesem Testsystem auch die Rückstände auf höherwüchsigen Pflanzen wie Tomaten ermittelt werden. Die Einstellung eines solchen Testsystems würde eine hohe Anzahl an Vorversuchen erfordern und auf Grund der durch die Barrierestruktur entstehenden höheren Variabilität eine große Anzahl an Wiederholungen im Hauptversuch benötigen. Die

Umsetzung war im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht mehr möglich, könnte aber eine vielversprechende Weiterführung der bisherigen Arbeiten darstellen. Gleiches gilt für eine notwendige Validierung der Testsysteme in Freilandabdriftversuchen.

Bei der realitätsnahen Anpassung des Testsystems Raumkultur und den anschließenden Überlegungen zur Übertragung der Ergebnisse auf das Freiland müssen jedoch einige Faktoren beachtet werden, die die Applikation von PSM auf Raumkulturen sehr variabel gestalten. Zum einen gibt es drei verschiedene Typen von Raumkulturen: Hopfen, Wein und Obst, bei denen unterschiedlich hohe Mengen an Abdrift entstehen. So finden sich bei Behandlungen von Obstbäumen die meisten Rückstände auf Nachbarflächen wieder, gefolgt von Hopfen und die wenigsten bei Behandlungen von Wein. Daneben beeinflusst zudem der Belaubungsgrad die Höhe der Abdrift. Ein weiterer Faktor sind die verschiedenen Applikationstechniken: So können zum Beispiel Axial- oder Quergebläse für die Applikation von PSM auf Raumkulturen eingesetzt werden. Die Studien von Zande et al. (2014a) und Grella et al. (2017) zeigen diese Variabilität. Eine genauere Untersuchung der abdriftbedingten Rückstände durch die Applikation auf Raumkulturen ist jedoch wichtig, da wie in Kapitel 1.1 beschrieben Pflanzenschutzmittelanwendungen in Raumkulturen wesentlich häufiger stattfinden als in Flächenkulturen und diese Anwendungen deutlich höhere AEW zu Folge haben.

Der Vergleich der Testsysteme bestätigt frühere Veröffentlichungen, wonach die Balkenhöhe einen Einfluss auf die Höhe der Abdrift hat (Nordby & Skuterud, 1975; Nuyttens et al., 2007). Je höher der Spritzbalken, desto größer sind die Rückstandsmengen aus Abdrift. Auch aufragende Vegetation (wie Tomaten), die bei niedrig geführten Düsen keiner Abdrift ausgesetzt ist, kann bei höher geführten Düsen von Abdrift betroffen sein.

5.1.4 Übertragung der Ergebnisse auf das Freiland

Im Folgenden wird die Übertragbarkeit der Messergebnisse im Windtunnel auf das Freiland betrachtet. Die Übertragung ist aus unter Kapitel 5.1.3 genannten Gründen nicht für Tomaten als Versuchspflanzen im Testsystem Raumkultur möglich.

Eine direkte Übertragung der im Windtunnel gemessenen Rückstandswerte auf dem essbaren Anteil der Versuchspflanzen in Abhängigkeit von der Entfernung auf das Freiland ist nicht möglich. Beim Vergleich der gemessenen Werte mit den AEW wurde festgestellt, dass die Driftwolke im Windtunnel schneller absinkt als im Freiland. Auch Stadler und Regenauer (2005), die die Bodendeposition im Windtunnel und im Freiland gemessen und verglichen haben, stellten fest, dass das Bodensediment im Windtunnel schneller abnimmt. Sie führen dies darauf zurück, dass die verdriftenden Rückstände zum Teil an den Seitenwänden des Windtunnels deponieren.

Zwar ist die absolute Höhe der Rückstände, die im Windtunnel bestimmt wurde, nicht auf das Freiland übertragbar, aber es kann die Annahme getroffen werden, dass das Verhältnis von

Boden- zu Pflanzendeposition in einer gegebenen Entfernung im Windtunnel gleich dem im Freiland ist. Werden mit Hilfe der AEW die Bodendepositionen, die bei Freilandapplikationen ermittelt wurden, und das Verhältnis von Boden- zu Pflanzendeposition, das im Windtunnel erhalten wurde, verknüpft, können die im Freiland zu erwartenden Rückstände in angrenzenden, Lebensmittel liefernden Kulturen berechnet werden.

Beträgt die Aufwandmenge eines PSM-Wirkstoffes beispielsweise 2,16 kg/ha (21,6 µg/cm²), werden davon laut Median der den AEW zugrunde liegenden Einzelversuche bei Behandlung einer Flächenkultur 0,1082 % in einer Entfernung von 10 m wiedergefunden (Julius Kühn-Institut, 2013). Das entspricht 0,023 µg/cm². Befindet sich in dieser Entfernung ein Salatkopf, kann auf diesem nach Regressionsgleichung 23 (Kapitel 3.2.6.4) ein Rückstand von 0,141 µg/g (= mg/kg) des PSM-Wirkstoffes erwartet werden. Nutzt man das 90. Perzentil der den AEW zugrunde liegenden Einzelversuche, welches auch im Zulassungsverfahren verwendet wird, ergeben sich in 10 m Entfernung von einer Ackerbaukultur 0,33 µg/g (= mg/kg) des PSM-Wirkstoffes auf einem Salatkopf (Tabelle der Abdrifteckwerte, 2006). Diese hypothetischen Rückstandswerte auf Salat überschreiten den durch die Verordnung (EG) Nr. 396/2005 festgelegten Standardwert für den RHG von 0,01 mg/kg deutlich.

MacLachlan und Hamilton stellen in einer Veröffentlichung aus dem Jahr 2010 experimentell ermittelte Rückstandswerte auf behandelten Kulturen zusammen. Die Rückstandswerte wurden auf den behandelten Früchten am Tag der Applikation nach Trocknung der Spritzflüssigkeit gemessen, sind in mg/kg angegeben und auf 1 kg Wirkstoff/ha normiert. Die Autoren geben den Messbereich der Rückstandswerte, die Anzahl der Versuche, Median, Mittelwert, 90. und 95. Perzentil an. Die in der vorliegenden Arbeit ermittelten Rückstandswerte wurden mit den in der Veröffentlichung zusammengestellten Rückstandswerten verglichen. Dafür wurde erneut von einer Applikation auf eine Flächenkultur mit 2,16 kg Wirkstoff/ha ausgegangen und die Rückstandsmenge auf Salat, Tomaten bzw. Erdbeeren wie im vorherigen Absatz beschrieben für verschiedene Entfernungen berechnet. Die von MacLachlan und Hamilton zusammengefassten Rückstandswerte auf den behandelten Kulturen Tomaten, Salat bzw. Erdbeeren wurden ebenfalls auf eine Applikationsmenge von 2,16 kg Wirkstoff/ha umgerechnet. Anschließend wurde mit Hilfe der AEW die zu erwartende Menge auf den gleichen Kulturen in verschiedenen Entfernungen ermittelt. Die AEW beziehen sich auf die Bodendeposition und geben den Prozentsatz der Aufwandmenge an, der in einer bestimmten Entfernung auf dem Boden deponiert. Für den Vergleich wird davon ausgegangen, dass sich die AEW auch auf dreidimensionale Strukturen anwenden lassen, wenn die Rückstandsmenge auf der behandelten Kultur bekannt ist. Laut AEW befinden sich in 1 m Entfernung zur behandelten Fläche 2,77 % der Aufwandmenge. Die Aufwandmenge wird in kg/ha angegeben und gibt somit die Bodendeposition wieder. Das heißt, dass sich 2,77 % der auf der behandelten Kultur gefundenen Rückstandsmenge in 1 m Entfernung auf einer gleichen, aber nicht behandelten Kultur wiederfinden lassen. Die Tabellen 18 bis 20 zeigen die Ergebnisse. Sowohl bei Erdbeeren, als auch bei Tomaten und Salat liegen die mit Hilfe der Windtunnelversuche

ermittelten Rückstandswerte zwischen den bei MacLachlan und Hamilton angegebenen Minima und Maxima.

Die in der vorliegenden Arbeit ermittelten Rückstandswerte auf Erdbeeren sind etwa doppelt so hoch wie das von MacLachlan und Hamilton ermittelte 95. Perzentil. Einzige Ausnahme ist der Rückstandswert der 1 m Entfernung, der fast genauso hoch ist wie das 95. Perzentil, und der Wert der 0 m Entfernung, der knapp unter dem 90. Perzentil liegt (Tabelle 11).

Tabelle 11: Vergleich der experimentell ermittelten Rückstandswerte auf Erdbeeren mit von MacLachlan und Hamilton zusammengestellten Rückstandswerten aus verschiedenen Studien. * = Werte aus MacLachlan und Hamilton (2010).

Erdbeere									
Abstand in m	Basis Abdrift nach Rautmann (90. Perzentil) [%]	Boden-deposition nach AEW [$\mu\text{g}/\text{cm}^2$]	Experimenteller Rückstand auf Erdbeeren nach Abdrift [$\mu\text{g}/\text{g}$]	Minimum* [$\mu\text{g}/\text{g}$]	Maximum* [$\mu\text{g}/\text{g}$]	Median * [$\mu\text{g}/\text{g}$]	Mittelwert* [$\mu\text{g}/\text{g}$]	Perzentil 90* [$\mu\text{g}/\text{g}$]	Perzentil 95* [$\mu\text{g}/\text{g}$]
0	100	21,6	12,26	0,2600	122,47	3,24	10,35	12,96	51,84
1	2,77	0,60	1,24	0,0072	3,39	0,09	0,29	0,36	1,44
5	0,57	0,12	0,45	0,0015	0,70	0,02	0,06	0,07	0,30
10	0,29	0,06	0,29	0,0008	0,36	0,01	0,03	0,04	0,15
15	0,2	0,04	0,23	0,0005	0,24	0,01	0,02	0,03	0,10
20	0,15	0,03	0,19	0,0004	0,18	0,00	0,02	0,02	0,08

Die in dieser Arbeit ermittelten Rückstandswerte auf Tomaten liegen im Bereich des 90. bzw. des 95. Perzentils. Der Rückstandswert der 0 m Entfernung liegt zwischen dem Mittelwert und dem 90. Perzentil (Tabelle 12).

Tabelle 12: Vergleich der experimentell ermittelten Rückstandswerte auf Tomaten mit von MacLachlan und Hamilton zusammengestellten Rückstandswerten aus verschiedenen Studien. * = Werte aus MacLachlan und Hamilton (2010).

Tomate									
Abstand in m	Basis Abdrift nach Rautmann (90. Perzentil) [%]	Boden-deposition nach AEW [$\mu\text{g}/\text{cm}^2$]	Experimenteller Rückstand auf Tomaten nach Abdrift [$\mu\text{g}/\text{g}$]	Minimum* [$\mu\text{g}/\text{g}$]	Maximum* [$\mu\text{g}/\text{g}$]	Median * [$\mu\text{g}/\text{g}$]	Mittelwert* [$\mu\text{g}/\text{g}$]	Perzentil 90* [$\mu\text{g}/\text{g}$]	Perzentil 95* [$\mu\text{g}/\text{g}$]
0	100	21,6	5,63	0,02000	22,68	0,97	1,68	12,31	15,55
1	2,77	0,60	0,32	0,00055	0,63	0,03	0,05	0,34	0,43
5	0,57	0,12	0,09	0,00011	0,13	0,01	0,01	0,07	0,09
10	0,29	0,06	0,05	0,00006	0,07	0,00	0,00	0,04	0,05
15	0,2	0,04	0,04	0,00004	0,05	0,00	0,00	0,02	0,03
20	0,15	0,03	0,03	0,00003	0,03	0,00	0,00	0,02	0,02

Die in dieser Arbeit auf Salat ermittelten Rückstandswerte liegen zwischen dem Mittelwert und dem 90. Perzentil (Tabelle 13). Die mit Hilfe der Windtunnelexperimente ermittelte Rückstandshöhe bei 0 m Entfernung liegt im Bereich des Medians.

Tabelle 13: Vergleich der experimentell ermittelten Rückstandswerte auf Salat mit von MacLachlan und Hamilton zusammengestellten Rückstandswerten aus verschiedenen Studien. * = Werte aus MacLachlan und Hamilton (2010).

Salat									
Abstand in m	Basis Abdrift nach Rautmann (90. Perzentil) [%]	Boden-deposition nach AEW [$\mu\text{g}/\text{cm}^2$]	Experimenteller Rückstand auf Salat nach Abdrift [$\mu\text{g}/\text{g}$]	Minimum* [$\mu\text{g}/\text{g}$]	Maximum* [$\mu\text{g}/\text{g}$]	Median * [$\mu\text{g}/\text{g}$]	Mittelwert* [$\mu\text{g}/\text{g}$]	Perzentil 90* [$\mu\text{g}/\text{g}$]	Perzentil 95* [$\mu\text{g}/\text{g}$]
0	100	21,6	48,03	1,23	393,12	41,04	70,20	151,20	224,64
1	2,77	0,60	2,28	0,03	10,89	1,14	1,94	4,19	6,22
5	0,57	0,12	0,59	0,01	2,24	0,23	0,40	0,86	1,28
10	0,29	0,06	0,33	0,00	1,14	0,12	0,20	0,44	0,65
15	0,2	0,04	0,24	0,00	0,79	0,08	0,14	0,30	0,45
20	0,15	0,03	0,19	0,00	0,59	0,06	0,11	0,23	0,34

Die Ergebnisse dieser Arbeit sind folglich in ihrer Größenordnung durchaus vergleichbar mit im Freiland gemessenen Rückstandswerten und geben eine realitätsnahe Abschätzung von durch Abdrift entstehenden Rückständen auf Lebensmittelkulturen. Erdbeeren und Tomaten decken den oberen zu erwartenden Bereich ab. Auf Salat hingegen können bezogen auf diesen Vergleich auch durchaus höhere Rückstände im Freiland gefunden werden.

Bei den Semi-Freilandversuchen im Windtunnel handelt es sich um ein konservatives Testsystem. Anders als im Freiland ist der vom Windregister produzierte Luftstrom im Windtunnel laminar, da das Testsystem zu drei Seiten nach außen begrenzt ist. Im Freiland gibt es auf Grund verschiedener Oberflächenstrukturen turbulente Strömungen, so dass die Driftwolke sich nicht konsequent in eine Richtung bewegt. Zudem variieren im Freiland Windstärke und -richtung mit der Zeit, während sie im Windtunnel konstant gehalten werden können. Die Versuchspflanzen wurden im Windtunnel so ausgerichtet, dass der essbare Anteil möglichst viel Abdrift aufnimmt. Im Freiland findet keine entsprechende Ausrichtung statt. Des Weiteren sind Klein- und Hausgärten sehr strukturreich. Sie sind beispielsweise von Hecken umschlossen, die eine Filterwirkung aufweisen. Diese Filterwirkungen sind im verwendeten Testdesign nicht berücksichtigt. Die Abschätzungen, die mit den ermittelten Regressionsgleichungen gemacht werden können, ergeben folglich Rückstandshöhen auf Lebensmittelkulturen, die angrenzend zu landwirtschaftlich genutzten Flächen kultiviert werden, die im oberen zu erwartenden Bereich liegen.

Da die Regressionsgleichungen kulturspezifisch sind, kann eine Abschätzung der Rückstandshöhe nur für die verwendeten Versuchspflanzen gemacht werden. Eine Übertragung auf andere Kulturen ist nur begrenzt möglich. Der Durchmesser einer Frucht hat einen starken Einfluss auf den Massenanteil. Bei zunehmender Größe wächst die Oberfläche

langsamer als das Volumen. Das heißt zum Beispiel, dass 200 g Erdbeeren auf Grund ihrer geringeren Größe mehr Oberfläche bieten, um PSM-Rückstände aufzufangen, als 200 g Tomaten (sofern es sich nicht um kleine Sorten wie Cherrytomaten handelt). Dementsprechend ist der Massenanteil abgedrifteter PSM bei großen Früchten geringer als bei kleinen Früchten, wenn diese in der gleichen Höhe wachsen. Eine Übertragung auf andere Kulturen ist daher nur möglich, wenn diese in Fruchtgröße und Erntehöhe der Versuchskultur stark ähneln.

5.2 Nachbarschaftsanalysen mit GIS

Mit den Analysen in GIS gelang es, erste Aussagen über die Nachbarschaftsverhältnisse von landwirtschaftlich genutzten Flächen und Gärten zu machen. Mit Hilfe der Analysen konnten Hotspots identifiziert werden, an denen besonders häufig Gärten im engen Kontakt zur Landwirtschaft liegen. Des Weiteren können erste Abschätzungen gegeben werden, wie viele Gärten in ganz Deutschland in unmittelbarer Nachbarschaft zu landwirtschaftlich genutzten Flächen liegen. Die Analysen für RLP ergeben eine sehr viel präzisere Aussage, da es möglich war, die Gartenflächen in RLP mit den spezifisch für dieses Bundesland verfügbaren Geodaten wesentlich genauer zu bestimmen. Im Folgenden wird auf Vor- und Nachteile der verwendeten Datensätze und Methoden eingegangen.

5.2.1 Modellierungsvorschriften der ATKIS-Daten und daraus resultierende Limitierungen

Während die ALKIS-Daten auf dem Liegenschaftskataster basieren und die Flächen in diesem Datensatz deshalb die Flurstücksgrenzen abbilden, handelt es sich bei den ATKIS-Daten um kartographische Daten mit einem anderen Zielmaßstab (linienhafte Objekte 1:10.000, flächenhafte Objekte 1:25.000) und ohne genaue Zuordnung zu den Flurstücksgrenzen. Deutlich wird dieser Unterschied bei der Betrachtung der Flächengrößen der verwendeten Datensätze. Die Flächen des Datensatzes AT_Raumkultur (ATKIS) haben bezogen auf RLP eine Gesamtgröße von 80.287 ha, die des Datensatzes AL_Raumkultur (ALKIS) eine von 71.687 ha. Auch die Gesamtflächengrößen aller anderen verwendeten Datensätze sind kleiner, wenn sie auf den ALKIS-Daten basieren. Diese Größenunterschiede kommen z.B. dadurch zustande, dass in ATKIS Straßen auf Grund des Zielmaßstabes nur als Linien modelliert sind. Grenzen von Flächen, die an Straßen angrenzen, sind deshalb über ihre tatsächliche Grenze hinweg auf der Straße eingezeichnet, da es keine „Nodata“ Flächen geben darf. Diese Modellierungsvorschriften der ATKIS-Daten haben nicht nur Auswirkungen auf die angegebenen Flächengrößen, sondern auch auf die in der vorliegenden Arbeit durchgeführten Berechnungen. Dadurch, dass Straßen als Linien eingezeichnet sind, kann es dazu kommen, dass zwei Flächen in ATKIS aneinander angrenzen, obwohl in der Realität vor Ort eine Straße und somit eine Entfernung von mehreren Metern zwischen den Flächen liegt. Bei den Pufferberechnungen kann es also auf Grund der Modellierungsvorschriften dazu führen, dass der Puffer um die landwirtschaftliche Fläche in einen Garten hineinragt, obwohl eine Straße den Garten und die landwirtschaftliche Fläche trennt. Grundsätzlich ist es möglich, um die Straßen einen Puffer zu legen und somit statt Linien Polygone zu erhalten. Diese Polygone könnten von den landwirtschaftlichen Flächen und Gartenflächen abgezogen werden, um die realen Grenzen dieser Flächen zu erhalten. Jedoch liegen die Straßen in den ATKIS-Daten nicht als durchgezogene Linie vor, sondern als aneinander gereihte Teilstücke. Die Pufferberechnungen erfordern auf Grund der hohen Anzahl an Straßenteilstücken einen enormen Rechenaufwand, der mit den vorhandenen Ressourcen nicht geleistet werden konnte. Des Weiteren ist die Breite der einzelnen Straßen nicht bekannt, so dass die

Pufferbreite nur geschätzt werden kann. Aus diesen Gründen wurde beschlossen, die Straßen nicht herauszurechnen. Bei der weiteren Diskussion muss diese Besonderheit der ATKIS-Daten beachtet werden. Auch unabhängig von den Straßen fällt beim Vergleich der ATKIS- mit den ALKIS-Daten auf, dass in den ATKIS-Daten Flächen teilweise über die Flurstücksgrenze hinweg eingezeichnet sind oder Flächen fehlen. Auch dies hängt mit dem Zielmaßstab zusammen, da nur Objekte erfasst werden, die dem Maßstabsbereich angemessen sind. Eine Vollständigkeit innerhalb der Modellgenauigkeit ist jedoch gegeben (AdV, 2018b).

5.2.2 Ermittlung der Gartenflächen

In den ATKIS-Daten gibt es neben der Wertart Kleingarten keine weiteren Angaben zu Gärten. Kleingärten decken all jene Flächen ab, bei denen es sich um „eine Anlage von Gartengrundstücken [handelt], die von Vereinen verwaltet und verpachtet werden“ (AdV, 2015). Zu Wohnhäusern gehörende Gärten sind nicht extra ausgewiesen. Um trotzdem eine Gesamtabschätzung der Gärten, die angrenzend zu landwirtschaftlichen Flächen liegen, vornehmen zu können, wurde der Datensatz Garten-Potentialflächen erstellt. Dieser Datensatz enthält alle Flächen auf denen sich ein Garten befinden könnte, also Wohnhäuser einschließlich des umliegenden Grundstücks, welches z.B. ein Garten oder ein Hof sein könnte (AT_WohnenMitGarten). Unbekannt ist bei diesem Datensatz, ob und wenn ja wo sich ein Garten auf dem Grundstück befindet. Sowohl bei den Kleingärten, als auch bei den Garten-Potentialflächen kann darüber hinaus keine Aussage getroffen werden, ob der Grundstückbesitzer Lebensmittelkulturen in seinem Garten anbaut. Laut einer Studie des BDG handelt es sich bei 12 % der Vegetation in Kleingärten um Nahrungspflanzen (Bundesverband Deutscher Gartenfreunde e.V., 2008). Auch der Umfang der Abgrenzung der Gärten mit einem Zaun oder einer Hecke ist unbekannt. Solche Abgrenzungen hätten jedoch durch ihre Filterwirkung Auswirkungen auf die in den Garten gelangende Abdrift (Davis et al., 1994; Otto et al., 2009; Wenneker & van de Zande, 2008). Gemäß der o. g. Studie des BDG werden ca. 1,9 % der Fläche Deutschlands als Klein- oder Hausgarten genutzt. Das entspricht 6.791 km². Der Datensatz Garten-Potentialfläche umfasst eine Fläche von 25.221 km², was ca. 7 % der Fläche Deutschlands entspricht. Deshalb kann davon ausgegangen werden, dass auf etwa 5 % der Fläche des Datensatzes keine Gärten vorhanden sind. Eine genauere Ermittlung der Gartenflächen war mit der zur Verfügung stehenden Datengrundlage nicht möglich. Der Datensatz kann jedoch für Expositionsabschätzungen von Anwohnern verwendet werden, da er sämtliche privat bewohnten und genutzten Flächen abdeckt. Die Betrachtung der Exposition von Anwendern ist jedoch nicht Gegenstand dieser Arbeit.

Die Gartenflächen in RLP ließen sich genauer ermitteln. Neben der Wertart Kleingarten (602 ha) gibt es in den ALKIS-Daten die Wertart Garten, die Hausgärten umfasst. Jedoch sind nur 16.140 ha Gartenfläche in dieser Wertart beschrieben. Mit Hilfe des MAD konnten die Gartenflächen genauer quantifiziert werden. Die Berechnungen ergeben zusätzliche 30.695 ha Gartenfläche (Datensatz: MAD-Garten). Bei der optischen Beurteilung der mit dem

Landbedeckungsdatensatz MAD ermittelten Gartenfläche lässt sich gut erkennen, dass fast alle „grünen Flächen“ in den Siedlungsbereichen in dem Datensatz enthalten sind (Abbildung 29, Kapitel 4.2.4). Schattige Bereiche werden in dem Landbedeckungsdatensatz nur als Schatten aufgeführt, da eine Klassifizierung schattiger Bereiche schwierig ist. Stark schattige Gartenbereiche sind dementsprechend nicht im Datensatz MAD-Garten inbegriffen. Des Weiteren können stark vertrocknete Rasen- oder Wiesenflächen als offener Boden klassifiziert und deshalb auch nicht im Datensatz MAD-Garten aufgeführt sein. Die Datensätze MAD-Garten, AL_Kleingarten und AL_Garten ergeben insgesamt eine Fläche von 47.437 ha. Laut mündlicher Aussage von Werner Ollig, Leiter der Gartenakademie RLP, wird die Gartenfläche in RLP auf 40.000 bis 50.000 ha geschätzt und stimmt somit sehr gut mit der ermittelten Fläche überein.

Unter der Annahme, dass die durchschnittliche Größe von Gebäuden auf bewohnten Flächen unabhängig vom Bundesland gleich ist, kann die Gesamtflächengröße der Gärten in Deutschland ohne Bebauung mit Hilfe des Verhältnisses der Flächengrößen der ATKIS-Daten zu denen der ALKIS/MAD-Daten ermittelt werden. Die Flächengröße des Datensatzes AT_WohnenMitGarten-RLP beträgt insgesamt 127.164 ha, die des Datensatzes MAD-Garten beträgt 30.695 ha. Die Division der WohnenMitGarten-Fläche durch die MAD-Gartenfläche ergibt 4,1. Die Flächen des Datensatzes AT_WohnenMitGarten (= für ganz Deutschland) haben eine Gesamtflächengröße von 2.437.398 ha. Dividiert durch 4,1 ergeben sich 594.487 ha. Wird zu diesem Wert die mit ATKIS ermittelte deutschlandweite Kleingartenfläche addiert (84.742 ha), ergeben sich 679.229 ha Gartenfläche für Deutschland. Dieser Wert entspricht nahezu den 1,9 % Gartenfläche (679.100 ha), die laut der erwähnten Studie des BDG in Deutschland existieren.

5.2.3 Schnittflächen von Gärten mit Puffern um landwirtschaftlich genutzte Flächen

Die Puffergrößen wurden anhand der geltenden Mindestabstände, die Landwirte zu benachbarten Flächen halten müssen, gewählt. Es handelt sich um 2 m für Flächenkulturen und 5 m für Raumkulturen. Bei den Flächen, die innerhalb dieser Mindestabstände liegen, handelt es sich also um die Flächen, die, auch wenn die Mindestabstände eingehalten werden, am meisten von Abdrift betroffen sind. Diese Berechnungen sollen einen ersten Anhaltspunkt geben, wie viel Gartenfläche in direkter Nachbarschaft zu landwirtschaftlichen Flächen liegt. Anhand der im Windtunnel durchgeführten Versuche muss kultur- und wirkstoffspezifisch geprüft werden, ob und wenn ja bis zu welcher Entfernung Rückstände von PSM auf benachbarten Lebensmittelkulturen auftreten können, die Rückstandshöchstgehalte oder toxikologische Grenzwerte überschreiten.

Für Deutschland ergeben sich durch die Schnittflächenberechnung 28.336 ha Garten-Potentialfläche, die innerhalb der Mindestabstände zu landwirtschaftlichen Flächen liegen. Bei diesem Wert müssen die in Kapitel 5.2.1 diskutierten Modellierungsvorschriften der ATKIS-Daten beachtet werden, die zu einer Überschätzung der Flächengröße führen. Des Weiteren

umfasst der Datensatz Garten-Potentialflächen nicht ausschließlich Gartenflächen, sondern auch Wohngebäude. Diese Ergebnisse könnten daher für die Expositionsabschätzung von Anwohnern verwendet werden. Wie in Kapitel 5.2.2 beschrieben unterscheiden sich die MAD-Gartenflächen um einen Faktor von 4,1 von den WohnenMitGarten-Flächen. Bei der Division der Schnittfläche von Puffern um Raum- und Flächenkulturen mit WohnenMitGarten-Flächen (= 27.591 ha) durch diesen Faktor ergeben sich 6.729 ha reine Gartenfläche ohne Gebäude, die innerhalb der Mindestabstände zu landwirtschaftlichen Flächen liegen. Dazu muss das Ergebnis der Schnittflächenberechnungen mit Kleingärten addiert werden. Somit ergibt sich eine reine Gartenfläche von 7.475 ha, die innerhalb der Mindestabstände zu Raum- und Flächenkulturen liegt und keine Wohngebäude enthält. Das entspricht 1,1 % der Gartenflächen Deutschlands.

5.2.4 Hotspots in Deutschland

5.2.4.1 Hotspots der Gartenflächen in Deutschland

Der Vergleich der Kleingarten-Hotspotanalyse (Abbildung 22, Kapitel 4.2.2) mit dem Kleingarten-Ranking deutscher Städte des BDG (Tabelle 14) zeigt eine große Übereinstimmung der Daten. Berlin als Stadt mit den meisten Parzellen zeigt auch in der Hotspot-Karte neben dem Rhein-Main-Gebiet den größten Hotspot (Abbildung 22, Kapitel 4.2.2). Auch Leipzig als zweite und Hamburg als dritte Stadt im Kleingarten-Ranking lassen sich auf der Hotspot-Karte gut nachvollziehen. Der Hotspot im Rhein-Main-Gebiet setzt sich aus Kleingärten mehrere Städte (Frankfurt/M., Wiesbaden, Mainz, Offenbach, Darmstadt) zusammen und ist im Kleingarten-Ranking durch Frankfurt/M. vertreten. Auch der Hotspot im Ruhrgebiet setzt sich aus Kleingärten mehrerer Städte zusammen, von denen jedoch keine allein mehr als 14.900 beim BDG gemeldete Parzellen zu haben scheint, da keine Stadt des Ruhrgebiets im Ranking auftaucht. Die restlichen Städte des Kleingarten-Rankings sind in der Hotspot-Karte ebenfalls gut erkennbar.

Tabelle 14: Kleingarten-Ranking Deutschland, Quelle: Bundesverband Deutscher Gartenfreunde e.V. (<https://www.kleingarten-bund.de/de/bundesverband/zahlen-und-fakten/>).

Stadt	Parzellen
Berlin	67.000
Leipzig	41.000
Hamburg	36.000
Dresden	23.000
Hannover	20.000
Bremen	17.000
Frankfurt/M.	15.500
Magdeburg	15.000
Rostock	15.000
Chemnitz	14.900

Der Datensatz Garten-Potentialflächen enthält zwar die Werteart Kleingarten, einen wesentlich größeren Teil machen jedoch die Garten-Potentialflächen aus, bei denen es sich um bewohnte Grundstücke mit Häusern und Hof/Garten handelt. Dementsprechend liegen die Hotspots bei großen Städten wie Berlin, Köln, Hamburg, München oder dem Ruhrgebiet (Abbildung 22, Kapitel 4.2.2).

5.2.4.2 Hotspots landwirtschaftlicher Flächen in Deutschland

Die Dauerkulturen Wein, Obst und Hopfen treten in Deutschland nur in bestimmten Bereichen mit hohem Anteil auf. Sie sind insgesamt mit einem deutlich kleineren Anteil an der Landwirtschaft vertreten als Flächenkulturen (Raumkultur: 1,1 %, Flächenkultur: 66,6 %, Grünland: 31,2 % aller landwirtschaftlich genutzten Flächen in Deutschland, Datengrundlage: ATKIS. Grünland wurde nicht in die Berechnungen einbezogen.). In der Hotspotanalyse des Datensatzes AT_Raumkultur spiegeln sich die großen deutschen Anbauggebiete wieder. Gut zu erkennen sind unter anderem das Alte Land bei Hamburg (Obst), die Weinanbauggebiete in der Pfalz und an der Mosel, die Obstanbauggebiete in Baden-Württemberg und die Hallertau in Bayern (Abbildung 21, Kapitel 4.2.2). Dieses Ergebnis deckt sich auch mit einem Bericht des *Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft*, welcher in den eben genannten Regionen große Anbauggebiete von Wein, Obst bzw. Hopfen ausweist (Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, 2018).

Flächenkulturen sind in Deutschland stärker verbreitet. Sie nehmen 66,6 % der landwirtschaftlich genutzten Fläche ein. In der Hotspotanalyse lässt sich eine recht gleichmäßige Verbreitung von Flächenkulturen erkennen. Ausgespart sind solche Bereiche, in denen Siedlungen, Waldgebiete oder Dauerkulturen sind. Ein Bericht von *information.medien.agrar* zeigt eine vergleichbare Verteilung der Ackerfläche in Deutschland (Hemmerling et al., 2013).

5.2.4.3 Hotspots von landwirtschaftlichen Flächen und angrenzenden Gärten

Die Hotspotkarten der Schnittflächen von Puffern um landwirtschaftlich genutzte Flächen mit Gartenflächen spiegeln die Überschneidungen der Hotspots von Gartenflächen mit den Hotspots landwirtschaftlicher Flächen wider. Da Flächenkulturen deutschlandweit außer in Städten und bewaldeten Gebieten relativ gleichmäßig verteilt sind (Abbildung 21, Kapitel 4.2.2), liegen die Hotspots der Schnittflächen von Kleingärten mit den Puffern um Flächenkulturen vor allem dort, wo sich viele Kleingartenanlagen befinden (Abbildung 22 und Abbildung 23, Kapitel 4.2.2). Dies ist beispielsweise in Sachsen-Anhalt, Thüringen, Sachsen und Hessen der Fall. Großstädte, wie Berlin, Hamburg oder Hannover, die einen Kleingartenhotspot zeigen, tauchen auf Grund der fehlenden Landwirtschaft innerhalb von Städten auf der Hotspotkarte der Schnittflächen nicht auf.

Schnittflächen von Puffern um Flächenkulturen und Garten-Potentialflächen sind deutschlandweit gleichmäßig verteilt und zeigen einen Hotspot im Ruhrgebiet, da dort viele Großstädte von landwirtschaftlich genutzten Flächen umgeben sind (Abbildung 24, Kapitel 4.2.2).

Da Raumkulturen in Deutschland punktuell verteilt sind, ergeben sich die Hotspots der Schnittflächen mit Kleingärten und Garten-Potentialflächen in den Bereichen mit hohen Raumkulturanteilen.

5.2.4.4 Vergleich der Hotspotanalysen mit der Near-Tabelle

Die Ergebnisse der Near-Tabelle und die Ergebnisse der Hotspot-Analysen stimmen weitgehend überein. In den Bundesländern, in denen Hotspots detektiert wurden, grenzen auch viele Gärten an landwirtschaftliche Nutzflächen an. Zum Beispiel zeigt die Hotspotanalyse, dass in Sachsen-Anhalt besonders viele Kleingärten an Flächenkulturen angrenzen. Dies spiegelt sich auch in der Near-Tabelle wieder. 54,5 % der Kleingärten haben einen Abstand von 0 m zu Raum- und Flächenkulturen in Sachsen-Anhalt. Hierbei muss beachtet werden, dass der Abstand von 0 m nicht auf alle Flächen zutrifft, da die Aussagekraft der ATKIS-Daten limitiert ist (siehe Kapitel 5.2.1). Es wird angenommen, dass vor allem Land-, Gemeinde- und Kreisstraßen landwirtschaftlich genutzte Flächen von Siedlungen trennen. Laut der neuen Richtlinie für die Anlage von Landstraßen haben diese eine Breite von 9 bis 15,50 m (Bundesanstalt für Straßenwesen, o.D.). Gemeinde- und Kreisstraßen sind in der Regel schmaler. Die 54,5 % aller Kleingärten haben folglich einen tatsächlichen Abstand von ca. 0-15 m zu landwirtschaftlichen Flächen. Davis et al. (1994) fanden in Entfernungen von bis zu 15 m zur applizierten Fläche Schäden auf Tomaten. Über die Rückstandshöhen ist jedoch nichts bekannt. In einer Studie von Marrs und Frost (1997) wurden Schäden in Entfernungen von bis zu 8 m an Pflanzen (unter anderem: Roter Fingerhut, Echtes Mädesüß, Wiesen-Labkraut, Behaartes Johanniskraut) entdeckt. Die Sensitivität hängt von der Pflanzenart, aber auch von der Pflanzentoxizität des abdriftenden Wirkstoffs ab. Es ist anzunehmen, dass die Flächen mit einem vermeintlichen Abstand von 0 m zu landwirtschaftlichen Flächen (der wie

diskutiert in der Realität etwas höher sein wird) zu einem großen Teil dennoch innerhalb eines Radius liegen, in dem abgedriftete PSM-Rückstände zu finden sind. Bedacht werden muss auch, dass in den zwei erwähnten Studien die Abdriftversuche unter Verwendung der Applikationstechnik für Flächenkulturen durchgeführt wurden. Bei Applikation auf Raumkulturen entsteht mehr Abdrift.

5.2.5 Analysen mit den ATKIS- und den ALKIS-Daten im Vergleich (RLP)

Beim Vergleich der Ergebnisse der Berechnungen auf ATKIS- mit denen auf ALKIS- Grundlage für RLP fällt auf, dass die Ergebnisse mit den ATKIS-Daten eine höhere Relevanz der Nachbarschaft von Gärten zu landwirtschaftlichen Nutzflächen nahelegen. So werden zum einen größere Schnittflächen berechnet (4.2.5) und zum anderen wird ein höherer Anteil an Gartenflächen ermittelt, die an landwirtschaftlich genutzte Flächen grenzen (Kapitel 4.2.3 und 4.2.6). Die mit ATKIS berechneten Schnittflächengrößen sind um den Faktor 1,5 bis 2,5 größer als die mit ALKIS berechneten. Diese Unterschiede kommen durch die unter 5.2.1 diskutierten Punkte zu Stande. Die Schnittflächengröße von Garten-Potentialflächen mit Puffern um Raum- und Flächenkulturen beträgt insgesamt 0,92 % der Garten-Potentialfläche mit ATKIS und 0,75 % mit ALKIS. Unter Einbezug der MAD-Daten werden 1,18 % der Garten-Realflächen ermittelt, die im Pufferbereich um Raum- und Flächenkulturen liegen. Der Einbezug der MAD-Daten führt also zu einer höheren Abschätzung im Vergleich zu den Berechnungen mit den ATKIS- und den ALKIS-Daten. Der Datensatz Garten-Realflächen (MAD + ALKIS) unterscheidet sich von dem Datensatz Garten-Potentialflächen dadurch, dass in ersterem keine Gebäude und versiegelten Flächen enthalten sind. Deshalb ist der Datensatz deutlich kleiner (47.437 ha (ALKIS/MAD) statt 88.652 ha (ALKIS) und 127.998 ha (ATKIS)). Die Schnittflächengrößen der Puffer um landwirtschaftlich genutzte Flächen mit den Gartenflächen unterscheiden sich weniger stark (Garten-Realflächen: 562 ha, Garten-Potentialflächen, ALKIS: 667 ha, ATKIS: 1177 ha). Das kommt dadurch zu Stande, dass Häuser und andere versiegelte Flächen häufig an der der Straße zugewandten Seite liegen. Gärten hingegen liegen an der der Straße abgewandten Seite hinter dem Haus und grenzen an umliegende Flächen, wie zum Beispiel Ackerflächen. Die Gärten befinden sich also im Bereich des Puffers und die Häuser, die im Datensatz Garten-Realfläche nicht enthalten sind, nicht.

Nach den Near-Berechnungen für RLP mit den ATKIS-Daten grenzen ca. 38 % der Kleingärten und 25 % der Garten-Potentialflächen an Raum- und Flächenkulturen. Des Weiteren liegen 7 % der Kleingärten und 3 % der Garten-Potentialflächen in einem Abstand von >0-20 m zu Raum- und Flächenkulturen. Die Berechnungen mit den ALKIS- und MAD-Daten ergeben 3 % der Garten-Realflächen, die mit 0 m Abstand zu Raum- und Flächenkulturen liegen und 7 % die einen Abstand von >0-20 m haben. Die Unterschiede in den Berechnungen kommen auf Grund der erwähnten Unterschiede der ALKIS- und ATKIS-Daten zu Stande.

5.2.5.1 Extrapolation der ALKIS/MAD-Berechnungen für RLP auf Deutschland

Wegen der Unterschiede zwischen den Schnittflächenberechnungen von Gärten und landwirtschaftlichen Flächen mit den ATKIS und den ALKIS/MAD-Daten soll die Möglichkeit diskutiert werden, die Ergebnisse der ALKIS/MAD Berechnungen für RLP auf Deutschland zu extrapolieren. Im Vergleich zu den anderen Bundesländern werden in RLP sehr viele Raumkulturen, vor allem Wein, angebaut (Abbildung 63, Anhang VII). Andere Bundesländer zeichnen sich eher durch einen hohen Anteil an Flächenkulturen aus, was auch in den Hotspot-Karten gut erkennbar ist (Kapitel 4.2.2, Abbildung 21). Des Weiteren ist in den Bundesländern das Verhältnis von Landwirtschaft zu Siedlungsflächen unterschiedlich. In RLP liegt der Flächenanteil der Landwirtschaft an der Gesamtfläche bei 42,6 %, der Anteil der Siedlungsfläche bei 13,8 %. In Mecklenburg-Vorpommern beispielsweise werden 63,9 % der Fläche landwirtschaftlich genutzt und nur 7,2 % für Siedlungen (Werner, 2006), wodurch sich Abweichungen bei den Anteilen ergeben, mit denen landwirtschaftlich genutzte Flächen an Gärten/Siedlungen angrenzen. Auch die Stadt- und Gemeindegrößen variieren in den Bundesländern stark. RLP ist geprägt von Landgemeinden und Kleinstädten, Nordrhein-Westfalen hingegen von Mittelstädten und Großstädten (Abbildung 36, Quelle: Kuhlmann, 2017). Wenige große Städte resultieren in einem kleineren Grenzbereich zu landwirtschaftlichen Nutzflächen als viele kleine Städte und Gemeinden. Das heißt, dass in RLP auf Grund der geringeren Stadtgrößen mehr landwirtschaftlich genutzte Flächen an Gärten/Siedlungen angrenzen als beispielsweise in Nordrhein-Westfalen.

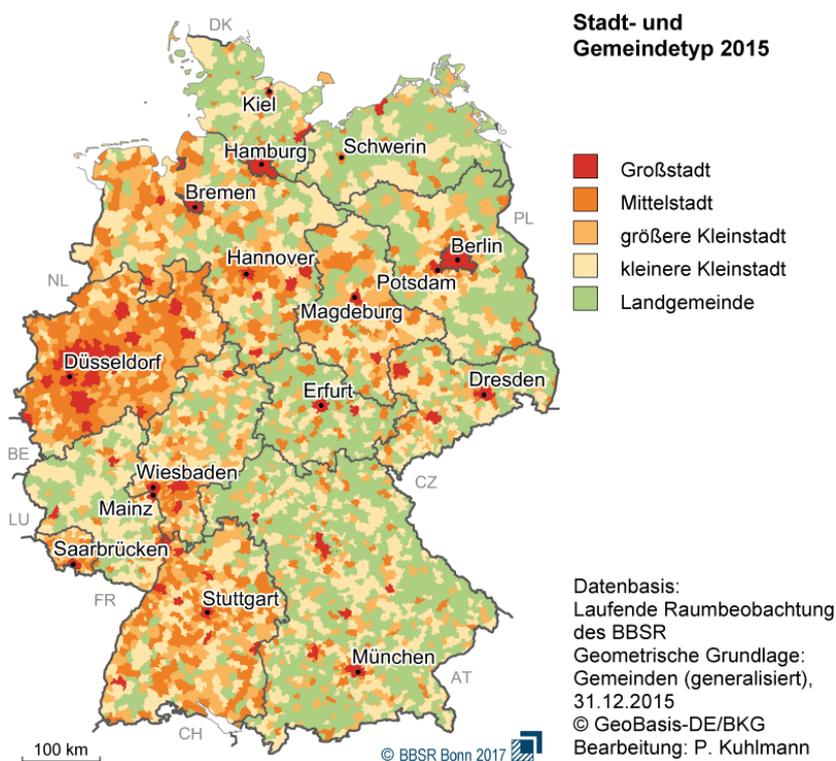


Abbildung 36: Stadt- und Gemeindetypen 2015. Quelle: (Kuhlmann, 2017).

Eine direkte Übertragung der Ergebnisse der Berechnungen der Schnittflächen und der Near-Tabelle in RLP auf Deutschland ist daher nicht zu empfehlen. Wie bereits diskutiert, können jedoch die Ergebnisse von RLP über das Verhältnis WohnenMitGarten zu MAD-Garten auf Deutschland übertragen werden. Damit lassen sich jedoch nur die Schnittflächengrößen genauer angeben, nicht die Near-Berechnungen.

5.2.6 Nachbarschaftsverhältnisse von ökologisch und konventionell bewirtschafteten Betrieben in RLP

Die Ergebnisse der Near-Berechnungen mit ökologisch und konventionell bewirtschafteten Flächen konnten nur für RLP durchgeführt werden, da für die anderen Bundesländer keine Daten vorlagen. Insgesamt liegen 47,1 % aller ökologisch bewirtschafteten Flächen in direkter Nachbarschaft zu konventionell geführten Flächen. 30,4 % haben einen Abstand von > 0 bis 20 m. Eine Extrapolation dieser Ergebnisse auf ganz Deutschland gestaltet sich schwierig, da sich die Landwirtschaft in RLP durch geringe Flächengrößen und ausgeprägten Weinanbau auszeichnet. Limitierungen wie bei den ATKIS-Daten gibt es mit den InVeKoS-Daten nicht, da diese auf den Flurstücken basieren. Sie geben somit ein sehr genaues Bild der Nachbarschaftsverhältnisse von ökologisch und konventionell bewirtschafteten Betrieben wieder.

5.3 Fazit

Ziel (Kapitel 2) dieser Arbeit war es, (1) die Rückstandshöhen von abgedrifteten PSM auf benachbarte Lebensmittelkulturen zu quantifizieren und (2) Nachbarschaftsverhältnisse von landwirtschaftlich genutzten Flächen zu Gärten sowie zu ökologisch bewirtschafteten Flächen zu ermitteln. Die Quantifizierung der Rückstandshöhen gelang über die Verknüpfung der im Windtunnel ermittelten Pflanzen- und Bodendeposition mit den AEW.

Über Rückstandsmengen auf Lebensmittelkulturen, die benachbart zu Flächenkulturen angebaut werden, können anhand dieser Arbeit erste Abschätzungen für die drei verwendeten Versuchskulturen Erdbeere, Salat und Tomate vorgenommen werden. Die Ergebnisse sind kulturspezifisch. Die meisten Rückstände wurden auf den Salatköpfen gefunden, die wenigsten auf Tomaten.

Zur Rückstandshöhe auf Lebensmittelkulturen, die benachbart zu Raumkulturen angebaut werden, können auf Grund der diskutierten Punkte (siehe Kapitel 5.1.3) bedingt Aussagen zu Rückständen auf Erdbeeren und Salat, und keine zu Rückständen auf Tomaten, getroffen werden. Es wird jedoch angenommen, dass die Rückstandsmengen auf Tomaten nach Applikation von PSM auf Raumkulturen höher sind als nach Applikation auf Flächenkulturen, da bei Raumkulturen mehr Abdrift entsteht als bei Flächenkulturen (Ganzelmeier et al., 1995). Diese Vermutung bestätigt eine von Grella et al. im Jahr 2017 durchgeführte Studie, in der nach Applikation auf Weinreben ca. 10 % der Aufwandmenge in

einer Entfernung von 5 m zur applizierten Fläche in einer Höhe von 1 m gemessen wurden. Zur Überprüfung dieser These und für die genaue Quantifizierung der Rückstandsmengen auf zu Raumkulturen benachbarten hochwüchsigen Lebensmittelkulturen wären weitere Versuche mit einem angepassten Testsystem notwendig.

Die Ermittlung der Nachbarschaftsverhältnisse zeigt, dass ungefähr 1,1 % der Garten-Potentialfläche (ATKIS) in Deutschland innerhalb der Mindestabstände liegt, die Landwirte bei Applikation von Pflanzenschutzmitteln zu Nachbarflächen einhalten müssen. Das entspricht 28.336 ha. Dieser Wert überschätzt den tatsächlichen Anteil (siehe Kapitel 5.2.1). Zudem enthält der Datensatz Garten-Potentialflächen auch Wohngebäude und wäre deswegen für die Expositionsabschätzung von Anwohnern geeignet. Mit Hilfe der MAD-Daten für RLP und der Übertragung der Ergebnisse konnte die Flächengröße der reinen Gartenflächen auch für Deutschland ermittelt werden. Somit liegen deutschlandweit 7.475 ha reine Gartenfläche innerhalb der Mindestabstände, was 1,1 % der Gartenfläche Deutschlands entspricht. Für RLP konnten die Gartenflächen mit Hilfe der ALKIS-Daten und des Landbedeckungsdatensatzes MAD genauer quantifiziert werden. Die Berechnungen der Schnittflächen der Gartenflächen mit den Puffern um landwirtschaftlich genutzte Flächen ergaben, dass in RLP 1,2 % der Garten-Realflächen innerhalb der Pufferflächen liegen.

Die genaue Betrachtung der Nachbarschaftsverhältnisse von ökologisch und konventionell bewirtschafteten Flächen in RLP zeigt, dass fast die Hälfte der ökologisch bewirtschafteten Flächen in direkter Nachbarschaft zu konventionellen Flächen liegt.

5.4 Ausblick

Basierend auf den durchgeführten Arbeiten und den erzielten Ergebnissen wurde eine Reihe von Aspekten identifiziert, deren Bearbeitung in Folgeprojekten als empfehlenswert angesehen wird.

Das Testsystem Raumkultur im Windtunnel könnte mit einem angepassten Design in zukünftigen Untersuchungen realitätsnäher gestaltet werden. Hinweise dazu werden in Kapitel 5.1.3 gegeben.

Eine Validierung der im Windtunnel erhaltenen Ergebnisse durch Freilandversuche wäre grundsätzlich wünschenswert, erfordert jedoch ein umfangreiches Versuchsprogramm, das im vorhandenen Zeit- und Kostenrahmen nicht realisierbar war.

Die ermittelten Rückstandshöhen auf benachbart angebauten Lebensmittelkulturen sind pflanzenspezifisch und insofern könnten zusätzlich zu den drei bereits untersuchten Pflanzenarten Versuche mit weiteren Pflanzenarten im Windtunnel und/oder Freiland durchgeführt werden, um den Anwendungsbereich der gewonnenen Daten noch zu vergrößern.

Bei der Ermittlung von Nachbarschaftsbeziehungen könnten die Ergebnisse weiter verfeinert werden, wenn auch für andere Bundesländer als RLP ALKIS- oder InVeKoS-Daten zur Verfügung stünden.

Bisher wurden Nachbarschaftsverhältnisse zwischen landwirtschaftlichen Nutzflächen und Gärten sowie für RLP auch zwischen konventionell und ökologisch bewirtschafteten landwirtschaftlichen Nutzflächen ermittelt. Letzteres konnte in Ermangelung geeigneter Daten bisher nicht auf ganz Deutschland ausgedehnt werden. Auch Nachbarschaftsverhältnisse zwischen bestimmten Kulturen auf konventionell bewirtschafteten Nutzflächen ließen sich gezielt ermitteln, wenn Bewirtschaftungsdaten in ausreichender Detailtiefe zur Verfügung stünden.

Ganz wesentlich ist auch, mit Augenmaß zu prüfen, wie die in der vorliegenden Arbeit gewonnenen Ergebnisse in regulatorische Verfahren wie z.B. das PSM-Zulassungsverfahren einfließen können. Hierzu sind Abschätzungen des potentiellen Verbraucherrisikos durch die abgedrifteten Rückstände erforderlich. Dazu müssen mehrere Punkte betrachtet werden: Zum einen ist das Verbraucherrisiko abhängig von der Toxizität des angewendeten Wirkstoffs, zum anderen von der betroffenen Lebensmittelkultur, da sich sowohl die zu erwartenden Rückstände je nach Fruchtgröße und -höhe über dem Boden als auch die Verzehrsmengen unterscheiden. Des Weiteren hängt die Exposition von der Entfernung der Gartenfläche zu der landwirtschaftlichen Fläche ab, da Abdrift mit der Entfernung abnimmt. Bereits bestehende Abstandsaufgaben für die Anwendung eines PSM würden sich somit auf die zu erwartenden Rückstände auswirken. Ein weiterer wesentlicher Punkt ist die Wahrscheinlichkeit, mit der der Spritzzeitpunkt der Zielkultur und der Erntezeitpunkt der benachbarten Kultur zusammenfallen. Diese und weitere Aspekte sollten Berücksichtigung finden, wenn über notwendige Konsequenzen aus dem Projekt für das Zulassungsverfahren entschieden wird.

6 Literaturverzeichnis

Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland (AdV) (2015): Dokumentation zur Modellierung der Geoinformationen des amtlichen Vermessungswesens (GeoInfoDok). ATKIS Katalogwerke. ATKIS-Objektartenkatalog Basis-DLM, Version 7.0.2, Stand: 10.05.2015.

Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland (AdV) (2018a): Dokumentation zur Modellierung der Geoinformationen des amtlichen Vermessungswesens (GeoInfoDok). ALKIS-Katalogwerke. ALKIS-Objektartenkatalog DLKM, Version 7.1 rc.1, Stand: 31.07.2018.

Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland, (2018b): Produktblatt. ATKIS – Digitales Basis-Landschaftsmodell (Basis-DLM). Stand: 31.08.2018.

Balsari, P., Marucco, P., Doruchowski, G., Ophoff, H. & Roettele, M. (o.D.): TOPPS-Prowadis-Empfehlungen zur Reduzierung der Abdrift bei der Ausbringung von Pflanzenschutzmitteln, Hg. v. TOPPS Prowadis.

Bedos, C., Cellier, P., Calvet, R., Barriuso, E. & Gabrielle, B. (2002): Mass transfer of pesticides into the atmosphere by volatilization from soils and plants: overview. In: *Agronomie* 22, S. 21–33.

Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (2016): Bekanntmachung über die Mindestabstände bei der Anwendung von Pflanzenschutzmitteln zum Schutz von Umstehenden und Anwohnern, die der Zulassung von Pflanzenschutzmitteln zugrunde gelegt werden (BVL 16/02/02). In: *Bundesanzeiger*. Hg. v. Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz.

Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (Hg.) (2019, Juli): Liste der zugelassenen Pflanzenschutzmittel in Deutschland mit Informationen über beendete Zulassungen.

Bundesanstalt für Straßenwesen (o.D.): RAL - Die neuen Straßentypen für Landstraßen. Online verfügbar unter https://www.bast.de/BASt_2017/DE/Verkehrstechnik/Fachthemen/v1-strassentypen.html, zuletzt geprüft am 23.07.2019.

Bundesinstitut für Risikobewertung (Hg.) (2005, 2. Mai): BfR entwickelt neues Verzehrmodell für Kinder. *Information Nr. 016/2005 des BfR*.

Bundesinstitut für Risikobewertung (o.D.): Risikobewertung von Pflanzenschutzmitteln. Online verfügbar unter https://www.bfr.bund.de/de/risikobewertung_von_pflanzenschutzmitteln-70187.html, zuletzt geprüft am 23.07.2019.

Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (Hg.) (2018): Landwirtschaft verstehen. Fakten und Hintergründe.

Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (2019a, 25. März): Zulassungsverfahren - Schutz von Gesundheit und Umwelt. Online verfügbar unter https://www.bmel.de/DE/Landwirtschaft/Pflanzenbau/Pflanzenschutz/_Texte/DossierPflanzenschutzmittel.html?nn=1853720¬First=false&docId=2050922, zuletzt geprüft am 23.07.2019.

- Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (Hg.) (2019b): Ökologischer Landbau in Deutschland.
- Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (Hg.) (2010): Gute fachliche Praxis im Pflanzenschutz. Grundsätze für die Durchführung.
- Bundesverband Deutscher Gartenfreunde e.V. (Hg.) (2008): Artenvielfalt. Biodiversität der Kulturpflanzen in Kleingärten.
- Butler Ellis, M. C., Lane, A. G., O'Sullivan, C. M., Alanis, R., Harris, A., Stallinga, H. & Zande, J. van de (2014): Bystander and Resident exposure to spray drift from orchard applications: field measurements, including a comparison of spray drift collectors. In: *Aspects of Applied Biology* 122, S. 187–194.
- Butler Ellis, M. C., Lane, A. G., O'Sullivan, C. M., Miller, P. & Glass, C. R. (2010): Bystander exposure to pesticide spray drift: New data for model development and validation. In: *Biosystems Engineering* 107, S. 162–168.
- Capel, P. D., Larson, S. J. & Winterstein, T. A. (2001): The behaviour of 39 pesticides in surface waters as a function of scale. In: *Hydrological Processes* 15, S. 1251–1269.
- Carlsen, S. C. K., Spliid, N. H., Svensmark, B. (2006): Drift of 10 herbicides after tractor spray application. 2. Primary drift (droplet drift). In: *Chemosphere* 64, S. 778-786.
- Davis, B. N. K., Brown, M. J., Frost, A. j. & Yates, T. J. Plant, R. A. (1994): The Effects of Hedges on Spray Deposition and on the Biological Impact of Pesticide Spray Drift. In: *Ecotoxicology and Environmental Safety* 27, S. 281–293.
- Die Bundesregierung (Hg.) (2016): Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie – Neuauflage 2016.
- DIN 32645:2008-11: Chemische Analytik – Nachweis-, Erfassungs- und Bestimmungsgrenze unter Wiederholbedingungen – Begriffe, Verfahren, Auswertung.
- DIN 38402-51, 2017-05: Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung - Allgemeine Angaben (Gruppe A) - Teil 51: Kalibrierung von Analysenverfahren - Lineare Kalibrierfunktion (A 51).
- EU Pesticides database. Online verfügbar unter <https://ec.europa.eu/food/plant/pesticides/eu-pesticides-database/public/?event=homepage&language=EN>, zuletzt geprüft am 07.08.2019.
- Farooq, M., Salyani, M. & Whitney, J. D. (2003): Effect of application techniques on abscission chemical deposition and mechanical harvesting of 'Valencia' oranges. In: *HortTechnology* 13 (2), S. 344–351.
- Ganzelmeier, H., Rautmann, D., Spangenberg, R., Streloke, M., Herrmann, M., Wenzelburger, H.-J. & Walter, H.-F. (1995): Studies on the spray drift of plant protection products. Results of a test program carried out throughout the Federal Republic of Germany. In: *Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft Berlin-Dahlem* 305.
- Grella, M., Gallart, M., Marucco, P., Balsari, P. & Gil, E. (2017): Ground Deposition and Airborne Spray Drift Assessment in Vineyard and Orchard: The Influence of Environmental Variables and Sprayer Settings. In: *Sustainability* 9 (728), S. 1–26.
- Hassan, N. S. & Sidik, N. A. C. (2017): Assessment of atomization parameters for flat fan nozzles based on wind tunnel measurements. In: *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences* 38 (1), S. 1–9.

Hemmerling, U., Pascher, P., Nass, S. & Seidel, C. (2013): Informationen zur deutschen Landwirtschaft - Zahlen, Daten, Fakten. Hg. v. i.m.a - information.medien.agrar e.V.

Herbst, A. & Wygoda, H.-J. (2006): Pyranin - ein fluoreszierender Farbstoff für applikationstechnische Versuche. In: *Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes* 58 (3), S. 79–85.

Hortipendium – Das grüne Lexikon (2018, 3. September): Applikationstechnik. Verfügbar unter: <http://www.hortipendium.de/Aplikationstechnik>, zuletzt geprüft am 25.07.2019.

Julius Kühn-Institut, Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen (o.D.): Behandlungshäufigkeit. Online verfügbar unter <https://papa.julius-kuehn.de/index.php?menuid=46>, zuletzt geprüft am 07.08.2019.

Julius Kühn-Institut, Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen (2006, 27.März): Tabelle der Abdrifteckwerte. Online verfügbar unter: <https://www.julius-kuehn.de/at/ab/abdrift-und-risikominderung/abdrifteckwerte/>, zuletzt geprüft am 12.08.2019.

Julius Kühn-Institut, Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen (2013): Bekanntmachung von Richtlinien, die zur Prüfung von Pflanzenschutzgeräten nach § 52 Absatz 1 des Pflanzenschutzgesetzes angewendet werden. In: *Bundesanzeiger*. Hg. v. Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz.

Julius Kühn-Institut, Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen (Hg.) (2019): Verzeichnis Verlustmindernde Geräte, Stand 13.03.2019.

Kämpfer, C., Pelzer, T., Wegener, J. K. & Hörsten, D. von (2015): Technische Möglichkeiten zur Pflanzenschutzmitteleinsparung im Obstbau. In: *Frerichs, Ludger (Hg.): Jahrbuch Agrartechnik 2014*. Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, S. 1-11.

Khot, L. R., Ehsani, R., Maja, J. M., Campoy, J. M., Wellington, C. & Al-Jumaili, A. (2014): Evaluation of deposition and coverage by an air-assisted sprayer and two air-blast sprayers in a citrus orchard. In: *Transactions of the ASABE* 57 (4), S. 1007–1013.

Koch, H., Weißer, P., Landfried, M. & Strub, O. (2002): Exposition durch Pflanzenschutzmittelabdrift an Blattoberflächen von Nichtzielpflanzen in terrestrischen Saumstrukturen. In: *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz (Journal of Plant Diseases and Protection)* (Sonderheft XVIII).

Koo, Y. M., Salyani, M. & Whitney, J. D. (1999): Effects of abscission chemical spray deposition on mechanical harvest efficacy of 'Hamlin' orange. In: *Proceedings of the Florida State Horticultural Society* 112, S. 28–33.

Kubiak, R., Hommen, U., Bach, M., Classen, S., Gergs, A., Golla, B., Guerniche, D., Klein, M., Krumpe, J., Preuss, T. G. et al. (2014): Georeferenced probabilistic risk assessment of pesticides -. Further advances in assessing the risk to aquatic ecosystems by spray drift from permanent crops. Hg. v. Umweltbundesamt.

Kuhlmann, P. (2017): Stadt- und Gemeindetyp 2015: Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung, verfügbar unter: <https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Raumbeobachtung/Raumabgrenzungen/deutschland/ge-meinden/StadtGemeindetyp/downloadangebote.html?nn=443182>, zuletzt geprüft am 23.07.2019.

- Løfstrøm, P., Bruus, M., Andersen, H. V., Kjær, C., Nuyttens, D. & Astrup, P. (2013): The OML-SprayDrift model for predicting pesticide drift and deposition from ground boom sprayers. In: *Journal of Pesticide Science* 38 (3), S. 129–138.
- Maclachlan, D.J. & Hamilton, D. (2010): A new tool for the evaluation of crop residue trial data (day-zero-plus decline). In: *Food Additives and Contaminants* 27 (3), S. 347-364.
- Marrs, R. H., Frost, A. j. & Plant, R. A. (1991): Effects of Herbicide Spray Drift on Selected Species of Nature Conservation Interest: The Effects of Plant Age and Surrounding Vegetation Structure. In: *Environmental Pollution* 69, S. 223–235.
- Marrs, R.H. & Frost, A.J. (1997): A Microcosm Approach to the Detection of the Effects of Herbicide Spray Drift in Plant Communities. In: *Journal of Environmental Management* 50, S. 369–388.
- Maybank, J., Yoshida, K. & Grover, R. (1978): Spray Drift from Agricultural Pesticide Applications. In: *Journal of the Air Pollution Control Association* 28 (10), S. 1009-1014.
- Max Rubner-Institut, Bundesforschungsinstitut für Ernährung und Lebensmittel (Hg.) (2008): Ergebnisbericht Teil 1 und Teil 2, Nationale Verzehrsstudie II, Die Bundesweite Befragung zur Ernährung von Jugendlichen und Erwachsenen.
- Nairn, J. J. & Forster, W. A. (2015): Photostability of pyranine and suitability as a spray drift tracer. In: *New Zealand Plant Protection* 68, S. 32–37.
- Nordby, A. & Skuterud, R. (1975): The effects of boom height, working pressure and wind speed on spray drift. In: *Weed Research* 14, S. 385–395.
- Nuyttens, D., Schampheleire, M. de, Baetens, K. & Sonck, B. (2007): The influence of operator-controlled variables on spray drift from field crop sprayers. In: *Transaction of the ASABE* 50 (4), S. 1129–1140.
- Otto, S., Lazzaro, L., Finizio, A. & Zanin, G. (2009): Estimating ecotoxicological effects of pesticide drift on nontarget arthropods in field hedgerows. In: *Environmental Toxicology and Chemistry* 28 (4), S. 853–863.
- Ozkan, H. E., Miralles, A., Sinfort, C., Zhu, H. & Fox, R. D. (1997): Shields to Reduce Spray Drift. In: *Journal of agricultural Engineering Research* 67, S. 311–322.
- Phillips, J. C. & Miller, P. C. H. (1999): Field and Wind Tunnel Measurements of the Airborne Spray Volume Downwind of Single Flat-Fan Nozzles. In: *Journal of agricultural Engineering Research* 72, S. 161–170.
- Rautmann, D., Streloke, M. & Winkler, R.: New basic drift values in the authorization procedure for plant protection products. In: *Workshop on Risk assessment and Risk Mitigation Measures in the Context of the Authorization of Plant Protection Products*, S. 133–143.
- Roßberg, D. (2006): NEPTUN 2005 – Hopfen. Statistische Erhebung zur Anwendung von Pflanzenschutzmitteln in der Praxis. Hg. v. Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Institut für Folgenabschätzung im Pflanzenschutz. In: *Berichte aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft*, Heft 136.
- Roßberg, D. (2009): NEPTUN 2009 – Weinbau. Hg. v. Julius Kühn-Institut, Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen. In: *Berichte aus dem Julius Kühn-Institut*, Heft 151.

- Roßberg, D. & Harzer, U. (2015): Erhebungen zur Anwendung von Pflanzenschutzmitteln im Apfelanbau. In *Journal für Kulturpflanzen*, 67 (3), S. 85-91.
- Schampheleire, M. de, Nuyttens, D., Baetens, K., Cornelis, W., Gabriels, D. & Spanoghe, P. (2009): Effects on pesticide spray drift of the physicochemical properties of the spray liquid. In: *Precision Agriculture* 10, S. 409–420.
- Schampheleire, M. de, Nuyttens, D., Dekeyser, D., Verboven, P., Cornelis, W., Gabriels, D. & Spanoghe, P. (2008): Interception of spray drift by border structures. Part 1: Wind tunnel experiments. In: *Communications in agricultural and applied biological sciences* 73 (4), S. 719–721.
- Schampheleire, M. de, Spanoghe, P., Nuyttens, D., Baetens, K., Cornelis, W., Gabriels, D. & Meeren, P. van der (2006): Classification of spray nozzles based on droplet size distributions and wind tunnel tests. In: *Communications in agricultural and applied biological sciences* 71 (2a), S. 201–207.
- Schleier, J. J., Preftakes, C. & Peterson, R. K. D. (2010): The effect of fluorescent tracers on droplet spectrum, viscosity, and density of pesticide formulations. In: *Journal of Environmental Science and Health, Part B* 45, S. 621–625.
- Seitz, F. (2014): Methode zur Beurteilung und Minderung der Spraydrift von Captan im Semi-Freiland-Windtunnel. Bachelorarbeit. University of applied Sciences, Wiesbaden Rüsselsheim. Institut für Agrarökologie, RLP AgroScience GmbH.
- Stadler, R. & Regenauer, W. (2005): Drift studies - comparison of field and wind tunnel experiments. In: *Communications in agricultural and applied biological sciences* 70 (4), S. 971–973.
- Umweltbundesamt (Hg.) (2019, 09. April): Pflanzenschutzmittelverwendung in der Landwirtschaft. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/daten/landforstwirtschaft/pflanzenschutzmittelverwendung-in-der#textpart-1>, zuletzt geprüft am 23.07.2019.
- Umweltbundesamt (Hg.) (2018): Umwelt und Landwirtschaft 2018.
- Vermeulen, R. C. H., Gooijer, Y. M., Hoftijser, G. W., Lageschaar, L. C. C., Oerlemans, A., Scheepers, P. T. J., Kivits, C. M., Duyzer, J., Gerritsen-Ebben, M. G., Figueiredo, D. M., Huss, A., Krop, E. J. M., Berg, F. van den, Holterman, H. J., Jacobs, C. j. M., Kruijne, R., Mol, J. G. J., Wenneker, M., Zande, J. C. van de & Sauer, P. J. J. (2019): Research on exposure of residents to pesticides in the Netherlands – OBO flower bulbs.
- Wasserchemische Gesellschaft (17.05.2017): A 51 – DIN 38402-51:2017-05 - Gewichtete Regression. Online verfügbar unter <http://www.wasserchemische-gesellschaft.de/dev/validierungsdokumente?lang=de>, zuletzt geprüft am 22.07.2019.
- Wenneker, M. & Zande, J. C. van de (2008): Spray drift reducing effects of natural windbreaks in orchard spraying. In: *Aspects of Applied Biology* 84, S. 1–8.
- Werf, H. M. G. van der (1996): Assessing the impact of pesticides on the environment. In: *Agriculture Ecosystems & Environment* 60, S. 81–96.
- Werner, J. (2006): Flächeninanspruchnahme in den Bundesländern. In: *Statistisches Monatsheft Baden-Württemberg* 7, S. 14–21.
- Zande, J. C. van de, Butler Ellis, M. C., Wenneker, M., Walklate, P. J. & Kennedy, M. (2014a): Spray drift and bystander risk from fruit crop spraying. In: *Aspects of Applied Biology* 122, S. 177-186.

Zande, J. C. van de, Michielsen, J., Stallinga, H. & Velde, P. van (2014b): Spray drift of drift reducing nozzle types spraying a bare soil surface with a boom sprayer. In: *Aspects of Applied Biology* 122, S. 245–253.

Anhang

I. Stabilität von Pyranin im Windtunnel und Abwaschbarkeit von verschiedenen Oberflächen

Im Windtunnel wurden auf je 3 mal 5 Tomaten je 100 mal 1 μl Pyranin mit einer Konzentration von 10 g/l pipettiert. Nach 20 min im Windtunnel wurden die Tomaten in Gefäße mit 500 ml Wasser gegeben und lichtdicht verpackt. Auf 5 Kontrolltomaten wurde im Labor je 100 mal 1 μl Pyranin pipettiert und diese anschließend für 20 min in den Kühlschrank gestellt. Anschließend wurden die Tomaten in ein Gefäß mit 500 ml Wasser gegeben. Die Gefäße wurden im Labor geschüttelt. Aus jedem Gefäß wurden 3 Proben entnommen und die Fluoreszenz gemessen. Anhand einer Kalibriergeraden, die aus der Stocklösung, die für die Versuche verwendet wurde, erstellt wurde, wurde die Konzentration des Pyranins in der Lösung ermittelt und die Wiederfindungsrate berechnet. Die Ergebnisse sind in Abbildung 37 dargestellt. Der gleiche Versuch wurde mit Erdbeeren durchgeführt (Abbildung 38). Auch die Photostabilität in Petrischalen im Windtunnel wurde geprüft. Dazu wurden 10 Petrischalen wie in den beschriebenen Versuchen mit Tomaten mit einer Pyraninlösung befüllt und die Wiederfindungsrate bestimmt. Drei Petrischalen dienten als Kontrolle (Abbildung 39).

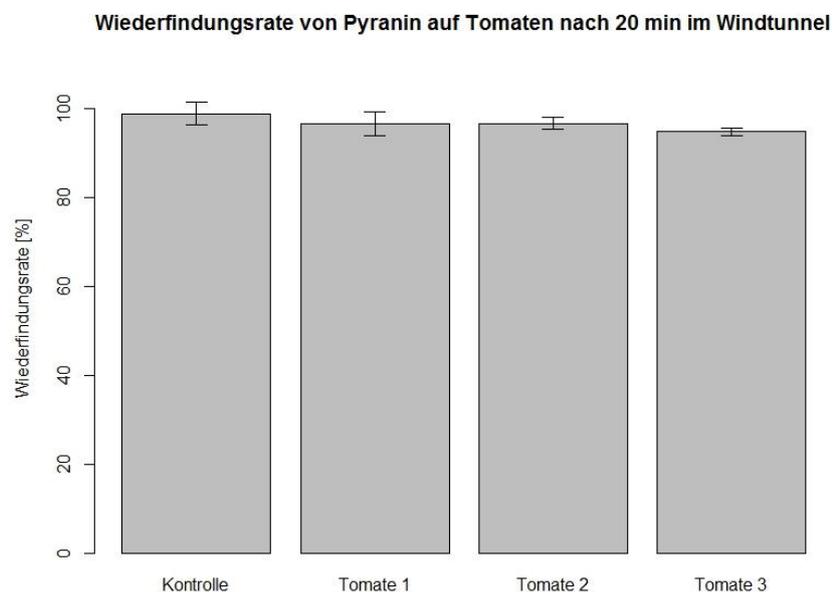


Abbildung 37: Stabilität von Pyranin im Windtunnel auf Tomaten.

Wiederfindungsrate von Pyranin auf Erdbeeren nach 20 min im Windtunnel

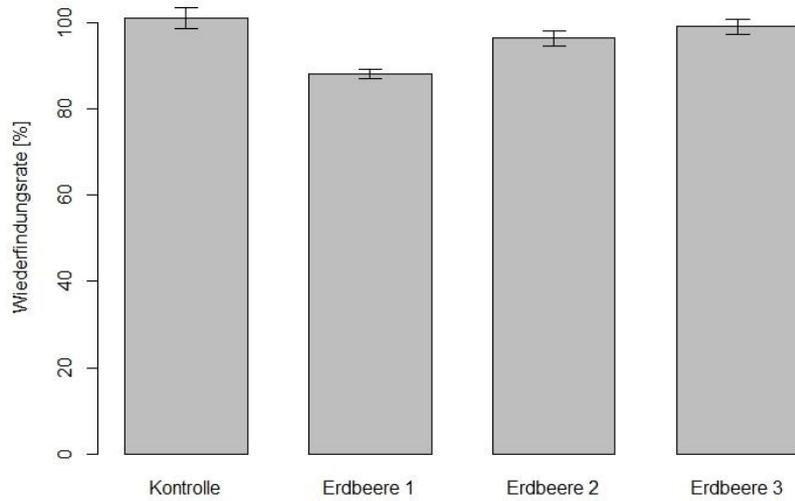


Abbildung 38: Stabilität von Pyranin im Windtunnel auf Erdbeeren.

Stabilität von Pyranin in Petrischalen im Windtunnel

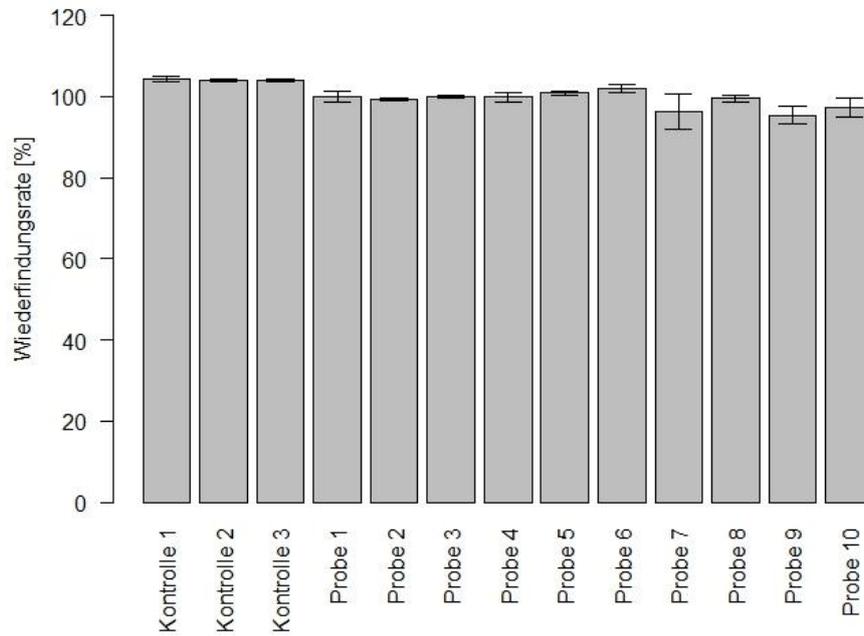


Abbildung 39: Stabilität von Pyranin im Windtunnel in Petrischalen. Die Versuchsobjekte wurden 20 min im Windtunnel gelagert.

II. Linearer Zusammenhang zwischen Applikationszeit und Rückstandshöhe

Zur Überprüfung, ob in dem verwendeten Versuchsdesign ein linearer Zusammenhang zwischen Applikationszeit und Rückstandsmenge besteht, wurden Petrischalen auf den Messpunkten platziert und Wasser für 30 s bzw. 60 s appliziert. Anschließend wurde das Gewicht der Petrischalen bestimmt und das im Vorfeld ermittelte Leergewicht der Petrischalen abgezogen. Die Ergebnisse sind in Tabelle 15 aufgeführt. Es wurde von 4 Messpunkten je Entfernung der Mittelwert bestimmt. Die ermittelten Gewichtsunterschiede der Petrischalen, die in den Versuchen mit 60 s Applikationszeit verwendet wurden, wurden auf 30 s normiert. Die ermittelten Wassermassen variieren nur schwach.

Tabelle 15: Ergebnisse der gravimetrischen Bestimmung von Wasser bei unterschiedlichen Applikationszeiten. Aufgeführt ist der Mittelwert von 4 Messpunkten pro Entfernung. A,B,C, D, E, F: unabhängige Versuche. 30: Applikationszeit 30 s. 60/2: Applikationszeit 60 s, normiert auf 30 s.

Entfernung [m]	Menge Wasser [g]					
	A_30	B_30	C_30	D_60/2	E_60/2	F_60/2
1	4,2	4,6	4,6	4,4	4,2	4,8
3	1,3	1,3	1,3	0,9	0,9	1,0
5	0,4	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4
7	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

III. Ermittlung der Kalibriergeraden

Ermittlung von Blindwert, Nachweis- und Bestimmungsgrenze

Für den Blindwert wurden 12-mal je 300 µl destilliertes Wasser in eine 96-Well Platte pipettiert und die Fluoreszenz gemessen. Die Ergebnisse sind in Tabelle 16 zusammengefasst.

Tabelle 16: Messwerte der Blindproben.

Wiederholung	Fluoreszenzwert
1	3
2	3
3	3
4	3
5	3
6	3
7	3
8	2
9	3
10	3
11	4
12	3

Als Blindwert (= Mittelwert aller Messungen, $y_{L,i}$) ergibt sich demnach 3. Die Standardabweichung des Blindwertes beträgt 0,4264 (= s_L). Mit Gleichung (1) und Gleichung (2) (Kapitel 3.1.1) wurden die NG und BG bestimmt, mit

$$\alpha = 0,01$$

$$n = 12$$

$$\phi_{n,\alpha} = 2,8 \text{ (entnommen aus DIN 32645)}$$

$$\phi_{n,\alpha/2} = 3,2 \text{ (entnommen aus DIN 32645)}$$

$k = 3$ (→ relative Ergebnisunsicherheit von 33,3 % auf dem vorgegebenen Signifikanzniveau (DIN 32645:2008-11))

$$b = 6763,68 \text{ (Mittelwert aller für die Versuche ermittelten Kalibriergeraden)}$$

Daraus ergibt sich:

$$NG = 0,0002 \text{ mg/l}$$

$$BG = 0,0006 \text{ mg/l}$$

Ermittlung der Kalibriergeraden

Die Ermittlung der Kalibriergeraden wird im Folgenden beispielhaft erläutert (verwendete Daten: Salat als Versuchspflanze, Testsystem Flächenkultur, Entfernung 3 und 5 m, Wiederholung 3). Die Ergebnisse der Fluoreszenzmessungen der Standards sind in Tabelle 17 aufgeführt.

Tabelle 17: Fluoreszenzwerte der Standards zur Ermittlung der Kalibriergeraden.

Konzentration [mg/l]	Fluoreszenzeinheiten (FE)		Mittelwert FE
3	19830	20213	20021,5
1,05	8209	7691	7950,0
0,45	3848	3891	3869,5
0,105	812	890	851,0
0,07875	642	671	656,5

Einfache lineare Regression

Aus diesen Messergebnissen wurde mit R die in Abbildung 40 dargestellte Kalibriergerade mittels einfacher linearer Regression ermittelt. Die Gleichung der Kalibriergeraden lautet $y=6580,8x + 505,15$. Es ergibt sich ein Bestimmtheitsmaß von $R^2=0,9971$.

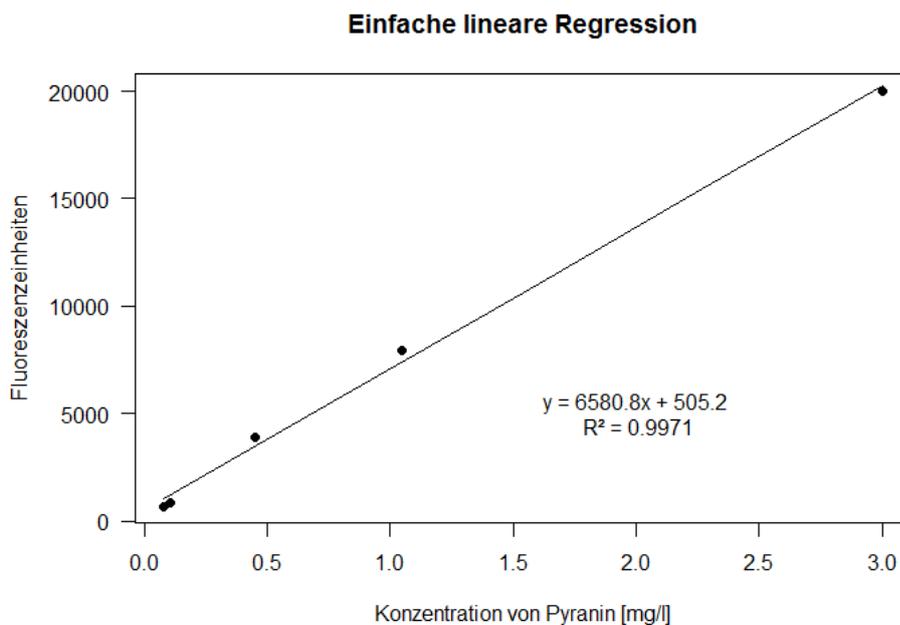


Abbildung 40: Graphische Darstellung der Fluoreszenzmittelwerte der verwendeten Standards in Abhängigkeit von der Konzentration. Die Kalibriergerade wurde mittels einfacher linearer Regression ermittelt. Aufgeführt sind zudem die Regressionsgleichung und das Bestimmtheitsmaß R^2 .

In die über die lineare Regression ermittelte Kalibriergerade wurden die Fluoreszenzwerte der Standards eingesetzt und die Konzentration berechnet (Schätzwert). Diese berechneten Schätzwerte weichen um bis zu 70 % von den angesetzten Konzentrationen der Standards ab (Beispiel Tabelle 18). Eine einfache lineare Regression konnte deshalb für die Kalibrierung nicht verwendet werden, da diese Methode vor allem im unteren Kalibrierbereich zu großen Abweichungen zwischen Schätzwert (durch die Kalibriergerade ermittelte Konzentration) und dem Sollwert führte.

Tabelle 18: Abweichung der über eine einfache lineare Regression berechneten Konzentrationen (Schätzwert) von den angesetzten Konzentrationen der Standards (Sollwert) am Beispiel der Kalibriergerade für den Versuch mit Salat als Versuchskultur, Testsystem Flächenkultur, Entfernung 3 und 5 m, Wiederholung Nr. 3.

Sollwert [mg/l]	Schätzwert (ermittelt über eine lineare Regression) [mg/l]	Abweichung vom Sollwert [%]
3,00	2,97	1,14
1,05	1,13	7,74
0,45	0,51	13,61
0,11	0,05	49,95
0,08	0,02	70,80

Gewichtete lineare Regression

Die nach DIN-Norm 38402-51:2017-05 durchgeführte gewichtete lineare Regression mit der Wichtung $1/x$ ist in Abbildung 41 dargestellt. Die Regressionsgleichung lautet $y = 7470,47x + 75,13$. Im Vergleich zur einfachen linearen Regression (Abbildung 40) ist zu erkennen, dass der höchste Standard (3 mg/l) bei der gewichteten linearen Regression stärker von der Regressionsgerade abweicht.

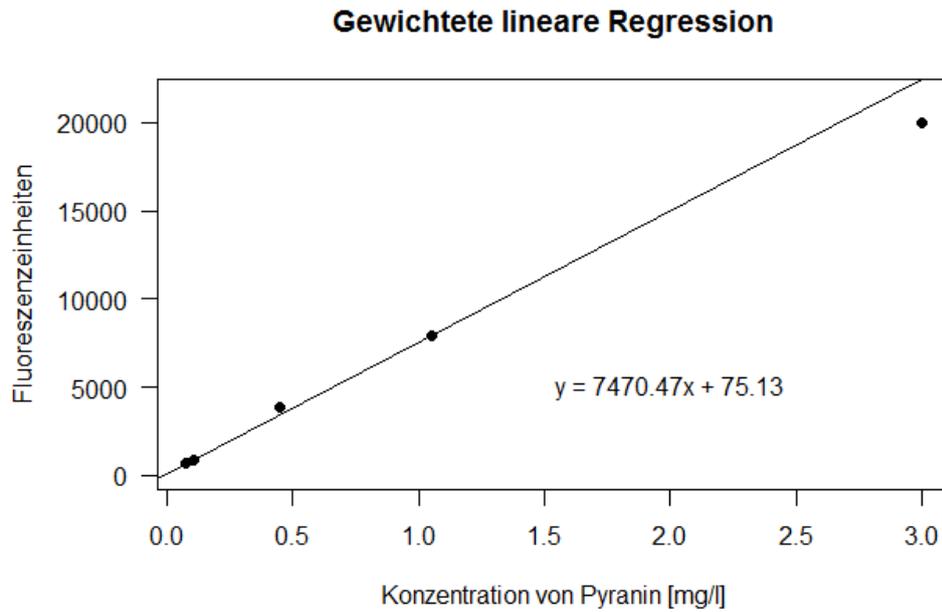


Abbildung 41: Graphische Darstellung der Fluoreszenzmittelwerte der verwendeten Standards in Abhängigkeit von der Konzentration. Die Kalibriergerade wurde mittels gewichteter linearer Regression ermittelt. Aufgeführt ist zudem die Regressionsgleichung.

In Tabelle 19 sind die Abweichungen der über die Kalibriergerade der gewichteten linearen Regression ermittelten Konzentrationen von den angesetzten Konzentrationen der Standards aufgeführt. Die höchste Abweichung vom Sollwert hat der Schätzwert des Standards 0,45 mg/l mit 12,87 %, gefolgt von dem des Standards 3 mg/l mit 11 %. Die restlichen liegen mit 1,18 % (0,08 mg/l), 1,09 % (0,11 mg/l) und 0,39 % (1,05 mg/l) deutlich darunter. Die Abweichungen sind somit niedriger als bei der einfachen linearen Regression (Tabelle 18).

Tabelle 19: Abweichung der über eine gewichtete lineare Regression berechneten Konzentrationen (Schätzwert) von den angesetzten Konzentrationen der Standards (Sollwert).

Sollwert [mg/l]	Schätzwert (ermittelt über eine gewichtete lineare Regression) [mg/l]		Abweichung vom Sollwert [%]
3,00	2,67	11,00	
1,05	1,05	0,39	
0,45	0,51	12,87	
0,11	0,10	1,09	
0,08	0,08	1,18	

Die höchste Abweichung bei allen Standards aller Kalibriergeraden der gewichteten linearen Regression liegt bei 16 %, bei 9 Standards liegt die Abweichung zwischen 10 % und 13 %, bei den restlichen unter 10 %. Der Median liegt bei 3 % (Abbildung 42). Für die weitere Auswertung der Messwerte wurde auf Grund der geringeren Abweichungen die gewichtete lineare Regression zur Erstellung der Kalibriergeraden gewählt.

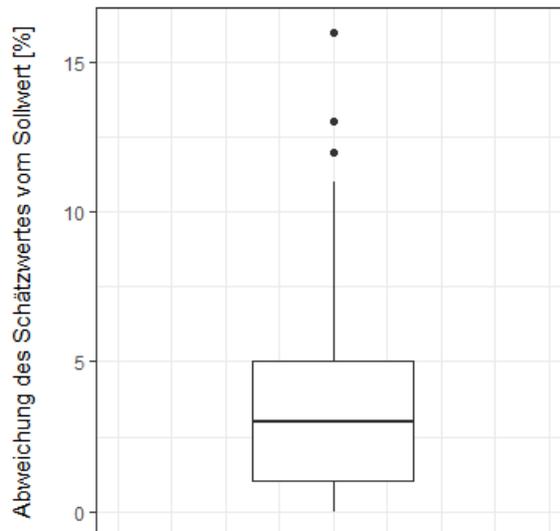


Abbildung 42: Abweichung der mittels gewichteter linearer Regression berechneten Schätzwerte von den zugehörigen Sollwerten aller Standards der Kalibriergeraden.

Rohdaten, Steigung und y-Achsenabschnitt zu allen Kalibriergeraden

In nachfolgenden Tabellen (Tabelle 20 bis Tabelle 25) sind die Rohdaten zur Erstellung der Kalibriergeraden zusammengefasst. Die Tabellen zeigen die Fluoreszenzwerte der angesetzten Standards und die daraus mittels gewichteter linearer Regression ermittelte Steigung und der y-Achsenabschnitt.

Tabelle 20: Rohdaten zu den Kalibriergeraden für die Erdbeerversuche mit dem Testsystem Flächenkultur.

Erdbeere, Testsystem Flächenkultur, Entfernung: 10 m, 7 m, Wiederholung: 1					
Konzentration [mg/l]	Fluoreszenzeinheiten [FE]	Mittelwert FE	Steigung	y- Achsenabschnitt	
3	17041	18428			
1,05	6290	6290			
0,45	2802	3105	6087,3	64,5	
0,105	724	737			
0,07875	553	498			
Erdbeere, Testsystem Flächenkultur, Entfernung: 5 m, 3 m, 1 m; Wiederholung: 1					
Konzentration [mg/l]	Fluoreszenzeinheiten [FE]	Mittelwert FE	Steigung	y- Achsenabschnitt	
3	19190	19312			
1,05	7220	6999			
0,45	2917	3141	6575,1	52,8	
0,105	748	742			
0,07875	582	555			
Erdbeere, Testsystem Flächenkultur, Entfernung: alle, Wiederholung: 2					
Konzentration [mg/l]	Fluoreszenzeinheiten [FE]	Mittelwert FE	Steigung	y- Achsenabschnitt	
3	18802	18734			
1,05	5826	6223			
0,45	2973	2808	6014,6	85,1	
0,105	702	683			
0,07875	562	580			
Erdbeere, Testsystem Flächenkultur, Entfernung: alle, Wiederholung: 3					
Konzentration [mg/l]	Fluoreszenzeinheiten [FE]	Mittelwert FE	Steigung	y- Achsenabschnitt	
3	17749	19390			
1,05	6934	6861			
0,45	3311	3170	6526,5	92,6	
0,105	778	789			
0,07875	587	609			

Tabelle 21: Rohdaten zu den Kalibriergeraden für die Erdbeerversuche mit dem Testsystem Raumkultur.

Erdbeere, Testsystem Raumkultur, Entfernung: 15 m, 10 m, Wiederholung: 1					
Konzentration [mg/l]	Fluoreszenzeinheiten [FE]	Mittelwert FE	Steigung	y- Achsenabschnitt	
3	17105	18346			
1,05	6320	6463			
0,45	3361	3464	6429,8	54,6	
0,105	755	737			
0,07875	550	532			

Erdbeere, Testsystem Raumkultur, Entfernung: 7 m, 5 m, 3 m, 1 m, Wiederholung: 1

Konzentration [mg/l]	Fluoreszenzeinheiten [FE]	Mittelwert FE	Steigung	y- Achsenabschnitt
3	19856	19648		
1,05	6764	6508		
0,45	3145	2919	6498,4	55,9
0,105	762	760		
0,07875	564	545		

Erdbeere, Testsystem Raumkultur, Entfernung: 15 m, 10 m, Wiederholung: 2

Konzentration [mg/l]	Fluoreszenzeinheiten [FE]	Mittelwert FE	Steigung	y- Achsenabschnitt
3	19368	17636		
1,05	6567	6088		
0,45	2899	2905	6185,2	40,8
0,105	731	709		
0,07875	520	500		

Erdbeere, Testsystem Raumkultur, Entfernung: 7 m, 5 m, 3 m, 1 m, Wiederholung: 2

Konzentration [mg/l]	Fluoreszenzeinheiten [FE]	Mittelwert FE	Steigung	y- Achsenabschnitt
3	15356	17877		
1,05	6050	6298		
0,45	2872	2893	5912,5	19,4
0,105	671	648		
0,07875	454	484		

Erdbeere, Testsystem Raumkultur, Entfernung: 15 m, 10 m, Wiederholung: 3

Konzentration [mg/l]	Fluoreszenzeinheiten [FE]	Mittelwert FE	Steigung	y- Achsenabschnitt
3	19654	20229		
1,05	6366	6404		
0,45	3191	3345	6601,8	18,4
0,105	658	722		
0,07875	556	534		

Erdbeere, Testsystem Raumkultur, Entfernung: 7 m, 5 m, 3 m, 1 m, Wiederholung: 3

Konzentration [mg/l]	Fluoreszenzeinheiten [FE]	Mittelwert FE	Steigung	y- Achsenabschnitt
3	19342	19786		
1,05	6984	6297		
0,45	3084	3000	6457,5	53,2
0,105	705	735		
0,07875	573	560		

Tabelle 22: Rohdaten zu den Kalibriergeraden für die Tomatenversuche mit dem Testsystem Flächenkultur.

Tomate, Testsystem Flächenkultur, Entfernung: 10 m, Wiederholung: 1					
Konzentration [mg/l]	Fluoreszenzeinheiten [FE]		Mittelwert FE	Steigung	y- Achsenabschnitt
3	18903	19180	19041,5		
1,05	6929	6652	6790,5		
0,45	3047	2971	3009	6445,5	47,2
0,105	727	738	732,5		
0,07875	548	549	548,5		
Tomate, Testsystem Flächenkultur, Entfernung: 10 m, Wiederholung: 2					
Konzentration [mg/l]	Fluoreszenzeinheiten [FE]		Mittelwert FE	Steigung	y- Achsenabschnitt
3	19176	17689	18432,5		
1,05	6763	6383	6573		
0,45	3012	3247	3129,5	6395,0	26,5
0,105	726	660	693		
0,07875	513	542	527,5		
Tomate, Testsystem Flächenkultur, Entfernung: 10 m, Wiederholung: 3					
Konzentration [mg/l]	Fluoreszenzeinheiten [FE]		Mittelwert FE	Steigung	y- Achsenabschnitt
3	19874	18895	19384,5		
1,05	6787	6768	6777,5		
0,45	3181	3234	3207,5	6596,9	49,9
0,105	708	758	733		
0,07875	568	573	570,5		
Tomate, Testsystem Flächenkultur, Entfernung: 7 m, Wiederholung: 1					
Konzentration [mg/l]	Fluoreszenzeinheiten [FE]		Mittelwert FE	Steigung	y- Achsenabschnitt
3	18625	20021	19323		
1,05	6818	7029	6923,5		
0,45	3092	3265	3178,5	6640,4	51,2
0,105	759	775	767		
0,07875	547	574	560,5		
Tomate, Testsystem Flächenkultur, Entfernung: 7 m, Wiederholung: 2					
Konzentration [mg/l]	Fluoreszenzeinheiten [FE]		Mittelwert FE	Steigung	y- Achsenabschnitt
3	20346	19871	20108,5		
1,05	7353	7362	7357,5		
0,45	3370	3270	3320	6955,5	27,8
0,105	712	749	730,5		
0,07875	591	582	586,5		
Tomate, Testsystem Flächenkultur, Entfernung: 7 m, Wiederholung: 3					
Konzentration [mg/l]	Fluoreszenzeinheiten [FE]		Mittelwert FE	Steigung	y- Achsenabschnitt
3	18832	20642	19737	6792,1	49,9

1,05	7145	6728	6936,5
0,45	3344	3332	3338
0,105	774	765	769,5
0,07875	572	580	576

Tomate, Testsystem Flächenkultur, Entfernung: 5 m, Wiederholung: 1

Konzentration [mg/l]	Fluoreszenzeinheiten [FE]	Mittelwert FE	Steigung	y- Achsenabschnitt
3	21193	19489	20341	
1,05	7978	7603	7790,5	
0,45	3380	3396	3388	7227,1
0,105	822	797	809,5	20,8
0,07875	583	556	569,5	

Tomate, Testsystem Flächenkultur, Entfernung: 5 m, Wiederholung: 2

Konzentration [mg/l]	Fluoreszenzeinheiten [FE]	Mittelwert FE	Steigung	y- Achsenabschnitt
3	22230	21724	21977	
1,05	7459	7037	7248	
0,45	3638	3809	3723,5	7464,9
0,105	816	759	787,5	3,9
0,07875	590	579	584,5	

Tomate, Testsystem Flächenkultur, Entfernung: 5 m, Wiederholung: 3

Konzentration [mg/l]	Fluoreszenzeinheiten [FE]	Mittelwert FE	Steigung	y- Achsenabschnitt
3	20263	21804	21033,5	
1,05	7517	7903	7710	
0,45	3644	3700	3672	7408,1
0,105	820	751	785,5	35,4
0,07875	625	628	626,5	

Tomate, Testsystem Flächenkultur, Entfernung: 3 m, Wiederholung: 1

Konzentration [mg/l]	Fluoreszenzeinheiten [FE]	Mittelwert FE	Steigung	y- Achsenabschnitt
3	23151	23160	23155,5	
1,05	7562	7786	7674	
0,45	3651	3729	3690	7729,6
0,105	737	799	768	-21,4
0,07875	606	584	595	

Tomate, Testsystem Flächenkultur, Entfernung: 3 m, Wiederholung: 2

Konzentration [mg/l]	Fluoreszenzeinheiten [FE]	Mittelwert FE	Steigung	y- Achsenabschnitt
3	19359	18945	19152	
1,05	6773	7006	6889,5	
0,45	3452	3436	3444	6795,8
0,105	745	724	734,5	25,8
0,07875	563	547	555	

Tomate, Testsystem Flächenkultur, Entfernung: 3 m, Wiederholung: 3					
Konzentration [mg/l]	Fluoreszenzeinheiten [FE]		Mittelwert FE	Steigung	y- Achsenabschnitt
3	19564	19156	19360		
1,05	7090	7091	7090,5		
0,45	3411	3400	3405,5	6852,4	35,8
0,105	735	775	755		
0,07875	579	558	568,5		
Tomate, Testsystem Flächenkultur, Entfernung: 1 m, Wiederholung: alle					
Konzentration [mg/l]	Fluoreszenzeinheiten [FE]		Mittelwert FE	Steigung	y- Achsenabschnitt
3	19758	19814	19786		
1,05	7496	7277	7386,5		
0,45	3470	3448	3459	7044,9	22,3
0,105	786	726	756		
0,07875	575	572	573,5		

Tabelle 23: Rohdaten zu den Kalibriergeraden für die Tomatenversuche mit dem Testsystem Raumkultur.

Tomate, Testsystem Raumkultur, Entfernung: 15 m, Wiederholung: 1					
Konzentration [mg/l]	Fluoreszenzeinheiten [FE]		Mittelwert FE	Steigung	y- Achsenabschnitt
3	19666	19780	19723		
1,05	6968	6792	6880		
0,45	3378	3405	3391,5	6820,4	19,7
0,105	717	718	717,5		
0,07875	563	557	560		
Tomate, Testsystem Raumkultur, Entfernung: 15 m, Wiederholung: 2					
Konzentration [mg/l]	Fluoreszenzeinheiten [FE]		Mittelwert FE	Steigung	y- Achsenabschnitt
3	19821	19635	19728		
1,05	7542	6844	7193		
0,45	3435	3455	3445	6926,7	57,0
0,105	786	769	777,5		
0,07875	609	590	599,5		
Tomate, Testsystem Raumkultur, Entfernung: 15 m, 10 m, Wiederholung: 3, 1					
Konzentration [mg/l]	Fluoreszenzeinheiten [FE]		Mittelwert FE	Steigung	y- Achsenabschnitt
3	20228	20863	20545,5		
1,05	7242	7359	7300,5		
0,45	3320	3280	3300	7012,8	12,2
0,105	758	729	743,5		
0,07875	562	566	564		

Tomate, Testsystem Raumkultur, Entfernung: 10 m, Wiederholung: 2					
Konzentration [mg/l]	Fluoreszenzeinheiten [FE]	Mittelwert FE	Steigung	y- Achsenabschnitt	
3	19018	19721	19369,5		
1,05	6753	7154	6953,5		
0,45	3401	3406	3403,5	6845,0	44,7
0,105	817	817	817		
0,07875	544	551	547,5		

Tomate, Testsystem Raumkultur, Entfernung: 10 m, Wiederholung: 3					
Konzentration [mg/l]	Fluoreszenzeinheiten [FE]	Mittelwert FE	Steigung	y- Achsenabschnitt	
3	20123	19526	19824,5		
1,05	7307	7173	7240		
0,45	3326	3414	3370	6926,4	24,6
0,105	773	688	730,5		
0,07875	571	581	576		

Tomate, Testsystem Raumkultur, Entfernung: 7 m, Wiederholung: 1, 2					
Konzentration [mg/l]	Fluoreszenzeinheiten [FE]	Mittelwert FE	Steigung	y- Achsenabschnitt	
3	23215	22874	23044,5		
1,05	8184	7766	7975		
0,45	3277	3169	3223	7560,7	-45,8
0,105	777	753	765		
0,07875	528	559	543,5		

Tomate, Testsystem Raumkultur, Entfernung: 7 m, 5 m Wiederholung: 3, alle					
Konzentration [mg/l]	Fluoreszenzeinheiten [FE]	Mittelwert FE	Steigung	y- Achsenabschnitt	
3	19289	18758	19023,5		
1,05	7950	7723	7836,5		
0,45	3550	3624	3587	7253,7	-25,6
0,105	753	740	746,5		
0,07875	515	544	529,5		

Tomate, Testsystem Raumkultur, Entfernung: 3 m Wiederholung: alle					
Konzentration [mg/l]	Fluoreszenzeinheiten [FE]	Mittelwert FE	Steigung	y- Achsenabschnitt	
3	18785	19165	18975		
1,05	6624	6699	6661,5		
0,45	2980	2963	2971,5	6387,5	43,4
0,105	730	744	737		
0,07875	519	546	532,5		

Tomate, Testsystem Raumkultur, Entfernung: 1 m Wiederholung: alle					
Konzentration [mg/l]	Fluoreszenzeinheiten [FE]	Mittelwert FE	Steigung	y- Achsenabschnitt	
3	20617	18117	19367		
1,05	7078	7708	7393	7152,6	-20,3

0,45	3548	3624	3586
0,105	755	746	750,5
0,07875	492	552	522

Tabelle 24: Rohdaten zu den Kalibriergeraden für die Salatversuche mit dem Testsystem Flächenkultur.

Salat, Testsystem Flächenkultur, Entfernung: 1 m, alle Wiederholungen					
Konzentration [mg/l]	Fluoreszenzeinheiten [FE]		Mittelwert FE	Steigung	y-Achsenabschnitt
3	23797	24414	24105,5		
1,05	7973	7828	7900,5		
0,45	3762	4098	3930	7989	24,6
0,105	789	808	798,5		
0,078	657	710	683,5		
Salat, Testsystem Flächenkultur, Entfernung: 3 m, 5 m, WDH: 1					
Konzentration [mg/l]	Fluoreszenzeinheiten [FE]		Mittelwert FE	Steigung	y-Achsenabschnitt
3	23585	23480	23532,5		
1,05	8518	8715	8616,5		
0,45	3963	3946	3954,5	8263,3	-12,7
0,105	859	842	850,5		
0,07875	634	634	634		
Salat, Testsystem Flächenkultur, Entfernung: 7 m, 10 m, WDH: 1					
Konzentration [mg/l]	Fluoreszenzeinheiten [FE]		Mittelwert FE	Steigung	y-Achsenabschnitt
3	21557	22232	21894,5		
1,05	7837	8246	8041,5		
0,45	3833	3635	3734	7694	31,5
0,105	847	845	846		
0,07875	617	638	627,5		
Salat, Testsystem Flächenkultur, Entfernung: 3 m, 5 m, WDH: 2					
Konzentration [mg/l]	Fluoreszenzeinheiten [FE]		Mittelwert FE	Steigung	y-Achsenabschnitt
3	21613	24128	22870,5		
1,05	8008	8083	8045,5		
0,45	3979	3853	3916	7865,8	62,9
0,105	817	898	857,5		
0,07875	680	705	692,5		
Salat, Testsystem Flächenkultur, Entfernung: 7 m, 10 m, WDH: 2					
Konzentration [mg/l]	Fluoreszenzeinheiten [FE]		Mittelwert FE	Steigung	y-Achsenabschnitt
3	23320	22532	22926		
1,05	8128	7992	8060		
0,45	3542	3623	3582,5	7745,4	24,3
0,105	846	880	863		
0,07875	658	579	618,5		
Salat, Testsystem Flächenkultur, Entfernung: 3 m, 5 m, WDH: 3					
Konzentration [mg/l]	Fluoreszenzeinheiten [FE]		Mittelwert FE	Steigung	y-Achsenabschnitt
3	21613	24128	22870,5	7470,5	75,1

1,05	8008	8083	8045,5
0,45	3979	3853	3916
0,105	817	898	857,5
0,07875	680	705	692,5

Salat, Testsystem Flächenkultur, Entfernung: 7 m, 10 m, WDH: 3

Konzentration [mg/l]	Fluoreszenzeinheiten [FE]	Mittelwert FE	Steigung	y-Achsenabschnitt
3	23320	22532	22926	
1,05	8128	7992	8060	
0,45	3542	3623	3582,5	7401,9
0,105	846	880	863	85
0,07875	658	579	618,5	

Tabelle 25: Rohdaten zu den Kalibriergeraden für die Salatversuche mit dem Testsystem Raumkultur.

Salat, Testsystem Raumkultur, Entfernung: alle, Wiederholung: 1

Konzentration [mg/l]	Fluoreszenzeinheiten [FE]	Mittelwert FE	Steigung	y- Achsenabschnitt
3	23742	23653	23697,5	
1,05	8625	7950	8287,5	
0,45	3312	3684	3498	7790,0
0,105	920	898	909	74,6
0,07875	684	678	681	

Salat, Testsystem Raumkultur, Entfernung: alle, Wiederholung: 2

Konzentration [mg/l]	Fluoreszenzeinheiten [FE]	Mittelwert FE	Steigung	y- Achsenabschnitt
3	22548	21423	21985,5	
1,05	8408	8115	8261,5	
0,45	3387	3485	3436	7503,7
0,105	932	907	919,5	108,6
0,07875	686	688	687	

Salat, Testsystem Raumkultur, Entfernung: alle, Wiederholung: 3

Konzentration [mg/l]	Fluoreszenzeinheiten [FE]	Mittelwert FE	Steigung	y- Achsenabschnitt
3	22577	23873	23225	
1,05	8257	8441	8349	
0,45	3588	3941	3764,5	7937,1
0,105	941	925	933	76,3
0,07875	693	678	685,5	

IV. Rohdaten der Windtunnelversuche und Auswertung der Messwerte

Rohdaten

Auf den folgenden Seiten sind in den Tabelle 26 bis Tabelle 37 die Rohdaten der Windtunnelversuche aufgeführt. Des Weiteren sind die daraus ermittelten Konzentrationen aufgeführt.

Tabelle 26: Erdbeerversuch, Testsystem: Flächenkultur, Versuchsobjekt: Petrischale. Rohdaten, bearbeitete Messwerte.

Entfernung [m]	Nr Petrischale	FE 1	FE 2	FE Mittelwert	Konzentration [mg/l]	Gewicht Flüssigkeit [g]	Menge in PS [µg]	Menge in PS 10 s Applikation [µg]	Menge in PS bei 10 s Appl. pro Fläche [µg/cm ²]
10 m	1	419	417	418	0,06	0	2,90	1,45	0,009
	2	635	635	635	0,09	0	4,69	2,34	0,014
	3	746	758	752	0,11	0	5,65	2,82	0,017
	4	559	546	553	0,08	0	4,01	2,00	0,012
7 m	5	1430	1450	1440	0,23	0	11,30	5,65	0,034
	6	1574	1586	1580	0,25	0	12,45	6,22	0,038
	7	2407	2391	2399	0,38	0	19,18	9,59	0,058
	8	2242	2229	2236	0,36	0	17,83	8,92	0,054
5 m	9	1812	1930	1871	0,28	0	13,83	13,83	0,084
	10	2047	2079	2063	0,31	0	15,29	15,29	0,093
	11	1881	1880	1881	0,28	0	13,90	13,90	0,084
	12	2142	2113	2128	0,32	0	15,78	15,78	0,096
3 m	13	7631	7324	7478	1,13	0,32	56,82	56,82	0,344
	14	6430	6445	6438	0,97	0,25	48,80	48,80	0,295
	15	5524	5593	5559	0,84	0,2	42,04	42,04	0,255
	16	6457	6863	6660	1,00	0,22	50,47	50,47	0,306
1 m	17	5496	5499	5498	0,83	0,24	41,60	138,68	0,840
	18	7821	8028	7925	1,20	0,42	60,36	201,21	1,218
	19	5464	5270	5367	0,81	0,23	40,60	135,33	0,820
	20	8202	8321	8262	1,25	0,41	62,93	209,78	1,270
10 m	21	419	423	421	0,06	0	2,79	1,40	0,008
	22	1289	1260	1274,5	0,20	0	9,89	4,94	0,030
	23	799	802	800,5	0,12	0	5,95	2,97	0,018
	24	514	507	510,5	0,07	0	3,54	1,77	0,011
7 m	25	1519	1505	1512	0,24	0	11,86	5,93	0,036
	26	2637	2687	2662	0,43	0	21,42	10,71	0,065
	27	2646	2616	2631	0,42	0	21,16	10,58	0,064
	28	1756	1723	1739,5	0,28	0	13,75	6,88	0,042
5 m	29	1859	1793	1826	0,29	0	14,47	14,47	0,088
	30	2556	2583	2569,5	0,41	0	20,65	20,65	0,125
	31	1796	1743	1769,5	0,28	0	14,00	14,00	0,085
	32	2392	2417	2404,5	0,39	0	19,28	19,28	0,117
3 m	33	8773	8683	8728	1,44	0,41	72,44	72,44	0,439
	34	7499	7413	7456	1,23	0,34	61,69	61,69	0,374
	35	5694	5861	5777,5	0,95	0,22	47,53	47,53	0,288
	36	7906	8023	7964,5	1,31	0,33	65,93	65,93	0,399
1 m	37	6257	6424	6340,5	1,04	0,24	52,25	174,17	1,055
	38	8152	8004	8078	1,33	0,24	66,77	222,55	1,348
	39	7486	6905	7195,5	1,18	0,36	59,54	198,45	1,202
	40	6792	6871	6831,5	1,12	0,18	56,29	187,62	1,136
10 m	41	477	469	473	0,06	0	2,91	1,46	0,009
	42	881	870	876	0,12	0	6,00	3,00	0,018
	43	910	919	915	0,13	0	6,30	3,15	0,019
	44	688	685	687	0,09	0	4,55	2,27	0,014
7 m	45	1227	1200	1214	0,17	0	8,59	4,29	0,026
	46	2296	2237	2267	0,33	0	16,65	8,33	0,050
	47	2290	2260	2275	0,33	0	16,72	8,36	0,051
	48	2371	2379	2375	0,35	0	17,49	8,74	0,053
5 m	49	2051	2041	2046	0,30	0	14,97	14,97	0,091
	50	2455	2466	2461	0,36	0	18,14	18,14	0,110
	51	2920	2921	2921	0,43	0	21,66	21,66	0,131
	52	2658	2652	2655	0,39	0	19,63	19,63	0,119
3 m	53	9850	9619	9735	1,48	0,24	74,22	74,22	0,449
	54	8934	8734	8834	1,34	0,22	67,26	67,26	0,407
	55	7150	7205	7178	1,09	0,15	54,44	54,44	0,330
	56	9011	9032	9022	1,37	0,17	68,64	68,64	0,416
1 m	57	6687	6695	6691	1,01	0,15	50,70	169,01	1,023
	58	9769	9476	9623	1,46	0,31	73,46	244,87	1,483
	59	8470	8280	8375	1,27	0,26	63,78	212,61	1,288
	60	9377	9248	9313	1,41	0,28	71,03	236,77	1,434

Tabelle 27: Erdbeerversuch, Testsystem: Flächenkultur, Versuchsobjekt: Erdbeeren. Rohdaten, bearbeitete Messwerte.

Entfernung [m]	Nr Erdbeerprobe	FE 1	FE 2	FE Mittelwert	Konzentration [mg/l]	Menge in Erdbeermischprobe [µg]	Menge in Erdbeermischprobe bei 10 s Applikation [µg]	Gewicht Erdbeere [g]	Menge Pyranin pro Gewicht bei 10 s Applikation [µg/g]
10 m	1	199	193	196	0,02	2,16	1,08	14,67	0,07
	2	301	307	304	0,04	3,93	1,97	19,9	0,10
	3	252	249	251	0,03	3,06	1,53	19,31	0,08
	4	309	306	308	0,04	3,99	2,00	13,78	0,14
7 m	5	621	627	624	0,09	9,19	4,60	16,64	0,28
	6	569	565	567	0,08	8,26	4,13	14,46	0,29
	7	595	578	587	0,09	8,58	4,29	15,74	0,27
	8	610	614	612	0,09	8,99	4,50	17,21	0,26
5 m	9	678	652	665	0,09	9,31	9,31	24,51	0,38
	10	395	403	399	0,05	5,27	5,27	19,5	0,27
	11	419	405	412	0,05	5,46	5,46	16,23	0,34
	12	516	503	510	0,07	6,95	6,95	13,71	0,51
3 m	13	1043	1074	1059	0,15	15,30	15,30	19,08	0,80
	14	1172	1145	1159	0,17	16,82	16,82	24,17	0,70
	15	1119	1138	1129	0,16	16,36	16,36	21,88	0,75
	16	1142	1135	1139	0,17	16,51	16,51	13,89	1,19
1 m	17	649	644	647	0,09	9,03	30,10	20,34	1,48
	18	1111	1138	1125	0,16	16,30	54,33	29,21	1,86
	19	670	673	672	0,09	9,41	31,37	17,75	1,77
	20	900	890	895	0,13	12,81	42,70	27,69	1,54
10 m	21	281	268	275	0,03	3,15	1,57	26,2	0,06
	22	333	327	330	0,04	4,07	2,04	14,89	0,14
	23	444	423	434	0,06	5,79	2,90	15,61	0,19
	24	312	315	314	0,04	3,80	1,90	11,9	0,16
7 m	25	826	855	841	0,13	12,56	6,28	27,23	0,23
	26	951	952	952	0,14	14,40	7,20	16,07	0,45
	27	696	690	693	0,10	10,11	5,05	18,91	0,27
	28	877	875	876	0,13	13,15	6,57	17,81	0,37
5 m	29	831	798	815	0,12	12,13	12,13	21,3	0,57
	30	612	613	613	0,09	8,77	8,77	22,81	0,38
	31	273	300	287	0,03	3,35	3,35	13,05	0,26
	32	433	422	428	0,06	5,69	5,69	14,39	0,40
3 m	33	1724	1675	1700	0,27	26,84	26,84	17,65	1,52
	34	1129	1072	1101	0,17	16,88	16,88	22,67	0,74
	35	1006	947	977	0,15	14,82	14,82	17,7	0,84
	36	1503	1465	1484	0,23	23,26	23,26	22,52	1,03
1 m	37	622	594	608	0,09	8,69	28,98	21,74	1,33
	38	660	661	661	0,10	9,57	31,89	12,48	2,56
	39	750	727	739	0,11	10,86	36,21	15,11	2,40
	40	928	955	942	0,14	14,24	47,46	25,68	1,85
10 m	41	227	226	227	0,02	2,05	1,03	19,29	0,05
	42	297	293	295	0,03	3,10	1,55	21,24	0,07
	43	291	287	289	0,03	3,01	1,50	13,95	0,11
	44	282	288	285	0,03	2,95	1,47	11,8	0,12
7 m	45	760	752	756	0,10	10,16	5,08	20,38	0,25
	46	653	640	647	0,08	8,49	4,24	16,47	0,26
	47	666	666	666	0,09	8,79	4,39	19,54	0,22
	48	670	649	660	0,09	8,69	4,34	13,33	0,33
5 m	49	741	762	752	0,10	10,10	10,10	25,62	0,39
	50	598	583	591	0,08	7,63	7,63	14,33	0,53
	51	572	578	575	0,07	7,39	7,39	20,03	0,37
	52	469	474	472	0,06	5,81	5,81	16,24	0,36
3 m	53	1183	1395	1289	0,18	18,33	18,33	20,12	0,91
	54	1136	1124	1130	0,16	15,89	15,89	20,07	0,79
	55	1258	1258	1258	0,18	17,86	17,86	20,61	0,87
	56	1165	1173	1169	0,16	16,49	16,49	23,2	0,71
1 m	57	621	663	642	0,08	8,42	28,06	20,93	1,34
	58	916	930	923	0,13	12,72	42,41	14,74	2,88
	59	579	576	578	0,07	7,43	24,76	15,7	1,58
	60	674	688	681	0,09	9,02	30,05	11,22	2,68

Tabelle 28: Erdbeerversuch, Testsystem: Raumkultur, Versuchsobjekt: Petrischale. Rohdaten, bearbeitete Messwerte.

Entfernung [m]	Nr Petrischale	FE			FE Mittelwert	Konzentration [mg/l]	Gewicht Flüssigkeit [g]	Menge in PS [µg]	Menge in PS 10 s Applikation [µg]	Pyranin in PS [µg/cm²]
		FE 1	FE 2	FE Mittelwert						
15 m	1	855	845	850	0,12	0	6,1	2,0	0,012	
	2	1673	1698	1686	0,25	0	12,5	4,2	0,025	
	3	1711	1695	1703	0,25	0	12,6	4,2	0,025	
	4	1051	1058	1055	0,15	0	7,7	2,6	0,015	
10 m	5	4270	4219	4245	0,64	0,01	32,1	10,7	0,065	
	6	5636	5648	5642	0,86	0,01	42,8	14,3	0,086	
	7	4345	4534	4440	0,67	0	33,6	11,2	0,068	
	8	2711	2675	2693	0,40	0,01	20,2	6,7	0,041	
7 m	9	5735	5672	5704	0,87	0,1	43,5	43,5	0,264	
	10	4561	4499	4530	0,69	0,04	34,5	34,5	0,209	
	11	4550	4200	4375	0,66	0,07	33,3	33,3	0,202	
	12	3692	3560	3626	0,55	0	27,5	27,5	0,166	
5 m	13	10613	10823	10718	1,64	0,27	82,5	82,5	0,499	
	14	7088	6671	6880	1,05	0,18	52,7	52,7	0,319	
	15	7906	8327	8117	1,24	0,21	62,3	62,3	0,377	
	16	6332	6163	6248	0,95	0,08	47,7	47,7	0,289	
3 m	17	6182	6101	6142	0,94	0,19	47,0	94,0	0,569	
	18	7683	7918	7801	1,19	0,2	59,8	119,7	0,725	
	19	7480	7315	7398	1,13	0,2	56,7	113,4	0,687	
	20	6548	7624	7086	1,08	0,2	54,3	108,6	0,658	
1 m	21	886	758	822	0,12	0	5,9	11,8	0,071	
	22	1639	1431	1535	0,23	0	11,4	22,8	0,138	
	23	971	883	927	0,13	0	6,7	13,4	0,081	
	24	2615	3154	2885	0,44	0,01	21,8	43,5	0,264	
15 m	25	824	860	842	0,13	0	6,5	2,2	0,013	
	26	1234	1274	1254	0,20	0	9,8	3,3	0,020	
	27	1740	1860	1800	0,28	0	14,2	4,7	0,029	
	28	819	767	793	0,12	0	6,1	2,0	0,012	
10 m	29	3935	4044	3990	0,64	0,01	31,9	10,6	0,064	
	30	4654	4923	4789	0,77	0,01	38,4	12,8	0,077	
	31	4034	3744	3889	0,62	0	31,1	10,4	0,063	
	32	2369	2213	2291	0,36	0	18,2	6,1	0,037	
7 m	33	2998	3761	3380	0,57	0,03	28,4	28,4	0,172	
	34	4703	4680	4692	0,79	0	39,5	39,5	0,239	
	35	3745	3478	3612	0,61	0	30,4	30,4	0,184	
	36	3494	3152	3323	0,56	0	27,9	27,9	0,169	
5 m	37	5768	5397	5583	0,94	0,19	47,2	47,2	0,286	
	38	6063	6242	6153	1,04	0,26	52,1	52,1	0,316	
	39	6757	5003	5880	0,99	0,15	49,7	49,7	0,301	
	40	7248	6740	6994	1,18	0,07	59,1	59,1	0,358	
3 m	41	4690	4521	4606	0,78	0,09	38,9	77,7	0,471	
	42	5432	5721	5577	0,94	0,1	47,1	94,2	0,570	
	43	4876	4247	4562	0,77	0,1	38,5	77,0	0,466	
	44	5120	5251	5186	0,87	0,07	43,7	87,5	0,530	
1 m	45	507	449	478	0,08	0	3,9	7,8	0,047	
	46	1391	1365	1378	0,23	0	11,5	23,0	0,139	
	47	1458	1178	1318	0,22	0	11,0	22,0	0,133	
	48	512	482	497	0,08	0	4,0	8,1	0,049	
15 m	49	734	747	741	0,11	0	5,5	1,8	0,011	
	50	1127	1132	1130	0,17	0	8,4	2,8	0,017	
	51	1781	1782	1782	0,27	0	13,4	4,5	0,027	
	52	815	810	813	0,12	0	6,0	2,0	0,012	
10 m	53	3395	3342	3369	0,51	0	25,4	8,5	0,051	
	54	3854	3842	3848	0,58	0	29,0	9,7	0,059	
	55	2937	3172	3055	0,46	0	23,0	7,7	0,046	
	56	2278	2235	2257	0,34	0	17,0	5,7	0,034	
7 m	57	4038	3697	3868	0,59	0	29,5	29,5	0,179	
	58	4098	3974	4036	0,62	0	30,8	30,8	0,187	
	59	3602	3511	3557	0,54	0	27,1	27,1	0,164	
	60	3671	3635	3653	0,56	0	27,9	27,9	0,169	
5 m	61	6903	6716	6810	1,05	0,07	52,4	52,4	0,317	
	62	7056	7027	7042	1,08	0,11	54,2	54,2	0,328	
	63	3981	4011	3996	0,61	0	30,5	30,5	0,185	
	64	5840	5846	5843	0,90	0,03	44,9	44,9	0,272	
3 m	65	4862	4476	4669	0,71	0,05	35,8	71,6	0,433	
	66	5313	5256	5285	0,81	0,05	40,5	81,1	0,491	
	67	4608	4538	4573	0,70	0,05	35,0	70,1	0,424	
	68	5584	5283	5434	0,83	0,05	41,7	83,4	0,505	
1 m	69	530	561	546	0,08	0	3,8	7,6	0,046	
	70	952	962	957	0,14	0	7,0	14,0	0,085	
	71	1366	1325	1346	0,20	0	10,0	20,0	0,121	
	72	681	668	675	0,10	0	4,8	9,6	0,058	

Tabelle 29: Erdbeerversuch, Testsystem: Raumkultur, Versuchsobjekt: Erdbeere. Rohdaten, bearbeitete Messwerte.

Entfernung [m]	Nr Erdbeerprobe	FE 1	FE 2	FE Mittelwert	Konzentration [mg/l]	Menge in Erdbeermischprobe [µg]	Menge in Erdbeermischprobe bei 10 s Applikation [µg]	Gewicht Erdbeeren [g]	Menge Pyranin pro Gewicht bei 10 s Applikation [µg/g]
15 m	1	298	300	299	0,04	3,7	1,2	29,39	0,0425
	2	373	378	376	0,05	4,9	1,6	12,74	0,1286
	3	410	421	416	0,06	5,5	1,8	21,14	0,0872
	4	405	387	396	0,05	5,2	1,7	24,3	0,0717
10 m	5	1463	1463	1463	0,22	21,6	7,2	26,22	0,2742
	6	1592	1402	1497	0,22	22,1	7,4	25,45	0,2893
	7	1190	1243	1217	0,18	17,8	5,9	22,9	0,2590
	8	992	1019	1006	0,15	14,6	4,9	16,53	0,2937
7 m	9	1150	1087	1119	0,16	16,4	16,4	28,47	0,5743
	10	540	498	519	0,07	7,1	7,1	13,56	0,5255
	11	686	647	667	0,09	9,4	9,4	16,98	0,5534
	12	550	520	535	0,07	7,4	7,4	27,81	0,2651
5 m	13	1489	1447	1468	0,22	21,7	21,7	31,85	0,6823
	14	1376	1380	1378	0,20	20,3	20,3	28,57	0,7121
	15	1092	1113	1103	0,16	16,1	16,1	18,5	0,8706
	16	1912	1947	1930	0,29	28,8	28,8	40,23	0,7167
3 m	17	1224	1208	1216	0,18	17,9	35,7	21,99	1,6236
	18	843	837	840	0,12	12,1	24,1	27,92	0,8643
	19	947	883	915	0,13	13,2	26,4	25,2	1,0492
	20	601	528	565	0,08	7,8	15,7	20,89	0,7493
1 m	21	168	154	161	0,02	1,6	3,2	28,87	0,1120
	22	277	246	262	0,03	3,2	6,3	18,68	0,3387
	23	377	452	415	0,06	5,5	11,0	23,84	0,4629
	24	249	258	254	0,03	3,0	6,1	13,92	0,4369
15 m	25	483	440	462	0,07	6,8	2,3	26,86	0,0844
	26	476	437	457	0,07	6,7	2,2	16,33	0,1372
	27	549	540	545	0,08	8,1	2,7	19,31	0,1406
	28	529	522	526	0,08	7,8	2,6	15,8	0,1653
10 m	29	1518	1590	1554	0,24	24,5	8,2	22,48	0,3628
	30	1506	1523	1515	0,24	23,8	7,9	20,53	0,3869
	31	1137	1183	1160	0,18	18,1	6,0	19,17	0,3146
	32	1109	1138	1124	0,18	17,5	5,8	24,74	0,2358
7 m	33	900	934	917	0,15	15,2	15,2	20,12	0,7546
	34	418	402	410	0,07	6,6	6,6	11,11	0,5947
	35	500	431	466	0,08	7,5	7,5	14,2	0,5314
	36	446	380	413	0,07	6,7	6,7	17,17	0,3877
5 m	37	524	570	547	0,09	8,9	8,9	12,77	0,6988
	38	1117	1130	1124	0,19	18,7	18,7	20,68	0,9030
	39	863	867	865	0,14	14,3	14,3	14,19	1,0079
	40	1405	1375	1390	0,23	23,2	23,2	15,47	1,4985
3 m	41	993	1079	1036	0,17	17,2	34,4	16,3	2,1098
	42	575	565	570	0,09	9,3	18,6	16,88	1,1034
	43	471	468	470	0,08	7,6	15,2	15,78	0,9649
	44	560	446	503	0,08	8,2	16,4	18,99	0,8615
1 m	45	155	166	161	0,02	2,4	4,8	20,6	0,2317
	46	349	372	361	0,06	5,8	11,5	18,15	0,6358
	47	215	208	212	0,03	3,2	6,5	24,29	0,2676
	48	143	140	142	0,02	2,1	4,1	16,62	0,2486
15 m	49	359	372	366	0,05	5,3	1,8	18,96	0,0924
	50	414	412	413	0,06	6,0	2,0	14,15	0,1408
	51	569	580	575	0,08	8,4	2,8	19,31	0,1454
	52	414	406	410	0,06	5,9	2,0	24,26	0,0815
10 m	53	1073	1054	1064	0,16	15,8	5,3	18	0,2932
	54	1094	1096	1095	0,16	16,3	5,4	14,18	0,3833
	55	1179	1178	1179	0,18	17,6	5,9	19,89	0,2945
	56	785	795	790	0,12	11,7	3,9	14,04	0,2775
7 m	57	992	992	992	0,15	14,5	14,5	16,99	0,8557
	58	745	707	726	0,10	10,4	10,4	18,6	0,5602
	59	573	573	573	0,08	8,0	8,0	16,91	0,4760
	60	727	694	711	0,10	10,2	10,2	23,11	0,4405
5 m	61	1155	1171	1163	0,17	17,2	17,2	17,14	1,0027
	62	925	907	916	0,13	13,4	13,4	12,3	1,0863
	63	1174	1153	1164	0,17	17,2	17,2	22,43	0,7666
	64	910	870	890	0,13	13,0	13,0	12,5	1,0367
3 m	65	1081	1063	1072	0,16	15,8	31,6	16,65	1,8951
	66	686	679	683	0,10	9,7	19,5	19,13	1,0188
	67	387	397	392	0,05	5,2	10,5	12,03	0,8723
	68	626	629	628	0,09	8,9	17,8	15,1	1,1780
1 m	69	167	161	164	0,02	1,7	3,4	24,26	0,1415
	70	169	169	169	0,02	1,8	3,6	10,62	0,3377
	71	245	241	243	0,03	2,9	5,9	19,35	0,3038
	72	96	94	95	0,01	0,6	1,3	11,85	0,1093

Tabelle 30: Tomatenversuch, Testsystem: Flächenkultur, Versuchsobjekt: Petrischale. Rohdaten, bearbeitete Messwerte.

Entfernung [m]	Nr Petrischale	FE 1	FE 2	FE Mittelwert	Konzentration [mg/l]	Gewicht Flüssigkeit [g]	Menge in PS [µg]	Menge in PS 10 s Applikation	Menge pro Fläche PS [µg/cm²]
1	1	10172	10099	10136	1,44	0,3	72,2	240,7	1,46
	3	9056	9242	9149	1,30	0,29	65,2	217,2	1,32
	5	8867	9736	9302	1,32	0,27	66,2	220,7	1,34
3	6	7971	7994	7983	1,04	0,31	52,1	52,1	0,32
	8	9867	9754	9811	1,27	0,28	64,0	64,0	0,39
	10	9590	10030	9810	1,27	0,28	64,0	64,0	0,39
5	11	3371	3523	3447	0,47	0	23,7	23,7	0,14
	13	4441	4401	4421	0,61	0	30,4	30,4	0,18
	15	2715	2629	2672	0,37	0	18,3	18,3	0,11
7	16	2537	2453	2495	0,37	0	18,4	9,2	0,06
	18	3257	3582	3420	0,51	0	25,4	12,7	0,08
	20	2689	2683	2686	0,40	0	19,8	9,9	0,06
10	21	863	856	860	0,13	0	6,3	2,1	0,01
	23	1466	1357	1412	0,21	0	10,6	3,5	0,02
	25	1955	1845	1900	0,29	0	14,4	4,8	0,03
1	26	8316	8044	8180	1,16	0,27	58,2	194,0	1,18
	28	9594	9660	9627	1,36	0,31	68,6	228,6	1,38
	30	10603	10831	10717	1,52	0,34	76,4	254,7	1,54
3	31	6370	6186	6278	0,92	0,1	46,1	46,1	0,28
	33	9370	9436	9403	1,38	0,27	69,4	69,4	0,42
	35	8673	9299	8986	1,32	0,21	66,2	66,2	0,40
5	36	3621	3333	3477	0,47	0	23,3	23,3	0,14
	38	5153	4732	4943	0,66	0	33,1	33,1	0,20
	40	3381	3461	3421	0,46	0	22,9	22,9	0,14
7	41	2652	2717	2685	0,38	0	19,1	9,5	0,06
	43	3000	2968	2984	0,43	0	21,3	10,6	0,06
	45	2309	2401	2355	0,33	0	16,7	8,4	0,05
10	46	816	843	830	0,13	0	6,3	2,1	0,01
	48	1599	1580	1590	0,24	0	12,2	4,1	0,02
	50	1826	1738	1782	0,27	0	13,7	4,6	0,03
1	51	8653	8706	8680	1,23	0,26	61,8	205,9	1,25
	53	11952	10121	11037	1,56	0,42	78,8	262,8	1,59
	55	11410	11531	11471	1,63	0,38	81,9	272,9	1,65
3	56	8379	8022	8201	1,19	0,27	59,9	59,9	0,36
	58	9421	8972	9197	1,34	0,26	67,2	67,2	0,41
	60	9872	9148	9510	1,38	0,28	69,5	69,5	0,42
5	61	2836	2871	2854	0,38	0	19,0	19,0	0,12
	63	3968	4076	4022	0,54	0	26,9	26,9	0,16
	65	2809	2815	2812	0,37	0	18,7	18,7	0,11
7	66	2301	2322	2312	0,33	0	16,6	8,3	0,05
	68	2713	2636	2675	0,39	0	19,3	9,7	0,06
	70	2324	2409	2367	0,34	0	17,1	8,5	0,05
10	71	997	769	883	0,13	0	6,3	2,1	0,01
	73	1610	1521	1566	0,23	0	11,5	3,8	0,02
	75	1881	1852	1867	0,28	0	13,8	4,6	0,03

Tabelle 31: Tomatenversuch, Testsystem: Flächenkultur, Versuchsobjekt: Tomate. Rohdaten, bearbeitete Messwerte.

Entfernung [m]	Nr Tomate	FE 1	FE 2	FE Mittelwert	Konzentration [mg/l]	Menge in Tomatenmischprobe [µg]	Menge in Tomatenmischprobe bei 10 s Applikation [µg]	Gewicht Tomate [g]	Pyranin pro Tomatengewicht [µg/g] (10 s Appl)
1	1	654	648	651	0,09	44,6	148,7	308,21	0,48
	3	859	821	840	0,12	58,0	193,4	380,75	0,51
	5	1337	1303	1320	0,18	92,1	307,0	432,27	0,71
3	6	953	1021	987	0,13	65,2	65,2	295,38	0,22
	8	882	816	849	0,11	56,3	56,3	266,30	0,21
	10	771	818	794,5	0,11	52,8	52,8	422,27	0,12
5	11	374	373	373,5	0,05	24,4	24,4	242,51	0,10
	13	585	625	605	0,08	40,4	40,4	242,11	0,17
	15	452	459	455,5	0,06	30,1	30,1	262,62	0,11
7	16	344	324	334	0,04	21,3	10,6	224,58	0,05
	18	647	677	662	0,09	46,0	23,0	366,89	0,06
	20	717	709	713	0,10	49,8	24,9	327,76	0,08
10	21	150	152	151	0,02	8,1	2,7	244,38	0,01
	23	310	324	317	0,04	20,9	7,0	389,68	0,02
	25	376	372	374	0,05	25,4	8,5	265,68	0,03
1	26	1244	1241	1242,5	0,17	86,6	288,7	340,62	0,85
	28	919	945	932	0,13	64,6	215,2	318,89	0,67
	30	923	897	910	0,13	63,0	210,0	335,68	0,63
3	31	752	762	757	0,11	53,8	53,8	238,33	0,23
	33	986	1019	1002,5	0,14	71,9	71,9	379,92	0,19
	35	1151	1218	1184,5	0,17	85,3	85,3	343,7	0,25
5	36	426	428	427	0,06	28,3	28,3	259,84	0,11
	38	469	458	463,5	0,06	30,8	30,8	333,74	0,09
	40	526	518	522	0,07	34,7	34,7	302,01	0,11
7	41	309	325	317	0,04	20,8	10,4	322,49	0,03
	43	664	748	706	0,10	48,8	24,4	302,59	0,08
	45	407	406	406,5	0,05	27,2	13,6	253,06	0,05
10	46	161	154	157,5	0,02	10,2	3,4	307,39	0,01
	48	414	429	421,5	0,06	30,9	10,3	432,50	0,02
	50	524	546	535	0,08	39,8	13,3	244,44	0,05
1	51	942	893	917,5	0,13	63,5	211,8	327,16	0,65
	53	1163	1144	1153,5	0,16	80,3	267,6	326,84	0,82
	55	744	747	745,5	0,10	51,3	171,1	276,86	0,62
3	56	1099	1118	1108,5	0,16	78,3	78,3	344,87	0,23
	58	905	935	920	0,13	64,5	64,5	322,9	0,20
	60	824	796	810	0,11	56,5	56,5	327,61	0,17
5	61	218	226	222	0,03	12,6	12,6	250,71	0,05
	63	655	672	663,5	0,08	42,4	42,4	292,35	0,15
	65	448	454	451	0,06	28,1	28,1	286,46	0,10
7	66	176	196	186	0,02	10,0	5,0	307,45	0,02
	68	537	533	535	0,07	35,7	17,9	200,32	0,09
	70	470	499	484,5	0,06	32,0	16,0	226,04	0,07
10	71	168	152	160	0,02	8,3	2,8	312,55	0,01
	73	504	516	510	0,07	34,9	11,6	361,69	0,03
	75	485	498	491,5	0,07	33,5	11,2	292,93	0,04

Tabelle 32: Tomatenversuch, Testsystem: Raumkultur, Versuchsobjekt: Petrischale. Rohdaten, bearbeitete Messwerte.

Entfernung [m]	Nr Petrischale	FE 1	FE 2	FE Mittelwert	Konzentration [mg/l]	Gewicht Flüssigkeit [g]	Menge in PS [µg]	Menge in PS 10 s Applikation	Pyranin in PS Pro Fläche [µg/cm ²]
1	1	378	381	380	0,06	0	2,79	6	0,034
	3	1065	1038	1052	0,15	0	7,49	15	0,091
	5	750	633	692	0,10	0	4,98	10	0,060
3	6	7247	6915	7081	1,10	0	55,09	110	0,667
	8	6809	6782	6796	1,06	0	52,85	106	0,640
	10	6426	6596	6511	1,01	0	50,63	101	0,613
5	11	7044	7443	7244	1,00	0,11	50,22	50	0,304
	13	7561	5910	6736	0,93	0,11	46,71	47	0,283
	15	7032	7135	7084	0,98	0,09	49,09	49	0,297
7	16	4713	4708	4710,5	0,63	0	31,45	31	0,190
	18	4576	4370	4473	0,60	0	29,88	30	0,181
	20	3119	2904	3011,5	0,40	0	20,22	20	0,122
10	21	4300	3985	4142,5	0,59	0	29,45	10	0,059
	23	6375	5947	6161	0,88	0	43,84	15	0,088
	25	3129	3073	3101	0,44	0	22,02	7	0,044
15	26	1176	1148	1162	0,17	0	8,37	3	0,017
	28	2486	2245	2365,5	0,34	0	17,20	6	0,035
	30	2414	2484	2449	0,36	0	17,81	6	0,036
1	31	412	391	402	0,06	0	2,95	6	0,036
	33	1283	1017	1150	0,16	0	8,18	16	0,099
	35	1460	1322	1391	0,20	0	9,87	20	0,119
3	36	6419	6665	6542	1,02	0	50,87	102	0,616
	38	7502	7549	7526	1,17	0	58,57	117	0,709
	40	5774	5680	5727	0,89	0	44,49	89	0,539
5	41	8760	7999	8380	1,16	0,18	58,15	58	0,352
	43	7918	8093	8006	1,11	0,11	55,48	55	0,336
	45	6391	5590	5991	0,83	0,03	41,49	41	0,251
7	46	5133	4666	4899,5	0,65	0	32,70	33	0,198
	48	4703	4788	4745,5	0,63	0	31,69	32	0,192
	50	3430	3342	3386	0,45	0	22,69	23	0,137
10	51	4626	4708	4667	0,68	0	33,76	11	0,068
	53	6759	5760	6259,5	0,91	0	45,40	15	0,092
	55	3433	3650	3541,5	0,51	0	25,54	9	0,052
15	56	751	813	782	0,10	0	5,23	2	0,011
	58	2123	1976	2049,5	0,29	0	14,38	5	0,029
	60	1933	1822	1877,5	0,26	0	13,14	4	0,027
1	61	616	598	607	0,09	0	4,38	9	0,053
	63	1128	1259	1194	0,17	0	8,48	17	0,103
	65	1519	1550	1535	0,22	0	10,87	22	0,132
3	66	6778	6694	6736	1,05	0	52,39	105	0,635
	68	8802	8862	8832	1,38	0	68,80	138	0,833
	70	6799	4716	5758	0,89	0	44,73	89	0,542
5	71	9159	8605	8882	1,23	0,27	61,73	62	0,374
	73	9315	9825	9570	1,32	0,29	66,53	67	0,403
	75	5761	4989	5375	0,74	0,14	37,33	37	0,226
7	76	3707	3801	3754	0,52	0	26,05	26	0,158
	78	4658	4625	4642	0,64	0	32,17	32	0,195
	80	3314	3267	3291	0,46	0	22,86	23	0,138
10	81	4172	3923	4047,5	0,58	0	29,04	10	0,059
	83	5933	5851	5892	0,85	0	42,36	14	0,085
	85	4078	3957	4017,5	0,58	0	28,82	10	0,058
15	86	1091	1006	1048,5	0,15	0	7,39	2	0,015
	88	1823	1571	1697	0,24	0	12,01	4	0,024
	90	1537	1412	1474,5	0,21	0	10,43	3	0,021

Tabelle 33: Tomatenversuch, Testsystem: Raumkultur, Versuchsobjekt: Tomate. Rohdaten, bearbeitete Messwerte.

Entfernung [m]	Nr Tomatenmischprobe	FE 1	FE 2	FE Mittelwert	Konzentration [mg/L]	Menge in Tomatenmischprobe [µg]	Menge in Tomatenmischprobe bei 10 s Applikation [µg]	Gewicht Tomaten[g]	Menge Pyranin pro Tomate bei 10 s Applikation [µg/g]
1	1	2738	2751	2744,5	0,39	193	387	591,62	0,65
	3	2401	2511	2456	0,35	173	346	418,84	0,83
	5	2858	2936	2897	0,41	204	408	409,39	1,00
3	6	2231	2329	2280	0,35	175	350	650,55	0,54
	8	1137	1234	1186	0,18	89	179	401,97	0,44
	10	1315	1322	1319	0,20	100	200	482,55	0,41
5	11	1667	1657	1662	0,23	116	116	428,23	0,27
	13	1751	1839	1795	0,25	125	125	488,45	0,26
	15	1623	1549	1586	0,22	111	111	523,05	0,21
7	16	1135	1158	1146,5	0,16	79	79	464,86	0,17
	18	1066	1024	1045	0,14	72	72	532,96	0,14
	20	1259	1193	1226	0,17	84	84	674,79	0,12
10	21	827	815	821,0	0,12	58	19	281,53	0,07
	23	2030	1972	2001,0	0,28	142	47	592,71	0,08
	25	1451	1488	1469,5	0,21	104	35	465,70	0,07
15	26	447	442	444,5	0,06	31	10	456,80	0,02
	28	871	893	882,0	0,13	63	21	446,17	0,05
	30	832	810	821,0	0,12	59	20	490,65	0,04
1	31	2639	2700	2669,5	0,38	188	376	437,30	0,86
	33	2743	2875	2809	0,40	198	396	426,10	0,93
	35	2872	2935	2903,5	0,41	204	409	628,10	0,65
3	36	2338	2409	2374	0,36	182	365	552,50	0,66
	38	1728	1760	1744	0,27	133	266	506,81	0,53
	40	1659	1699	1679	0,26	128	256	528,10	0,48
5	41	2180	1963	2072	0,29	145	145	462,92	0,31
	43	1750	1619	1685	0,24	118	118	638,24	0,18
	45	1464	1424	1444	0,20	101	101	521,80	0,19
7	46	1305	1292	1298,5	0,18	89	89	661,08	0,13
	48	1617	1613	1615	0,22	110	110	725,63	0,15
	50	766	770	768	0,11	54	54	364,18	0,15
10	51	1157	1201	1179	0,17	83	28	479,03	0,06
	53	1748	1713	1730,5	0,25	123	41	399,85	0,10
	55	1309	1271	1290	0,18	91	30	492,20	0,06
15	56	390	379	384,5	0,05	24	8	472,80	0,02
	58	820	811	815,5	0,11	55	18	537,70	0,03
	60	714	701	707,5	0,09	47	16	494,23	0,03
1	61	3341	3327	3334	0,47	234	469	664,60	0,71
	63	1726	1649	1687,5	0,24	119	239	474,27	0,50
	65	3874	4052	3963	0,56	278	557	655,43	0,85
3	66	2305	2384	2345	0,36	180	360	494,81	0,73
	68	1520	1568	1544	0,23	117	235	481,56	0,49
	70	1919	1840	1880	0,29	144	287	681,13	0,42
5	71	1581	1576	1579	0,22	111	111	354,69	0,31
	73	1931	1987	1959	0,27	137	137	590,12	0,23
	75	1436	1447	1442	0,20	101	101	323,88	0,31
7	76	847	936	892	0,13	63	63	563,50	0,11
	78	1102	1054	1078	0,15	76	76	565,45	0,13
	80	837	823	830	0,12	59	59	397,54	0,15
10	81	1097	1195	1146	0,16	81	27	485,32	0,06
	83	2086	1752	1919	0,27	137	46	507,63	0,09
	85	1427	1423	1425	0,20	101	34	521,88	0,06
15	86	335	350	342,5	0,05	24	8	426,76	0,02
	88	810	800	805,0	0,11	57	19	532,60	0,04
	90	681	689	685,0	0,10	48	16	494,47	0,03

Tabelle 34: Salatversuch, Testsystem: Flächenkultur, Versuchsobjekt: Petrischale. Rohdaten, bearbeitete Messwerte.

Entfernung [m]	Nr Petrischale	FE 1	FE 2	FE Mittelwert	Konzentration [mg/l]	Gewicht Flüssigkeit [g]	Menge in PS [µg]	Menge in PS 10 s Applikation	Menge Pyranin pro Fläche [µg/cm²]
1	1	16667	16295	16481	2,06	1,3	105,67	264,18	1,60
	2	25803	25438	25621	3,20	1,38	164,62	411,54	2,49
	3	24242	23770	24006	3,00	1,92	155,85	389,63	2,36
	4	19701	19986	19844	2,48	1,58	127,96	319,90	1,94
3	5	10263	10009	10136	1,23	0,32	61,80	61,80	0,37
	6	10917	9047	9982	1,21	0,3	60,84	60,84	0,37
	7	10448	10340	10394	1,26	0,3	63,35	63,35	0,38
	8	10262	10168	10215	1,24	0,27	62,22	62,22	0,38
5	9	3429	3354	3392	0,41	0	20,60	20,60	0,12
	10	3059	3022	3041	0,37	0	18,47	18,47	0,11
	11	4146	4083	4115	0,50	0	24,97	24,97	0,15
	12	3333	3302	3318	0,40	0	20,15	20,15	0,12
7	13	4553	4456	4505	0,58	0	29,07	9,69	0,06
	14	6173	6109	6141	0,79	0	39,70	13,23	0,08
	15	3221	3264	3243	0,42	0	20,87	6,96	0,04
	16	4741	4781	4761	0,61	0	30,74	10,25	0,06
10	17	1630	1588	1609	0,21	0	10,25	3,42	0,02
	18	2372	2389	2381	0,31	0	15,27	5,09	0,03
	19	2037	2081	2059	0,26	0	13,18	4,39	0,03
	20	1485	1465	1475	0,19	0	9,38	3,13	0,02
1	21	19462	19896	19679	2,46	1,21	125,99	314,97	1,91
	22	22960	23060	23010	2,88	1,56	148,35	370,86	2,25
	23	27144	26511	26828	3,35	2,12	174,86	437,15	2,65
	24	16441	16031	16236	2,03	1,48	104,46	261,16	1,58
3	25	9834	9658	9746	1,23	0,36	61,99	61,99	0,38
	26	11429	11396	11413	1,44	0,37	72,68	72,68	0,44
	27	8636	8524	8580	1,08	0,23	54,39	54,39	0,33
	28	11282	11098	11190	1,41	0,32	71,18	71,18	0,43
5	29	3328	3202	3265	0,41	0	20,35	20,35	0,12
	30	3109	3198	3154	0,39	0	19,65	19,65	0,12
	31	3090	2963	3027	0,38	0	18,84	18,84	0,11
	32	3114	3133	3124	0,39	0	19,45	19,45	0,12
7	33	3085	3000	3043	0,39	0	19,48	6,49	0,04
	34	4622	4511	4567	0,59	0	29,32	9,77	0,06
	35	3773	3787	3780	0,48	0	24,24	8,08	0,05
	36	3946	3965	3956	0,51	0	25,38	8,46	0,05
10	37	1446	1480	1463	0,19	0	9,29	3,10	0,02
	38	1807	1806	1807	0,23	0	11,50	3,83	0,02
	39	1411	1382	1397	0,18	0	8,86	2,95	0,02
	40	1335	1329	1332	0,17	0	8,44	2,81	0,02
1	41	12919	12535	12727	1,59	1,02	81,12	202,80	1,23
	42	29895	29911	29903	3,74	1,53	192,72	481,80	2,92
	43	26835	27216	27026	3,38	1,76	174,94	437,34	2,65
	44	20430	20854	20642	2,58	1,46	132,80	332,01	2,01
3	45	11067	10702	10885	1,45	0,27	72,74	72,74	0,44
	46	9883	9745	9814	1,30	0,24	65,50	65,50	0,40
	47	9113	8490	8802	1,17	0,22	58,66	58,66	0,36
	48	9700	9711	9706	1,29	0,27	64,80	64,80	0,39
5	49	2608	2671	2640	0,34	0	17,16	17,16	0,10
	50	2794	2763	2779	0,36	0	18,09	18,09	0,11
	51	3847	3897	3872	0,51	0	25,41	25,41	0,15
	52	3556	3445	3501	0,46	0	22,93	22,93	0,14
7	53	3999	4016	4008	0,53	0	26,49	8,83	0,05
	54	5510	5343	5427	0,72	0	36,08	12,03	0,07
	55	5585	5506	5546	0,74	0	36,88	12,29	0,07
	56	4220	4282	4251	0,56	0	28,14	9,38	0,06
10	57	1793	1798	1796	0,23	0	11,55	3,85	0,02
	58	2014	1873	1944	0,25	0	12,55	4,18	0,03
	59	1933	1955	1944	0,25	0	12,55	4,18	0,03
	60	1443	1427	1435	0,18	0	9,11	3,04	0,02

Tabelle 35: Salatversuch, Testsystem: Flächenkultur, Versuchsobjekt: Salat. Rohdaten, bearbeitete Messwerte.

Entfernung [m]	Nr Salat	Fluoreszenz		Mittelwert FE	Konzentration [mg/l]	Menge in Salatprobe [µg]	Menge auf Salat 10 s Applikation [µg]	Menge Pyranin pro Gewicht Salat [µg/g]
1	1	2131	2205	2168	0,268	804,9	2012,2	6,0
	2	2706	2706	2706	0,336	1006,9	2517,3	7,6
	3	2351	2221	2286	0,283	849,2	2123,0	6,4
	4	2363	2497	2430	0,301	903,3	2258,2	6,8
3	5	1931	2123	2027	0,247	740,5	740,5	2,2
	6	1278	1233	1256	0,153	460,4	460,4	1,4
	7	1747	1768	1758	0,214	642,7	642,7	1,9
	8	1536	1521	1529	0,187	559,5	559,5	1,7
5	9	745	730	738	0,091	272,4	272,4	0,8
	10	635	646	641	0,079	237,2	237,2	0,7
	11	577	568	573	0,071	212,5	212,5	0,6
	12	553	597	575	0,071	213,4	213,4	0,6
7	13	949	914	932	0,117	350,9	117,0	0,4
	14	871	855	863	0,108	324,2	108,1	0,3
	15	857	954	906	0,114	340,8	113,6	0,3
	16	785	810	798	0,100	298,7	99,6	0,3
10	17	327	312	320	0,037	112,3	37,4	0,1
	18	388	388	388	0,046	139,0	46,3	0,1
	19	651	607	629	0,078	233,0	77,7	0,2
	20	429	399	414	0,050	149,2	49,7	0,1
1	21	2553	2632	2593	0,321	964,3	2410,8	7,2
	22	2117	2075	2096	0,259	777,9	1944,6	5,8
	23	2604	2633	2619	0,325	974,1	2435,2	7,3
	24	2224	2100	2162	0,268	802,6	2006,6	6,0
3	25	1637	1877	1757	0,215	646,1	646,1	1,9
	26	1467	1620	1544	0,188	564,7	564,7	1,7
	27	1021	1276	1149	0,138	414,0	414,0	1,2
	28	1373	1362	1368	0,166	497,6	497,6	1,5
5	29	526	541	534	0,060	179,5	179,5	0,5
	30	472	422	447	0,049	146,5	146,5	0,4
	31	374	536	455	0,050	149,5	149,5	0,4
	32	531	520	526	0,059	176,4	176,4	0,5
7	33	825	812	819	0,103	307,6	102,5	0,3
	34	716	739	728	0,091	272,4	90,8	0,3
	35	1030	984	1007	0,127	380,6	126,9	0,4
	36	770	830	800	0,100	300,4	100,1	0,3
10	37	286	278	282	0,033	99,8	33,3	0,1
	38	323	324	324	0,039	115,9	38,6	0,1
	39	335	336	336	0,040	120,5	40,2	0,1
	40	385	459	422	0,051	154,0	51,3	0,2
1	41	1741	1836	1789	0,221	662,4	1656,0	5,0
	42	2367	2450	2409	0,298	895,2	2238,0	6,7
	43	2981	3080	3031	0,376	1128,8	2821,9	8,5
	44	2588	2735	2662	0,330	990,2	2475,5	7,4
3	45	1556	1606	1581	0,202	604,7	604,7	1,8
	46	1508	1617	1563	0,199	597,3	597,3	1,8
	47	1614	1087	1351	0,171	512,2	512,2	1,5
	48	1230	1202	1216	0,153	458,2	458,2	1,4
5	49	498	565	532	0,061	183,3	183,3	0,6
	50	488	491	490	0,055	166,4	166,4	0,5
	51	492	571	532	0,061	183,3	183,3	0,6
	52	324	287	306	0,031	92,5	92,5	0,3
7	53	1131	1020	1076	0,134	401,2	133,7	0,4
	54	614	618	616	0,072	214,9	71,6	0,2
	55	1274	1051	1163	0,145	436,4	145,5	0,4
	56	899	848	874	0,106	319,3	106,4	0,3
10	57	462	475	469	0,052	155,1	51,7	0,2
	58	326	335	331	0,033	99,2	33,1	0,1
	59	373	364	369	0,038	114,6	38,2	0,1
	60	588	540	564	0,065	193,8	64,6	0,2

Tabelle 36: Salatversuch, Testsystem: Raumkultur, Versuchsobjekt: Petrischale. Rohdaten, bearbeitete Messwerte.

Entfernung [m]	Nr Petrischale	FE		FE Mittelwert	Konzentration [mg/l]	Gewicht		Menge in PS [µg]	Menge in PS 10 s Applikation [µg]	Menge in PS pro Fläche [µg/cm²]
		FE 1	FE 2			Flüssigkeit [g]	PS [µg]			
1	1	10221	9913	10067	1,28	0,33	64,6		64,6	0,39
	2	2073	2053	2063	0,26	0,03	12,8		12,8	0,08
	3	3470	3503	3487	0,44	0,09	21,9		21,9	0,13
	4	2631	2616	2624	0,33	0,05	16,4		16,4	0,10
3	5	21653	21798	21726	2,78	0,86	141,4		141,4	0,86
	6	15653	15943	15798	2,02	0,54	102,0		102,0	0,62
	7	18014	17558	17786	2,27	0,65	115,2		115,2	0,70
	8	19276	19104	19190	2,45	0,74	124,5		124,5	0,75
5	9	7055	6926	6991	0,89	0,18	44,6		44,6	0,27
	10	9891	9710	9801	1,25	0,29	62,8		62,8	0,38
	11	10432	10560	10496	1,34	0,33	67,3		67,3	0,41
	12	8529	8948	8739	1,11	0,27	55,9		55,9	0,34
7	13	4881	5157	5019	0,63	0,13	31,8		31,8	0,06
	14	12187	12025	12106	1,54	0,38	77,8		77,8	0,16
	15	12293	12283	12288	1,57	0,4	79,0		79,0	0,16
	16	10379	10692	10536	1,34	0,31	67,6		67,6	0,14
10	17	2741	2770	2756	0,34	0	17,2		17,2	0,03
	18	3608	3715	3662	0,46	0	23,0		23,0	0,05
	19	4494	4535	4515	0,57	0	28,5		28,5	0,06
	20	3596	3583	3590	0,45	0	22,6		22,6	0,05
15	21	369	375	372	0,04	0	1,9		1,9	0,00
	22	942	950	946	0,11	0	5,6		5,6	0,01
	23	1507	1519	1513	0,18	0	9,2		9,2	0,02
	24	933	957	945	0,11	0	5,6		5,6	0,01
1	25	12786	12656	12721	1,68	0,4	84,7		84,7	0,51
	26	2658	2658	2658	0,34	0,03	17,0		17,0	0,10
	27	2027	1977	2002	0,25	0,02	12,6		12,6	0,08
	28	1653	1655	1654	0,21	0,01	10,3		10,3	0,06
3	29	19020	19004	19012	2,52	0,83	128,1		128,1	0,78
	30	16273	16054	16164	2,14	0,54	108,1		108,1	0,65
	31	16127	15505	15816	2,09	0,56	105,8		105,8	0,64
	32	16265	15856	16061	2,13	0,54	107,4		107,4	0,65
5	33	6006	5938	5972	0,78	0	39,1		39,1	0,24
	34	9583	9328	9456	1,25	0	62,3		62,3	0,38
	35	11152	11274	11213	1,48	0	74,0		74,0	0,45
	36	8750	8841	8796	1,16	0	57,9		57,9	0,35
7	37	7370	7467	7419	0,97	0,17	48,9		48,9	0,10
	38	13878	13738	13808	1,83	0,38	92,0		92,0	0,19
	39	14646	14625	14636	1,94	0,43	97,6		97,6	0,20
	40	17171	17101	17136	2,27	0,52	114,6		114,6	0,23
10	41	3431	3398	3415	0,44	0	22,0		22,0	0,04
	42	4217	4307	4262	0,55	0	27,7		27,7	0,06
	43	5658	5650	5654	0,74	0	37,0		37,0	0,07
	44	5334	5319	5327	0,70	0	34,8		34,8	0,07
15	45	639	597	618	0,07	0	3,4		3,4	0,01
	46	1246	1153	1200	0,15	0	7,3		7,3	0,01
	47	2088	2201	2145	0,27	0	13,6		13,6	0,03
	48	1449	1415	1432	0,18	0	8,8		8,8	0,02
1	49	14569	14690	14630	1,83	0,42	92,4		92,4	0,56
	50	2036	2081	2059	0,25	0	12,5		12,5	0,08
	51	2042	1906	1974	0,24	0	12,0		12,0	0,07
	52	2490	2211	2351	0,29	0,02	14,3		14,3	0,09
3	53	17362	17739	17551	2,20	0,48	111,1		111,1	0,67
	54	14052	15347	14700	1,84	0,36	92,8		92,8	0,56
	55	16325	15980	16153	2,03	0,44	102,2		102,2	0,62
	56	17502	17441	17472	2,19	0,43	110,5		110,5	0,67
5	57	8309	8068	8189	1,02	0,06	51,2		51,2	0,31
	58	8564	8378	8471	1,06	0,07	53,0		53,0	0,32
	59	9685	9691	9688	1,21	0,21	60,8		60,8	0,37
	60	9743	10360	10052	1,26	0,13	63,0		63,0	0,38
7	61	6215	6296	6256	0,78	0,14	39,0		39,0	0,08
	62	13539	12120	12830	1,61	0,35	80,9		80,9	0,16
	63	14317	13947	14132	1,77	0,39	89,2		89,2	0,18
	64	12961	13231	13096	1,64	0,37	82,6		82,6	0,17
10	65	3644	3486	3565	0,44	0	22,0		22,0	0,04
	66	4350	4283	4317	0,53	0	26,7		26,7	0,05
	67	5090	5078	5084	0,63	0	31,5		31,5	0,06
	68	4800	4704	4752	0,59	0	29,5		29,5	0,06
15	69	568	560	564	0,06	0	3,1		3,1	0,01
	70	1390	1440	1415	0,17	0	8,4		8,4	0,02
	71	1437	1443	1440	0,17	0	8,6		8,6	0,02
	72	1148	1138	1143	0,13	0	6,7		6,7	0,01

Tabelle 37: Salatversuch, Testsystem: Raumkultur, Versuchsobjekt: Petrischale. Rohdaten, bearbeitete Messwerte.

Entfernung	Nr Salat	FE 1	FE 2	FE Mittelwert	Konzentration	Menge auf Salat [µg]	Menge auf Salat 10 s Applikation [µg]	Menge pro Salat, 10 s Appl [µg/g]
1	1	2495	2654	2575	0,32	962,96	962,96	2,89
	2	1074	1057	1066	0,13	381,83	381,83	1,15
	3	932	923	928	0,11	328,69	328,69	0,99
	4	1117	1181	1149	0,14	413,99	413,99	1,24
3	5	2166	2146	2156	0,27	801,79	801,79	2,41
	6	2049	2049	2049	0,25	760,58	760,58	2,29
	7	3125	2261	2693	0,34	1008,59	1008,59	3,03
	8	2098	2034	2066	0,26	767,13	767,13	2,30
5	9	1151	980	1066	0,13	381,83	381,83	1,15
	10	1366	1353	1360	0,17	495,05	495,05	1,49
	11	1057	1017	1037	0,12	370,85	370,85	1,11
	12	1403	1615	1509	0,18	552,63	552,63	1,66
7	13	1223	1190	1207	0,15	436,13	145,38	0,44
	14	2116	2119	2118	0,26	786,96	262,32	0,79
	15	1714	1801	1758	0,22	648,33	216,11	0,65
	16	1965	1896	1931	0,24	714,95	238,32	0,72
10	17	469	449	459	0,05	148,26	49,42	0,15
	18	562	556	559	0,06	186,77	62,26	0,19
	19	716	720	718	0,08	248,01	82,67	0,25
	20	839	735	787	0,09	274,58	91,53	0,28
15	21	166	158	162	0,01	33,88	11,29	0,03
	22	185	189	187	0,01	43,51	14,50	0,04
	23	252	253	253	0,02	68,74	22,91	0,07
	24	303	303	303	0,03	88,18	29,39	0,09
1	25	2329	2300	2315	0,29	881,92	881,92	2,65
	26	1091	1133	1112	0,13	401,16	401,16	1,21
	27	693	740	717	0,08	243,03	243,03	0,73
	28	658	671	665	0,07	222,24	222,24	0,67
3	29	2344	2355	2350	0,30	895,91	895,91	2,69
	30	2240	2143	2192	0,28	832,75	832,75	2,50
	31	2635	2498	2567	0,33	982,67	982,67	2,95
	32	2999	2391	2695	0,34	1034,05	1034,05	3,11
5	33	949	991	970	0,11	344,38	344,38	1,03
	34	1208	1187	1198	0,15	435,34	435,34	1,31
	35	1142	1133	1138	0,14	411,35	411,35	1,24
	36	1369	1323	1346	0,16	494,71	494,71	1,49
7	37	1334	1396	1365	0,17	502,31	167,44	0,50
	38	2110	2006	2058	0,26	779,37	259,79	0,78
	39	2249	1953	2101	0,27	796,56	265,52	0,80
	40	3076	2778	2927	0,38	1126,80	375,60	1,13
10	41	559	575	567	0,06	183,26	61,09	0,18
	42	918	964	941	0,11	332,79	110,93	0,33
	43	730	790	760	0,09	260,43	86,81	0,26
	44	885	831	858	0,10	299,61	99,87	0,30
15	45	181	168	175	0,01	26,34	8,78	0,03
	46	300	301	301	0,03	76,72	25,57	0,08
	47	297	259	278	0,02	67,72	22,57	0,07
	48	399	425	412	0,04	121,29	40,43	0,12
1	49	1955	1980	1968	0,24	714,81	714,81	2,15
	50	611	626	619	0,07	204,93	204,93	0,62
	51	882	878	880	0,10	303,77	303,77	0,91
	52	646	637	642	0,07	213,62	213,62	0,64
3	53	2451	2482	2467	0,30	903,42	903,42	2,71
	54	1734	1719	1727	0,21	623,72	623,72	1,87
	55	2171	2060	2116	0,26	770,75	770,75	2,32
	56	1999	2218	2109	0,26	768,11	768,11	2,31
5	57	1265	1264	1265	0,15	449,10	449,10	1,35
	58	1068	1065	1067	0,12	374,26	374,26	1,12
	59	1266	1188	1227	0,14	434,93	434,93	1,31
	60	1486	1526	1506	0,18	540,38	540,38	1,62
7	61	1265	1252	1259	0,15	446,83	148,94	0,45
	62	1675	1698	1687	0,20	608,60	202,87	0,61
	63	1476	1501	1489	0,18	533,77	177,92	0,53
	64	1693	1804	1749	0,21	632,04	210,68	0,63
10	65	635	639	637	0,07	211,92	70,64	0,21
	66	627	625	626	0,07	207,76	69,25	0,21
	67	842	783	813	0,09	278,26	92,75	0,28
	68	1005	961	983	0,11	342,70	114,23	0,34
15	69	172	174	173	0,01	36,54	12,18	0,04
	70	221	228	225	0,02	56,01	18,67	0,06
	71	262	356	309	0,03	87,95	29,32	0,09
	72	352	372	362	0,04	107,98	35,99	0,11

Auswertung der Messwerte

Die ermittelten Konzentrationen des Pyranins in den Waschlösungen sind in Abbildung 43 dargestellt. Die niedrigste gemessene Konzentration liegt bei 0,01 mg/l, die höchste bei 3,74 mg/l. Der Kalibrierbereich wurde auf 0,08 mg/l bis 3 mg/l festgelegt. Somit liegt ein Teil der Werte außerhalb des Kalibrierbereichs. Die Messwerte der 1 m Entfernung im Testsystem Raumkultur wurden nicht berücksichtigt, da sie in keiner erkennbaren Beziehung zu den anderen Messwerten stehen (siehe 3.2.5).

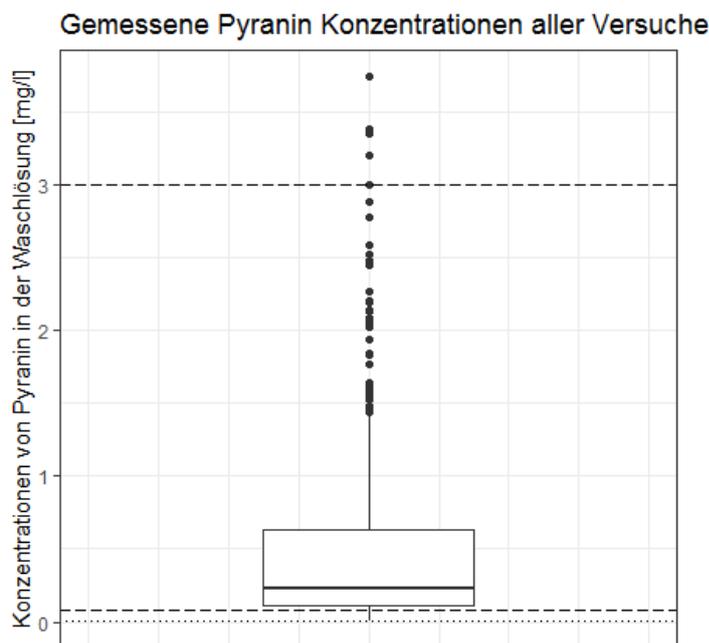


Abbildung 43: Konzentrationen des Pyranins in den Waschlösungen. Die gestrichelten Linien markieren die Grenzen des Kalibrierbereichs (0,08 mg/l und 3 mg/l). Die gepunktete Linie markiert $y = 0,01$ mg/l.

In Tabelle 38 ist die Anzahl der Messwerte, die außerhalb (nicht gesichert) bzw. innerhalb (gesichert) des Kalibrierbereichs liegen, getrennt nach Versuchssystem aufgeführt. Bei den Versuchen unter Verwendung des Testsystems Flächenkultur liegen über die Hälfte (59 %) aller Messwerte innerhalb des Kalibrierbereichs, unter Verwendung des Testsystems Raumkultur 80 %. Im Durchschnitt sind es 70 % der Messwerte.

Tabelle 38: Anzahl an gesicherten und nicht gesicherten Messwerten.

	Testsystem Flächenkultur		Testsystem Raumkultur		Alle Daten	
	Anzahl	Anteil an der Gesamtmenge [%]	Anzahl	Anteil an der Gesamtmenge [%]	Anzahl	Anteil an der Gesamtmenge [%]
nicht gesichert	67	41	33	20	100	30
gesichert	98	59	132	80	230	70
insgesamt	165	100	165	100	330	100

Tabelle 39 zeigt die Aufschlüsselung in gesicherte und nicht gesicherte Werte nach Versuchspflanze und Testsystem. Mehr als die Hälfte der Messwerte im Testsystem Flächenkultur mit der Versuchspflanze Tomate liegen im Kalibrierbereich, im Testsystem Raumkultur 42 von 45 Messwerten. Bei den Versuchen mit Salat bzw. Erdbeeren mit dem Testsystem Flächenkultur sind ca. zwei Drittel der Werte gesichert. Bei den Versuchen mit Salat bzw. Erdbeeren und dem Testsystem Raumkultur sind es drei Viertel der Messwerte.

Tabelle 39: Aufschlüsselung in gesicherte und nicht gesicherte Werte nach Versuchspflanze und Testsystem.

	Flächenkultur			Raumkultur		
	Tomate	Salat	Erdbeere	Tomate	Salat	Erdbeere
nicht gesichert	21	26	20	3	17	13
gesichert	24	34	40	42	43	47
Werte insgesamt	45	60	60	45	60	60

Die Konzentration der Proben unterhalb des Kalibrierbereichs sind alle größer oder gleich 0,01 mg/l (Abbildung 43) und damit deutlich höher als die BG (= 0,0006 mg/l, vgl. 3.2.2, Anhang III). Nachträglich zu den Versuchen wurde eine weitere Kalibriergerade erstellt. Es wurden die gleichen Standards wie für die Kalibriergeraden der Versuche gewählt (Tabelle 4, Kapitel 3.1.10) und zusätzlich ein Standard mit einer Pyranin-Konzentration von 0,01 mg/l. Es wurden zwei Kalibriergeraden mittels gewichteter linearer Regression erstellt: Mit ($y = 8661x+13$) und ohne ($y = 8539x + 18$) den „neuen“ Standard. Beide sind in Abbildung 44 dargestellt. Die Steigung der Kalibriergeraden mit dem Standard der Konzentration 0,01 mg/l ist geringfügig höher und der y-Achsenabschnitt etwas niedriger als bei der Kalibriergeraden ohne diesen Standard. Daraus ergibt sich, dass der Abstand zwischen den beiden Geraden mit zunehmender Konzentration größer wird. Im unteren Konzentrationsbereich liegen die Geraden jedoch nahezu übereinander.

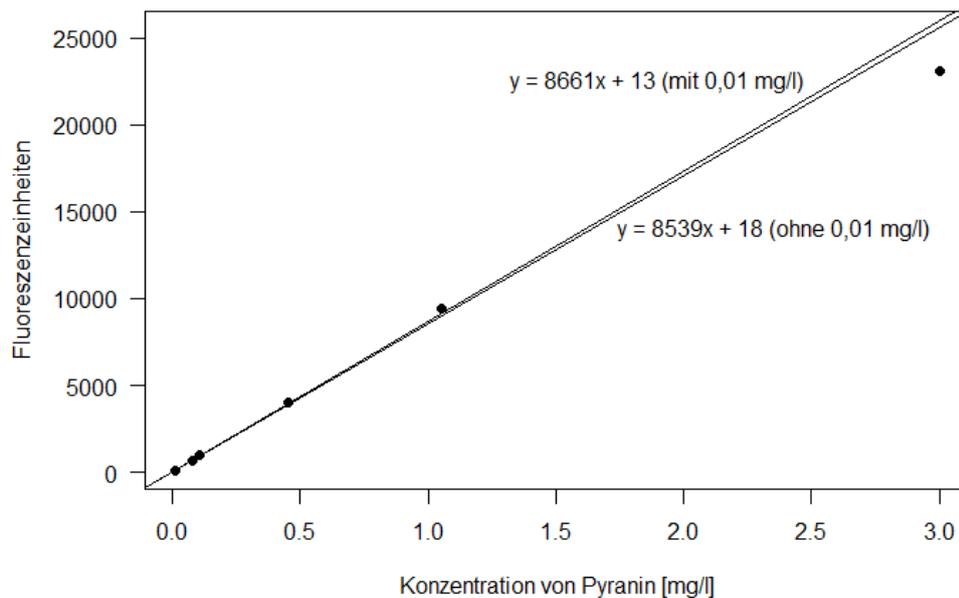


Abbildung 44: Vergleich der Kalibriergeraden mit und ohne den Standard 0,01 mg/l. Die Kalibriergeraden wurden mittels gewichteter linearer Regression erstellt. Die Punkte bilden die Standards und deren Fluoreszenzwert ab.

In Tabelle 40 sind die Konzentrationen der Standards und die über die zwei Kalibriergeraden ermittelten Konzentrationen (Schätzwert) aufgeführt. Beim Vergleich der Schätzwerte ist zu erkennen, dass vor allem bei niedrigen Konzentrationen kaum Unterschiede in den ermittelten Konzentrationen bestehen. Somit wird angenommen, dass die für die Versuche verwendeten Kalibriergeraden ohne den Standard 0,01 mg/l dennoch den unteren Konzentrationsbereich bis 0,01 mg/l ausreichend präzise beschreiben und weiterhin eine lineare Abhängigkeit besteht.

Tabelle 40: Unterschiede der Kalibriergeraden mit und ohne den Standard 0,01 mg/l.

Sollwert [mg/l]	Kalibriergerade ohne 0,01 mg/l	Kalibriergerade mit 0,01 mg/l
	Schätzwert [mg/l]	Schätzwert [mg/l]
3.00	2.70	2.66
1.05	1.10	1.09
0.45	0.47	0.46
0.11	0.11	0.11
0.08	0.07	0.07
0.01	0.01	0.01

Auf Grund dieses Ergebnisses und der Tatsache, dass alle Messwerte deutlich über der Bestimmungsgrenze liegen, wurden auch die Werte, die unterhalb des kleinsten Standards liegen, in die Regressionsanalysen (Kapitel 3.2.6) mit einbezogen.

Vier Messwerte liegen oberhalb des Kalibrierbereichs. Diese wurden nicht in die weiteren Berechnungen mit einbezogen.

V. Ergebnisse der Regressionsanalyse mit R ohne Transformation der Messwerte

Erdbeere, Testsystem Flächenkultur

Call:

```
lm(formula = ERD ~ PS, data = erd_fsd)
```

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-0.59720	-0.09635	-0.02924	0.10523	0.64225

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	0.2124	0.0366	5.803	2.87e-07 ***
PS	1.5156	0.0653	23.209	< 2e-16 ***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.2254 on 58 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.9028, Adjusted R-squared: 0.9011

F-statistic: 538.7 on 1 and 58 DF, p-value: < 2.2e-16

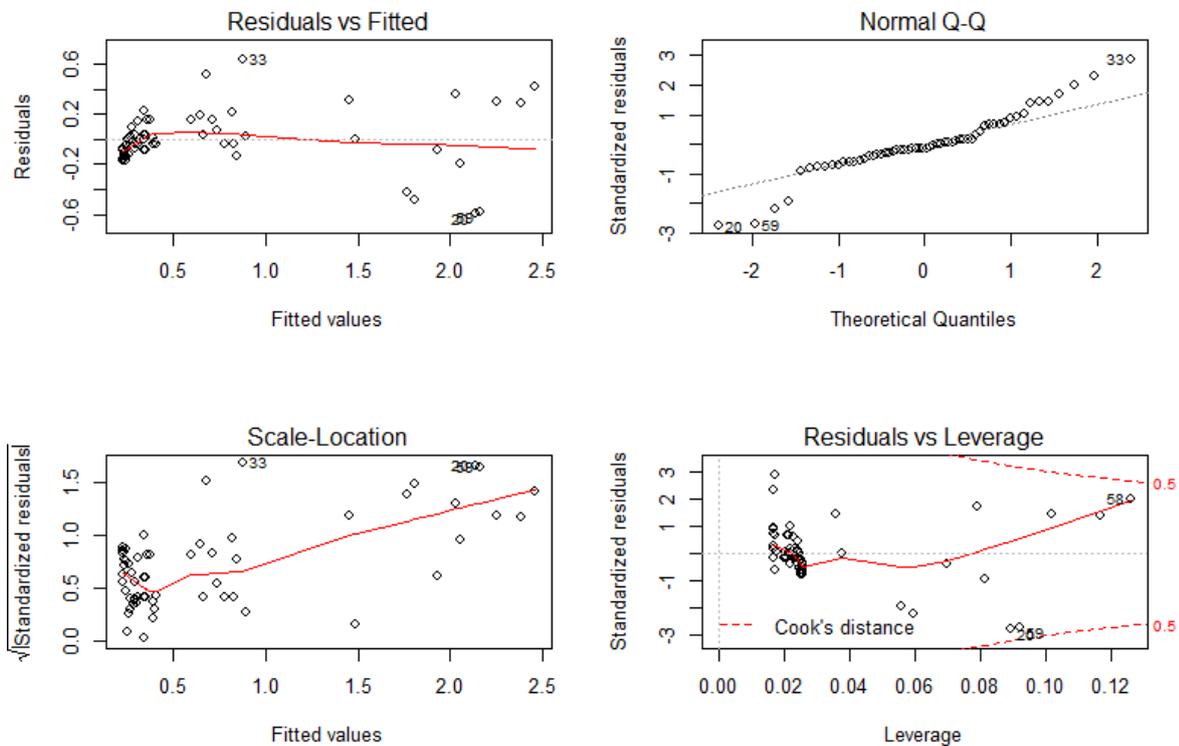


Abbildung 45: Diagnostic Plots: Erdbeere, Testsystem Flächenkultur, ohne Transformation.

Erdbeere, Testsystem Raumkultur, ohne 1 m

Call:

```
lm(formula = ERD ~ PS, data = erd_HKD)
```

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-0.64885	-0.11807	-0.04820	0.04109	1.05777

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	0.20552	0.05577	3.685	0.000505 ***
PS	1.79769	0.18495	9.720	8.8e-14 ***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.2852 on 58 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.6196, Adjusted R-squared: 0.6131

F-statistic: 94.48 on 1 and 58 DF, p-value: 8.798e-14

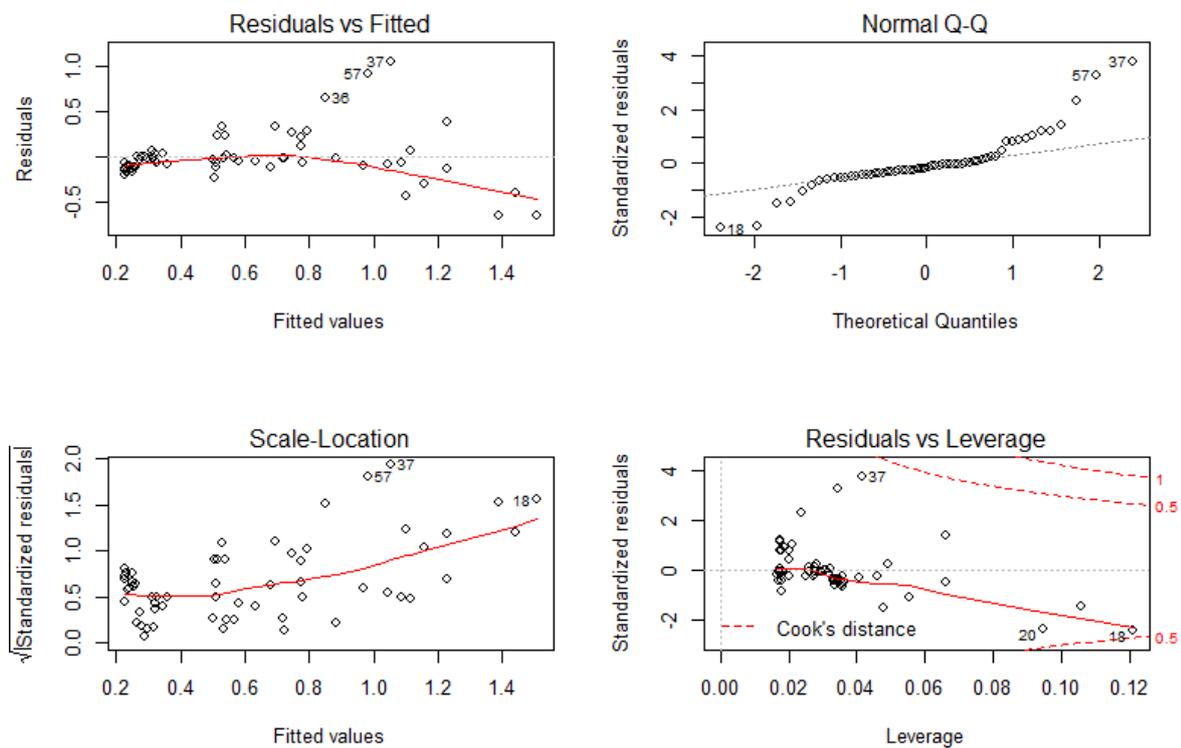


Abbildung 46: Diagnostic Plots: Erdbeere, Testsystem Raumkultur, ohne Transformation.

Salat, Testsystem Flächenkultur

Call:

```
lm(formula = Salat ~ PS, data = sal_fsd)
```

Residuals:

```
   Min      1Q  Median      3Q     Max
-2.18988 -0.21007 -0.09078  0.14070  1.29187
```

Coefficients:

```
      Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  0.26937   0.08418   3.20 0.00223 **
PS          2.95223   0.08455  34.92 < 2e-16 ***
```

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.5457 on 58 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.9546, Adjusted R-squared: 0.9538

F-statistic: 1219 on 1 and 58 DF, p-value: < 2.2e-16

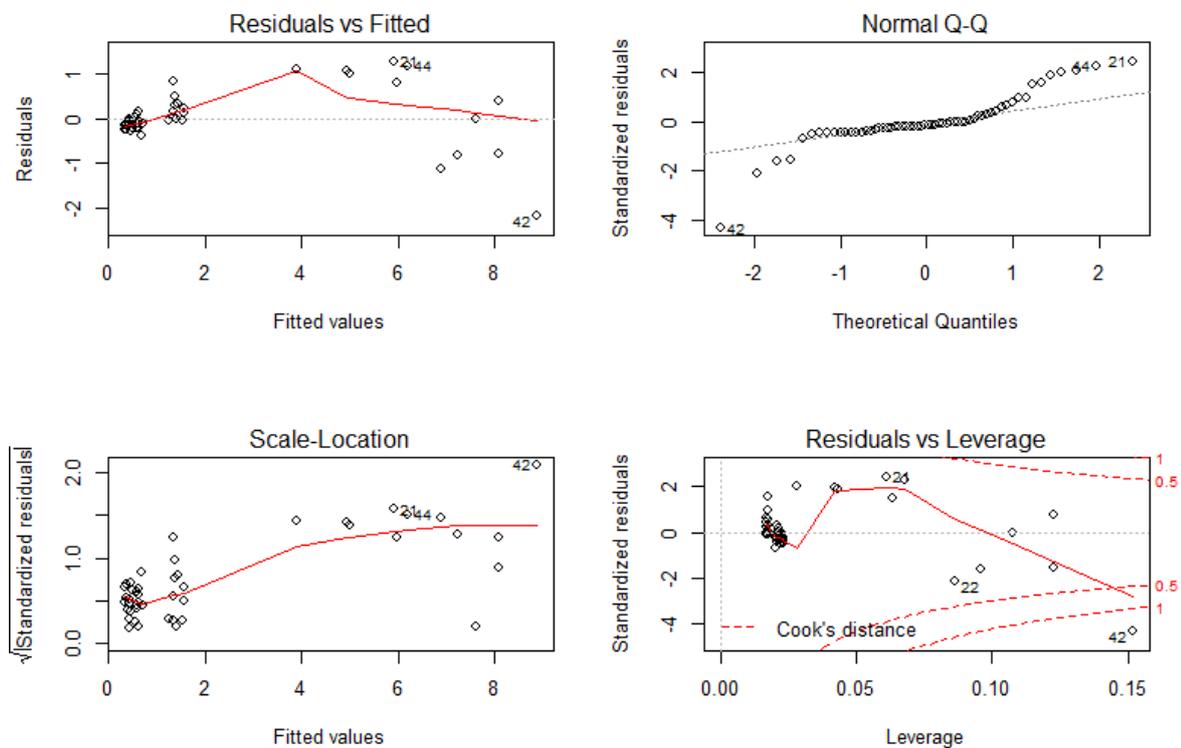


Abbildung 47: Diagnostic Plots: Salat, Testsystem Flächenkultur, ohne Transformation.

Salat Testsystem Raumkultur (ohne 1 m)

Call:

```
lm(formula = Salat ~ PS, data = sal_fsd)
```

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-0.73995	-0.07315	-0.02395	0.09010	0.71067

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	0.07597	0.04077	1.863	0.0675 .
PS	3.57439	0.11540	30.974	<2e-16 ***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.223 on 58 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.943, Adjusted R-squared: 0.942

F-statistic: 959.4 on 1 and 58 DF, p-value: < 2.2e-16

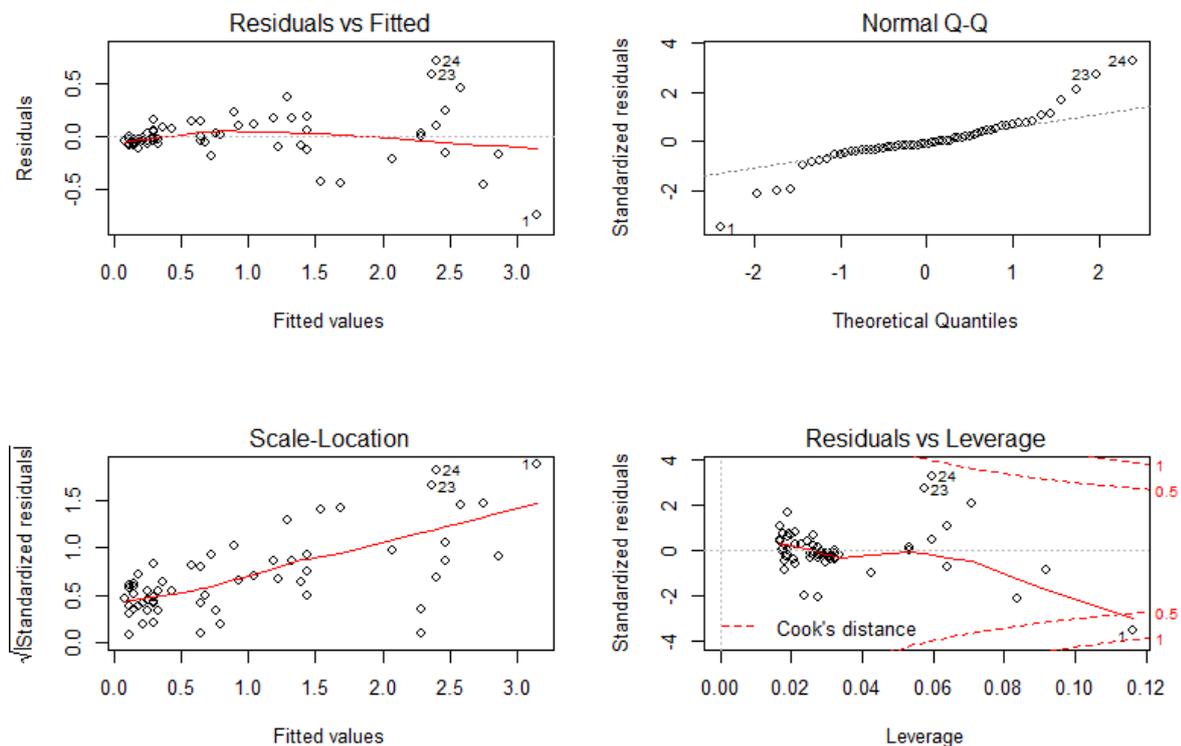


Abbildung 48: Diagnostic Plots: Salat, Testsysteme, Raumkultur, ohne Transformation.

Tomate, Testsystem Flächenkultur

Call:

```
lm(formula = Tomate ~ PS, data = tom_fsd)
```

Residuals:

	Min	1Q	Median	3Q	Max
Residuals	-0.192223	-0.029999	-0.007439	0.028201	0.299861

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	0.03564	0.01351	2.638	0.0116 *
PS	0.43602	0.02043	21.340	<2e-16 ***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.07192 on 43 degrees of freedom
 Multiple R-squared: 0.9137, Adjusted R-squared: 0.9117
 F-statistic: 455.4 on 1 and 43 DF, p-value: < 2.2e-16

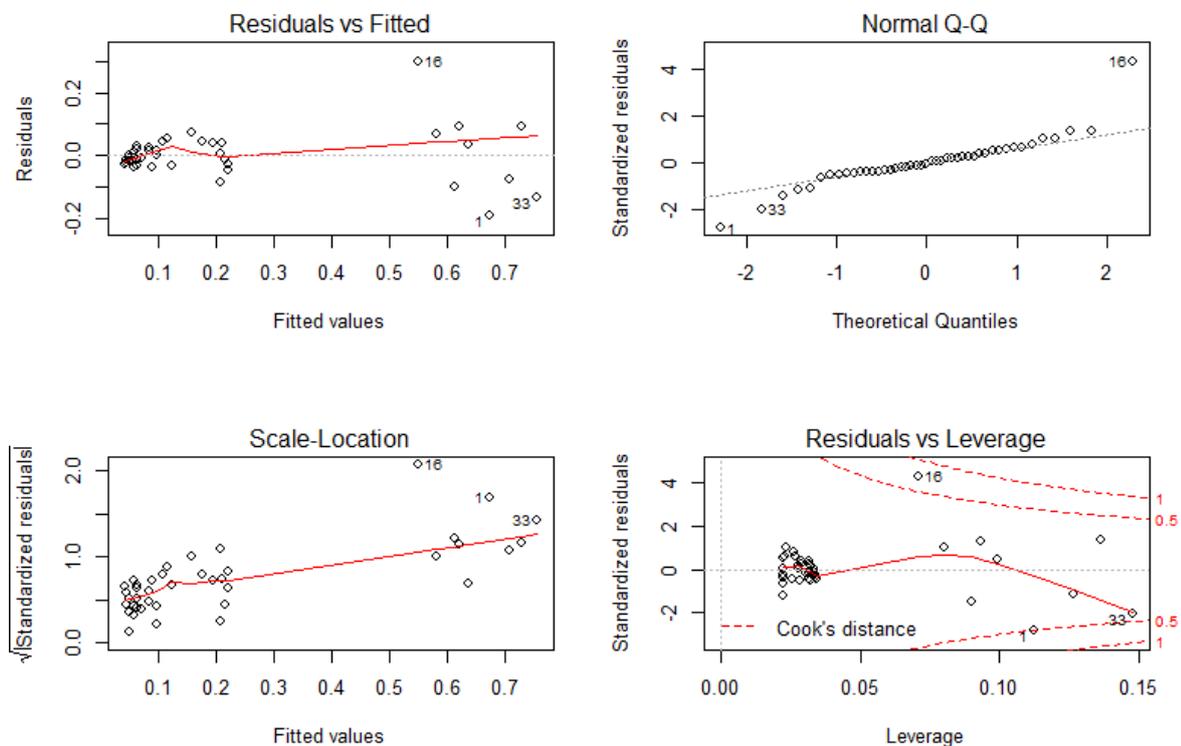


Abbildung 49: Diagnostic Plots: Tomate, Testsystem Flächenkultur, ohne Transformation.

Tomate, Testsystem Raumkultur

Call:

```
lm(formula = Tomate ~ PS, data = tom_fsd)
```

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-0.160718	-0.015978	-0.004678	0.011778	0.230009

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	0.01871	0.01347	1.389	0.172
PS	0.75850	0.04034	18.802	<2e-16 ***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.06187 on 43 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.8916, Adjusted R-squared: 0.889

F-statistic: 353.5 on 1 and 43 DF, p-value: < 2.2e-16

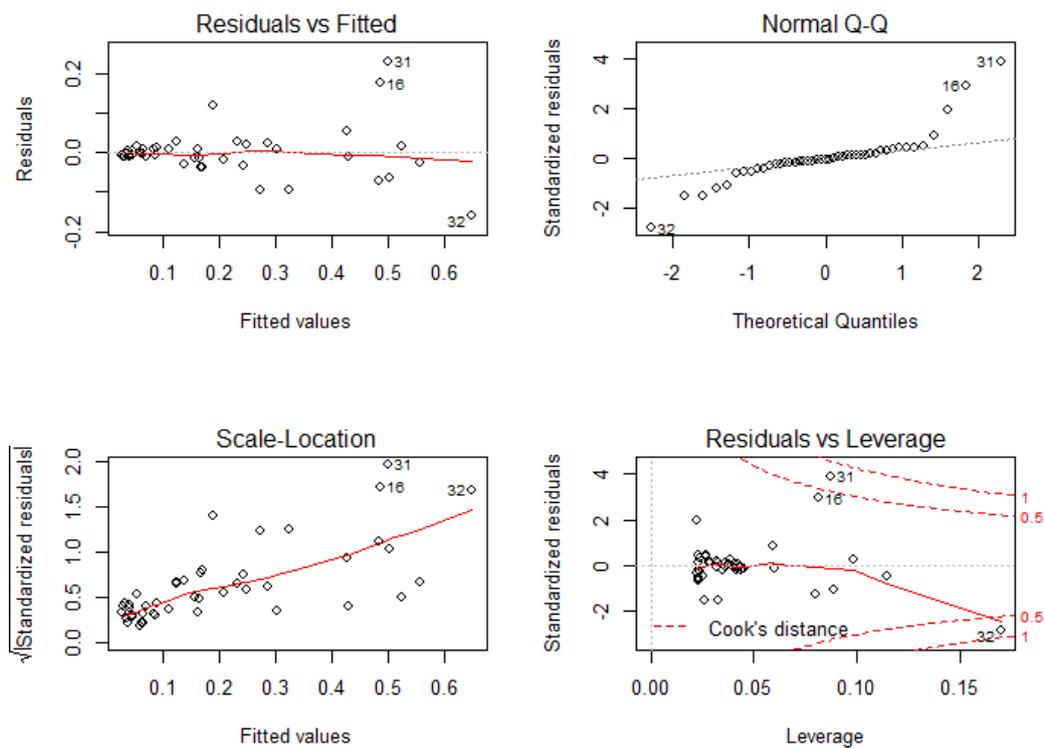


Abbildung 50: Diagnostic Plots: Tomate, Testsystem Raumkultur, ohne Transformation.

VI. Ergebnisse der Regressionsanalyse mit R nach Transformation der x- und y- Werte

Erdbeere

Testsystem Raumkultur (ohne die Messwerte der 1 m Entfernung)

R Code (beispielhaft für alle Regressionsanalysen):

```
daten <-  
read.csv("C:/Users/geodat/Hannah/Promotion/Windtunnelexperimente/2018/relevant_fuer_DI  
SS/R/letzte_regression/erdbeere/erd_hkd_rel_alle_ohne1m.csv", as.is = TRUE, sep = ";")  
head(daten)  
z = log(daten$PS)  
w = log(daten$ERD)  
  
lm_log <- lm(formula= w~z)  
summary(lm_log)  
  
test <- seq(min(z), max(z), len = 60)  
preds <- predict(lm_log, data.frame("z"=test))  
par(mfrow = c(2,2))  
plot(lm_log)  
  
ggplot(daten, aes(x =z, y = w))+  
  geom_point()+  
  geom_smooth(method = "lm")+  
  theme_bw()
```

Call:

```
lm(formula = w ~ z)
```

Residuals:

```
   Min     1Q  Median     3Q    Max  
-0.83055 -0.15734 -0.05906  0.24696  0.68408
```

Coefficients:

```
      Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)  
(Intercept)  0.56542   0.08014   7.056 2.36e-09 ***  
z            0.66784   0.03286  20.321 < 2e-16 ***  
---
```

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.3232 on 58 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.8768, Adjusted R-squared: 0.8747
 F-statistic: 413 on 1 and 58 DF, p-value: < 2.2e-16

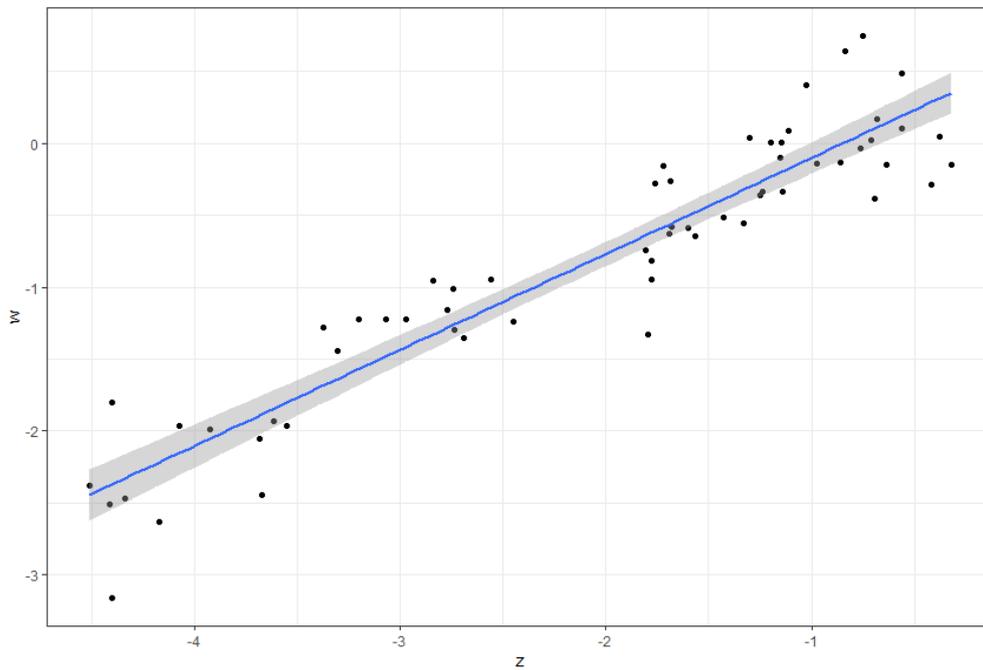


Abbildung 51: Log-transformierte Pyranin-Rückstände in den Petrischalen (z) und auf den Erdbeeren (w) im Testsystem Raumkultur mit ermittelter Regressionsgeraden und Konfidenzintervall.

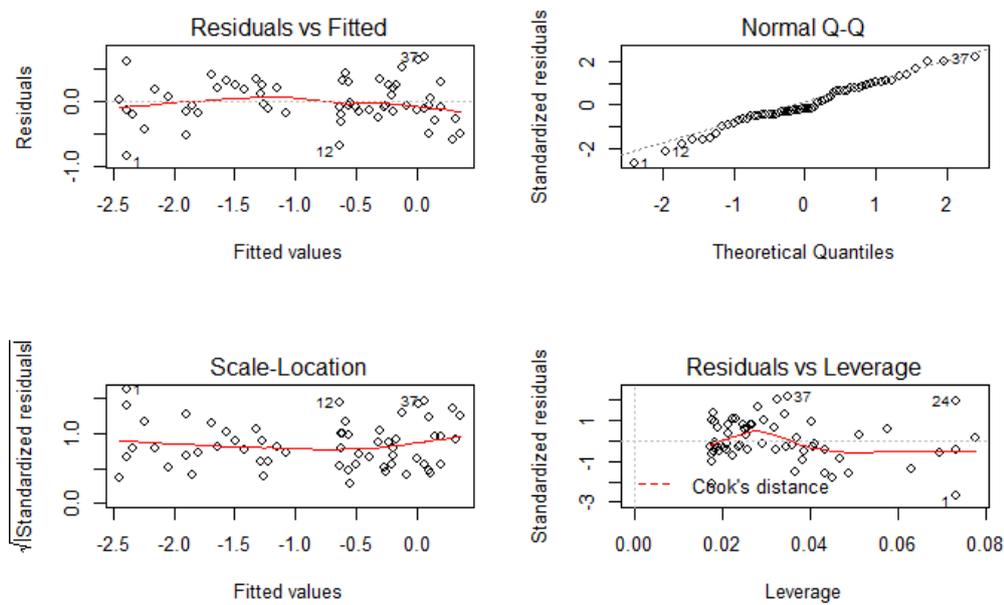


Abbildung 52: Diagnostic Plots: Erdbeere, Testsystem Raumkultur, mit Transformation.

Testsystem Flächenkultur

```
> summary(lm_log)
```

Call:

```
lm(formula = w ~ z)
```

Residuals:

```
   Min     1Q   Median     3Q    Max
-0.60192 -0.21144 -0.02496  0.21083  0.51741
```

Coefficients:

```
      Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  0.54487   0.05841   9.328 3.83e-13 ***
z            0.63872   0.02226  28.699 < 2e-16 ***
```

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.2692 on 58 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.9342, Adjusted R-squared: 0.9331

F-statistic: 823.6 on 1 and 58 DF, p-value: < 2.2e-16

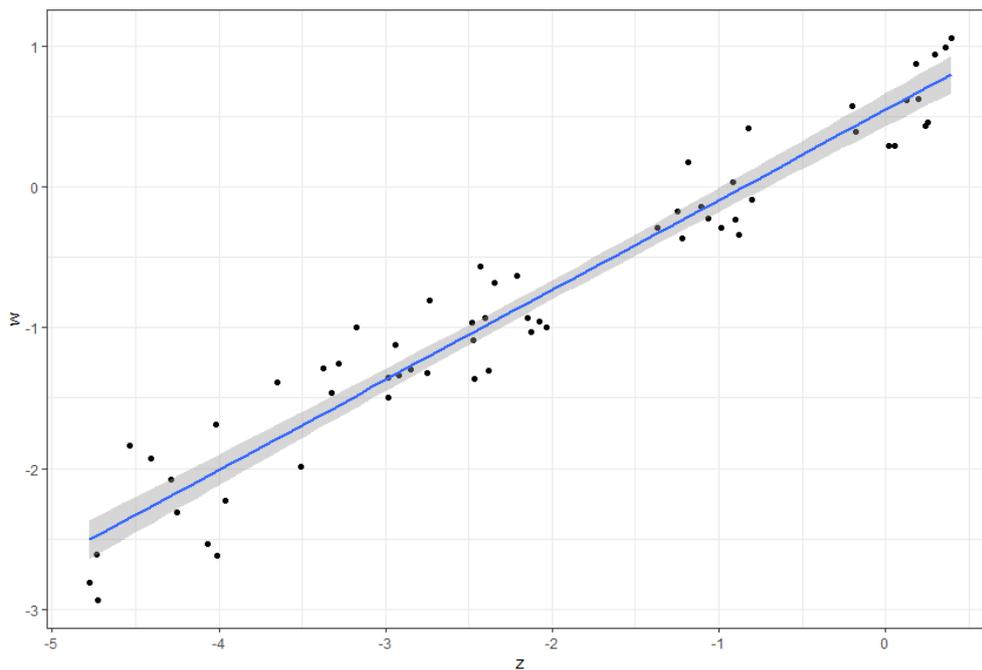


Abbildung 53: Log-transformierte Pyranin-Rückstände in den Petrischalen (z) und auf den Erdbeeren (w) im Testsystem Flächenkultur mit ermittelter Regressionsgeraden und Konfidenzintervall.

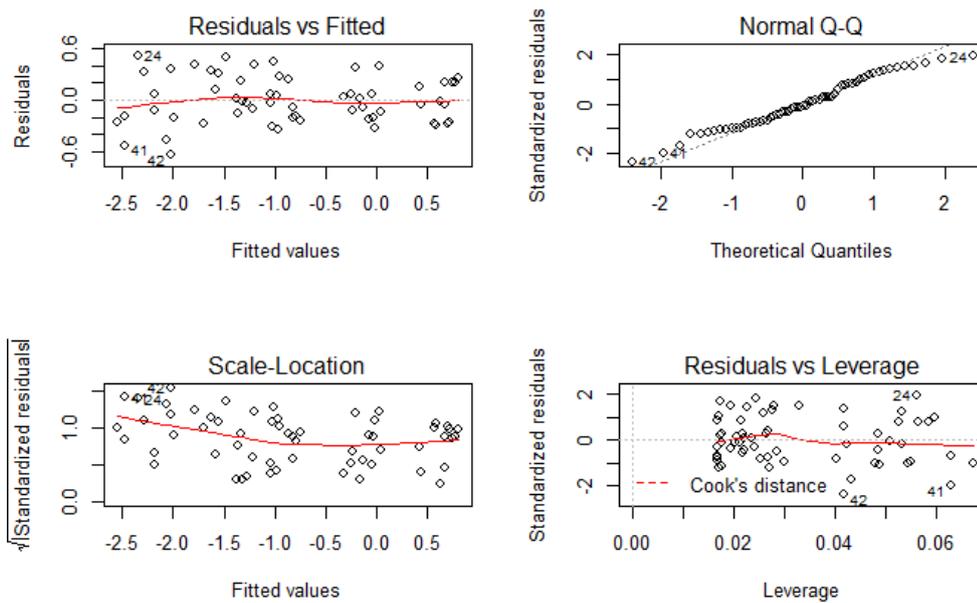


Abbildung 54: Diagnostic Plots: Erdbeere, Testsystem Flächenkultur, mit Transformation.

Tomate

Testsystem Raumkultur (ohne die Messwerte der 1 m Entfernung)

```
> summary(lm_log)
```

Call:

```
lm(formula = w ~ z)
```

Residuals:

```
   Min     1Q   Median     3Q    Max
-0.39550 -0.12995  0.01733  0.09367  0.45788
```

Coefficients:

```
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) -0.38980   0.05552  -7.021 1.2e-08 ***
z             0.82859   0.02388  34.699 < 2e-16 ***
```

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.1924 on 43 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.9655, Adjusted R-squared: 0.9647

F-statistic: 1204 on 1 and 43 DF, p-value: < 2.2e-16

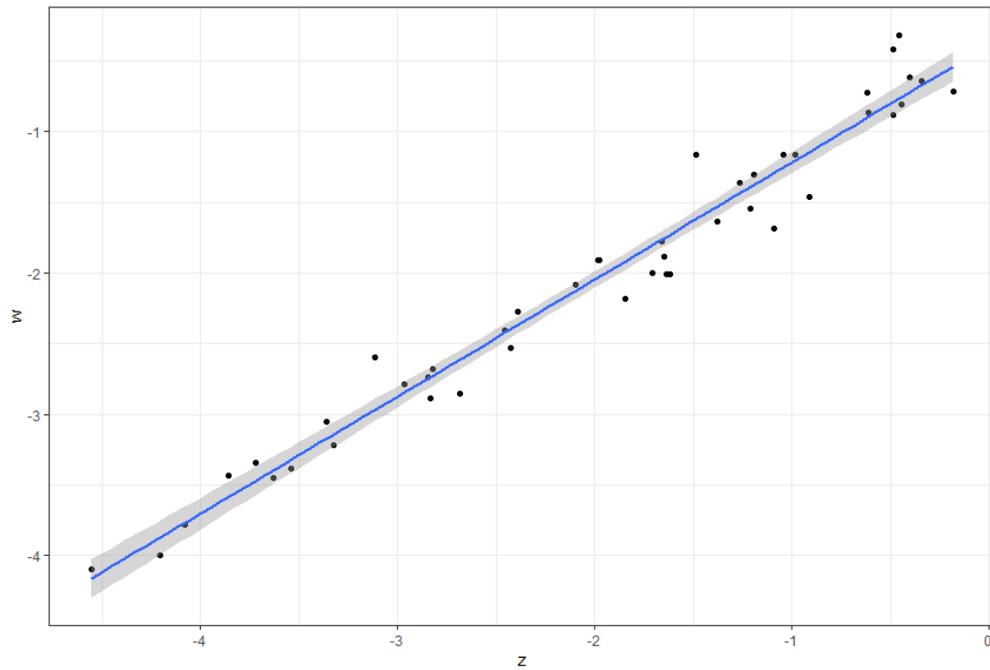


Abbildung 55: Log-transformierte Pyranin-Rückstände in den Petrischalen (z) und auf den Tomaten (w) im Testsystem Raumkultur mit ermittelter Regressionsgeraden und Konfidenzintervall.

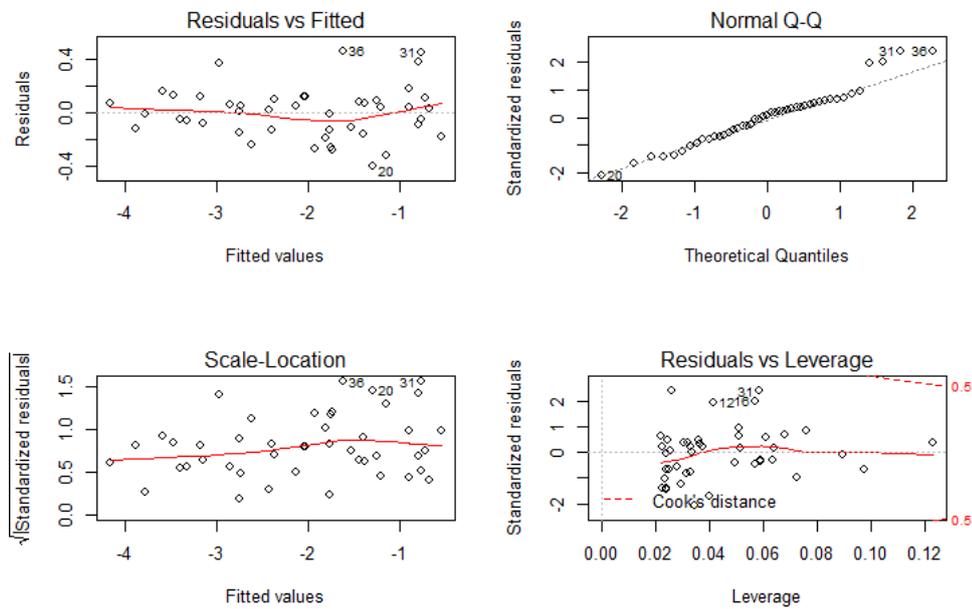


Abbildung 56: Diagnostic Plots: Tomate, Testsystem Raumkultur, mit Transformation.

Testsystem Flächenkultur

```
> summary(lm_log)
```

Call:

```
lm(formula = w ~ z)
```

Residuals:

```
   Min     1Q  Median     3Q    Max
-1.01133 -0.23357  0.06159  0.24132  0.66754
```

Coefficients:

```
      Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) -0.72827   0.08185  -8.898 2.64e-11 ***
z           0.79587   0.03433  23.181 < 2e-16 ***
```

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.3408 on 43 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.9259, Adjusted R-squared: 0.9242

F-statistic: 537.4 on 1 and 43 DF, p-value: < 2.2e-16

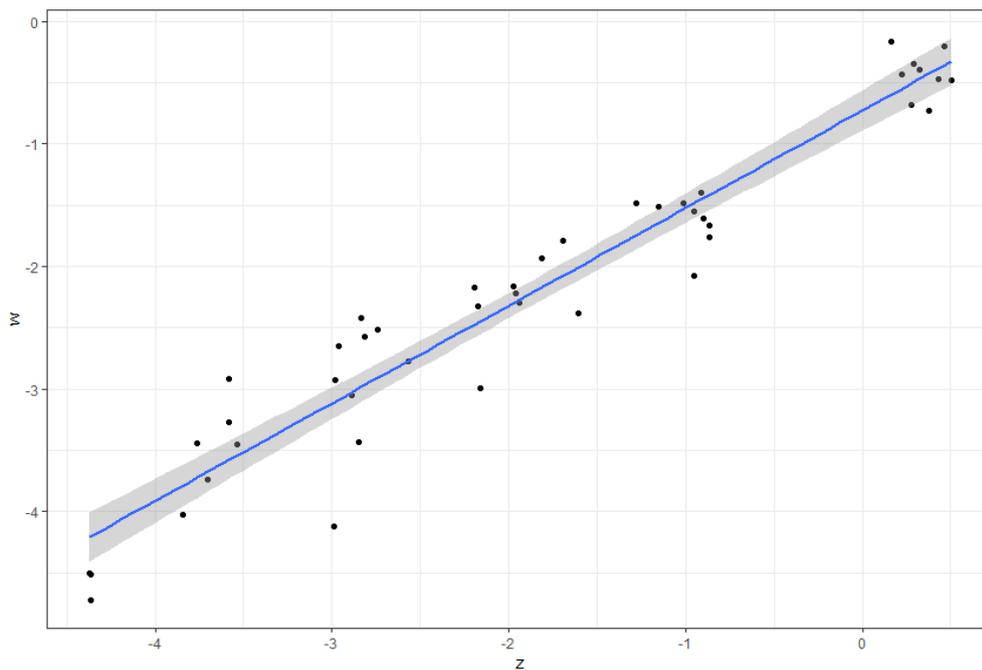


Abbildung 57: Log-transformierte Pyranin-Rückstände in den Petrischalen (z) und auf den Tomaten (w) im Testsystem Flächenkultur mit ermittelter Regressionsgeraden und Konfidenzintervall.

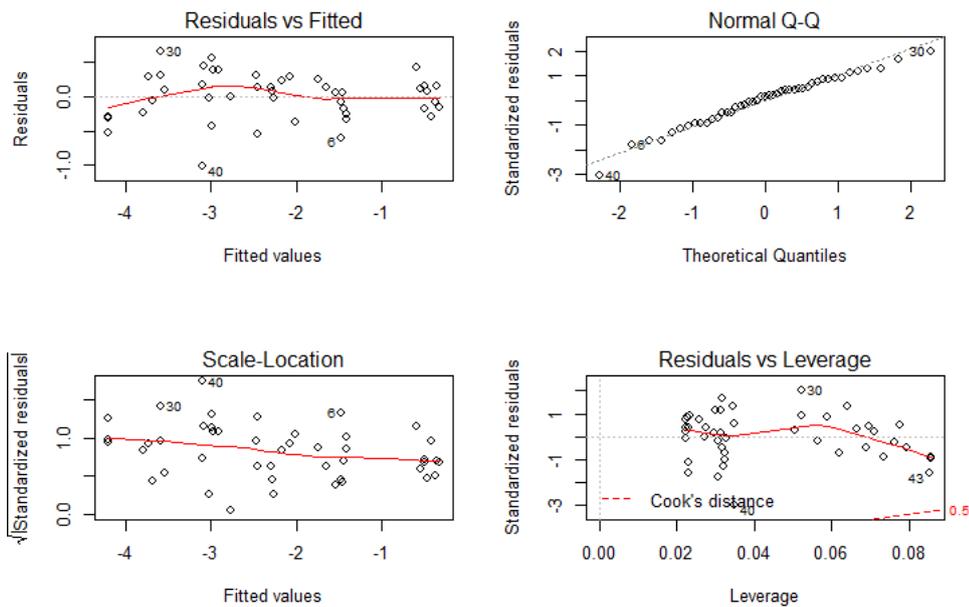


Abbildung 58: Diagnostic Plots: Tomate, Testsystem Flächenkultur, mit Transformation.

Salat

Testsystem Raumkultur (ohne die Messwerte der 1 m Entfernung)

```
> summary(lm_log)
```

Call:

```
lm(formula = w ~ z)
```

Residuals:

```
   Min     1Q   Median     3Q    Max
-0.68446 -0.11126  0.00562  0.17844  0.41970
```

Coefficients:

```
      Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  1.25889   0.05265   23.91 <2e-16 ***
z            0.90758   0.02031   44.69 <2e-16 ***
```

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.2281 on 58 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.9718, Adjusted R-squared: 0.9713

F-statistic: 1997 on 1 and 58 DF, p-value: < 2.2e-16

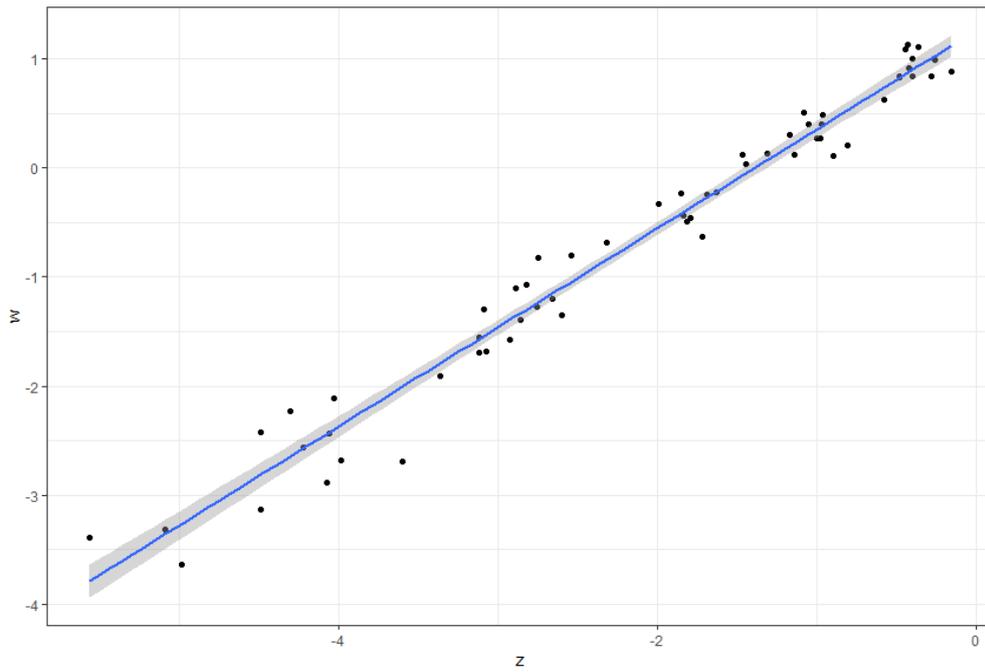


Abbildung 59: Log-transformierte Pyranin-Rückstände in den Petrischalen (z) und auf den Salat (w) im Testsystem Raumkultur mit ermittelter Regressionsgeraden und Konfidenzintervall.

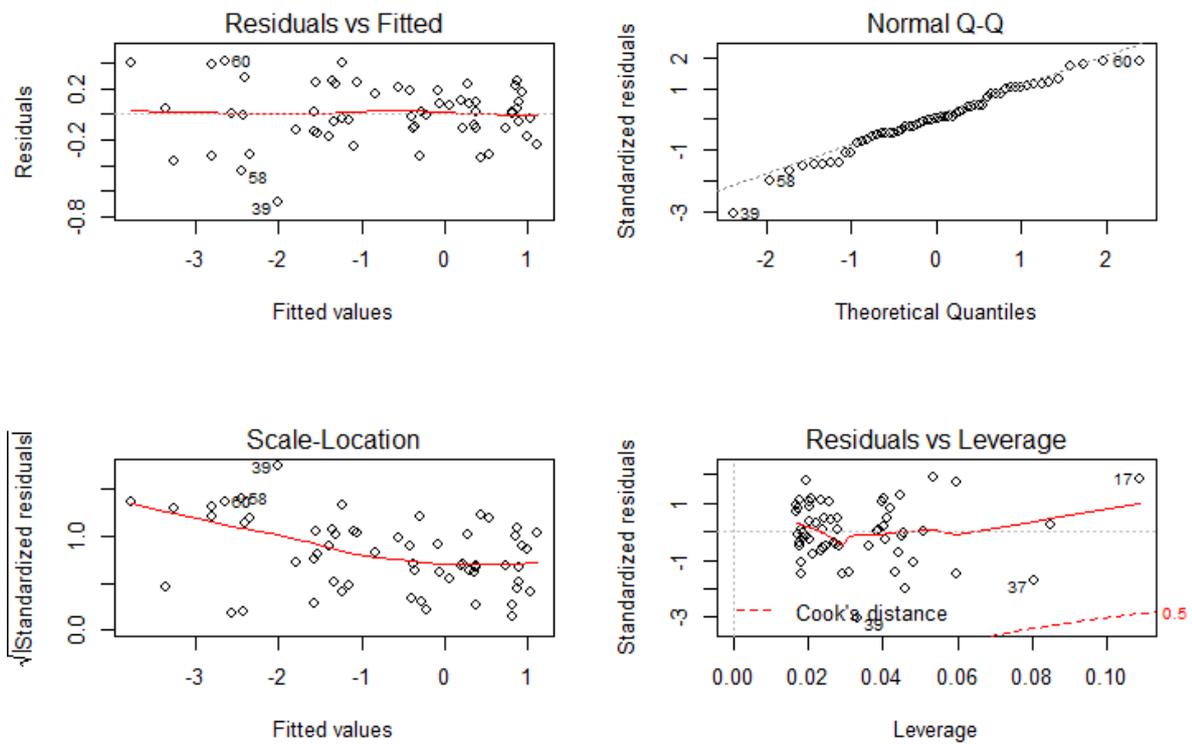


Abbildung 60: Diagnostic Plots: Salat, Testsystem Raumkultur, mit Transformation.

Testsystem Flächenkultur (ohne die vier Messwerte, deren Konzentration größer 3 mg/l ist)

```
> summary(lm_log)
```

Call:

```
lm(formula = w ~ z)
```

Residuals:

```
   Min     1Q  Median     3Q    Max
-0.86538 -0.14921  0.03667  0.15710  0.49094
```

Coefficients:

```
      Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  1.26083   0.05775   21.83 <2e-16 ***
z            0.84869   0.02336   36.33 <2e-16 ***
```

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.2556 on 54 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.9607, Adjusted R-squared: 0.96

F-statistic: 1320 on 1 and 54 DF, p-value: < 2.2e-16

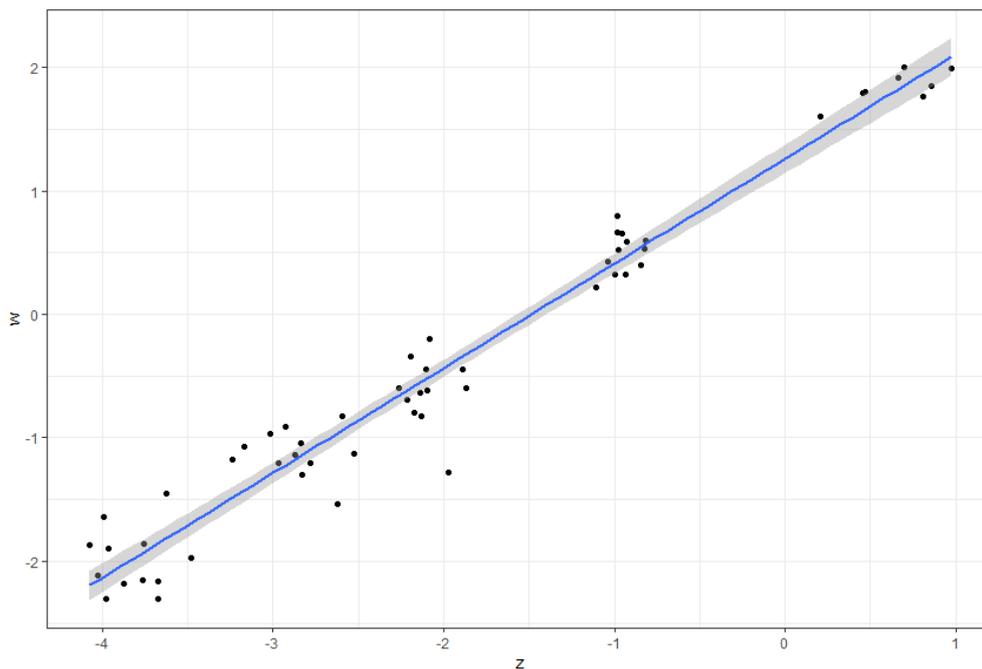


Abbildung 61: Log-transformierte Pyranin-Rückstände in den Petrischalen (z) und auf den Salat (w) im Testsystem Flächenkultur mit ermittelter Regressionsgeraden und Konfidenzintervall.

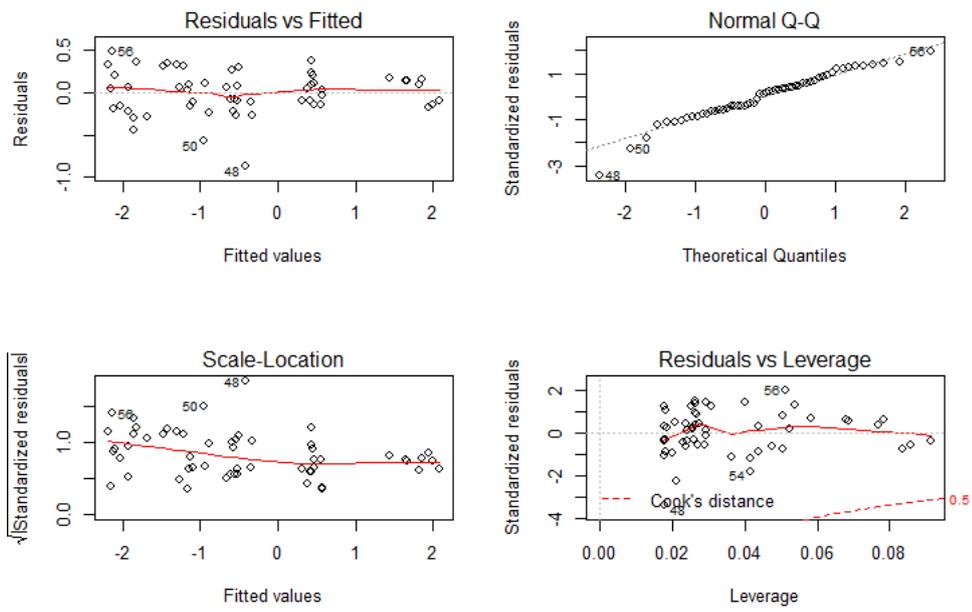


Abbildung 62: Diagnostic Plots: Salat, Testsystem Flächenkultur, mit Transformation.

VII. Nachbarschaftsanalysen mit GIS

Abbildung 63 zeigt die Heatmaps für die Raumkulturen Weinbau, Obstbau und Hopfen.

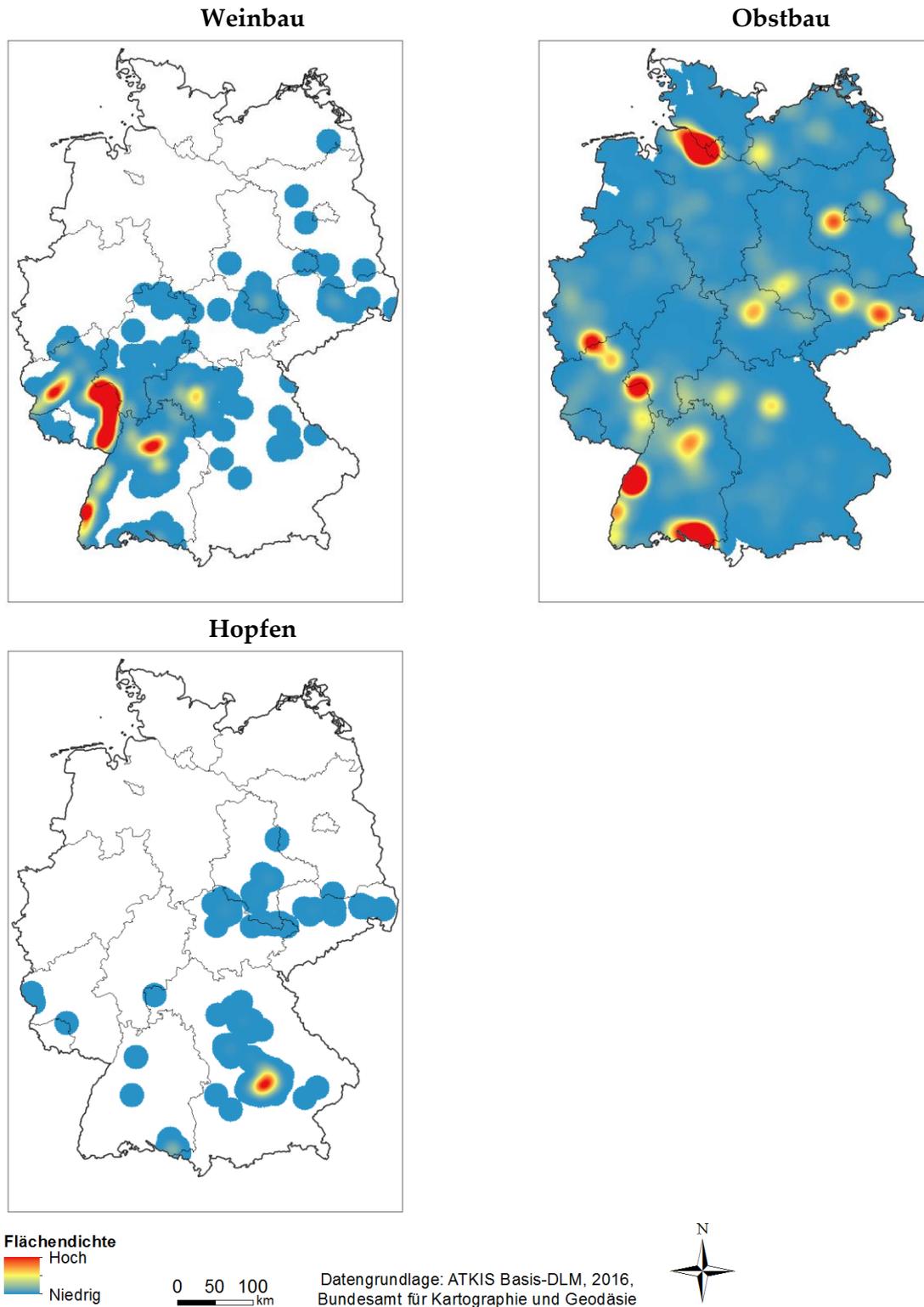


Abbildung 63: Heatmaps der Datensätze Weinbau, Obstplantage und Hopfen (ATKIS). Für Hopfen und Weinbau wurden 20.000 Layereinheiten als Radius gewählt.

Tabelle 41 zeigt die Ergebnisse der Schnittflächenberechnungen in RLP sowohl mit den ALKIS-, ALKIS/MAD- als auch mit den ATKIS-Daten.

Tabelle 41: Ergebnisse Schnittflächenberechnung in RLP mit den ATKIS- und den ALKIS-Daten. Schnittflächen von Puffern um verschiedene Kulturarten mit den Datensätzen Kleingarten, Garten, Garten-Potentialfläche bzw. MAD-Garten. In Klammern steht der Anteil an der jeweiligen Gesamtgartenfläche.

Schnittfläche	ATKIS [ha]	ALKIS [ha]
Kleingarten und Puffer-Raumkultur	2 (0,27 %)	1 (0,17 %)
Kleingarten und Puffer-Flächenkultur	7 (0,79 %)	3 (0,45 %)
Garten und Puffer-Raumkultur	-	168 (1,04 %)
Garten und Puffer-Flächenkultur	-	166 (1,03 %)
WohnenMitGarten und Puffer-Raumkultur	499 (0,39 %)	151 (0,21 %)
WohnenMitGarten und Puffer-Flächenkultur	669 (0,53 %)	178 (0,25 %)
Garten-Potentialfläche und Puffer-Raumkultur	501 (0,39 %)	320 (0,36 %)
Garten-Potentialfläche und Puffer-Flächenkultur	676 (0,53 %)	347 (0,39 %)
MAD-Garten und Puffer-Raumkultur	-	92 (0,30 %)
MAD-Garten und Puffer-Flächenkultur	-	132 (0,43 %)
Garten-Realflächen und Puffer-Raumkultur	-	261 (0,55 %)
Garten-Realfläche und Puffer-Flächenkultur	-	301 (0,63 %)

In Tabelle 42 sind die Flächengrößen der Datensätze, die für die Berechnungen für RLP verwendet wurden, angegeben.

Tabelle 42: Flächengrößen der für die Berechnungen in RLP verwendeten Datensätze.

Flächenart	ATKIS [ha]	ALKIS [ha]
Raumkultur	80.287	71.687
Flächenkultur	434.092	428.568
Kleingarten	834	602
Garten	-	16.140
Wohnen mit Garten	127.164	71.910
Garten-Potentialfläche	127.998	88.652
MAD-Garten	-	30.695
Garten-Realfläche	-	47.437

Tabelle 43 zeigt den Anteil an Kleingärten an der Gesamtkleingartenanzahl, die einen Abstand von > 0 bis 20 m zu Raum- und Flächenkulturen haben. Die Ergebnisse sind nach Bundesland aufgeschlüsselt.

Tabelle 43: Anteil der Kleingärten an der Gesamtkleingartenanzahl, die einen Abstand von > 0 bis 20 m zu Raum- oder Flächenkultur haben.

Bundesland	Abstand > 0 bis 20 m [% der Gesamtkleingartenanzahl]
Hamburg	0.7
Niedersachsen	3.4
Brandenburg	3.1
Mecklenburg-Vorpommern	3
Sachsen	3.3
Sachsen-Anhalt	3.1
Thüringen	3.9
Schleswig-Holstein	3
Bremen	2.4
Nordrhein-Westfalen	2.7
Hessen	4
Rheinland-Pfalz	6.6
Baden-Württemberg	4.8
Bayern	3.8
Saarland	5.8
Berlin	0.8

Tabelle 44 zeigt den Anteil an Garten-Potentialflächen an der Gesamtgarten-Potentialflächenanzahl, die einen Abstand von > 0 bis 20 m zu Raum- und Flächenkulturen haben. Die Ergebnisse sind nach Bundesland aufgeschlüsselt.

Tabelle 44: Anteil der Garten-Potentialflächen an der Gesamtanzahl mit Abstand von > 0 bis 20 m zu Raum- oder Flächenkultur.

Bundesland	Abstand > 0 bis 20 m [% der Gesamtgartenpotentialflächenanzahl]
Hamburg	1.1
Niedersachsen	3.4
Brandenburg	2.5
Mecklenburg-Vorpommern	2.7
Sachsen	3.6
Sachsen-Anhalt	3.8
Thüringen	3.8
Schleswig-Holstein	2.6
Bremen	0.9
Nordrhein-Westfalen	2.5
Hessen	3.2
Rheinland-Pfalz	3.2

Bundesland	Abstand > 0 bis 20 m [% der Gesamtgartenpotentialflächenanzahl]
Baden-Württemberg	3
Bayern	3.5
Saarland	3.2
Berlin	0.4

VIII. Lebenslauf

Beruflicher Werdegang

07/2019 – vsl. 12/2019	Bundesinstitut für Risikobewertung, Berlin Wissenschaftliche Mitarbeiterin <ul style="list-style-type: none">• Umsetzung der Ergebnisse der Dissertation in den regulatorischen Verfahren zur Zulassung von Pflanzenschutzmitteln
02/2015 – 08/2018	RLP Agrosience GmbH, Institut für Agrarökologie, Neustadt/Wstr.
06/2018 – 08/2018	Wissenschaftliche Mitarbeiterin (20 %) <ul style="list-style-type: none">• Literaturrecherche zum Thema Pflanzenschutzmittel in Gewässern
03/2016 – 04/2016	Wissenschaftliche Mitarbeiterin Projekt „Eh da-Flächen“
02/2015 – 02/2016	Bundesfreiwilligendienst Projekt „Lebensraumgutachten Rotwild“ <ul style="list-style-type: none">• Kartierung von Störfaktoren für Rotwild im Pfälzerwald in GIS Projekt „Eh da-Flächen“ <ul style="list-style-type: none">• Maßnahmen Erfassung zur Förderung der Biodiversität mit Fokus auf Blütenbestäubern• Erstellung von WebMaps Projekt „Etablierung der OECD Tests 221, 238 und 239“ <ul style="list-style-type: none">• Einrichtung der Testsysteme• Durchführung der Versuche• Pflege der Versuchspflanzen

Akademische Ausbildung

Seit 05/2016	Promotion an der Universität Koblenz-Landau, Landau Finanzierung: Bundesinstitut für Risikobewertung, Berlin Arbeitsplatz: RLP Agrosience GmbH, Institut für Agrarökologie, Neustadt/Wstr. Thema: „Abdriftbedingte Pflanzenschutzmittelrückstände in unbehandelten Kulturen auf angrenzenden Flächen“
--------------	--

10/2011 – 03/2014	Technische Universität Kaiserslautern Studiengang: BioScience Schwerpunkt: Biotechnologie Abschluss: Master of Science (1,4) Thema der Masterarbeit: „Induktion des ruhenden Phänotyps hepatischer Sternzellen in LX-2 Zellen sowie Isolierung und Charakterisierung von CPDHC am Modell hepatischer Sternzellen“
10/2008 – 08/2011	Technische Universität München Studiengang: Biologie Schwerpunkt: Ökotoxikologie Abschluss: Bachelor of Science (2,3) Thema der Bachelorarbeit: „Die ökotoxikologische Bewertung einer Pflanzenschutzmittelmischung in einem Freilandmesokosmos – Effekte auf die Makroinvertebratengesellschaft“
08/1999 – 03/2008	Kurfürst Ruprecht Gymnasium, Neustadt/Wstr. Abschluss: Abitur (2,5)

Ehrenamtliche Tätigkeiten

03/2016 – 11/2016	Ausbildung zur Biodiversitätsbotschafterin beim Nabu im Projekt „Lebensader Oberrhein“ <ul style="list-style-type: none"> • Schutz und Pflege von Flora und Fauna in und an Kleingewässern
Seit 2014	Greifvogelstation Haßloch (Nabu) <ul style="list-style-type: none"> • Pflege verletzter Greifvögel • Betreuung von Sommerferienaktionen

Weitere Qualifikationen

EDV-Kenntnisse:

MS Office (Word, Excel, PowerPoint)	Sehr gut
Geoinformationssysteme (ArcGIS, QGIS)	Sehr gut
Statistikprogramm R	Gut

Fremdsprachen:

Englisch	Fließend in Wort und Schrift
----------	------------------------------

Interessen

Sport

Wandern, Volleyball, Klettern

Vorträge auf wissenschaftlichen Fachtagungen

Bolz, H., Michalski, B., Sieke, C., Kubiak, R., Schäfer, S. (2018): Abdriftbedingte Pflanzenschutzmittelrückstände auf Lebensmitteln. 61. Deutsche Pflanzenschutztagung „Herausforderungen Pflanzenschutz – Wege in die Zukunft“, Universität Hohenheim, Hohenheim, Deutschland.

Bolz, H., Michalski, B., Sieke, C., Kubiak, R., Schäfer, S. (2017): Abdriftbedingte Pestizidrückstände in unbehandelten Kulturen auf angrenzenden Flächen. 22. Jahrestagung Society of Environmental Toxicology and Chemistry German Language Branch e.V. (SETAC GLB) “Intensiv genutzte Agrarlandschaften: Eine Herausforderung für die Umweltforschung?”, RLP Agrosience, Neustadt an der Weinstraße, Deutschland.

IX. Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Dissertation zum Thema

„Abdriftbedingte Pflanzenschutzmittelrückstände in unbehandelten Kulturen auf angrenzenden Flächen“

- (1) selbstständig verfasst und alle von mir für die Arbeit benutzten Hilfsmittel und Quellen in der Arbeit angegeben habe. Alle wörtlich oder inhaltlich den Schriften anderer Autorinnen oder Autoren entnommene Stellen sind als solche gekennzeichnet;
- (2) ohne die entgeltliche Hilfe von Vermittlungs- oder Beratungsdiensten verfasst habe;
- (3) nicht in gleicher oder ähnlicher Form als Prüfungsarbeit für eine staatliche oder andere wissenschaftliche Prüfung im In- oder Ausland eingereicht habe;
- (4) nicht in gleicher Form oder als eine andere Abhandlung in einem anderen Fachbereich oder an einer anderen wissenschaftlichen Hochschule als Dissertation eingereicht habe.

Mir ist bewusst, dass ein Verstoß gegen einen der vorgenannten Punkte den Entzug des Dokortitels bedeutet und ggf. auch weitere rechtliche Konsequenzen haben kann.

Berlin, 02.12.2019

(Hannah Bolz)