Heike Beismann und Martin Kuhlmann

Raumrepräsentativität technischer Pollensammler für ein Langzeitmonitoring von gentechnisch veränderten Pflanzen (GVP)





BfN-Skripten 169

Raumrepräsentativität technischer Pollensammler für ein Langzeitmonitoring von gentechnisch veränderten Pflanzen (GVP)

UFOPLAN - Förderkennzeichen 202 67 430 / 33

Heike Beismann Martin Kuhlmann



Titelfotos:

Foto links oben: Rapsblüte; Foto rechts oben: Maisblüte (beide: M. Kuhlmann)

Abbildung links unten: Region Fürstenfeldbruck: Falschfarbendarstellung LANDSAT-7 (Quelle: GAF,

München)

Abbildung rechts unten: Region Fürstenfeldbruck: Digitales Geländemodell DGM 25 (Quelle: Bayerisches Landesamt für Vermessung und Geoinformation, München), naturräumliche Haupteinheiten (Quelle: Bayerisches Landesamt für Umwelt, Augsburg) und Pollensammlerstandorte (Quelle: Eigene Daten)

Adressen der AutorInnen:

Dr. Heike Beismann Technische Universität München Martin Kuhlmann Lehrstuhl für Vegetationsökologie

Am Hochanger 6

85354 Freising / Weihenstephan

beismann@gmx.de kuhlmann_martin@web.de

Frank Berhorn, Fachgebiet I 1.3 "Monitoring"

Bund-Länder Modellprojekt im Auftrag des Umweltbundesamtes und des Bundesamtes für Naturschutz gefördert mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit und des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (Förderkennzeichen FKZ 202 67 430 / 33).

Als Download erhalten Sie den Skriptenband und den Anhang unter: http://www.bfn.de/

Die Beiträge der Skripten werden aufgenommen in die Literaturdatenbank "**DNL-online**" (www.dnl-online.de).

Die BfN-Skripten sind nicht im Buchhandel erhältlich.

Herausgeber: Bundesamt für Naturschutz (BfN)

Konstantinstr. 110 53179 Bonn Tel.: 0228/8491-0 Fax: 0228/8491-200 URL: http://www.bfn.de

Der Herausgeber übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit, die Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben sowie für die Beachtung privater Rechte Dritter. Die in den Beiträgen geäußerten Ansichten und Meinungen müssen nicht mit denen des Herausgebers übereinstimmen.

Nachdruck, auch in Auszügen, nur mit Genehmigung des BfN.

Druck: BMU-Druckerei

Gedruckt auf 100% Altpapier

Bonn - Bad Godesberg 2006

Inhaltsverzeichnis

1 Z	ZUSAMMENFASSUNG	1
1.1	Problemstellung und Zielsetzung	1
1.2	Vorarbeiten aus anderen Projekten	3
1.3	Bedeutung von Pollen-Expositionsmessungen	4
1.4	Projektbeschreibung	6
1.5	Ergebnisse	9
1.5.		
1.5.2		
1.5.3	•	
1.5.4	• • • • • • • • • • • • • • • • • • • •	
1.5.	Ž	
1.6	Schlussfolgerungen und Ausblick	12
1.6.	1 Wissenschaftliche Aspekte	12
1.6.2	2 Wirtschaftliche Aspekte	14
1.7	Kurzfassung und Abstract	15
1.7.	1 Kurzfassung	15
1.7.2	2 Abstract	18
2 N	MATERIAL UND METHODE	21
2.1	Kulturpflanzen	21
2.1.	1 Raps (Brassica napus L.)	21
2	2.1.1.1 Botanik	21
2	2.1.1.2 Blüte	21
2	2.1.1.3 Pollen	22
2	2.1.1.4 Landwirtschaftliche Praxis	22
2.1.2	2 Mais (Zea mays L.)	24
2	2.1.2.1 Botanik	24
2	2.1.2.2 Blüte	25
2	2.1.2.3 Pollen	25
2	2.1.2.4 Landwirtschaftliche Praxis	26
2.2	Technische Pollensammler	28
2.2.	1 Stand der Technik	28
2.2.2	2 Bau und Funktion	29
2	2.2.2.1 Sigma-2	29

2.2.2	.2 Pollenmassenfilter (PMF)	30
2.2.2	.3 Aufstellung im Gelände	32
2.3 U	ntersuchungsgebiet	32
2.3.1	Gebietsbeschreibung	
2.3.1	C	
2.3.1	-	
2.3.1		
2.3.1	.4 Landnutzung	35
2.4 R	aumbezogene Daten	36
2.4.1	Vektordaten – Meteorologie	36
2.4.2	Rasterdaten – Meteorologie	38
2.5 E	ntwicklung von Routine-Analysen zur Datenlieferung	
2.5.1	Automatische Bildanalyse	
2.5.1		
2.5.1	8 - 8	
2.5.1	8	
	5.1.3.1 Bildanalytische Methode	
	5.1.3.2 Training der Erkennung an einem Referenzbildarchiv	
	5.1.3.3 Erkennung unbekannter Pollen und anderer Aerosolpartikel	
2.5.2	Pollenmassenfilter	
2.5.2		
2.5.2		
2.5.2	5	
	5.2.3.1 Molekularbiologische DNA-Analytik	
2.5.3	5.2.3.2 Mikroskopische Pollenanalyse	
2.5.3	•	
2.5.3		
2.5.4	Datenaustauschprogramm/Datenhaltung	
2.5.4		
2.6 V	orversuche 2002 und Zusatzversuch 2004	53
2.7 Fo	eldversuche 2003	54
2.7.1	Pollenproben	54
2.7.1	.1 Entnahme der Proben	54
2.7.1	.2 Transport und Versand der Proben	55
2.7.1	.3 Entgegennahme der Ergebnisse	55
2.7.2	Kartierung der Raps- und Maisfelder	56
2.7.3	Felderkartierung mittels Fernerkundung	56
	aumrepräsentativität der Pollensammler	
2.8.1	Begriffsbestimmung "Raumrepräsentativität"	57

2.8.2	Auswahl repräsentativer Pollensammler-Standorte	59
2.8.3	Abstandsanalyse	61
2.8.3.	Entfernung zum nächsten Feld	61
2.8.3.2	Abstand zwischen Pollensammler und nächstem Feld	61
2.8.4	Ausbreitungsmodell AUSTAL2000	61
2.8.5	Entwicklung des Pollendepositionsindex als Ausbreitungsmodell	63
2.8.5.	Anwendung des PDI auf die Pollensammler-Standorte	63
2.8.5.2	Anwendung des PDI auf das Untersuchungsgebiet	65
2.9 Ge	ostatistische Modellierung	65
3 ERGI	EBNISSE MIT DISKUSSION	67
3.1 Au	tomatische Bildanalyse	67
3.1.1	Projektverlauf	
3.1.2	Feldversuch: Erste automatische Erkennungsstufe	
3.1.3	Visuelle Überprüfung der ersten Erkennungsstufe	
3.1.4	Datengrundlage der automatischen Klassifizierung	71
3.1.4.1	Erste Erkennungsstufe (5-fache Objektivvergrößerung)	71
3.1.4.2	Zweite Erkennungsstufe (20-fache Objektivvergrößerung)	72
3.1.5	Bewertung	72
3.1.6	Fehlerbetrachtung	73
3.1.7	Schlussfolgerungen	75
3.1.8	Ausblick	76
3.2 Pol	lenmassenfilter	77
3.2.1	Ergebnisse	77
3.2.1.	Qualitative Analyse des Pollenspektrums	77
3.2.1.2	Quantitative Analyse der Pollenanzahl und des Pollenflusses	77
3.2.2	Bewertung	79
3.3 PC	R-Analysen	
3.3.1	Ergebnisse für Pollen von der Rapsblüte	79
3.3.2	Ergebnisse für PMF-Proben von 2002.	80
3.3.3	Lösungsansätze zur Behebung des Grundproblems	81
3.3.4	Ergebnisse für PMF-Proben von 2003	
3.3.5	Diskussion der PCR-Ergebnisse	
3.3.6	Vergleichsmessungen mit anderen Labors	85
3.3.6.	<i>y</i>	
3.3.6.2		
3.3.6.3		
3.3.7	Schlussfolgerungen	91
3.3.8	Ausblick - Bewertung verschiedener Probenmatrizes	92
3.4 Da	tenaustauschprogramm	93

3.4.1	.1 W	/ichtigste Ergebnisse	93
3.4.1	.2 Da	as globale abstrakte Datenmodell	93
3.4.1	.3 Da	atentypen und Datenpakete	96
3.	4.1.3.1	Datentypen	96
3.	4.1.3.2	Datenpaket	99
3.4.1	.4 In	nplementierung	100
3.4.1	.5 Ze	entrale Datenhaltung	101
3.4.1	.6 Ei	insatz des Programms nach der Beendigung des Projekts	102
3.5 V	orversuc	the 2002 und Zusatzversuch 2004	103
3.5.1	Vorv	versuche 2002	103
3.5.1	.1 Q	ualitative und quantitative Pollennachweise	103
3.5.1	.2 K	orrelation der Pollendeposition mit der Meteorologie	104
3.5.2	Zusa	tzversuch 2004	105
3.5.2	.1 Po	ollendeposition am Tag und in der Nacht	105
3.5.2	.2 Pr	rüfung der Doppelmessung	105
3.5.2	.3 K	orrelation der Pollendeposition mit der Meteorologie	106
3.5.2	.4 M	Iultiple lineare Regression der Pollendeposition mit der Meteorologie	107
3.6 F	eldversu	ch 2003	109
3.6.1	Klim	natisch-meteorologische Verhältnisse	109
3.6.1	.1 A	llgemeine Witterungsverhältnisse und Vegetationsentwicklung	109
3.6.1	.2 V	erwendete Messstationen	109
3.6.1	.3 W	⁷ inddaten	110
3.6.1	.4 Ra	apsversuch – Vergleich der Messstationen	113
3.6.1	.5 Ra	apsversuch – Bedingungen für Pollenflug	114
3.	6.1.5.1	17. Woche	116
3.	6.1.5.2	18. Woche	116
3.	6.1.5.3	19. Woche	116
3.	6.1.5.4	20. Woche	116
3.6.1	.6 M	Iaisversuch – Vergleich der Messstationen	117
3.6.1	.7 M	Iaisversuch – Bedingungen für Pollenflug	117
3.	6.1.7.1	27. Woche	119
3.	6.1.7.2	28. Woche	119
3.	6.1.7.3	29. Woche	119
3.	6.1.7.4	30. Woche	119
3.6.2	Samr	melleistung der Pollensammler	120
3.6.3	Verte	eilung der Raps- und Maisfelder	126
3.6.4	Satel	llitenbildauswertung	129
3.7 R	aumrepr	räsentativität der Pollensammler	130
3.7.1	Ausv	wahl repräsentativer Pollensammler-Standorte	130
3.7.1	.1 M	Iultidimensionales Nachbarschafts-Repräsentanzmaß (MNR)	136
3.7.2	Absta	andsanalyse	138
277	1 D.	ntformung zum nägheten Fold	120

3.7.2.2	Abstand zwischen Pollensammler und nächstem Feld	139
3.7.3	Nachbarschaftsanalyse mit PDI	143
3.7.4	Pollen-Ausbreitungsmodell	145
3.7.4.1	I AUSTAL2000	145
3.7.4.2	Anwendung des PDI auf die Sammlerstandorte	148
3.7.4.3	Anwendung des PDI auf das Untersuchungsgebiet	153
3.7.5	Notwendige Anzahl von Pollensammlern für ein Pollenmonitoring	156
3.8 Ge	ostatistische Modellierung	158
3.8.1	Untersuchung der Variablen	158
3.8.1.	l Rapspollensammler	158
3.8	.1.1.1 Räumliche Verteilung der Pollensammler	158
3.8	.1.1.2 Pollensammlertypen	159
3.8	.1.1.3 Rapsfelder	160
3.8.1.2	2 Maispollensammler	160
3.8	.1.2.1 Räumliche Verteilung	160
3.8	.1.2.2 Pollensammlertypen	161
3.8	.1.2.3 Maisfelder	162
3.8.1.3	3 Wind	162
3.8.1.4	Temperatur und Niederschlag	163
3.8.2	Analyse der Rapspollenverbreitung	163
3.8.2.	Auswahl der Variablen	163
3.8.2.2	2 Standorte mit Pollenanzahl unter der Nachweisgrenze (PMF)	169
3.8.2.3		
3.8.2.4		
3.8.2.5	5 Meteorologische Daten	174
3.8.2.6	Geländeform	174
3.8.3	Analyse der Maispollenverbreitung	175
3.8.3.	Auswahl der Variablen und Regressionsanalyse	175
3.8.3.2	2 Meteorologische Daten	180
3.8.4	Diskussion der geostatistischen Modellierung	180
3.8.4.		
3.8.4.2	2 Analyse der Rapspollenverbreitung	181
3.8.4.3		
3.8.4.4		
4 BEW	ERTUNG DER ERGEBNISSE UND SCHLUSSFOLGERUNGEN	183
4.1 Pol	llendeposition auf mesoskaliger Ebene	183
	chnische Pollensammler	
	danalyse	
	olekulargenetische Analyse	

4.5	Datenaustauschprogramm	185
4.6	Repräsentativität der Pollensammler-Standorte	185
4.7	Pollendepositionsindex	186
5	EMPFEHLUNGEN	188
6	LITERATUR	190

DANKSAGUNG

ANHANG

Abbildungsverzeichnis

Abb.	. 1: Anteil von Raps und Mais an der landwirtschaftlich genutzten Fläche in Bayern	23
Abb.	. 2: Anordnung der Pollensammler Sigma-2 und PMF	31
Abb.	. 3: Lage des Untersuchungsgebietes	33
Abb.	. 4: Temperatur- und Niederschlagsdiagramm von Augsburg-Mühlhausen, München-Riem Freising-Weihenstephan (Müller-Westermeier 1996)	
Abb.	. 5: Aktuelles und ehemaliges Messnetz des DWD (FF-Datenkollektiv: Windgeschwindigkeit Windrichtung) im Untersuchungsgebiet und dessen Umgebung	
Abb.	. 6: Präparation der PMF-Proben für die PCR-Analytik und die mikroskopische Pollenanalyse	44
Abb.	. 7: Mittlere Pollendepositionsraten für verschiedene Pollenspezies während der Blühphase des l	Raps
	2003	68
Abb.	. 8: Mittlere Pollendepositionsraten für verschiedene Pollenspezies während der Blühphase des I 2003	
Abb.	. 9: Validierung der automatischen Auswertung der Proben aus dem Feldversuch während Blühphase des Raps 2003 auf der Basis einer Bilderzeugung mit fünffacher Objektivvergrößeru	
Abb.	. 10: Validierung der automatischen Auswertung der Proben aus dem Feldversuch während	der
	Blühphase des Mais 2003 auf der Basis einer Bilderzeugung mit fünffacher Objektivvergrößeru	ng.7
Abb.	. 11: 95%-Vertrauensbereich für das Zählergebnis, berechnet nach der inversen Poisson-Verteilung	ng74
Abb.	. 12: Zählfehler aus der inversen Poisson-Verteilung: Ab ca. 100 Ereignissen kann	die
	Näherungsformel verwendet werden.	74
Abb.	. 13: Verteilung der Messwerte der Rapspollenanzahl (PMF-Proben, Rapsversuch, n=50, Wer	
	NWG durch 2/3 NWG ersetzt)	78
Abb.	. 14: Verteilung der Messwerte der Maispollenanzahl (PMF-Proben, Maisversuch, n=49)	79
	. 15: Verschiedene Filterproben nach der Aufnahme des Belags in Glycerinlösung	
	. 16: Mikroskopische Darstellung verschiedener Filterproben	
Abb.	. 17: Entitäten des globalen abstrakten Datenmodells (1); übernommen von DWD-Datenmo (GFMM, Freiburg)	
Abb.	. 18: Entitäten des globalen abstrakten Datenmodells (2); übernommen von DWD-Datenmo	odell
	(GFMM, Freiburg)	94
Abb.	. 19: Erweiterung des globalen abstrakten Datenmodells: GeoRechteck	95
Abb.	. 20: Erweiterung des globalen abstrakten Datenmodells: Benutzer-Zuordnung	96
Abb.	. 21: XML-Schema: Kommentare	96
Abb.	. 22: XML-Schema: Partner	97
Abb.	. 23: XML-Schema: GeoPunkt	97
Abb.	. 24: XML-Schema: GeoRechteck	97
Abb.	. 25: XML-Schema: Zusammengesetzter Schlüssel	97
Abb.	. 26: XML-Schema: Stationen	98
Abb.	. 27: XML Schema: Gerätetypen	98
	. 28: XML-Schema: Proben	
Abb.	. 29: XML-Schema: Messwerte	99
	. 30: XML-Schema: Datentyp des Datenpakets	
Abb.	. 31: Zentrale Datenhaltung mit JTieX	.102
Abb.	. 32: Einflussfaktoren der Pollendeposition windblütiger Pflanzen	.104

Abb.	33: Tagesmittel der Windgeschwindigkeit von Messstationen in und außerhalb des
	Untersuchungsgebietes während des Rapsversuchs (Unterteilung: Expositionsdauer Sigma-2-
	Sammler, 1720. Woche)
Abb.	34: Tagesmittel der Windgeschwindigkeit von Messstationen in und außerhalb des
	Untersuchungsgebietes während des Maisversuch (Unterteilung: Expositionsdauer Sigma-2-
	Sammler, 2730. Woche)
Abb.	35: Tagesmittel der Lufttemperatur von Messstationen im Untersuchungsgebiet während des
	Rapsversuchs (Unterteilung: Expositionsdauer Sigma-2-Sammler, 1720. Woche)115
Abb.	36: Tagesmittel der Lufttemperatur von Messstationen im Untersuchungsgebiet während des
	Maisversuchs (Unterteilung: Expositionsdauer Sigma-2-Sammler, 2730. Woche)
Abb.	37: Korrelation der Rapspollenanzahl von Sigma-2 mit PMF (95%-Konfidenzintervall; $n=13$) 125
Abb.	$\textbf{38:} \ Korrelation \ der \ Maispollenanzahl \ von \ Sigma-2 \ mit \ PMF \ (95\%-Konfidenzintervall; \ n=25) \ 125 \ mathematical \ 25 \ math$
Abb.	39: Korrelation der Rapspollenanzahl mit dem Rapspollenanteil an den Gesamtpollen (PMF; n =
	44)
Abb.	40: Korrelation der Maispollenanzahl mit dem Maispollenanteil an den Gesamtpollen (PMF; n =
	49)
Abb.	41: Verteilung der Rapsfelder im Untersuchungsgebiet 2003
Abb.	42: Verteilung der Maisfelder im Untersuchungsgebiet 2003
Abb.	43: Stratum Orografie - Vergleich der geplanten und realisierten Standorte
Abb.	44: Verteilung der Geländehöhe im Untersuchungsgebiet, basierend auf 1m-Höhenintervall
	(Quelle: BLVA und eigene Berechnung)
Abb.	45: Stratum landwirtschaftliche Nutzung - Vergleich der geplanten und realisierten Standorte 133
Abb.	46: Standorte der Pollensammler bei den Feldversuchen 2003
Abb.	47: Vergleich der Ökologischen Raumklassen (Variante UBA PNV IX, 21 Klassen) nach Schröder
	et al. (2001) mit den Naturräumlichen Haupteinheiten nach Meynen et al. (1962) und LfU im
	Untersuchungsgebiet 136
Abb.	48: MNR (RI) der Kartenebene "naturräumlichen Haupteinheiten" des Untersuchungsgebietes
	(Nachbarschaftsradius = 100 m, entspricht 7 x 7 Rasterzellen)
Abb.	49: Rapspollendepositionsrate (Sigma-2) in Abhängigkeit vom nächsten Rapsfeld und vom
	Zeitpunkt (Standorte = 15, Probenanzahl = 20)
Abb.	50: Maispollendepositionsrate (Sigma-2) in Abhängigkeit vom nächsten Maisfeld und vom
	Zeitpunkt (Standorte = 26, Probenanzahl = 52)
Abb.	51: Rapspollenfluss (PMF) in Abhängigkeit vom nächsten Rapsfeld (n=44)
Abb.	52: Maispollenfluss (PMF) in Abhängigkeit vom nächsten Maisfeld (n=49)
Abb.	53: Summierte Fläche der Raps- und Maisfelder in der Umgebung der Pollensammlerstandorte
	(Berechnung nach PDI-Formel 1)
Abb.	54: Verteilung der Rapsfelder im Umkreis der Rapspollensammler entsprechend der
	Himmelsrichtungen 144
Abb.	55: Verteilung der Maisfelder im Umkreis der Maispollensammler entsprechend der
	Himmelsrichtungen 145
Abb.	56: Rapspollen-Deposition im Untersuchungsgebiet während des Feldversuchs 2003 basierend auf
	Berechnungen mit AUSTAL2000
Abb.	57: Rangkorrelation der gemessenen (Sigma-2) und der berechneten (PDI Formel 1 und 17)
	Deposition von Ranspollen (n=9)

Abb.	58: Rangkorrelation der gemessenen (PMF) und der berechneten (PDI Formel 1 und 16) Depos	itior
	von Rapspollen (n=33)	.150
Abb.	59: Rangkorrelation der gemessenen (Sigma-2) und der berechneten (PDI Formel 1 und	21c)
	Deposition von Maispollen (n=21).	.151
Abb.	60: Rangkorrelation der gemessenen (PMF) und der berechneten (PDI Formel 1 und	21c)
	Deposition von Maispollen (n=38).	.152
Abb.	61: Klassifizierung der relativen Pollendeposition im Untersuchungsgebiet basierend auf	dem
	Pollendepositionsindex (PDI Formel 1, Rapsfelder 2003, 500 m Nachbarschaftsraum)	.154
Abb.	62: PCA-Analyse der Sammlerstandorte (Mais) beruhend auf den Messergebnissen	de
	Pollensammler Sigma-2 und PMF in 2003 (1. Achse erklärt 75,7% der Varianz).	. 157
Abb.	63: Rapsfelder und Standorte der Pollensammler und deren westliche und südwestl	liche
	Verbindungslinie	. 168
Abb.	64: Lage der Ausreißer bei der Regressionsanalyse mit den Variablen Logarithmus	vor
	Rapspollenzahlen und der Entfernung zum Rand des westlichen Feldes.	. 172
Abb.	65: Geländeformen zwischen Rapsfeldern und Pollensammlern	. 175
Abb.	66: Maisfelder und Sigma-2-Pollensammler und deren Verbindungslinien	.178

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Pollenproduktion von Mais	26
Tab. 2: Anteil von Raps und Mais an der landwirtschaftlich genutzten Fläche in Deutschland,	Bayern
und im Landkreis Fürstenfeldbruck	27
Tab. 3: Naturräumliche Haupteinheiten im Untersuchungsgebiet	33
Tab. 4: Prozentuale Verteilung der Landnutzungstypen im Untersuchungsgebiet (LfU, PbS	, eigene
Berechnung)	36
Tab. 5: Anzahl PMF, Standorte und Proben während der Rapsblüte in 2003	42
Tab. 6: Anzahl PMF, Standorte und Proben während der Maisblüte in 2003	42
Tab. 7: Expositionsdauer der Sigma-2- und PMF-Proben 2003 (Rapsversuch)	54
Tab. 8: Expositionsdauer der Sigma-2- und PMF-Proben 2003 (Maisversuch)	55
Tab. 9: Verwendete Software	66
Tab. 10: Pollenanzahl und Pollenfluss der PMF von Raps- (n = 44) und Maisversuch (n = 49)	78
Tab. 11: Nachweis rapsspezifischer DNA in ausgewählten Filterproben aus 2003 (Ct-Wert)	83
Tab. 12: Nachweis maisspezifischer DNA in ausgewählten Filterproben aus 2003 (Ct-Wert)	83
Tab. 13: PMF Probenserie aus Rapsversuchen	87
Tab. 14: Ergebnisse aus den Vergleichsmessungen am LfU	91
Tab. 15: Bewertung verschiedener Matrizes für die GVO-Pollen-Analytik	92
Tab. 16: Rangkorrelation der Pollendeposition /-srate am Standort A und B mit meteorolo	ogischen
Messgrößen (n = 28)	106
Tab. 17: Ergebnisse der multiplen linearen Regression zwischen dem dekadischen Logarith	mus der
Pollendeposition und den meteorologischen Messgrößen	107
Tab. 18: Stationsinformationen	110
Tab. 19: Korrelation der Tagesmittel der Windgeschwindigkeit von Messstationen in und außer	halb des
Untersuchungsgebietes	112
Tab. 20: Häufigkeitsverteilung der Stundenmittel der Windrichtung von Messstationen in und at	ußerhalb
des Untersuchungsgebietes	113
Tab. 21: Korrelation der meteorologischen Tageswerte (Rapsversuch) von Messstatio	nen im
Untersuchungsgebiet (n = 29)	
Tab. 22: Korrelation der meteorologischen Tageswerte (Maisversuch) von Messstatio	nen im
Untersuchungsgebiet (n = 28)	117
Tab. 23: Nachweis von Raps- und Maispollen in den Proben der Pollensammler Sigma-2	*
Konfidenzintervall) und PMF	
Tab. 24: Sammelleistung von Sigma-2 (Rapspollen / 200 mm² bzw. Maispollen / 324 mm²) u	nd PMF
(Pollen / Probe) bezüglich Raps- und Maispollen	
Tab. 25: Wöchentliche Deposition (Pollen/200 mm²) an Rapspollen und Gesamtpollen (Sigma-2)	122
Tab. 26: Wöchentliche Deposition (Pollen/324 mm²) an Maispollen und Gesamtpollen (Sigma-2)	
Tab. 27: Korrelation der Sammelleistung von Sigma-2 (Deposition) mit PMF (Anzahl/Probe)	
Tab. 28: Beschreibende Statistik zu den Rapsfeldern bezogen auf die naturräumlichen Haupteinho	
Tab. 29: Beschreibende Statistik zu den Maisfeldern bezogen auf die naturräumlichen Haupteinhe	
Tab. 30: Aufteilung der Pollensammler auf die naturräumlichen Haupteinheiten im Untersuchung	_
Tab. 31: Lagemaße der Verteilung der Geländehöhe im Untersuchungsgebiet und der Pollens	
Standarta	122

Tab.	32: Lagemaße der Verteilung der Pollensammler-Standorte und eines Rasters bezüglich d	ler
	"Entfernung zum nächsten Feld" innerhalb des landwirtschaftlich genutzten Raums1	34
Tab.	33: Entfernung zum nächsten Raps- bzw. Maisfeldern im landwirtschaftlich genutzten Raum d	es
	Untersuchungsgebiets im Jahr 2003	39
Tab.	34: Entfernung der Pollensammler-Standorte zum nächsten Raps- bzw. Maisfeld	39
Tab.	35: Korrelation der Pollenanzahl von Sigma-2 und PMF mit der Entfernung zum nächsten Rap	S-
	bzw. Maisfeld1	43
Tab.	36: Vergleich der Eingabeparameter für die Pollenausbreitung auf lokaler Ebene (Feldversuc	he
	2002) und regionaler Ebene (Untersuchungsgebiet 2003)	46
Tab.	37: Rangkorrelation der berechneten (PDI) und der gemessenen (Sigma-2 und PMF) Deposition	on
	von Raps- und Maispollen (Korrelation mit "Entfernung zum nächsten Raps- bzw. Maisfeld" zu	ım
	Vergleich)	53
Tab.	38: Flächenstatistik der relativen Deposition von Rapspollen im Agrarökosystem und	m
	Untersuchungsgebiet. Berechnung basierend auf dem Pollendepositionsindex (PDI Formel	1,
	Rapsfelder 2003, 500 m Nachbarschaftsraum)	55
Tab.	39: Vergleich der Ausbreitungsmodelle PDI und AUSTAL2000 für Rapspollen auf mesoskalig	ger
	Ebene unter den Bedingungen des Feldversuchs 2003 (Berechnungsraster 100 x 100 m)1	55
Tab.	40: Vergleich der Häufigkeitsverteilung der PDI-Werte (Formel 1, 500 m) im Agrarökosystem u	nd
	der Pollensammlerstandorte (Raps)	58
Tab.	41: Vergleich der Häufigkeitsverteilung der PDI-Werte (Formel 1, 400 m) im Agrarökosystem u	nd
	der Pollensammlerstandorte (Mais)	58
Tab.	42: Nearest Neighbor Analyse und Moran's I Statistik der Rapspollensammler	59
Tab.	43: Beschreibende Statistik der Gesamtergebnisse der Sigma-2-Sammler und Pollenmassenfilter f	ùr
	die Rapspollen1	59
Tab.	44: Anzahl der Nullwerte der Sigma-2-Sammler bei den Rapspollen	60
Tab.	45: Rangkorrelation zwischen den Summenwerten des Sigma-2-Sammlers und d	les
	Pollenmassenfilters mit allen Sammlern (N=50) und unter Nichtberücksichtigung der 5 höchst	en
	Werte des Pollenmassenfilters	60
Tab.	46: Nearest Neighbor Analyse und Moran's I Statistik der Maispollensammler	61
Tab.	47: Beschreibende Statistik der Gesamtergebnisse der Sigma-2-Sammler und Pollenmassenfilter f	ùr
	die Maispollen	61
Tab.	48: Anzahl der Nullwerte der Sigma-2-Sammler bei den Maispollen	62
Tab.	49: Rangkorrelation zwischen den Summenwerten des Sigma-2-Sammlers und d	es
	Pollenmassenfilters mit allen Sammlern (N=49) und unter nicht Berücksichtigung der 3 höchst	en
	Werte	62
Tab.	50: Beschreibende Statistik der Temperatur (1/10 °C) und der Regensummen (mm/m²) des Mona	
	April1	63
Tab.	51: Beschreibende Statistik zu den 50 Rapsfeldern, die den Rapspollensammlern am nächsten lage	n.
	Variablen: Entfernung zum nächsten Feld, Feldgröße, Feldumfang, Fläche und Umfang von	on
	Feldgruppen1	
Tab.	52: Korrelationsanalyse des natürlichen Logarithmus der Entfernungen, Flächengrößen u	nd
	Umfänge der Rapsfelder mit dem natürlichen Logarithmus der Rapspollenanzahlen des PMF1	
Tab.	53: Korrelationsanalyse des natürlichen Logarithmus der Entfernungen der Rapsfelder mit de	m
	natürlichen Logarithmus der Rapspollenanzahlen des PMF bzw. *Winkel-Linear-Korrelation na	ch
	Johnson & Wehrly	67

Tab. 54: Ursachen der Pollenanzahl an der Beobachtungsgrenze beim Massenpollensammler
Tab. 55: Korrigiertes Bestimmtheitsmaß für die Windrichtungen West, Südwest und Nordwest
Tab. 56: Resultate der Regressionsanalyse zwischen dem natürlichen Logarithmus der Pollenanzahl PMF
und der Entfernung zum westlichen Feldrand (ohne Pollensammler 13, 22, 40 und 50 und Sammler
bei denen kein Feld in westlicher Richtung vorgelagert war)
Tab. 57: Korrelationsanalyse zwischen der Anzahl der Rapspollen des PMF und den Summenwerten vor
Temperatur bzw. Regen der westlich gelegenen Felder während des Monats April174
Tab. 58: Beschreibende Statistik zu den Maisfeldern, die den 49 Pollensammlern am nächsten lagen
(Variablen: Entfernung zum nächsten Feldrand, Feldgröße und Feldumfang)176
Tab. 59: Korrelationsanalyse des natürlichen Logarithmus von Entfernung, Flächengrößen und Umfänge
der Maisfelder mit dem natürlichen Logarithmus der Maispollenanzahlen des PMF sowie des
Sigma-2-Pollensammlers bzw. *Winkel-Linear-Korrelation nach Johnson & Wehrly177
Tab. 60: Resultate der Regressionsanalyse zwischen dem natürlichen Logarithmus der Anzahl der Pollen
des PMF und der Entfernung zum Feldrand (ohne Berücksichtigung der Felder im Süden sowie
dem Pollensammler 29)
Tab. 61: Korrelationsanalyse des natürlichen Logarithmus der Entfernung zum nächsten bis zum
viertnächsten Maisfeld und dem natürlichen Logarithmus der Maispollenanzahlen der Sigma-2-
Pollensammler
Tab. 62: Korrelationsanalyse der Pollenanzahl der Sigma-2-Pollensammler und den Werten von
Temperatur bzw. Regensumme der am nächsten gelegenen Feldern (ohne die im Süden gelegener
Felder) während des Monats Juli

Abkürzungsverzeichnis

** Signifikante Korrelation auf dem 5%-Signifikanzniveau ** Signifikante Korrelation auf dem 1%-Signifikanzniveau AG Arbeitsgemeinschaft AI ArcInfo, GIS-Software (ESRI) AKTerm Ausbreitungsklassen-Zeitreibe ALH Ammer-Loisach-Hügelland AML Are Macro Language ASCII American Standard Code for Information Interchange ASTER Advanced Spaceborne Thermal Emission & Reflection Radiometer ATCOR Atmospheric Correction, GIS-Software (Leica Geosystems) ATKIS© Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem AV ArcView, GIS-Software (ESRI) BIN Bundesamt für Naturschutz BKG Bundesamt für Kartographie und Geodäsie, Frankfurt/M. BLVA Bayerisches Landesvermessungsamt, München BMBF Bundesministerium für Bildung und Forschung, Bonn, Berlin BMU Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Berlin, Bonn BMVEL Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft, Bonn, Berlin Bt Bacillus thuringiensis BW Bundeswehr CEN Comité Européen de Normalisation Ct Treshold Cycle DGM Digitales Geländemodell DIH Donau-Isar-Hügelland DNA Deoxyribonucleic Acid DNS Desoxyribonucleic Acid DNS Desoxyribonucleic Acid DNS Desoxyribonucleic Acid DNS Desoxyribonucleic Acid EEFSA European Food Safety Authority ER-Modell Entitäten-Relationenmodell ESRI Environmental Systems Research Institute, Redlands, CA, USA EUROMAP Euromap, Satellitendaten-Vertriebsgesellschaft mbH, Neustrelitz F&E Forschung & Entwicklung FFB Fürstenfeldbrucker Hügelland		
AG Arbeitsgemeinschaft AI ArcInfo, GIS-Software (ESRI) AKTerm Ausbreitungsklassen-Zeitreihe ALH Ammer-Loisach-Hügelland AML Arc Macro Language ASCII American Standard Code for Information Interchange ASTER Advanced Spaceborne Thermal Emission & Reflection Radiometer ATCOR Atmospheric Correction, GIS-Software (Leica Geosystems) ATKIS© Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem AV AreView, GIS-Software (ESRI) BIN Bundesamt für Naturschutz BKG Bundesamt für Kartographie und Geodäsie, Frankfurt/M. BLVA Bayerisches Landesvermessungsamt, München BMBF Bundesministerium für Bildung und Forschung, Bonn, Berlin BMU Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Berlin, Bonn BMVEL Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft, Bonn, Berlin Bt Bacillus thuringiensis BW Bundeswehr CEN Comité Européen de Normalisation Ct Threshold Cycle DGM Digitales Geländemodell DIH Donau-Isar-Hügelland DNA Deoxyribonucleic Acid DNS Desoxyribonukleinsäure DWD Deutscher Wetterdienst, Offenbach (Zentrale) EFSA European Food Safety Authority ER-Modell Entitäten-Relationenmodell ESRI Environmental Systems Research Institute, Redlands, CA, USA EUROMAP Euromap, Satellitendaten-Vertriebsgesellschaft mbH, Neustrelitz F&E Forschung & Entwicklung FFB Fürstenfeldbruck	*	Signifikante Korrelation auf dem 5%-Signifikanzniveau
AI ArcInfo, GIS-Software (ESRI) AKTerm Ausbreitungsklassen-Zeitreihe ALH Ammer-Loisach-Hügelland AML Arc Macro Language ASCII American Standard Code for Information Interchange ASTER Advanced Spaceborne Thermal Emission & Reflection Radiometer ATCOR Atmospheric Correction, GIS-Software (Leica Geosystems) ATKIS© Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem AV AreView, GIS-Software (ESRI) BfN Bundesamt für Naturschutz BKG Bundesamt für Kartographie und Geodäsie, Frankfurt/M. BLVA Bayerisches Landesvermessungsamt, München BMBF Bundesministerium für Bildung und Forschung, Bonn, Berlin BMU Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Berlin, Bonn BMVEL Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft, Bonn, Berlin Bt Bacillus thuringiensis BW Bundeswehr CEN Comité Européen de Normalisation Ct Threshold Cycle DGM Digitales Geländemodell DIH Donau-Isar-Hügelland DNA Deoxyribonucleic Acid DNS Desoxyribonukleinsäure DWD Deutscher Wetterdienst, Offenbach (Zentrale) EFSA European Food Safety Authority ER-Modell Entitäten-Relationenmodell ESRI Environmental Systems Research Institute, Redlands, CA, USA EUROMAP Euromap, Satellitendaten-Vertriebsgesellschaft mbH, Neustrelitz F&E Forschung & Entwicklung FFB Fürstenfeldbruck	**	Signifikante Korrelation auf dem 1%-Signifikanzniveau
AKTerm Ausbreitungsklassen-Zeitreihe ALH Ammer-Loisach-Hügelland AML Are Macro Language ASCII American Standard Code for Information Interchange ASTER Advanced Spaceborne Thermal Emission & Reflection Radiometer ATCOR Atmospheric Correction, GIS-Software (Leica Geosystems) ATKIS© Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem AV ArcView, GIS-Software (ESRI) BifN Bundesamt für Naturschutz BKG Bundesamt für Kartographie und Geodäsie, Frankfurt/M. BLVA Bayerisches Landesvermessungsamt, München BMBF Bundesministerium für Bildung und Forschung, Bonn, Berlin BMU Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft, Bonn, Berlin Bt Bacillus thuringiensis BW Bundeswehr CEN Comité Européen de Normalisation Ct Threshold Cycle DGM Digitales Geländemodell DIH Donau-Isar-Hügelland DNA Deoxyribonucleic Acid DNS Desoxyribonukleinsäure DWD Deutscher Wetterdienst, Offenbach (Zentrale) EFSA European Food Safety Authority ER-Modell Entitäten-Relationenmodell ESRI Environmental Systems Research Institute, Redlands, CA, USA EUROMAP Euromap, Satellitendaten-Vertriebsgesellschaft mbH, Neustrelitz F&E Forschung & Entwicklung FFB Fürstenfeldbruck	AG	Arbeitsgemeinschaft
ALH Ammer-Loisach-Hügelland AML Are Macro Language ASCII American Standard Code for Information Interchange ASTER Advanced Spaceborne Thermal Emission & Reflection Radiometer ATCOR Atmospheric Correction, GIS-Software (Leica Geosystems) ATKIS© Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem AV AreView, GIS-Software (ESRI) BfN Bundesamt für Naturschutz BKG Bundesamt für Kartographie und Geodäsie, Frankfurt/M. BLVA Bayerisches Landesvermessungsamt, München BMBF Bundesministerium für Bildung und Forschung, Bonn, Berlin BMU Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Berlin, Bonn BMVEL Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft, Bonn, Berlin Bt Bacillus thuringiensis BW Bundeswehr CEN Comité Européen de Normalisation Ct Threshold Cycle DGM Digitales Geländemodell DIH Donau-Isar-Hügelland DNA Deoxyribonucleic Acid DNS Desoxyribonukleinsäure DWD Deutscher Wetterdienst, Offenbach (Zentrale) EFSA European Food Safety Authority ER-Modell Entitäten-Relationenmodell ESRI Environmental Systems Research Institute, Redlands, CA, USA EUROMAP Fürstenfeldbruck	AI	ArcInfo, GIS-Software (ESRI)
AML Arc Macro Language ASCII American Standard Code for Information Interchange ASTER Advanced Spaceborne Thermal Emission & Reflection Radiometer ATCOR Atmospheric Correction, GIS-Software (Leica Geosystems) ATKIS© Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem AV AreView, GIS-Software (ESRI) BIN Bundesamt für Naturschutz BKG Bundesamt für Kartographie und Geodäsie, Frankfurt/M. BLVA Bayerisches Landesvermessungsamt, München BMBF Bundesministerium für Bildung und Forschung, Bonn, Berlin BMU Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Berlin, Bonn BMVEL Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft, Bonn, Berlin Bt Bacillus thuringiensis BW Bundeswehr CEN Comité Européen de Normalisation Ct Threshold Cycle DGM Digitales Geländemodell DIH Donau-Isar-Hügelland DNA Deoxyribonukleinsäure DWD Deutscher Wetterdienst, Offenbach (Zentrale) EFSA European Food Safety Authority ER-Modell Entitäten-Relationenmodell ESRI Environmental Systems Research Institute, Redlands, CA, USA EUROMAP Euromap, Satellitendaten-Vertriebsgesellschaft mbH, Neustrelitz F&E Forschung & Entwicklung FFB Fürstenfeldbruck	AKTerm	Ausbreitungsklassen-Zeitreihe
ASCII American Standard Code for Information Interchange ASTER Advanced Spaceborne Thermal Emission & Reflection Radiometer ATCOR Atmospheric Correction, GIS-Software (Leica Geosystems) ATKIS© Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem AV AreView, GIS-Software (ESRI) BfN Bundesamt für Naturschutz BKG Bundesamt für Kartographie und Geodäsie, Frankfurt/M. BLVA Bayerisches Landesvermessungsamt, München BMBF Bundesministerium für Bildung und Forschung, Bonn, Berlin BMU Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Berlin, Bonn BMVEL Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft, Bonn, Berlin Bt Bacillus thuringiensis BW Bundeswehr CEN Comité Européen de Normalisation Ct Threshold Cycle DGM Digitales Geländemodell DIH Donau-Isar-Hügelland DNA Deoxyribonucleic Acid DNS Desoxyribonukleinsäure DWD Deutscher Wetterdienst, Offenbach (Zentrale) EFSA European Food Safety Authority ER-Modell Entitäten-Relationenmodell ESRI Environmental Systems Research Institute, Redlands, CA, USA EUROMAP Euromap, Satellitendaten-Vertriebsgesellschaft mbH, Neustrelitz F&E Forschung & Entwicklung FFB Fürstenfeldbruck	ALH	Ammer-Loisach-Hügelland
ASTER Advanced Spaceborne Thermal Emission & Reflection Radiometer ATCOR Atmospheric Correction, GIS-Software (Leica Geosystems) ATKIS© Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem AV ArcView, GIS-Software (ESRI) BIN Bundesamt für Naturschutz BKG Bundesamt für Kartographie und Geodäsie, Frankfurt/M. BLVA Bayerisches Landesvermessungsamt, München BMBF Bundesministerium für Bildung und Forschung, Bonn, Berlin BMU Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Berlin, Bonn BMVEL Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft, Bonn, Berlin Bt Bacillus thuringiensis BW Bundeswehr CEN Comité Européen de Normalisation Ct Threshold Cycle DGM Digitales Geländemodell DIH Donau-Isar-Hügelland DNA Deoxyribonucleic Acid DNS Desoxyribonukleinsäure DWD Deutscher Wetterdienst, Offenbach (Zentrale) EFSA European Food Safety Authority ER-Modell Entitäten-Relationenmodell ESRI Environmental Systems Research Institute, Redlands, CA, USA EUROMAP Euromap, Satellitendaten-Vertriebsgesellschaft mbH, Neustrelitz F&E Forschung & Entwicklung FFB Fürstenfeldbruck	AML	Arc Macro Language
ATCOR Atmospheric Correction, GIS-Software (Leica Geosystems) ATKIS© Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem AV AreView, GIS-Software (ESRI) BIN Bundesamt für Naturschutz BKG Bundesamt für Kartographie und Geodäsie, Frankfurt/M. BLVA Bayerisches Landesvermessungsamt, München BMBF Bundesministerium für Bildung und Forschung, Bonn, Berlin BMU Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Berlin, Bonn BMVEL Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft, Bonn, Berlin Bt Bacillus thuringiensis BW Bundeswehr CEN Comité Européen de Normalisation Ct Threshold Cycle DGM Digitales Geländemodell DIH Donau-Isar-Hügelland DNA Deoxyribonucleic Acid DNS Desoxyribonucleic Acid DNS Desoxyribonukleinsäure DWD Deutscher Wetterdienst, Offenbach (Zentrale) EFSA European Food Safety Authority ER-Modell Entitäten-Relationenmodell ESRI Environmental Systems Research Institute, Redlands, CA, USA EUROMAP Euromap, Satellitendaten-Vertriebsgesellschaft mbH, Neustrelitz F&E Forschung & Entwicklung FFB Fürstenfeldbruck	ASCII	American Standard Code for Information Interchange
ATKIS© Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem AV ArcView, GIS-Software (ESRI) BfN Bundesamt für Naturschutz BKG Bundesamt für Kartographie und Geodäsie, Frankfurt/M. BLVA Bayerisches Landesvermessungsamt, München BMBF Bundesministerium für Bildung und Forschung, Bonn, Berlin BMU Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Berlin, Bonn BMVEL Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft, Bonn, Berlin Bt Bacillus thuringiensis BW Bundeswehr CEN Comité Européen de Normalisation Ct Threshold Cycle DGM Digitales Geländemodell DIH Donau-Isar-Hügelland DNA Deoxyribonucleic Acid DNS Desoxyribonukleinsäure DWD Deutscher Wetterdienst, Offenbach (Zentrale) EFSA European Food Safety Authority ER-Modell Entitäten-Relationenmodell ESRI Environmental Systems Research Institute, Redlands, CA, USA EUROMAP Euromap, Satellitendaten-Vertriebsgesellschaft mbH, Neustrelitz F&E Forschung & Entwicklung FFB Fürstenfeldbruck	ASTER	Advanced Spaceborne Thermal Emission & Reflection Radiometer
AV ArcView, GIS-Software (ESRI) BfN Bundesamt für Naturschutz BKG Bundesamt für Kartographie und Geodäsie, Frankfurt/M. BLVA Bayerisches Landesvermessungsamt, München BMBF Bundesministerium für Bildung und Forschung, Bonn, Berlin BMU Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Berlin, Bonn BMVEL Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft, Bonn, Berlin Bt Bacillus thuringiensis BW Bundeswehr CEN Comité Européen de Normalisation Ct Threshold Cycle DGM Digitales Geländemodell DIH Donau-Isar-Hügelland DNA Deoxyribonucleic Acid DNS Desoxyribonukleinsäure DWD Deutscher Wetterdienst, Offenbach (Zentrale) EFSA European Food Safety Authority ER-Modell Entitäten-Relationenmodell ESRI Environmental Systems Research Institute, Redlands, CA, USA EUROMAP Euromap, Satellitendaten-Vertriebsgesellschaft mbH, Neustrelitz F&E Forschung & Entwicklung FFB Fürstenfeldbruck	ATCOR	Atmospheric Correction, GIS-Software (Leica Geosystems)
BfN Bundesamt für Naturschutz BKG Bundesamt für Kartographie und Geodäsie, Frankfurt/M. BLVA Bayerisches Landesvermessungsamt, München BMBF Bundesministerium für Bildung und Forschung, Bonn, Berlin BMU Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Berlin, Bonn BMVEL Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft, Bonn, Berlin Bt Bacillus thuringiensis BW Bundeswehr CEN Comité Européen de Normalisation Ct Threshold Cycle DGM Digitales Geländemodell DIH Donau-Isar-Hügelland DNA Deoxyribonucleic Acid DNS Desoxyribonukleinsäure DWD Deutscher Wetterdienst, Offenbach (Zentrale) EFSA European Food Safety Authority ER-Modell Entitäten-Relationenmodell ESRI Environmental Systems Research Institute, Redlands, CA, USA EUROMAP Euromap, Satellitendaten-Vertriebsgesellschaft mbH, Neustrelitz F&E Forschung & Entwicklung FFB Fürstenfeldbruck	ATKIS©	Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem
BKG Bundesamt für Kartographie und Geodäsie, Frankfurt/M. BLVA Bayerisches Landesvermessungsamt, München BMBF Bundesministerium für Bildung und Forschung, Bonn, Berlin BMU Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Berlin, Bonn BMVEL Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft, Bonn, Berlin Bt Bacillus thuringiensis BW Bundeswehr CEN Comité Européen de Normalisation Ct Threshold Cycle DGM Digitales Geländemodell DIH Donau-Isar-Hügelland DNA Deoxyribonucleic Acid DNS Desoxyribonukleinsäure DWD Deutscher Wetterdienst, Offenbach (Zentrale) EFSA European Food Safety Authority ER-Modell Entitäten-Relationenmodell ESRI Environmental Systems Research Institute, Redlands, CA, USA EUROMAP Euromap, Satellitendaten-Vertriebsgesellschaft mbH, Neustrelitz F&E Forschung & Entwicklung FFB Fürstenfeldbruck	AV	ArcView, GIS-Software (ESRI)
BLVA Bayerisches Landesvermessungsamt, München BMBF Bundesministerium für Bildung und Forschung, Bonn, Berlin BMU Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Berlin, Bonn BMVEL Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft, Bonn, Berlin Bt Bacillus thuringiensis BW Bundeswehr CEN Comité Européen de Normalisation Ct Threshold Cycle DGM Digitales Geländemodell DIH Donau-Isar-Hügelland DNA Deoxyribonucleic Acid DNS Desoxyribonukleinsäure DWD Deutscher Wetterdienst, Offenbach (Zentrale) EFSA European Food Safety Authority ER-Modell Entitäten-Relationenmodell ESRI Environmental Systems Research Institute, Redlands, CA, USA EUROMAP Euromap, Satellitendaten-Vertriebsgesellschaft mbH, Neustrelitz F&E Forschung & Entwicklung FFB Fürstenfeldbruck	BfN	Bundesamt für Naturschutz
BMBF Bundesministerium für Bildung und Forschung, Bonn, Berlin BMU Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Berlin, Bonn BMVEL Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft, Bonn, Berlin Bt Bacillus thuringiensis BW Bundeswehr CEN Comité Européen de Normalisation Ct Threshold Cycle DGM Digitales Geländemodell DIH Donau-Isar-Hügelland DNA Deoxyribonucleic Acid DNS Desoxyribonukleinsäure DWD Deutscher Wetterdienst, Offenbach (Zentrale) EFSA European Food Safety Authority ER-Modell Entitäten-Relationenmodell ESRI Environmental Systems Research Institute, Redlands, CA, USA EUROMAP Euromap, Satellitendaten-Vertriebsgesellschaft mbH, Neustrelitz F&E Forschung & Entwicklung FFB Fürstenfeldbruck	BKG	Bundesamt für Kartographie und Geodäsie, Frankfurt/M.
BMU Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Berlin, Bonn BMVEL Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft, Bonn, Berlin Bt Bacillus thuringiensis BW Bundeswehr CEN Comité Européen de Normalisation Ct Threshold Cycle DGM Digitales Geländemodell DIH Donau-Isar-Hügelland DNA Deoxyribonucleic Acid DNS Desoxyribonukleinsäure DWD Deutscher Wetterdienst, Offenbach (Zentrale) EFSA European Food Safety Authority ER-Modell Entitäten-Relationenmodell ESRI Environmental Systems Research Institute, Redlands, CA, USA EUROMAP Euromap, Satellitendaten-Vertriebsgesellschaft mbH, Neustrelitz F&E Forschung & Entwicklung FFB Fürstenfeldbruck	BLVA	Bayerisches Landesvermessungsamt, München
BMVEL Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft, Bonn, Berlin Bt Bacillus thuringiensis BW Bundeswehr CEN Comité Européen de Normalisation Ct Threshold Cycle DGM Digitales Geländemodell DIH Donau-Isar-Hügelland DNA Deoxyribonucleic Acid DNS Desoxyribonukleinsäure DWD Deutscher Wetterdienst, Offenbach (Zentrale) EFSA European Food Safety Authority ER-Modell Entitäten-Relationenmodell ESRI Environmental Systems Research Institute, Redlands, CA, USA EUROMAP Euromap, Satellitendaten-Vertriebsgesellschaft mbH, Neustrelitz F&E Forschung & Entwicklung FFB Fürstenfeldbruck	BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung, Bonn, Berlin
Bt Bacillus thuringiensis BW Bundeswehr CEN Comité Européen de Normalisation Ct Threshold Cycle DGM Digitales Geländemodell DIH Donau-Isar-Hügelland DNA Deoxyribonucleic Acid DNS Desoxyribonukleinsäure DWD Deutscher Wetterdienst, Offenbach (Zentrale) EFSA European Food Safety Authority ER-Modell Entitäten-Relationenmodell ESRI Environmental Systems Research Institute, Redlands, CA, USA EUROMAP Euromap, Satellitendaten-Vertriebsgesellschaft mbH, Neustrelitz F&E Forschung & Entwicklung FFB Fürstenfeldbruck	BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Berlin, Bonn
BW Bundeswehr CEN Comité Européen de Normalisation Ct Threshold Cycle DGM Digitales Geländemodell DIH Donau-Isar-Hügelland DNA Deoxyribonucleic Acid DNS Desoxyribonukleinsäure DWD Deutscher Wetterdienst, Offenbach (Zentrale) EFSA European Food Safety Authority ER-Modell Entitäten-Relationenmodell ESRI Environmental Systems Research Institute, Redlands, CA, USA EUROMAP Euromap, Satellitendaten-Vertriebsgesellschaft mbH, Neustrelitz F&E Forschung & Entwicklung FFB Fürstenfeldbruck	BMVEL	Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft, Bonn, Berlin
CEN Comité Européen de Normalisation Ct Threshold Cycle DGM Digitales Geländemodell DIH Donau-Isar-Hügelland DNA Deoxyribonucleic Acid DNS Desoxyribonukleinsäure DWD Deutscher Wetterdienst, Offenbach (Zentrale) EFSA European Food Safety Authority ER-Modell Entitäten-Relationenmodell ESRI Environmental Systems Research Institute, Redlands, CA, USA EUROMAP Euromap, Satellitendaten-Vertriebsgesellschaft mbH, Neustrelitz F&E Forschung & Entwicklung FFB Fürstenfeldbruck	Bt	Bacillus thuringiensis
Ct Threshold Cycle DGM Digitales Geländemodell DIH Donau-Isar-Hügelland DNA Deoxyribonucleic Acid DNS Desoxyribonukleinsäure DWD Deutscher Wetterdienst, Offenbach (Zentrale) EFSA European Food Safety Authority ER-Modell Entitäten-Relationenmodell ESRI Environmental Systems Research Institute, Redlands, CA, USA EUROMAP Euromap, Satellitendaten-Vertriebsgesellschaft mbH, Neustrelitz F&E Forschung & Entwicklung FFB Fürstenfeldbruck	BW	Bundeswehr
DGM Digitales Geländemodell DIH Donau-Isar-Hügelland DNA Deoxyribonucleic Acid DNS Desoxyribonukleinsäure DWD Deutscher Wetterdienst, Offenbach (Zentrale) EFSA European Food Safety Authority ER-Modell Entitäten-Relationenmodell ESRI Environmental Systems Research Institute, Redlands, CA, USA EUROMAP Euromap, Satellitendaten-Vertriebsgesellschaft mbH, Neustrelitz F&E Forschung & Entwicklung FFB Fürstenfeldbruck	CEN	Comité Européen de Normalisation
DIH Donau-Isar-Hügelland DNA Deoxyribonucleic Acid DNS Desoxyribonukleinsäure DWD Deutscher Wetterdienst, Offenbach (Zentrale) EFSA European Food Safety Authority ER-Modell Entitäten-Relationenmodell ESRI Environmental Systems Research Institute, Redlands, CA, USA EUROMAP Euromap, Satellitendaten-Vertriebsgesellschaft mbH, Neustrelitz F&E Forschung & Entwicklung FFB Fürstenfeldbruck	Ct	Threshold Cycle
DNA Deoxyribonucleic Acid DNS Desoxyribonukleinsäure DWD Deutscher Wetterdienst, Offenbach (Zentrale) EFSA European Food Safety Authority ER-Modell Entitäten-Relationenmodell ESRI Environmental Systems Research Institute, Redlands, CA, USA EUROMAP Euromap, Satellitendaten-Vertriebsgesellschaft mbH, Neustrelitz F&E Forschung & Entwicklung FFB Fürstenfeldbruck	DGM	Digitales Geländemodell
DNS Desoxyribonukleinsäure DWD Deutscher Wetterdienst, Offenbach (Zentrale) EFSA European Food Safety Authority ER-Modell Entitäten-Relationenmodell ESRI Environmental Systems Research Institute, Redlands, CA, USA EUROMAP Euromap, Satellitendaten-Vertriebsgesellschaft mbH, Neustrelitz F&E Forschung & Entwicklung FFB Fürstenfeldbruck	DIH	Donau-Isar-Hügelland
DWD Deutscher Wetterdienst, Offenbach (Zentrale) EFSA European Food Safety Authority ER-Modell Entitäten-Relationenmodell ESRI Environmental Systems Research Institute, Redlands, CA, USA EUROMAP Euromap, Satellitendaten-Vertriebsgesellschaft mbH, Neustrelitz F&E Forschung & Entwicklung FFB Fürstenfeldbruck	DNA	Deoxyribonucleic Acid
EFSA European Food Safety Authority ER-Modell Entitäten-Relationenmodell ESRI Environmental Systems Research Institute, Redlands, CA, USA EUROMAP Euromap, Satellitendaten-Vertriebsgesellschaft mbH, Neustrelitz F&E Forschung & Entwicklung FFB Fürstenfeldbruck	DNS	Desoxyribonukleinsäure
ER-Modell Entitäten-Relationenmodell ESRI Environmental Systems Research Institute, Redlands, CA, USA EUROMAP Euromap, Satellitendaten-Vertriebsgesellschaft mbH, Neustrelitz F&E Forschung & Entwicklung FFB Fürstenfeldbruck	DWD	Deutscher Wetterdienst, Offenbach (Zentrale)
ESRI Environmental Systems Research Institute, Redlands, CA, USA EUROMAP Euromap, Satellitendaten-Vertriebsgesellschaft mbH, Neustrelitz F&E Forschung & Entwicklung FFB Fürstenfeldbruck	EFSA	European Food Safety Authority
EUROMAP Euromap, Satellitendaten-Vertriebsgesellschaft mbH, Neustrelitz F&E Forschung & Entwicklung FFB Fürstenfeldbruck	ER-Modell	Entitäten-Relationenmodell
F&E Forschung & Entwicklung FFB Fürstenfeldbruck	ESRI	Environmental Systems Research Institute, Redlands, CA, USA
FFB Fürstenfeldbruck	EUROMAP	Euromap, Satellitendaten-Vertriebsgesellschaft mbH, Neustrelitz
	F&E	Forschung & Entwicklung
FFBH Fürstenfeldbrucker Hügelland	FFB	Fürstenfeldbruck
	FFBH	Fürstenfeldbrucker Hügelland

FFH	Flora-Fauna-Habitat
GAF	GAF AG, München
GFMM	Geschäftsfeld Medizin-Meteorologie des DWD, Freiburg
GK (9°E)	Gauß-Krüger-Koordinatensystem (Hauptmeridian: 9°E), Bezugsellipsoid: Bessel 1841, Datum: Potsdam
GK (12°E)	Gauß-Krüger-Koordinatensystem (Hauptmeridian: 12°E), Bezugsellipsoid: Bessel 1841, Datum: Potsdam
GMT	Greenwich Mean Time
GPS	Global Positioning System
GR	Globalstrahlung
GV	Gentechnisch verändert
GVO	Gentechnisch veränderte Organismen
GVP	Gentechnisch veränderte Pflanzen
HR	Herbizidresistenz
HTML	Hypertext Markup Language
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
InVeKoS	Integriertes Verwaltungs- und Kontrollsystem
IRS	Indian Remote Sensing
JTieX	Java Tool for Import and Export of XML data
L.	Carl von Linné
LfL	Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising
LfU	Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, Augsburg
LfStaD	Bayerisches Landesamt für Statistik und Datenverarbeitung, München
LMU	Ludwig-Maximilians-Universität München
LW	Blattnässe
MDC	Mahalanobis Distance Classifier
ME	Median
ME	Münchener Ebene
MI	Mittelwert
MIR	Mid infrared / mittleres Infrarot
MNR	Multidimensionales Nachbarschafts-Repräsentanzmaß
MrSID	Multi Resolution Seamless Image Database (LizardTech)
MS	Microsoft, Redmond, WA, USA
MS	Multispektral
N	Nord
NASA	National Aeronautics and Space Administration

NIR	Near infrared / nahes Infrarot
NN	Normalnull
NN	Entfernung zum nächsten Feld
NO	Nordost
n.s.	Nicht signifikant
NW	Nordwest
NWG	Nachweisgrenze
О	Ost
PAN	Panchromatisch
PAR	Perimeter-Area-Ratio
PbS	Planungsbüro Prof. Dr. Schaller, Kranzberg
PCA	Principal Component Analysis
PCR	Polymerase Chain Reaction
PDI	Pollendepositionsindex
PM	Staub allgemein (in den Korngrößenklassen 1-4)
PMF	Pollenmassenfilter
PNV	Potenziell natürliche Vegetation
r	Korrelationkoeffizient nach Pearson
$r_{\rm S}$	Rang-Korrelationkoeffizient nach Spearman
RAIN	Niederschlag
RH	Relative Luftfeuchte
RI	Repräsentanzindex
S	Süd
S	Summe
SO	Südost
SPOT	Système Pour l'Observation de la Terre
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
SRU	Rat von Sachverständigen für Umweltfragen
StMLF	Bayerisches Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten, München
StMLU	Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen, München
StMUGV	Bayerisches Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz, München
StMWIVT	Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie, München
StMWVT	Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Verkehr und Technologie, München
SW	Südwest
-	+

TA	Lufttemperatur
TA	Technische Anleitung
TIF(F)	Tagged Image File Format
TIN	Triangulated Irregular Network (Dreiecksvermaschung)
TIR	Thermal infrared / thermales Infrarot
Tsd.	Tausend
TUM	Technische Universität München
UBA	Umweltbundesamt, Dessau
USG	Untersuchungsgebiet
USGS	United States Geological Survey
UTM	Universal transverse Mercator-Projektion
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
W	West
WGS84	World Geodetic System 1984 (Erdellipsoid und Datum)
XML	Extensible Markup Language
Z	z-Transformation

1 Zusammenfassung

1.1 Problemstellung und Zielsetzung

Hintergrund des F&E-Vorhabens ist die gesetzliche Verpflichtung zu einem Monitoring gemäß der EU-Freisetzungs-Richtlinie 2001/18/EG. Verfahren zur Dauerbeobachtung der Umwelt sind etablierte Maßnahmen des Umweltschutzes. Insbesondere die Überwachungsprogramme zur Luftreinhaltung, z. B. Ozonüberwachung oder der jährliche Waldzustandsbericht (BMVEL 2003) sind bekannt. Während diese Programme erst eingerichtet wurden, nachdem Gesundheits- oder Umweltschäden auftraten, verfolgt die EU im Zusammenhang mit dem Inverkehrbringen von gentechnisch veränderten Organismen (GVO) mit der Freisetzungsrichtlinie 2001/18/EG und mit weiteren Regularien (Ergänzung Anhang VII Richtlinie 2001/18/EG, EU-Verordnung 1829/2003) eine prospektive Gefährdungsabschätzung (Finck 2002). Eine zentrale Forderung dieser Richtlinie ist die Durchführung eines Umwelt-Monitorings. Die Richtlinie sieht einen "auf jeden einzelnen Fall zugeschnitten[en]" Überwachungsplan vor (Richtlinie 2001/18/EG, Anhang VII, 36). Ziel ist es, zum einen die Annahmen aus der Risikoanalyse für das Zulassungsverfahren zu überprüfen, zum anderen etwaige Risiken und Gefahren, die im Rahmen der Zulassung nicht erkennbar waren, sich aber nach längeren Zeiträumen oder bei großflächigem Anbau von gentechnisch veränderten Pflanzen (GVP) einstellen können ("unerwartete schädliche Auswirkungen"), aufzudecken und zu dokumentieren (Richtlinie 2001/18/EG, Anhang VII, 36). Eine besondere Bedeutung bei der Freisetzung und dem Inverkehrbringen von gentechnisch veränderten Pflanzen kommt den Blütenpollen zu, die v. a. durch Wind und Insekten in die Umwelt transportiert werden (Finck 2002, Hofmann et al. 2005, SRU 2004a). Die Bund/Länder-AG "Monitoring der Umweltwirkungen von GVP" (2000) nennt als eine von vier Kernaufgaben für ein Monitoring die "Dokumentation von Eintrag und Verbreitung von GVP". In der Prioritätenliste für die Etablierung eines Langzeitmonitoring derselben AG wird für herbizidresistenten Raps, Raps mit männlicher Sterilität und Bt-Mais eine hohe Priorität angegeben. In diesem F&E-Vorhaben sollten Methoden entwickelt werden, um den Eintrag und Verbleib von transgenen Pollen von Mais und Raps im Luftraum zu erfassen. Pollen stellen einen entscheidenden Vektor dar, über den Genmaterial große Distanzen überbrücken kann (Emberlin et al. 1999) und in andere Ökosysteme eingebracht werden könnte. Dies kann zu potenziell unerwünschten oder schädlichen Auswirkungen führen. Dabei ist nicht nur an unerwünschte Auskreuzungen zu denken. Es sind auch Wirkungsketten denkbar, bei denen der abgelagerte Pollen von anderen Organismen aufgenommen wird, z. B. Spinnen, deren Netze den Pollen einfangen und wieder von den Spinnen gefressen werden (Ludy & Lang 2004), Schmetterlingsraupen, die mit ihren

Nahrungspflanzen den Pollen aufnehmen (Lang 2003) oder Bodenorganismen, die mit dem Pollen in Berührung kommen (Arndt 2003) und auf diesem Weg auch als nicht mehr befruchtungsfähige Pollen u. U. noch eine unerwünschte oder schädliche Wirkung habe könnten. Es ist daher sinnvoll, auch die Exposition, also das "Exponiert-sein", mit Pollen zu überwachen. Erst eine solche Angabe macht es möglich Wirkungsketten zu ermitteln, wenn unerwünschte Ereignisse auftreten. Dieses Vorgehen ist aus der Emissionsüberwachung bekannt und erprobt (bioindication.de). Auch hier wird sowohl die Exposition eines Gebietes mit einem (Schad)stoff erfasst, als auch die Wirkung. Zwar ist transgener Pollen nicht per se ein Schadstoff (auch kein gentechnisch veränderter Organismus), er kann aber als Vektor zu unerwünschten Wirkungen führen. Die EFSA (European Food Safety Authority) hat ein Leitlinien-Dokument (Question No EFSA-Q-2003-005) formuliert, in dem auch zu einem Monitoring von gentechnisch veränderten Organismen Stellung bezogen wird. Darin wird neben Untersuchungen, die spezifische Hypothesen zur Risikoabschätzung testen, auch verlangt, dass die Monitoring-Messplanung den Grad der Exposition widerspiegeln muss (EFSA 2004).

Ein Monitoring von transgenen Pollen im Luftraum kann auch als Frühwarn-System fungieren, wenn in einer Region (z. B. Naturschutzgebiet, FFH-Gebiet, Gebiete mit ökologischem Anbau) erhöhte Pollenanzahlen nicht erwünscht sind. Da aber ein Monitoring der transgenen Pollen im Luftraum nicht auf allen möglicherweise betroffenen Flächen durchgeführt werden kann, müssen Grundlagen und Kriterien für die Auswahl repräsentativer Monitoring-Standorte festgelegt werden.

Der Schwerpunkt dieses F&E-Vorhabens lag daher auf der Ermittlung der Raumrepräsentativität von Pollensammler-Standorten. Es sollte geklärt werden, wie viele Pollensammelgeräte benötigt werden, um die Exposition eines bestimmten Landschaftsausschnitts mit den Zielpollen¹ (Raps und Mais) repräsentativ zu erfassen. Anders gesagt, aus welchem Umkreis sammelt ein technischer Pollensammler Pollen ein. Ziel dieses F&E-Vorhabens war es, den Verbleib von transgenen Pollen in einem bestimmten Gebiet dokumentieren zu können. Zu diesem Zweck sollten Methoden entwickelt werden, mit denen zum einen die Konzentration des Pollens in der Luft artspezifisch bestimmt werden kann, und zum anderen der prozentuale Anteil des transgenen Pollens daraus erfasst werden kann. Bei der Entwicklung dieser Methoden wurde Wert auf einen späteren Routine-Einsatz mit hohem Probendurchsatz gelegt. Für ein größer angelegtes Monitoring, wie in der EU-Richtlinie gefordert, ist ein Auszählen der Pollen "von Hand" personell und finanziell kaum durchführbar. Daher wurde ein halbautomatisches Bildanalyseverfahren weiterentwickelt, um möglichst effektiv die Menge und die Art be-

.

¹ Gegenstand dieser Untersuchung sind die Kulturpflanzen Raps und Mais, die aus diesem Grund im Bericht als Zielarten oder Zielpollen bezeichnet werden.

stimmter Pollen-Arten zu erfassen. Die Bestimmung der Artzugehörigkeit des Pollens ist zwar bildanalytisch möglich, die gentechnische Veränderung ist optisch jedoch nicht erkennbar. Deshalb sollte parallel eine PCR-Routineanalytik entwickelt werden, um den Anteil an gentechnisch veränderten Pollen zu erfassen.

Ein weiterer Anspruch des Vorhabens war, möglichst standardisierte Geräte zu verwenden. Für eine Umweltbeobachtung durch unterschiedliche Institutionen und über Ländergrenzen hinweg sind abgestimmte Konzepte und ein standardisiertes Vorgehen erforderlich (VDI Dachrichtlinie 4330). Diese Standardisierungsarbeit beim VDI wird vom Rat der Sachverständigen für Umweltfragen (SRU) ausdrücklich gewünscht (SRU 2004a). Zum Einsatz kamen in diesem Vorhaben zwei Typen von Pollensammlern: der Sedimentationssammler Sigma-2 (VDI Richtlinie 2119) und der Pollenmassenfilter (PMF, Gebrauchsmuster Nr. 201 17 632.7). Der Sigma-2 ist für die bildanalytische Bestimmung der Pollen-Art vorgesehen. Der PMF sammelt deutlich mehr Pollen, wodurch eine molekulargenetische Bestimmung des Anteils an gentechnisch verändertem Pollen möglich sein sollte. Die Verfahrensentwicklung für ein Pollen-Monitoring wurde im Projekt "Entwicklung eines standardisierten Monitoring-Verfahrens auf der Basis von technischen und biologischen Pollenakkumulatoren und Gen-Screening für eine erste Stufe eines GVO-Monitorings im Hinblick auf eine flächendeckende, raum-zeitliche Dokumentation von Eintrag und Verbreitung von GVO" (Hofmann et al. 2005²) geleistet. Die Ergebnisse dieses Vorläufer-Projekts und zum Teil auch Ergebnisse des vorliegenden Projekts sind in die VDI Richtlinie 4330 Blatt 3 (in Bearbeitung) eingeflossen. Der technische Stand der Pollensammler und das Verfahren für deren Einsatz werden hierin beschrieben.

1.2 Vorarbeiten aus anderen Projekten

Das hier vorgestellte Forschungsvorhaben baut auf die bereits vorhandenen Erfahrungen auf (Hofmann et al. 2005). Die Kombination der beiden Pollensammler (Sigma-2 und PMF) wurde bereits im vorhergehenden Modellprojekt "Entwicklung eines standardisierten Monitoring-Verfahrens auf der Basis von technischen und biologischen Pollenakkumulatoren und Gen-Screening für eine erste Stufe eines GVO-Monitorings im Hinblick auf eine flächendeckende, raum-zeitliche Dokumentation von Eintrag und Verbreitung von GVO" (Hofmann et al. 2005) entwickelt und erfolgreich getestet. In dem Vorhaben wurde insbesondere die Sammeleffizienz der Pollensammler untersucht. Außerdem wurden am Bayerischen Landesamt für Umweltschutz in Augsburg in zwei Bund/Länder-Modellprojekten Methoden für ein Monitoring von gentechnisch verän-

² BMU-FKZ 200 89 412, BIA VE038, Frieder Hofmann

derten Pflanzen (GVP) entwickelt ("Umweltmonitoring möglicher Auswirkungen des landwirtschaftlichen Anbaus gentechnisch veränderter Pflanzen auf die einheimische Flora"³, und "Entwicklung eines Konzeptes für die Untersuchung des Einflusses von gentechnisch veränderten Pflanzen auf die Zusammensetzung der Pflanzengemeinschaft in Nichtzielökosystemen"⁴). Zur Durchführung dieser beiden Projekte wurde ein Referenzraum angelegt, der den Status des Gebietes ("Referenzraum Kehlheim") vor dem Inverkehrbringen von GVP als Basis dokumentiert. Dafür werden Methoden für den Nachweis von transgenen Rapspollen und Sammelmethoden für Blattmaterial und Pollen aus Honigproben entwickelt.

1.3 Bedeutung von Pollen-Expositionsmessungen

Der Zusammenhang zwischen GVO-Freisetzungen und beobachteten Wirkungen auf die Schutzgüter soll durch Monitoring-Verfahren erkannt und durch anschließende Untersuchungen zu Ursache-Wirkungs-Hypothesen möglichst schlüssig erklärt werden. Die ausschließliche Beobachtung von ökologischen Veränderungen reicht nicht aus, da die meisten potenziellen Wirkungen sehr variabel sind und auf multiplen Ursachenzusammenhängen beruhen. Für möglichst sichere Aussagen ist in solchen Zusammenhängen vielmehr die verknüpfende Betrachtung mehrerer Ebenen erforderlich. Diese Ebenen können wie folgt bezeichnet werden: 1) Quelle, 2) Exposition, 3) Wirkung, 4) Bewertung (Hofmann et al. 2005).

- (1) Die "Quellstärke" kann für einen größeren Raum nur bestimmt werden, wenn die GVO-Freisetzungs- und Anbauorte schlaggenau bekannt sind. Dies soll durch ein Standort-Register gewährleistet werden, wie es im neuen Gentechnik-Gesetz (GenTG) gefordert wird.
- (2) Der Verbleib der in Umlauf gebrachten transgenen Konstrukte, der auch als "Exposition" bezeichnet wird, sollte erfasst werden. Dies kann z. B. durch Saatgutuntersuchungen geschehen, die feststellen wo u. U. unerwünschte Kontaminationen auftauchen. Er könnte aber auch durch regelmäßige Kartierarbeiten erfasst werden, die das gehäufte Vorkommen von verwildertem transgenen Raps aufdecken, das z. B. durch Transportverluste an Straßenrändern verursacht wird. Eine weitere Methode könnten regelmäßige Honigkontrollen sein, die Aufschluss darüber geben, in welchen Gegenden besonders viel transgener Pollen durch die Bienen transportiert wird. Auch eine Erfassung des luftgetragenen Pollens könnte Aufschluss geben über den Verbleib von transgenen Konstrukten. Dies könnte nicht nur im Hinblick auf eventuell unerwünschte Auskreuzungen in Nachbarfelder oder mit Wildpflanzen wichtig sein, sondern auch im

³ BMU-FKZ 299 89 412/01, StMLU Az. 76a-8793-1999/15

⁴ BMU-FKZ 201 67 430/31, StMLU Az. 76a-8793-2000/8

Hinblick auf Nicht-Zielorganismen, die diesen Pollen fressen oder für die Mikrofauna, die durch toxische Wirkungen des Pollens beeinflusst werden könnte. Expositionsmessungen sind die einzige Möglichkeit Ursache-Wirkungsketten zu schließen, wie die Erfahrungen aus der Bioindikation zeigen. Die Zielsetzung der Bioindikation ist einerseits, unter Wirkungsgesichtspunkten Biotests gezielt und systematisch einzusetzen, und andererseits den Zusammenhang zwischen Exposition und Effekt auf ein kausales Verständnis zurückzuführen (Altenburger & Segner 1998). Es ist insbesondere angesichts fortlaufender Entdeckungen unerwünschter Chemikalieneffekte erforderlich, die Verknüpfung von chemischer Stoff- und biologischer Wirkungsanalytik zu betrachten (Altenburger & Segner 1998).

- (3) Auf der Ebene der Wirkungen stehen viele Methoden zur Erfassung von Umweltveränderungen zur Verfügung. Diese reichen von der Erfassung der Anzahl von Hybriden zwischen GV-Kulturpflanzen und Wildpflanzen über die Erfassung der toxischen Wirkungen von Pollen auf Nicht-Zielorganismen bis zur Erfassung einer veränderten Biodiversität oder Wirkungen auf unterschiedliche trophische Ebenen (Produzenten, Konsumenten, Destruenten). Das Konzept zu einem GVP-Monitoring nach Züghart und Breckling (2003a, 2003b) enthält Hinweise zu methodischen Vorgehensweisen.
- (4) Erst auf der vierten Ebene sollte die Bewertung der gefundenen Ergebnisse stattfinden. Fisahn (2004) geht davon aus, dass die Gesetzgebung, sowohl auf europäischer als auch auf nationaler Ebene, einen Umweltschaden dann anerkennt, wenn eine Veränderung im Ökosystem über die natürliche Schwankungsbreite hinausgeht oder ein Organismus einen selektiven Vorteil gegenüber herkömmlichen Arten zeigt und diese dadurch verdrängen könnte. Weil die Abgrenzung der natürliche Schwankungsbreite von Arten in Ökosystemen Probleme bereitet die natürliche Schwankungsbreite ist mitunter gänzlich unbekannt und in der Natur der selektive Vorteil eines Organismus erst über lange Zeiträume wirken kann, ist die Umsetzung dieses Schadensbegriffes in konkrete Handlungsanweisungen oder gar Abbruchkriterien für den Anbau von gentechnisch veränderten Kulturpflanzen nicht einfach möglich.

Die Analyse der Wirkungsketten kann unter Umständen sehr lange dauern, da sich ökologischen Auswirkungen erst nach langen Zeiträumen und mit geringen Eintrittswahrscheinlichkeiten einstellen können. Die Expositionsbestimmung kann unter diesen Umständen als Lenkungsinstrument dienen, das die Exposition unmittelbar und zeitnah zu den Freisetzungen erfassen kann. Dadurch ist es möglich, Wirkungsuntersuchungen gezielt auf Orte zu fokussieren, an denen die Eintrittswahrscheinlichkeit von Wirkungen relativ groß ist. Zudem kann die Exposition mit transgenem Pollen als Indikator zur Abschätzung von solchen Effekten dienen, die sich der unmittelbaren Beobachtung entziehen (Hofmann et al. 2005).

1.4 Projektbeschreibung

Das Ziel dieses Vorhabens bestand darin, innerhalb eines festgelegten 256 km² großen Gebietes – das einem zukünftigen Monitoring-Gebiet entsprechen könnte (gemessen an momentan üblichen Monitoring-Gebieten wie z. B. dem Waldschadensmonitoring oder dem Moosmonitoring) – die Raumrepräsentativität der Standorte technischer Pollensammler (Sigma-2, PMF) und der Punktmessungen, die sie liefern, zu untersuchen. Die Pollensammler sollten für den landwirtschaftlich genutzten Raum auf regionaler Ebene den Expositionsgrad transgener und nicht-transgener luftgetragener Raps- und Maispollen repräsentativ erfassen. Die Untersuchung beschränkte sich auf landwirtschaftliche Nutzflächen, da sich im Agrarökosystem Felder mit gentechnisch veränderten und konventionellen Kulturpflanzen, sowie potenziellen Kreuzungspartnern in räumlicher Nähe zueinander befinden. In unmittelbarer Nachbarschaft von Feldern mit gentechnisch veränderten Pflanzen ist die Wahrscheinlichkeit relativ am höchsten, dass es zu messbaren Umweltveränderungen kommt. Dies kann z. B. durch Auskreuzungsereignisse geschehen (Jørgensen 1994, 1996) oder durch indirekte Einflüsse einer geänderten landwirtschaftlichen Praxis (Champion et al. 2003, Heard et al. 2003). Die beschränkte Anzahl an Pollensammlern ließ eine Untersuchung weiterer Ökosysteme nicht zu. Selbstverständlich ist nicht auszuschließen, dass es auch in anderen Räumen (Siedlungsgebiete, Naturschutzgebiete, ruderale Standorte an Straßen) zu unerwünschten Wirkungen durch GVP kommen kann. Insbesondere ruderale Standorte, die einen Lebensraum für einjährige Therophyten wie verwilderten Raps und Rapsverwandte bieten (Haeupler 2004), sind Standorte, an denen vermehrt Umweltauswirkungen auftreten können. In diesem Vorhaben wurde der Schwerpunkt aber bewusst auf den landwirtschaftlichen Raum gelegt, um möglichst hohe Pollenzahlen in den Sammlern zu erhalten und die Wahrscheinlichkeit von "Null-Messungen" weitestgehend zu minimieren.

Eine geeignete Raumzelle zur Verfahrensevaluation muss entsprechend bekannte Felder mit transgenen bzw. genetisch eindeutig differenzierbaren Kulturpflanzen (Mais, Raps) beinhalten und sollte naturräumlich reich gegliedert sein (Wald, Ackerflächen, Wiesen, unterschiedliche Topografie). Je besser der Raum bereits untersucht ist, desto leichter lässt sich eine Abschätzung über die Raumrepräsentativität der gemessenen Daten erreichen. Je geeigneter, d.h. repräsentativer, die gefundene Anordnung der Pollensammelgeräte ist, desto größer sind die Effizienz und die Aussagekraft einer Überwachung.

Insgesamt standen für das Vorhaben jeweils 50 Pollensammler des Typs Sigma-2 und PMF zur Verfügung. Aufgrund der Kenntnisse über das Untersuchungsgebiet sollte die Verteilung der Sammler durch Stratifizierung (Schichtung) des Untersuchungsgebiets

anhand von Determinanten, die die Pollenexposition im Untersuchungsgebiet beeinflussen, erfolgen. Je stärker der Zusammenhang zwischen den gewählten Determinanten und der Pollenexposition ausgeprägt ist, desto "repräsentativer" können die Standorte für das Untersuchungsgebiet ausgewählt werden. Die Verteilung der Sammler innerhalb der Strata (Schichten) erfolgte nach der häufigkeitsstatistischen Verteilung der Merkmale der Determinante. Damit sollte erreicht werden, dass mit einer begrenzten Anzahl an Pollensammlern das Gebiet dennoch möglichst repräsentativ erfasst wird. Durch die verschiedenen Strata bot sich die Möglichkeit, Gebiete mit wahrscheinlich unterschiedlicher Pollenexposition zu erfassen und somit einen Gradienten der Pollenexposition abzubilden. Mit einer Zufalls- oder Rasterstichprobe müsste der Stichprobenumfang erheblich erhöht werden, d.h. es wären deutlich mehr als 50 Sammler nötig, um eine ähnliche Bandbreite an Standorten zu erhalten.

Zur Standortwahl wurden die Strata "naturräumliche Haupteinheiten", "orografische Höhe" und "landwirtschaftliche Nutzung" gewählt. Die verwendeten Strata beeinflussen die Pollenexposition, da sie auf die Pollenquellen, -verteilung und -deposition wirken. Die Pollensammler wurden proportional entsprechend der Merkmalsausprägung der Strata im Untersuchungsgebiet aufgestellt. Eine Liste von Ausschlusskriterien (siehe Kap. 2.8.2, Seite 60) grenzte die möglichen Standorte weiter ein, um vergleichbare Standortbedingungen zu gewährleisten. Mit diesen Vorgaben wurden Vorranggebiete ausgewiesen, in denen 50 vorläufige Standorte jeweils direkt am Rand von Flurwegen ausgewählt wurden. Im Gelände wurden die Standorte auf lokale Barrieren überprüft und gegebenenfalls verschoben. Außerdem mussten Genehmigungen von Pächtern und Eigentümern eingeholt werden. Eine anschließende Überprüfung der Standorte ergab, dass die Punktverteilung signifikant einer Zufallsverteilung gleicht. Dieses Vorgehen erschien praktikabler, als im vornherein eine zufällige Punktverteilung zu berechnen, die ebenfalls eine Anpassung an das Geländegegebenheiten erfordert hätte.

Während der Vegetationsperiode 2003 wurden die Pollensammler für die Blühphase des Raps' (April/Mai) und die Blühphase des Mais' (Juli) jeweils mit neuen Filtern bestückt und für ca. vier Wochen (PMF) bzw. viermal eine Woche (Sigma-2) exponiert. Die Proben aus den Sigma-2-Sammlern wurden an den DWD in Freiburg zur Auszählung der Raps-, Mais-, einiger für die Jahreszeit typischer Nicht-Zielpollen⁵ und der Gesamtpollen geschickt. Die Proben aus den PMF-Sammlern wurden an das Ökologie Büro Hofmann versendet, dort aufbereitet und an das Landesamt für Umweltschutz Augsburg zur molekulargenetischen Untersuchung bzw. an das Bieneninstitut nach Celle zur Auszählung der Pollen (Raps-, Mais-, Nicht-Zielpollen und Gesamtpollen) weitergeleitet.

Die Labor-Messergebnisse der Pollendeposition sowie die schlaggenau kartierten und in einem geografisches Informationssystem erfassten Raps- und Maisfelder wurden für geostatistische Berechnungen, Abstandsanalysen und Ausbreitungsberechnungen verwendet.

Weiterhin wurde aus den vorliegenden Daten ein einfaches Ausbreitungsmodell, der Pollendepositionsindex (PDI), entwickelt. Dieser Index soll einen Vorhersagewert für die Deposition von Raps- bzw. Maispollen liefern, die an den jeweiligen Messorten zu erwarten war. Aus den Ergebnissen des Vorgängerprojekts (Hofmann et al. 2005) und der Vorversuche 2002 war bereits bekannt, dass die eindimensionale Entfernung zum nächsten Feld die Pollenausbreitung ungenügend beschreibt. Vernachlässigt wird u.a. die Verteilung und Lage der Felder, Wind- und Wetterverhältnisse und die Topografie. Auf der anderen Seite erwiesen sich Ausbreitungsberechnung über Ausbreitungsmodelle wie AUSTAL2000 für das Untersuchungsgebiet als sehr aufwändig. Der PDI sollte als einfaches Ausbreitungsmodell Lage, Form und Größe der umgebenden Felder berücksichtigen, aber auch die Wind- und Wetterverhältnisse. Zudem sollte der PDI auf andere Gebiete übertragbar sein.

Parallel zur Methodenentwicklung sollte eine Datenaustauschroutine entwickelt werden. Hintergrund war die Erkenntnis, dass bei einem großflächigen Einsatz des Pollenmonitorings (z. B. bundesweit) sowohl die Datenhaltung als auch der Datenaustausch zwischen verschiedenen Messgebieten und verschiedenen Partnern ein einheitliches Vorgehen erfordert. In diesem Projekt mussten Daten über Pollenanzahl, Pollenarten und molekulargenetische Daten sowie Metadaten zu den Sammlerstandorten gesammelt und zwischen den Partnern ausgetauscht werden. Während der Projektlaufzeit konnte bereits abgeschätzt werden, mit welchen Problemen bei einem großflächigen Monitoring (z. B. bundesweit) zu rechnen ist. Leider war es nicht möglich, die entwickelte Datenaustauschroutine bereits im Projekt zu nutzen, da sie erst zum Abschluss des Projektes fertig gestellt wurde. Lediglich Testläufe konnten noch durchgeführt werden.

Folgende Methoden und Geräte wurden von den jeweiligen Projektpartnern entwickelt oder verbessert:

- Weiterentwicklung des technischen Pollensammlers PMF und der Probennahme (Ökologie Büro Hofmann, Bremen)
- Bildanalytische Auszähl-Routine zur artspezifischen Pollenerkennung und Bestimmung der Pollendeposition aus Proben des Sigma-2-Sammlers (Deutscher Wetterdienst, Freiburg)

⁵ Unter Nicht-Zielarten oder Nicht-Zielpollen fallen alle Arten/Pollen außer Raps und Mais.

- PCR-Routineanalytik zur Bestimmung des transgenen Anteils in Pollenproben aus dem PMF (Landesamt für Umweltschutz, Augsburg)
- Etablierung einer Daten-Austausch-Routine für eine dezentrale Datenbank mit Daten und Ergebnissen dieses Projektes (Universität Freiburg, Institut für Informatik)
- Feldversuch für das Untersuchungsgebiet, Repräsentativität der Sammler-Standorte, geostatistische Analyse der Pollendeposition, Entwicklung des Ausbreitungsmodells PDI (Technische Universität München, Lehrstuhl für Vegetationsökologie und Fachhochschule Weihenstephan)

1.5 Ergebnisse

1.5.1 Pollendeposition auf mesoskaliger Ebene

In einem 256 km² großen Gebiet (16 x 16 km) wurden an 50 Standorten die passiven Pollensammler Sigma-2 und PMF in Kombination aufgestellt. Im Untersuchungsgebiet befanden sich 380 Raps und 890 Maisfelder.

Rapspollen wurden an 15 (Sigma-2) bzw. 44 (PMF) von 50 Standorten gefunden. Der Abstand der Sammler zum nächsten Rapsfeld betrug zwischen 1 und 1510 m (im Durchschnitt 256 m). Die durchschnittliche Rapspollendeposition (Sigma-2) betrug 4.300 Pollen m⁻² d⁻¹ (max. 18.500 Pollen m⁻² d⁻¹) und der durchschnittliche Rapspollenfluss (PMF) betrug 14.000 Pollen m⁻² d⁻¹ (max. 153.000 Pollen m⁻² d⁻¹).

Maispollen wurden an 26 (Sigma-2) bzw. allen (49 auswertbare PMF) Standorten gefunden. Der Abstand der Sammler zum nächsten Maisfeld betrug zwischen 0 und 1190 m (im Durchschnitt 55 m). Die durchschnittliche Maispollendeposition (Sigma-2) betrug 5.700 Pollen m⁻² d⁻¹ (max. 117.500 Pollen m⁻² d⁻¹) und der durchschnittliche Maispollenfluss (PMF) betrug 25.000 Pollen m⁻² d⁻¹ (max. 460.000 Pollen m⁻² d⁻¹).

1.5.2 Entwicklung von Routineanalysen

Die bildanalytische Pollenbestimmung der Proben aus den Sigma-2-Sammlern konnte halbautomatisch durchgeführt werden. Im Vergleich zu einer "manuellen" Auszählung bringt dieses Verfahren eine deutliche Rationalisierung, die für einen späteren Routineeinsatz nötig ist, um den entsprechenden Probendurchsatz gewährleisten zu können.

Die molekulargenetische Analyse der PMF-Proben war nicht zufrieden stellend möglich. Ein Nachweis von DNA (Raps oder Mais) in den 50 bzw. 49 Feldproben war vereinzelt (7 Raps-, 5 Maisproben) möglich. Ein PCR-Zusatzversuch (Pollensammler im Feld) zeigte, dass bei großen Mengen an Zielpollen der DNA-Nachweis eher gelang (6

von 14 Raps- und 8 von 11 Maisproben). Bei einer theoretischen Soll-Genomkopienzahl von über 500 in der jeweiligen PCR-Analyse fiel der Nachweis in 50% der Messungen positiv aus. Damit konnte gezeigt werden, dass aus PMF-Proben ein DNA-Nachweis mit der PCR grundsätzlich möglich ist, aber die Anzahl an Pollen, die tatsächlich für eine einzelne PCR-Reaktion zur Verfügung steht, noch zu gering ist. Deshalb muss die Probenaufbereitung noch verbessert werden.

Das Datenaustauschprogramm konnte während der Projektlaufzeit parallel entwickelt werden. Alle Erfahrungen aus dem Projekt konnten in die Entwicklung zeitgleich einfließen. Damit steht ein Datenaustauschprogramm zur Verfügung, das es erlaubt aus den unterschiedlichsten Datenhaltungsprogrammen – wie sie auch bei einem zukünftigen groß angelegten Monitoring bei verschiedenen Institutionen zu erwarten sind – Daten auszutauschen. Das Datenaustauschprogramm ist erweiterbar und außerdem auch für die zentrale Datenhaltung z. B. in einer Behörde geeignet.

1.5.3 Entwicklung des Pollendepositionsindex (PDI)

Der Pollendepositionsindex ist ein einfaches GIS-basiertes Ausbreitungsmodell. Er nutzt Daten über die Form, Größe und Distanz benachbarter Felder in einem bestimmten Umkreis um einen Sammler-Standort, sowie die Windverhältnisse, um die Pollenmenge an diesem Sammler-Standort zu berechnen. Für verschiedene Distanzen (Pufferkreise) um die 50 Sammler-Standorte wurde diese Berechnung durchgeführt (100 – 1000 m, 100m-Intervalle). Für jeden Punkt lagen somit zehn PDI-Werte vor, die differierten je nachdem wie groß der betrachtete Umkreis um den Punkt war und die Felder verteilt waren. Die Korrelation der berechneten PDI-Werte der Pollensammler-Standorte mit den gemessenen Werten der Pollendeposition zeigte, dass hohe Korrelationen bei bestimmten Pufferkreisen auftraten (Raps: 500m-Radius, Mais: 400m-Radius). Dies deutet darauf hin bis zu welcher Entfernung die Felder einen Einfluss auf den Pollensammler hatten.

Wird der PDI nicht nur für wenige Punkte sondern eine Vielzahl von Punkten in einem Gebiet berechnet, sind durch Triangulation flächenhafte Aussagen über den Grad der Pollendeposition möglich. Nach Klassifizierung der Werte kann der PDI als Stratum einer Stratifizierung zur Planung eines Pollen-Monitorings genutzt werden.

Obwohl der PDI ein einfaches Modell der Pollenausbreitung darstellt, erbrachte der Vergleich zwischen dem PDI und dem Partikel-Ausbreitungsmodell AUSTAL2000 hinsichtlich der Vorhersagewerte der Pollendeposition für das Untersuchungsgebiet vergleichbare Korrelationen mit den tatsächlichen Messwerten.

1.5.4 Geostatistische Analysen

Die unterschiedlichen Bedingungen während des Raps- und Maisversuches beruhten – abgesehen von der Verbreitungsbiologie der Pollen – vor allem auf der Anzahl der Felder im Untersuchungsgebiet und der Verteilung der Windrichtung und Intensität der Windgeschwindigkeit. Während der Blütezeit des Rapses dominierten die Winde aus West und Südwest, während beim Mais die Windverhältnisse wesentlich ausgeglichener waren und nur die Windgeschwindigkeit aus Süden wesentlich von den anderen abwich.

Eine entsprechende Korrelationsanalyse relevanter Faktoren erbrachte für beide Pollenarten als entscheidende Einflussgrößen die Entfernung zum nächsten Feld und die Windrichtung, allerdings mit unterschiedlicher Gewichtung. Entsprechend der Windverhältnisse wurde der Raps vor allem durch West- und Südwestwind verbreitet. Gebremst wurde die Verbreitung durch Hindernisse, die sich zwischen Feld und Sammler befanden, wie zum Beispiel Wald. Im Süden und Südwesten war das untersuchte Gebiet durch die Endmoräne geprägt. Die vorher genannte Beziehung ließ sich in diesem Teil nicht bestätigen. Da in diesem Bereich auch keine Windmessungen vorlagen, kann nur vermutet werden, dass dort andere Windverhältnisse vorherrschten. Der Sigma-2-Pollensammler konnte im Gegensatz zum PMF aufgrund der hohen Anzahl an Nullwerten nicht zu einer statistischen Absicherung herangezogen werden.

Bei der Verbreitung der Maispollen war die Entfernung des Pollensammlers zum nächsten Feld bestimmend. Dies gilt mit Ausnahme der südlich des Pollensammlers gelegenen Felder. Von den beiden Pollensammlertypen erbrachte der Sigma-2-Pollensammler die höhere Trennschärfe.

Da die Verbreitung beider Pollenarten über eine relativ große Entfernung erfolgte und in beiden Fällen mindestens zwei Windrichtungen bei der Verbreitung eine Rolle spielten, ist zu vermuten, dass ein höherer Anteil der vorgefundenen Pollen auch durch Felder erfolgte, die nicht unmittelbar an den jeweiligen Sammler grenzten. Wie hoch dieser Anteil aber ist, lässt sich aufgrund des Versuchsaufbaus nicht gesichert angeben.

1.5.5 Messplanung eines GVP-Pollenmonitorings

Der Einsatz der passiven Pollensammler (Sigma-2, PMF) trägt den Anforderungen eines GVP-Monitorings auf mesoskaliger Ebene Rechnung hinsichtlich Robustheit, sehr geringen Standortanforderungen und Kosten. Eine zeitliche Auflösung der Messwerte ist allerdings mit dieser Messapparatur nicht möglich. Der Fokus richtet sich auf die Gesamtdeposition der Pollen der Kulturpflanzen Raps und Mais. Zur Stratifizierung (proportional geschichtete Stichprobe) werden die Strata Naturraum, Orografie (z. B. 20m-Klassen), Landnutzung (Ackerland, Grünland) und Pollendepositionsindex (PDI)

verwendet. Die ersten drei genannten Datenbestände liegen bundesweit bei den Vermessungs- und Umweltämtern der Bundesländer vor (Naturräumliche Gliederung, DGM 25, ATKIS). Der PDI kann unter der Voraussetzung einer zeitnahen Kartierung oder eines aktuellen Anbauregisters konventioneller und transgener Kulturpflanzen berechnet werden. Die Standorte der Pollensammler sind durch eine Zufallsauswahl zu bestimmen. Um vergleichbare Verhältnisse an den Sammler-Standorten zu gewährleisten, sind u. a. definierte Abstände zu anderen Landnutzungen einzuhalten (z. B. zu Siedlungen, Wald oder Verkehrsflächen). Befindet sich der zufällig gewählte Standort innerhalb eines Feldes, ist der Standort in kürzester Entfernung an den nächstgelegenen Feldweg zu verschieben. Dadurch werden die Akzeptanz und die Erreichbarkeit des Standorts erhöht. Eine Anzahl von 30 Sammlerstandorten ist für ein Untersuchungsgebiet der Größe von 16 x 16 km nicht zu unterschreiten, damit die Grundgesamtheit der Pollendeposition durch die Messergebnisse annähernd abgebildet wird. Die Sammlerstandorte sind per GPS zu verorten und zusammen mit den o.g. Daten in einem GIS zu verwalten und zu analysieren.

1.6 Schlussfolgerungen und Ausblick

1.6.1 Wissenschaftliche Aspekte

Die geostatistischen Analysen zeigen einen klaren Zusammenhang zwischen der Menge an Rapspollen, die mit dem PMF gefunden wurde und der Entfernung zum nächstgelegenen Feld in westlicher und südwestlicher Richtung (Hauptwindrichtungen). Beim Maisversuch besteht ein ähnlicher Zusammenhang zwischen Pollensammler und Entfernung zum nächstgelegenen Feld, diesmal allerdings in alle Himmelsrichtungen mit Ausnahme von Süden. Auch mit dem Pollendepositonsindex (PDI) konnten bessere Korrelationen zwischen den tatsächlich gemessenen Pollendepositionen und den berechneten Werten gefunden werden, wenn nur die Felder aus zwei oder mehreren (Haupt-)Windrichtungen in der Berechnung des PDI berücksichtigt wurden. Dies zeigt deutlich, dass einfache Abstandsregelungen, mit festgelegten Vorgaben für Sicherheitsabstände zwischen Feldern, nicht den Verhältnissen in der Realität gerecht werden. Ein nicht zu erwartendes Ergebnis war die "Allgegenwärtigkeit" von Maispollen. Obwohl der Maispollen sehr groß und schwer ist und ihn eine hohe Sinkgeschwindigkeit auszeichnet (Aylor 2002), konnten in allen PMF Maispollen gefunden werden. Für Raps trifft dies nur für 88% der Standorte zu. Inwieweit diese Pollen noch befruchtungsfähig waren, konnte mit der gewählten Versuchsanordnung nicht bestimmt werden. Dennoch kann festgehalten werden, dass Maispollen, entgegen der üblichen Annahme, der Pollen sei zu schwer und groß, um weite Strecken zurückzulegen, eine große Verbreitung im Luftraum haben.

Aus diesen Ergebnissen lässt sich ableiten, dass sich die Exposition mit gentechnisch verändertem Pollen nach einem großflächigen Anbau in der Umgebung der Felder (bis zu 1000 m) nicht verhindern lässt. Es ist je nach Anbau, meteorologischen und orografischen Verhältnissen mit einer unterschiedlich starken Exposition zu rechnen. Ein Pollenfluss von >100.000 Pollen m⁻² d⁻¹ trat ausschließlich bis zu einer Feld-Entfernung von 100 m auf. Niedrige Werte (<10.000 Pollen m⁻² d⁻¹) wurden bis zu einer Entfernung von 1 km registriert. Dies sollte in den Genehmigungsverfahren zum Anbau von GVP bedacht werden.

Die Pollenexposition eines Gebietes kann im vornherein durch verschiedene Modellrechnungen abgeschätzt werden. Eine einfache und leicht zu berechnende Abschätzung
kann durch den in diesem Projekt entwickelten Pollendepositionsindex (PDI) erfolgen.
Der PDI wurde für das GIS-Programm ArcInfo (Fa. ESRI) entwickelt und braucht als
Grundlage lediglich die Lage und Geometrie der Felder, Berechnungspunkte (z. B. Pollensammler-Standorte) und Daten über Windrichtung und Windgeschwindigkeit. Wie
eine solche Abschätzung erfolgen kann, ist in Kapitel 2.8.5 erläutert.

Der Ausbau von Routineanalysen war ein wichtiger Bestandteil des Projektes. Wissenschaftlich konnte die halbautomatische Bilderkennung zur schnelleren Auswertung der Sigma-2-Proben deutlich weiterentwickelt werden, so dass mit einem größeren Probendurchsatz bei zukünftigen Anwendungen zu rechnen ist.

Da die molekulargenetische Analyse der Proben zur Bestimmung des Anteils an gentechnisch veränderten Pollen in einer Probe nicht befriedigend etabliert werden konnte, scheint hier noch weiterer Forschungsbedarf zu bestehen. Da eine molekulargenetische Analyse von reinen Pollenproben grundsätzlich kein Problem darstellt, haben sich während des Projekt-Verlaufs zwei Schwierigkeiten mit dem Probenmaterial aus dem PMF herauskristallisiert. Zum einen scheinen Verschmutzungen, wie sie bei reinen Pollenproben nicht vorhanden sind, die Reaktionen zu stören. Zum anderen war in den Proben die Anzahl an Pollen oft zu gering. Zwar wurden von den entsprechenden Zielpollen meist sehr viel in einer Probe nachgewiesen, aber bei den anschließenden Aufbereitungsschritten, die für die Molekularanalyse nötig waren, hat sich die Soll-Genomkopienzahl pro Probe zu weit verdünnt, so dass nur noch für wenige Proben ein positiver Nachweis der DNA der Zielpollen Raps oder Mais überhaupt möglich war. Dadurch dass der molekulargenetische Nachweis der gentechnisch veränderten Pollen noch nicht sicher möglich ist, ist mit dieser Art des Monitorings auch noch nicht eine Überwachung von illegalem Anbau oder illegaler Versuche möglich. Sobald aber die molekulargenetische Analyse störungsfrei läuft, ist eine Überwachung auch von ungewollten Freisetzungen möglich.

Zusammen mit dem Datenaustausch-Programm JTieX können diese Module für ein Monitoring der Exposition von gentechnisch verändertem Pollen eingesetzt werden. Es ist damit möglich, in einem bestimmten Gebiet die Exposition mit Pollen (konventionell und gentechnisch veränderte) zu erfassen. Zudem kann, sofern die Standorte der Felder mit gentechnisch veränderten Sorten bekannt sind, der PDI genutzt werden, um die Verbreitung lediglich der gentechnisch veränderten Pollen zu berechnen. Damit können Gebiete mit wahrscheinlich besonders hoher Exposition mit GV Pollen ausgewiesen werden. Je nach der Beeinträchtigung von Schutzzielen dieser Gebiete, könnten hier besondere Monitoring-Aufgaben wahrgenommen werden oder besondere Auflagen nötig werden.

Das Pollenmonitoring mit den technischen und biologischen Pollensammlern ist derzeit Gegenstand der Richtlinienarbeit im VDI (Verein Deutscher Ingenieure). Hier wird das Verfahren in einem Expertenkreis geprüft und in Form einer VDI Richtlinie (VDI 4330 Blatt 2-4) als standardisiertes Verfahren für ein GVO-Monitoring empfohlen. Die Ergebnisse dieser Richtlinienarbeit sollen auch in die entsprechende Richtlinienarbeit auf europäischer Ebene (CEN) einfließen (Hofmann et al. 2005).

1.6.2 Wirtschaftliche Aspekte

Da in diesem Projekt der Schwerpunkt auf der Entwicklung und Nutzung von Routineanalysen und standardisierten Geräten lag, bietet sich die kostengünstige Nutzung der erprobten Methodik in verschiedenen Gebieten Deutschlands an.

Die genutzten Geräte sind standardisiert und können direkt in mögliche Monitoring-Programme übernommen werden. Da es sich um Passiv-Geräte handelt, die keinen Stromanschluss benötigen, sind die Geräte wesentlich preiswerter als andere Pollensammelgeräte. Der Stückpreis für den technischen Pollensammler (Sigma-2 und PMF) wird unter 1000,- € zu realisieren sein (Hofmann et al. 2005). Da die mikroskopische Bildanalyse innerhalb dieses Projektes für die Sigma-2-Proben weiter fortgeschritten ist, sind auch hier die Möglichkeiten für einen kostengünstigen Einsatz dieser Analysemethode gegeben. Für die palynologische Auswertung der PMF-Proben über das Bieneninstitut Celle ist mit einem Preis von unter 100,- € pro Probe zu rechnen. Diese Analyse war zwar im ursprünglichen Projekt nicht vorgesehen, hat sich aber als ausgesprochen wichtige Information erwiesen, auf die auch zukünftig nicht verzichtet werden sollte. Das Datenaustausch-Programm ist auf der Basis eines frei zugänglichen Moduls aufgebaut und muss daher auch kostenfrei zur Verfügung gestellt werden. Es ist frei aus dem Internet herunter zu laden. Lediglich für die Anpassung muss ein Style-Sheet erstellt werden, um es dem Nutzer zu ermöglichen, Daten eines anderen Projektpartners auch entgegenzunehmen. Da das Datenaustausch-Programm jederzeit erweiterungsfähig

ist und auch als zentrale Datenhaltung mitgenutzt werden kann, bedarf es lediglich einer zuständigen zentralen Stelle, die die Daten entsprechend pflegt. Die Kosten für die molekulargenetischen Analysen lassen sich momentan nur grob abschätzen, da die Entwicklung einer Routineanalyse noch nicht abgeschlossen ist. Es ist aber damit zu rechnen, dass sich die Kosten im Bereich der normalen auf dem Markt erhältlichen PCR-Analyse-Preise bewegen werden.

Neben der Analyse der Proben stellt ein nicht zu unterschätzender Posten der Erwerb digitaler Daten (Geländemodell, Landnutzung, Luft- und Satellitenbilder, Topografische Karten, Flurkarten, meteorologische Daten etc.) dar, die für Planung, Management und Auswertung des Monitorings in einem GIS unerlässlich sind. Die Berechnungen im Vorfeld über die Verbreitung von Pollen anhand des entwickelten PDI kann mit handelsüblichen GIS-Programmen (in diesem Projekt: ArcGIS/ArcInfo, Fa. ESRI) jederzeit entsprechend der Angaben in diesem Bericht vorgenommen werden. Diese Berechnungen gewährleisten eine möglichst effiziente und raumrepräsentative Aufstellung der Pollensammler.

Insgesamt liegen für den Einsatz des hier vorgestellten Pollen-Monitorings alle wesentlichen Module zur Durchführung bereit. Auch ohne die molekulargenetische Analyse der Proben kann ein Pollen-Monitoring, so wie es hier beschrieben wird, zielführend und gewinnbringend eingesetzt werden, um die Exposition eines Gebietes mit Pollen abzuschätzen (Berechnung über PDI), zu messen (technische Pollensammler aufgestellt entsprechend der Abschätzung) und die Exposition mit gentechnisch veränderten Pollen abzuschätzen (Berechnung über PDI).

Ein GVP-Pollenmonitoring, so wie es in diesem Projekt durchgeführt wurde und mit Modifizierung empfohlen wird⁶, schlägt mit ca. 100.000 Euro an Material- und Analysekosten zu Buche. Als Personalaufwand werden 12 Personenmonate eines wissenschaftlichen Angestellten und jeweils 1 Personenmonat für drei technische Angestellte veranschlagt. Die Kostenersparnis durch Integration des hier vorgestellten GVP-Pollenmonitorings in bereits bestehende Messnetze von Landes- und Bundesbehörden oder des Polleninformationsdienstes (PID) ist hypothetisch und nicht zu beziffern.

1.7 Kurzfassung und Abstract

1.7.1 Kurzfassung

-

Gemäß der EU-Freisetzungs-Richtlinie 2001/18/EG besteht beim Inverkehrbringen gentechnisch veränderter (transgener) Kulturpflanzen die gesetzliche Verpflichtung zu ei-

⁶ Monitoring von Raps- und Maispollen, 30 Pollensammlerstandorte auf 256 km², Expositionsdauer Sigma-2: 2 Wochen, PMF 4 Wochen.

nem Langzeitmonitoring. Da Pollen transgener Kulturpflanzen ein Agens des möglichen Gentransfers und der Verbreitung in die Umwelt sind, kommt der Untersuchung der Exposition von Pollen im Rahmen eines Langzeitmonitoring von gentechnisch veränderten Pflanzen (GVP-Monitoring) eine große Bedeutung zu.

Das Ziel dieses Vorhabens bestand darin, innerhalb eines 256 km² großen Gebietes den Expositionsgrad transgener und nicht-transgener luftgetragener Raps- und Maispollen für den landwirtschaftlich genutzten Raum repräsentativ zu erfassen. Es sollte geprüft werden, ob ein raumrepräsentatives Pollen-Monitoring transgener Kulturpflanzen umsetzbar ist. Um Messstandorte auszuwählen, die für das Untersuchungsgebiet repräsentativ sind, und die repräsentative Messwerte liefern, wurde das Untersuchungsgebiet in Schichten unterteilt (stratifiziert). Als Schichten (Strata) wurden der Naturraum (naturräumliche Haupteinheiten), die Höhenlage (Orografie) und die Landnutzung (landwirtschaftliche Nutzungstypen) verwendet. Vom 25. April bis 23. Mai (Rapsversuch) und vom 4. bis 31. Juli 2003 (Maisversuch) wurde jeweils an 50 Messstandorten im westlich von München gelegenen Untersuchungsgebiet die Pollendeposition gemessen.

Im Hinblick auf ein bundesweites und langfristiges Monitoring wurden standardisierte Messgeräte und Verfahren eingesetzt und Routineanalysen zur Untersuchung des Pollen entwickelt, um einen hohen Automatisierungsgrad zu erreichen und damit einen hohen Probendurchlauf zu ermöglichen. Es wurden zwei Typen technischer Passiv-Pollensammler (Sigma-2, Pollenmassenfilter) in Kombination eingesetzt. Die Geräte brauchen keinen Strom, sind einfach aufzustellen und zu bedienen und damit sehr kostengünstig und robust in der Datenlieferung. Die Proben des Sigma-2-Sammlers wurden mittels (halb-)automatischer Bildanalyse qualitativ und quantitativ auf Pollen von Zielund Nicht-Zielarten untersucht. Die Proben des Pollenmassenfilters (PMF) wurden mittels molekulargenetischer Analyse qualitativ und quantitativ auf transgene und nicht transgene Zielpollen untersucht. Zusätzlich wurden die Proben des Pollenmassenfilters lichtmikroskopisch qualitativ und quantitativ auf Pollen von Ziel- und Nicht-Zielarten untersucht.

Rapspollen wurden an 15 (Sigma-2) bzw. 44 (PMF) von 50 Standorten gefunden. Der Abstand der Sammler zum nächsten Rapsfeld betrug zwischen 1 und 1510 m. Die durchschnittliche Rapspollendeposition (Sigma-2) betrug 4.300 Pollen m⁻² d⁻¹ und der durchschnittliche Rapspollenfluss (PMF) betrug 14.000 Pollen m⁻² d⁻¹. Maispollen wurden an 26 (Sigma-2) bzw. allen (49 auswertbare PMF) Standorten gefunden. Der Abstand der Sammler zum nächsten Maisfeld betrug zwischen 0 und 1190 m. Die durchschnittliche Maispollendeposition (Sigma-2) betrug 5.700 Pollen m⁻² d⁻¹ und der durchschnittliche Maispollenfluss (PMF) betrug 25.000 Pollen m⁻² d⁻¹.

Entgegen den Erwartungen und Erfahrungen aus Vorversuchen kamen die für den Windtransport vermeintlich weniger geeigneten Maispollen an allen Messorten vor (PMF). Selbst die Tatsachen, dass der Flächenanteil der Maisfelder dreimal so groß ist wie der Anteil der Rapsfelder, und die Pollensammler durchschnittlich näher an den Maisfeldern als an den Rapsfeldern standen, erklären diese weiträumige Verteilung der Maispollen nicht vollständig. Eventuell beeinflussen thermische Aufstiege und Turbulenzen, die später im Jahr während der Maisblüte verstärkt auftreten, die Verteilung der Maispollen zusätzlich.

In beiden Teilversuchen erbrachten beide Pollensammler – entsprechend der unterschiedlichen Standortbedingungen der Messorte – eine große Bandbreite an Messwerten der Deposition der Zielpollen. Somit wurde im Untersuchungsgebiet ein möglichst großer Gradient der Pollendeposition abgedeckt. Es wird davon ausgegangen, dass durch die Anordnung der Sammler ein repräsentativer Gradient aller möglichen Pollendepositionen erfasst wurde. Die Expositionsdauer der Sigma-2-Proben mit einer Woche erwies sich als zu kurz, da die Belegung mit Zielpollen nicht immer ausreichend war. Auf Kosten der zeitlichen Auflösung der Messwerte der Pollendeposition ist daher eine Expositionsdauer von 2 Wochen für Sigma-2-Proben zu empfehlen.

Die molekulargenetische Analyse der Proben auf DNA der Zielarten Raps und Mais sowie transgene Gensequenzen ergab nur in Einzelfällen positive Ergebnisse. Zum einen wurde die PCR inhibiert, zum anderen war die Anzahl der Pollen (eigentlich die Anzahl der Soll-Genomkopien, die nach der Extraktion noch in der DNA-Lösung vorhanden sein kann) in der PCR-Probe zu gering. Dies beruht zum Teil auf der Verdünnung der Ausgangsprobe während der Aufbereitung und Extraktion, zum Teil auf der zu niedrigen Fangzahl von Pollen an bestimmten Messstandorten.

Im Rahmen des Projekts wurde ein einfaches Ausbreitungsmodell, der Pollendepositionsindex (PDI), entwickelt, der die Fläche und Distanz benachbarter Felder berücksichtigt (optional Windrichtung) und damit die Lücke zwischen eindimensionalen (Entfernung zum nächsten Feldrand) und dreidimensionalen Ausbreitungsmodellen (z. B. AUSTAL2000 nach VDI 3945 Blatt 3 und TA Luft) schließt. Auf mesoskaliger Ebene wurde mit dem PDI die gleiche Genauigkeit bei der Vorhersage der Pollendeposition wie mit dem komplexen 3D-Ausbreitungsmodell AUSTAL2000 erreicht.

Die Raumrepräsentativität der Pollensammler-Standorte beruht auf der häufigkeitsstatistischen Abbildung der Merkmalsausprägungen der verwendeten Strata. Durch Abstandsanalysen zum nächsten Raps- bzw. Maisfeld und durch die Modellierung der Pollenausbreitung mittels des entwickelten Pollendepositionsindex (PDI) konnte die Raumrepräsentativität der Pollensammler-Standorte bekräftigt werden. In beiden Fällen ent-

spricht die Verteilung der Werte im Untersuchungsgebiet (Grundgesamtheit) der Verteilung der 50 Werte der Pollensammler-Standorte (Stichprobe).

Die in diesem Projekt entwickelten Methoden zur Probennahme und Probenanalysen sind für ein zukünftiges GVP-Monitoring – mit Ausnahme der molekulargenetischen Analyse – unmittelbar einsetzbar.

1.7.2 Abstract

According to the Directive 2001/18/EC a longterm monitoring of genetically modified crops (transgenic crops) is mandatory after the placing on the market. Since pollen of transgenic crops can transfer genes to other plants and can be dispersed over large distances in the environment, the measurement of the exposure with pollen in a longterm monitoring program is of special interest.

The aim of this project was to determine the degree of exposure with airborne transgenic and non-transgenic oilseed rape and maize pollen in a study area of 256 km². We scrutinised, if a spatial representative pollen monitoring of transgenic crops can be implemented. The study area was stratified (subdivided into different levels/strata) to gain representative measurement sites and from these sites representative measurement values. We chose the natural division, the altitude (orography) and land use (type of agricultural usage) as strata. At 50 sites from April 25 to May 23 (oilseed rape) and from July 4 to July 31 (maize), respectively, the pollen exposure was measured in the study area West of Munich.

With regard to a long-term monitoring for Germany only standardised measurement equipment and procedures were used and pollen analyses for routine use were developed. This was done to achieve the highest possible level of automation to guarantee a high throughput of samples during a monitoring program. Two different types of technical passive pollen traps were used in combination (Sigma-2, pollen mass filter). This equipment is independent of electricity, simple to set up and dismantle and therefore is of a reasonable price and robust in data delivery. Sigma-2 samples were analysed qualitatively and quantitatively with a semi-automatic image analysis system. Pollen mass filter (PMF) samples were analysed with molecular genetic methods for the amount of transgenic and non-transgenic target pollen. Additionally, the samples were analysed under light microscopy and pollen (target and non-target pollen) was counted.

Out of 50 sites oilseed rape pollen was detected at 15 (Sigma-2) and 44 (PMF) sites, respectively. The distance of the pollen traps to the next oilseed rape field was between 1 and 1510 m. The mean oilseed rape deposition (Sigma-2) was 4,300 pollen grains m⁻²d⁻¹ and the mean pollen flux (PMF) was 14,000 pollen grains m⁻² d⁻¹. Maize pollen was detected at 26 (Sigma-2) and all PMF sites, respectively. The distance of the pollen

traps to the next maize field was between 0 and 1190 m. The mean maize pollen deposition (Sigma-2) was 5,700 pollen grains m⁻² d⁻¹ and the mean maize pollen flux (PMF) was 25,000 Pollen m⁻² d⁻¹.

Against previous experimental results and our expectations maize pollen were present at all sites (PMF), although they were said not to be so well adapted to wind transportation. The fact that the amount of area covered by maize fields was three times the area of oilseed rape fields and therefore the pollen traps stood closer to maize fields than to oilseed rape fields cannot explain these findings completely. It is additionally possible that thermic winds and turbulences, which are stronger later in the year when maize flowers, also influence the maize pollen distribution.

In both parts of the experiment (oilseed rape and maize) both pollen traps detected – according to the different sites – a large range of measurement values for the exposure of the target pollen. Therefore, a gradient of pollen deposition as large as possible was covered in the study area. Due to the arrangement of the pollen traps it was ensured that a representative gradient of pollen deposition was detected. The duration of one week for the exposition of the Sigma-2 pollen traps was proved to be too short, because the amount of target pollen was not always sufficient for analyses. At the expense of a good resolution in time, we recommend an exposure duration of two weeks.

The molecular genetic analyses of the samples to detect DNA of the target species oil-seed rape and maize were only in some cases successful. In some cases the PCR reaction was inhibited, in other cases the amount of gene copies after preparation and extraction in the DNA-solution was not sufficient. This was due to the dilution of the samples during preparation, extraction and analyses and also to the limited number of pollen in some samples from certain sites.

During this project a simple dispersal model, the pollen deposition index (PDI) was developed. The PDI takes into account the area and distance of neighbouring fields (wind direction optional). With this model a gap is closed between one dimensional calculations (distance to the nearest field margin) and complicated three dimensional dispersion models (e.g. AUSTAL2000 after VDI 3945 Part 3 and TA Luft). On mesoscale the PDI reaches the same accuracy in predicting pollen deposition as the 3D-dispersial model AUSTAL2000.

The spatial representativeness of the pollen trap sites rely on the approximate reproduction of the frequency distribution of the parameters of the used strata. The spatial representativeness was also underlined by distance analyses between fields and samplers and the dispersal model using the PDI. In both cases the distribution of the parameters in the study area (population) and the distribution of the 50 parameters belonging to the pollen trap sites (samples) was the same.

The methods for sampling and analyses developed in this project are, with exception of the molecular genetic analyses, ready to be used immediately in a monitoring of genetically modified plants.

2 Material und Methode

2.1 Kulturpflanzen

Das Pollen-Monitoring konzentriert sich auf transgenen HR-Raps (Herbizid-Resistenz) und Bt-Mais (Eigenproduktion des Toxins des *Bacillus thuringiensis* zur Vermeidung von Schädlingsbefall). Den Kulturpflanzen Raps (*Brassica napus* L.) und Mais (*Zea mays* L.) wird eine hohe Priorität für ein Monitoring aufgrund des Potenzials für ökologische Wirkungen und der wirtschaftlichen Bedeutung zugesprochen (Bund/Länder-AG 2001).

2.1.1 Raps (Brassica napus L.)

2.1.1.1 Botanik

Raps (Brassica napus L.) tritt als einjährige, einjährig überwinternde oder zweijährige Pflanze auf und wird als Lebensform den Therophyten und Hemikryptophyten zugerechnet (Rothmaler 1999, 229). Die Pflanze erreicht eine Höhe von 1,2 bis 2 m, besitzt herzförmige, stängelumfassende, etwas behaarte Blätter, einen traubigen Blütenstand und Schoten als Früchte. Sie gehört zur Familie der Brassicaceae (oder Cruciferae, Kreuzblütler). Innerhalb der Familie können einige Gattungen nicht scharf abgegrenzt werden. Zwischen den Gattungen Brassica (Kohl), Sinapis (Senf), Diplotaxis (Stinkrauke), Eruca (Ruke) und Raphanus (Hederich) besteht eine enge genetische Verwandtschaft (Pascher et al. 2000). Zur Gattung Brassica, zählen mehr als 30 Kohlarten, deren Entstehung im Einzelnen nicht gänzlich geklärt ist. Zu den drei diploiden (doppelter Chromosomensatz) Grundarten gehören Brassica campestris (Chromosomensatz n=10), B. oleracea (n=9) und B. nigra (n=8). Durch Kreuzung entstanden viele polyploide Brassica-Arten. Raps (Chromosomensatz n=19) ist eine amphidiploide Hybride⁷ aus den Genomen von B. campestris (Rübse) und B. oleracea (Kohl) (U 1935, Geisler 1988, Diepenbrock et al. 1999, 258/259). Der Ursprung des Kohlanbaus scheint der mediterrane Raum zu sein. In der Antike lieferten Griechen und Römer erste Beschreibungen von Kohlarten. Der früheste Anbau von Raps ist für das 17. Jahrhundert in den Niederlanden belegt (Körber-Grohne 1987, 158, 161).

2.1.1.2 Blüte

Die sattgelben Zwitterblüten stehen am Ende des Haupttriebes und den verzweigten Seitentrieben der Rapspflanze. Je nach Bestandsdichte können sich – trotz Entwick-

lungsrückstand gegenüber dem Haupttrieb – an 5 bis 10 Verzweigungen die Blüten vollständig entwickeln und befruchtet werden. Die Gesamtblühdauer eines Bestandes beträgt drei bis fünf Wochen (Diepenbrock et al. 1999, 259, 266). Die Blühzeit der landwirtschaftlichen Bestände in Deutschland ist im April-Mai (Winkler et al. 2001). Jedoch kann der Raps während der gesamten Vegetationsperiode blühen, fruchten und Samen freisetzen (Pascher et al. 2000, Haeupler et al. 2003). Raps ist selbstfertil und die Rate der Selbstbefruchtung (Autogamie) wird durchschnittlich mit 80% (Geisler 1988) bzw. 60-70% (Scarisbrick & Daniels 1986) angegeben. Allerdings zeigt sich die Fremdbefruchtungsrate mit 2-90% (Geisler 1988) bzw. 0-90% (Scarisbrick & Daniels 1986) als sehr variabel. Als Vektoren der Fremdbefruchtung wirken Insekten und Wind. Das Verhältnis von Insekten- zu Windbestäubung bei der Fremdbefruchtung ist unbeständig. Nach Leins (2000) zeigt die Rapsblüte alle Syndrome der Zoophilie⁸ (Tierbestäubung). Langridge & Goodman (1982) konnten nachweisen, dass Rapsfelder bei Ausschluss von Insekten auch noch gute Erträge bringen.

2.1.1.3 Pollen

Der Rapspollen ist rund-oval und 3-colpat, d.h. es ziehen sich drei lang gestreckte Furchen (Colpen) – Meridianen vergleichbar – von Pol zu Pol (Winkler et al. 2001). Der mittlere Durchmesser liegt bei 28 µm⁹. Die Sinkgeschwindigkeit beträgt nach McCartney & Lacy (1991) 1,7 cm/s, nach Dietze (mündlich) 1,1 cm/s. Die Lebensdauer des freigesetzten Pollens geben Treu & Emberlin (2000) mit bis zu 5 Tagen an. Rapspollen kann aufgrund des Pollenkitts Agglomerate von mehreren Pollen bilden, die zusammen durch die Luft befördert werden.

2.1.1.4 Landwirtschaftliche Praxis

Beim Raps wird zwischen einer Winter- und Sommerform unterschieden. Der ertragsstärkere Winterraps wird gegenüber dem Sommerraps bevorzugt angebaut. Der Aussaatzeitpunkt für Winterraps liegt um den 20. August. Während der Sommerraps im gleichen Jahr zur Reife kommt, überwintert der Winterraps als Jungpflanze und wird im darauf folgenden Jahr geerntet. Den Ertrag bestimmen Anzahl, Gewicht und Ölgehalt der Samen. Diese Größen sind v. a. abhängig von der Anzahl der Pflanzen je Fläche. Geisler (1988) gibt den Mindestwert der Bestandsdichte mit 35 Pflanzen/m² und Die-

⁷ Die genetische Information der Eltern liegt vollständig als vierfacher Chromosomensatz in der Hybride vor

⁸ Zoophilie-Syndrome beim Raps: Zwitterblüte, auffällige Blütenfarbe und -duft, Pollen und Nektar als Nahrungsangebot, Pollenkornoberfläche stark skulpiert, reichlich Pollenkitt.

penbrock et al. (1999, 266) optimale Bestandsdichten mit 40-60 Pflanzen/m² an. In der Fruchtfolge folgt Raps im dritten Jahr nach zweimaligem Getreideanbau, da Raps selbstunverträglich ist und nicht im darauf folgenden Jahr erneut an gleicher Stelle angebaut werden kann (ebd., 267).

Nach Erfolgen in der Qualitätszüchtung (ertragreiche Sorten mit reduzierten oder gesteigerten Fettsäuregehalten) stieg ab Mitte der 1970er Jahre der Rapsanbau in Bayern an (siehe Abb. 1). Die gewonnenen Öle werden in der Nahrungsmittel- und der chemischen Industrie (Spezial-, Hydraulik- und Schmieröl, sowie als Grundstoff für Farben, Lacke und Weichmacher), als Treibstoff (Rapsmethylester) und die Extraktionsrückstände als Futtermittel verwendet (ebd., 258).

Mit einer Ernte von 3,87 Mio. t Rapssamen (11,9% der Weltproduktion) in 2002/2003 nimmt Deutschland nach China (10,53 Mio. t) und Kanada (3,95) und vor Indien (3,70) und Frankreich (3,32) weltweit den dritten Platz der Raps-Produzenten ein (Gunstone 2004, 12).

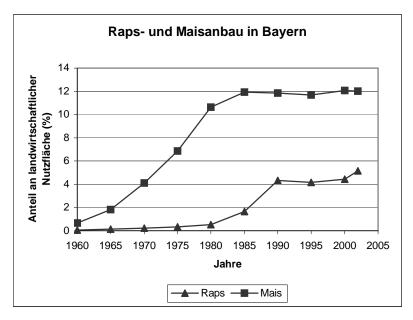


Abb. 1: Anteil von Raps und Mais an der landwirtschaftlich genutzten Fläche in Bayern (LfStaD – Bayerisches Landesamt für Statistik und Datenverarbeitung 2003)

9

 $^{^9}$ Beug (2004): 24-32 μm, Mittelwert: 28 μm; Winkler et al. (2001): 27 μm, Treu & Emberlin (2000): 32-33 μm, McCartney & Lacy (1991): 25 μm.

Material und Methode

2.1.2 Mais (Zea mays L.)

2.1.2.1 Botanik

Mais (*Zea mays* L.) gehört – wie alle Getreidearten – der großen Familie der Gräser (Gramineae bzw. Poaceae) an und stellt die einzige botanische Art der Gattung *Zea* dar. Innerhalb der Art treten viele Varietäten auf, die sich in Pflanzenlänge, Wachstumszeit und Kornform stark unterschieden (Zscheischler et al. 1990). Die Korntypen werden meist als Grundlage zur Aufgliederung der Art verwendet¹⁰.

Zum morphologischen Aufbau der Maispflanze: Der 1 bis 3 m hohe markerfüllte, walzenförmige und etwas abgeplattete Stängel erreicht einen Durchmesser von 2-6 cm und besteht aus bis zu 14 Internodien. Das lanzettliche Blatt ist oberseitig behaart und kann 30 bis 150 cm lang und bis 15 cm breit werden (Geisler 1988; Rothmaler 1999, 603).

Als einjährige Pflanze, die ungünstige Jahreszeiten als Samen im Boden überdauert, zählt Mais zur Lebensform der Therophyten (Rothmaler 1999, 603). Der wärmeliebende und frostempfindliche Mais verfügt über den C4-Metabolismus, welcher die Pflanze bei hoher Temperatur und Lichtintensität zu einer besonders hohen photosynthetischen Leistung befähigt (Diepenbrock et al. 1999). Der Grund für diese Besonderheit liegt in der außereuropäischen Herkunft des Maises. Er stammt aus Mittel-/Südamerika und ist damit einem anderen Florenreich (Neotropis) und einer anderen Klimazone (Tropen) zugehörig.

Der Mais ist weltweit eine der ältesten Kulturpflanzen (Diepenbrock et al. 1999). Er wurde um 3000 v. Chr. von den indianischen Hochkulturen Mittel- und Südamerikas in Kultur genommen (Körber-Grohne 1987, 92/93), um einen wesentlichen Anteil ihres Nahrungsbedarfs abzudecken. Vor der Entdeckung Amerikas war der Maisanbau fast über den gesamten amerikanischen Kontinent verbreitet. Eine ursprüngliche Wildform für Mais ist nicht bekannt¹¹. Nach der Entdeckung Amerikas wurde der Mais von den Europäern seit dem Ende des 15. Jahrhunderts in Europa¹², Asien und Afrika verbreitet. In Europa wurde der Mais zum festen Bestandteil der ackerbaulich genutzten Kulturarten (Geisler 1988). Der Anbau von Mais konnte sich in Bayern erst zu Beginn der 1960er Jahre durch den hiesigen Standorten angepasste Sorten ausweiten (siehe Abb. 1, Körber-Grohne 1987, 88/89).

-

 ¹⁰ Zea mays convar. indurata (Hartmais), amilacea (Stärke- oder Weichmais), indentata (Zahnmais),
 everta (Puffmais), saccharata (Zuckermais), tunicata (Spelzmais), amyleasaccharata (Zwischenform von Zahn- und Weichmais), ceratina (Wachsmais), aorista (Übergangsform von Zahn- und Hartmais)
 ¹¹ Als nächste Verwandte gilt die genetisch und morphologisch (Ausnahme: Fruchtstände) ähnliche Teo-

¹¹ Als nächste Verwandte gilt die genetisch und morphologisch (Ausnahme: Fruchtstände) ähnliche Teosinte. Allerdings wird die Teosinte je nach Betrachtungsweise einer anderen Gattung, derselben Gattung, sogar derselben Art zugeordnet (Körber-Grohne 1987, 90).

2.1.2.2 Blüte

Die männlichen und weiblichen Blütenorgane sind beim Mais auf einer Pflanze angelegt (einhäusig, monözisch), jedoch räumlich getrennt (getrenntgeschlechtlich, diklin). Darin unterscheidet sich der Mais von allen in Mitteleuropa angebauten Getreide- bzw. Süßgräserarten. Am Gipfel des Stängels bilden die männlichen zweiblütigen Ährchen einen rispenförmigen Blütenstand. Auf kurzen Seitetrieben, die aus den Blattachseln hervortreten und von Hüll- oder Lieschblättern umgeben sind, sitzen die weiblichen Organe. Die einblütigen weiblichen Ährchen sind zu einer Ähre zusammengestellt und bilden einen Kolben. Jedes Ährchen bildet einen 40 bis 50 cm langen fadenförmigen Griffel (Narbenfaden) aus. Die Griffel aller Blüten eines Kolbens (ca. 300 bis 1000) bilden eine Ouaste, die zum Zeitpunkt der Blüte aus den Lieschblättern herausragt. Um die Selbstbefruchtung (Autogamie) zu vermeiden, reifen die männlichen Blütenorgane (Anthere oder Staubbeutel) vor den weiblichen (Narbe). Dies wird als Vormännlichkeit (Proterandrie oder Protandrie) bezeichnet. Beim Mais erscheinen die Narbenfäden erst zwei bis vier Tage nachdem die eigenen Pollen aus den Staubbeuteln entlassen wurden. In der Natur wird der Mais zu 95% fremdbefruchtet. Die Bestäubung erfolgt durch den Wind (Zscheischler et al. 1990). Alle Anpassungssyndrome einer Windbestäubung (Anemophilie) nach Leins (2000) treffen auf den Mais zu¹³. Zander (1997) zählt Mais zu den Pollenblumen, die Pollenkörner als Futterstoff für Insekten anbieten. Da nur die männlichen Blütenorgane von den Insekten angeflogen werden und die weiblichen weit von den männlichen Blütenorganen entfernt liegen, ist eine Bestäubung unwahrscheinlich. Trotzdem schließen Treu & Emberlin (2000) eine Insektenbestäubung nicht gänzlich aus.

2.1.2.3 *Pollen*

Die Pollenproduktion einer Maispflanze kann mit ungefähr 14 Mio. Pollen angegeben werden (siehe Tab. 1). Das Pollenkorn des Maises ist ziemlich rund und glatt, da die Exine (äußere Schicht) feinkörnig ist und nur eine Keimöffnung aufweist (monoporat). Der mittlere Durchmesser¹⁴ des Korns beträgt 90 bis 100 µm (Di-Giovanni et al. 1995,

¹² Als Gartenpflanze in klimatisch begünstigten Gebieten Deutschlands im 16./17. Jahrhundert (Körber-Grohne 1987, 88)

¹³ Anemophilie-Syndrome beim Mais: Unscheinbare Blüte, Organzahl der Blüten reduziert, Diklinie (Geschlechtertrennung), dichte Infloreszenzen, "Pendelantheren" an dünnen Filamenten, kein Pollenkitt, Pollenkornoberfläche glatt, Narbe oberflächenvergrößert, eine Samenanlage pro Blüte, kein Nektar.
¹⁴ Stanley und Linskens (1985) weisen auf viele Faktoren hin, die Größe und Volumen von Pollen einer Art beeinflussen. Neben Wassergehalt, Turgeszens und Alter der Körner spielen klimatische Bedingungen wie Temperatur, mineralische Nährstoffe und Wasserhaushalt eine Rolle. Diese klimatischen Faktoren können auch Auswirkungen auf die Anzahl von Poren und Furchen und die Strukturierung der Exine (äußere Schicht des Pollens) haben.

Winkler et al. 2001)¹⁵ und die Masse 247,0 ng (Stanley & Linskens 1984). Maispollen sind die größten Gräserpollen und für eine windblütige (anemophile) Art relativ groß. Die Pollengröße windbestäubter Arten liegt meist zwischen 15 – 40 μm¹⁶. Die Sinkgeschwindigkeit des Maispollens schwankt laut Straka (1975, 170) zwischen 24,0 – 30,0 cm/s, laut Aylor (2002) zwischen 21 – 32 cm/s und Di-Giovanni et al. (1995) maßen 31 cm/s. Treu & Emberlin (2000) geben die Überlebensfähigkeit des Maispollens mit 3 Stunden bis 9 Tage an.

Tab. 1: Pollenproduktion von Mais¹⁷

Maispollen pro				Quelle
Staubblatt (in Tsd.)	Blüte (in Tsd.)	Blütenstand (in Mio.)	Pflanze (in Mio.)	
-	-	-	50	Paton (1921)
3,4	10,1	18,4	18,4	Pohl (1937)
2	-	-	14	Wallace et al. (1949)
6 – 7,5	-	-	-	Goss (1968)
2,5 – 3	15	4-10	-	Zscheischler et al. (1990)
-	-	-	14	Jarosz et al. (2003)

Die Freisetzung der Maispollen findet in Deutschland allgemein zwischen Ende Juli bis Anfang August statt und dauert 5-8 Tage (Maximum am dritten Tag). Vormittags zwischen etwa 9-11 Uhr gibt der Mais den meisten Pollen ab. Zuvor müssen Feuchtigkeit und Tau an der Rispe abgetrocknet sein (Zscheischler et al. 1990, 59). Die Pollenproduktion ist in Tab. 1 dargestellt.

2.1.2.4 Landwirtschaftliche Praxis

Im Maisanbau wird zwischen den Nutzungsformen Körnermais, Corn-Cob-Mix¹⁸ (CCM) und Silomais unterschieden. Der Silomais dient ausschließlich der Viehfütterung (Futterpflanze) und ist die dominierende Nutzungsform in Deutschland (siehe Tab. 2). Körnermais und CCM zählen zum Futter-/Industriegetreide (Geisler 1988, Statistisches Bundesamt 2004).

¹⁵ Die Spannweite der Durchmesser von Maispollen schwankt je nach Autor zwischen 53,1-138,0 μm (Beug 2004), 76-106 μm (Aylor 2002) und 90-125 μm (Treu & Emberlin 2000)

¹⁶ Winkler et al. (2001): 15-40 μm, Heβ (1990): 20-30 μm, Fægri & Iversen (1989): 30-40 μm

¹⁷ Bezüglich der Pollenproduktion von Mais wird häufig auf Miller (1982) verwiesen, der jedoch seinerseits Paton (1921) und Wallace et al. (1949) zitiert.

¹⁸ Bezeichnung (US-amerikanisch) für ein nicht vollständig reifes Erntegut (Mais-Spindel-Gemisch), das mit höherem Wassergehalt siliert wird (bauernhof.net).

Tab. 2: Anteil von Raps und Mais an der landwirtschaftlich genutzten Fläche in Deutschland, Bayern und im Landkreis Fürstenfeldbruck

(Statistisches Bundesamt 2004, LfStaD – Bayerisches Landesamt für Statistik und Datenverarbeitung 2003)

	Fläche in Deutschland (in 1000 ha)	Anteil (in %)	Fläche in Bayern (in 1000 ha)	Anteil (in %)	Fläche im Lkr. FFB ¹⁹ (in ha)	Anteil (in %)
Jahr	2002		2002		1999	
Landwirtschaftl. genutzte Fläche	16.974,2	100,0	3.251,9	100,0	23.725	100,0
Ackerland	11.790,9	69,5	2.081,7	64,0	18.695	78,8
Körnermais ²⁰	398,7	2,3	105,9	3,3	-	-
Silomais ²¹	1.119,2	6,6	285,1	8,8	2.396	10,1
Raps u. Rübsen	1.296,6	7,6	167,3	5,1	2.099^{22}	8,8

Die in Deutschland angebauten Maissorten sind fast ausschließlich Hybride (Kreuzung zweier Inzuchtlinien). Hybridsorten weisen nur im ersten Anbaujahr eine hohe Leistungsfähigkeit auf (Heterosiseffekt²³), weshalb jährlich neues Saatgut verwendet werden muss. Die Aussaat von Mais erfolgt im späten Frühjahr (Mitte bis Ende April) und kann unter ungünstigen Bedingungen bis zum Ende des ersten Maidrittels verschoben werden. Spezifische Vorfeldansprüche stellt Mais nicht und ist deshalb ohne Schwierigkeiten in Fruchtfolgen einzuführen. Die Bestandsdichte variiert für Körnermais zwischen sechs bis 14 Pflanzen pro Quadratmeter und für Silomais zwischen acht und 18 Pflanzen/m². Eine Monokultur von Mais über mehrere Jahre ist möglich, da Mais als mit sich selbst verträglich gilt (Geisler 1988).

Mit einer Ernte von 4,06 Mio. t Körnermais²⁴ (0,64% der Weltproduktion) in 2003/2004 rangiert Deutschland weit hinter den großen Körnermais-Produzenten USA (256,9 Mio. t), China (114,2 Mio. t) und Brasilien (47,8 Mio. t) (LfL 2005).

27

¹⁹ Landkreis Fürstenfeldbruck (Lkr. FFB)

²⁰ Einschließlich Corn-Cob-Mix (CCM)

²¹ Einschließlich Lieschkolbenschrot

²² Nur Winterraps

²³ Heterosiseffekt: Aus der Kreuzung von zwei Inzuchtlinien gehen Nachkommen hervor, die in der ersten Generation leistungsfähiger als die Eltern-Generation sind (biosicherheit.de).

²⁴ Inkl. Corn-Cob-Mix (CCM)

2.2 Technische Pollensammler

2.2.1 Stand der Technik

In diesem Vorhaben kamen vorrangig standardisierte Geräte oder Geräte, die z. Zt. ein Verfahren zur Standardisierung durchlaufen, zum Einsatz, um bei einem zukünftigen Monitoring vergleichbare Daten nach einem einheitlichen Verfahren zu erheben und verschiedene Monitoring-Gebiete vergleichend betrachten zu können. Zwei Typen von passiven²⁵ Sammelgeräten²⁶ werden genutzt: (1) Der Sedimentationssammler Sigma-2 nach VDI Richtlinie 2119, Blatt 4 und (2) der Pollenmassenfilter PMF (Gebrauchsmuster Nr. 201 17 632.7). Zum kombinierten Betrieb der Sammler ist der PMF auf den Sigma-2-Sammler installiert (Gesamthöhe ca. 50 cm). Diese Geräteanordnung ist auf einem 2 m langen Stahl-Rohr montiert, das ca. 50 cm tief im Boden eingelassen ist. Die Sammler kommen ohne Strom und weitere Installationen aus, so dass sie ohne größere Einschränkung im Gelände aufgestellt werden können. Der Sedimentationssammler Sigma-2 ist seit 15 Jahren beim Deutschen Wetterdienst (DWD) zur Probenahme gasförmiger (NO₂, Benzol) und partikelförmiger Luftbeimengungen in Kurorten im Einsatz. In dem windberuhigten Inneren des Sigma-2 sedimentieren Partikel >2,5 µm Partikeldurchmesser auf eine transparente Depositionsfläche, die für eine anschließende quantitativ-mikroskopische Auswertung geeignet ist. Der PMF wurde vom Ökologie Büro Hofmann in Bremen speziell als Zusatzeinrichtung für das GVP-Monitoring entwickelt, um ausreichende Pollenmengen für die molekulargenetische Analyse zum Nachweis der transgenen Pollen zu sammeln. Die Polypropylen-Fasern des PMF filtern aus der anströmenden Luft alle Partikel >10 µm (Abscheidegrad ungefähr 90%). Die Kombination der beiden Sammler wurde in einem Modellprojekt des Umweltbundesamtes bereits erfolgreich getestet (Hofmann et al. 2005).

Der Staub-Passiv-Sammler Sigma-2 wurde vom Geschäftsfeld Medizin-Meteorologie des Deutschen Wetterdienstes in Freiburg entwickelt. Es handelt sich um ein inzwischen standardisiertes Messgerät (VDI-Richtlinie 2119, Blatt 4) zur Erfassung von Staubbestandteilen in der Luft in Kurorten, sowie zur Pollenerfassung. Das Sigma-2 Gerät hat sich daher bereits im Vorgängerprojekt (Hofmann et al. 2005) als Basisgerät angeboten und wurde parallel mit weiterentwickelt.

Die beim DWD gemachten Erfahrungen anhand allergologisch relevanter Pollen führten zur Einschätzung, dass die Sammelmenge des Sigma-2 zu gering für molekularge-

²⁵ "Passiv" bedeutet in diesem Fall, dass der Sammler ausschließlich den natürlichen Umweltbedingungen ungestört ausgesetzt ist. Es wird keine Luftstrom "aktiv" angesaugt oder der Sammler oder Teile davon "aktiv" im Luftstrom bewegt.

²⁶ Eine Übersicht über verschieden Pollensammlertypen geben Subiza (2001) und Hofmann et al. (2005).

netische PCR-Analysen zur Prüfung des GVO-Eintrags ausfällt. Aus diesem Grund erfolgte die Entwicklung einer geeigneten Zusatzvorrichtung, dem "Pollenmassenfilter" PMF, der mit dem Sigma-2 zusammen eingesetzt werden kann und die Aufgabe hat, ausreichende Pollenmengen einzufangen, die eine anschließende molekulargenetische Untersuchung erlauben.

Die Arbeiten zur Entwicklung eines für ein GVO-Monitoring geeigneten technischen Pollenakkumulators wurden von F. Hofmann, Ökologie Büro, in Zusammenarbeit mit Dipl. Ing. G. Breitfuß Messtechnik GmbH, und mit Unterstützung von V. Dietze und Dr. E. Schultz (DWD, Freiburg) durchgeführt.

Für die technische Entwicklung und den Bau der PMF-Sondervorrichtung wurde die Firma Breitfuß Messtechnik GmbH in Harpstedt bereits im Vorgängerprojekt (Hofmann et al. 2005) beauftragt. Die Validierung der Sammler erfolgte dann im Freiland 2001 innerhalb des Modell-Projektes: "GVO Pollenmonitoring – Technische und biologische Pollenakkumulatoren und PCR-Screening für ein Monitoring von gentechnisch veränderten Organismen" (BMU-FKZ 200 89 412). Die mit dem PMF erfassten Pollenmengen erreichten bei den Freilandversuchen des o.g. Vorläuferprojektes in 2001 Werte von 66.000 bis 2,1 Millionen Gesamtpollenzahl pro PMF (Mittelwert der Rapspollenanzahl: 48.000) und damit ~50-fach mehr als der Sigma-2. Die Ergebnisse belegten, dass durch die Zusatzvorrichtung PMF deutlich höhere Pollenmengen erfasst werden konnten als durch den Sigma-2.

2.2.2 Bau und Funktion

2.2.2.1 Sigma-2

Der nach VDI/DIN standardisierte Sedimentationssammler "Sigma-2" (VDI 2119, Blatt 4, 1997) ist, ein zum Sammeln fester Partikel aus der Luft (u.a. auch Pollen) geeignetes Passivsammelgerät. Der Sigma-2 besteht aus einer zylindrischen Sammelkammer, die nach oben durch eine größere zylindrische Haube mit Mantel abgedeckt ist. In dem zylindrischen Mantel der Abdeckhaube des Sigma-2 sind Ausnehmungen angebracht, durch die Luft in die Sammelkammer hineinströmen kann. Hier beruhigt sich die Luft und die in der Luft enthaltenen Partikel (auch Pollen, die eine Größe von 5 – 120 μm aufweisen) sinken auf einen Haftfolienträger ab, der zur späteren Untersuchung entnommen werden kann. Die Partikel und Pollen können dann gemäß der VDI-Richtlinie unter dem Mikroskop bestimmt, ausgezählt und als Pollendeposition (Pollenanzahl pro Flächeneinheit) bzw. Pollendepositionsrate (Pollenanzahl pro Flächen- und Zeiteinheit) angegeben werden. Hierzu können auch bildanalytische Verfahren eingesetzt werden (Ronneberger et al. 2002). Auf der Basis der Stokes-Formel und nach Kalibrierung der Pollenarten lassen sich physikalische Beziehungen angeben, über die sich die Pollen-

konzentration in der Luft im Bezugszeitraum berechnen lässt. Für eine sichere molekularbiologische Analyse der Pollen-DNA mittels PCR-Verfahren auf bestimmte Gensequenzen wie Transgene reicht die Pollenmenge, die mit dem Sigma-2 gesammelt wird, jedoch nicht aus. Daher dient der Sigma-2 primär zur Bestimmung der Pollendeposition. Die Regelexpositionszeit betrug während des Projektes eine Woche.

2.2.2.2 Pollenmassenfilter (PMF)

Der Pollenmassenfilter PMF© (Gebrauchsmuster Nr. 201 17 632.7) ist auf eine ca. 50-100fach höhere Sammeleffizienz als der Sigma-2 ausgelegt, so dass die Pollenproben über molekularbiologische DNA-Analyseverfahren (PCR) auf einen möglichen Eintrag von GVP untersucht werden können. Zusätzlich kann durch eine mikroskopische Auswertung die Pollenanzahl pro Probe und der horizontale Pollenfluss (Pollen pro Flächen- und Zeiteinheit) bestimmt werden (siehe Kapitel 2.5.2.3.2). Der PMF besteht aus einem geschichteten, innen hohlen Filterkörper, der so beschaffen ist, dass die Luft nahezu ungehindert hindurch streichen kann, die Pollen jedoch zurückgehalten werden. Die seitlich angebrachte Sammelflasche dient zum Auffangen des Niederschlagswassers, das aus dem Filterkörper entweicht. Beim PMF sind Expositionszeiten von über 4 Wochen möglich, so dass mit wenigen Proben die relevanten Blühzeiträume überwacht werden können. Die Kombination der Pollensammler PMF und Sigma-2 ergaben in Freilandtests eine gute Eignung für ein Umweltmonitoring von GVP (Hofmann et al. 2005).

Der Mantel des PMF besteht aus einem Filter mit großer projizierter Fläche (80 cm²), bezogen auf die Strömungsrichtung des Gases, der gleichzeitig einen geringen Strömungswiderstand aufweist. Aufgrund des geringen Strömungswiderstandes des Filters (Strömungswiderstand ΔP bei 1 m/s Nenndurchströmgeschwindigkeit ca. 30 Pa) wird vor dem Filter, also in Luv, nur ein sehr geringer Staudruck aufgebaut, der Großteil der Luft durchströmt den Filter. Partikel über 5 µm, zu denen die Pollen gehören (die Pollendurchmesser liegen je nach Spezies zwischen 5 bis 120 µm), werden dadurch in den Filtermantel transportiert und dort an den Faseroberflächen angelagert und gesammelt. Dies wird weiterhin durch die Größe und den speziellen Schichtaufbau des Tiefenfilters unterstützt, die das Sammeln großer Mengen ermöglicht, sowie in Verbindung mit dem geringen Strömungswiderstand des Filters für eine gute Durchströmung und damit einen niedrigen Staudruck vor dem Filter sorgt. Entsprechend der Dimensionierung des Filterkörpers passiert ein bestimmtes Luftvolumen den Filter, aus dem die Pollen zu einem hohen Anteil ausgefiltert und gesammelt werden. Durch den zylindrischen Aufbau des PMF ist sichergestellt, dass der Filter, in Radialrichtung auf den Filter gesehen, unabhängig von der Windrichtung immer dieselbe projizierte Fläche hat. Die Faserdichte ist nach innen homogen und weist eine vertikal periodische Veränderung der Faserdichte auf. Diese Anordnungen vermindern zusätzlich Staudruckeffekte und erhöhen die Filtereffizienz. Bei trockener Witterung werden die Partikel, wie Pollen, festgehalten, bei Regen werden diese ausgewaschen und im Sammelgefäß aufgefangen, der Filter damit gleichzeitig regeneriert. Die hohe Aufnahmekapazität der Tiefenfilter verhindert ein Zusetzen und ermöglicht die langen Standzeiten von mehreren Wochen.



Abb. 2: Anordnung der Pollensammler Sigma-2 und PMF

Die in Abb. 2 gezeigte Sammelanordnung zeigt – entsprechend der Konzeption des PMF als Zusatzgerät zum Sammelgerät des Typs Sigma-2 – die Montage des PMF auf dem Dach des Sigma-2. Bei im Freien stehenden Sammelgeräten wird das Sammelgut, also die festen Partikel, wie Pollen, vom Regen von der Faseroberfläche der Filter abgewaschen. Als Bestandteil des PMF ist daher eine Auffangeinrichtung für das vom Filter ablaufende Regenwasser vorzusehen, so dass kein Sammelgut verloren geht. Das Probenmaterial an Pollen wird aus dem Filterkörper und der Auffangeinrichtung unter Anwendung von Ultraschallbädern im Labor über ein geschütztes Verfahren²⁷ zurückgewonnen (siehe Hofmann et al. 2005).

Der Detailaufbau ergibt sich wie folgt: Der Filter selbst besteht aus haftaktiven, thermisch verbundenen Polypropylen-Fasern, der Schichtaufbau ist progressiv. Der Abscheidegrad für Partikel $>10~\mu m$ soll mindestens 90 % (gemessen nach DIN EN 779) betragen. Geeignet ist ein Filtermantel, bestehend aus acht übereinander geschichteten Filterscheiben der Firma Freudenberg vom Typ Viledon® P15/500S. Der Filter um-

schließt eine Sammelkammer, die oben und unten durch einen Deckel bzw. Boden begrenzt ist. Seitlich am Kragen ist im Boden ein Ablauf für das im Kragen aufgefangene Regenwasser vorgesehen. Hierdurch wird das Regenwasser über einen Schlauch zu einer Sammelflasche geleitet (siehe Abb. 2). Hierin wird das im Kragen aufgefangene Regenwasser gesammelt, so dass die konkrete Niederschlagsmenge nachvollzogen werden kann. Die Sammelflasche muss zur Probenkontrolle durchsichtig sein, die Probenrückgewinnung erlauben und sollte mindestens 1,5 l Volumen aufweisen. Geeignet sind entsprechende PET-Flaschen mit glattem Rundboden²⁸. Die Sammelflasche ist komplett vor Lichteinwirkung zu schützen (Aluminiumfolie, Verschlussgefäß). Der Boden ist hierbei zur Erleichterung des Ablaufes konisch gehalten und weist eine aus der Mitte mit Neigung herausführende Ablaufrinne in Richtung Ablassöffnung auf. Die Schlauchverbindung erfolgt schlüssig und dicht. Da das Material für den Filter nicht geeignet ist, den Deckel zu tragen, ist der Deckel über drei Distanzstäbe auf dem Boden abgestützt. Die Abdeckung ist als Kegelspitzdach ausgeführt, die einen Ansitz von Vögeln verhindert. In der Unterseite des Bodens ist ein Gewindesackloch vorgesehen, mittels dessen das Sammelgerät direkt auf dem Sigma-2-Sammler befestigt wird.

2.2.2.3 Aufstellung im Gelände

Zur Aufstellung der beiden Pollensammler im Gelände wird ein 2 m langes Standrohr lotrecht ~50 cm tief im Boden verankert. Der PMF wird auf dem Dach des Sigma-2 per Schraube fixiert und die Sammlerkombination auf das Standrohr aufgesetzt. Somit befinden sich die Einlassöffnungen des Sigma-2 ~1,7 m und der PMF ~1,9 m über Grund. Abschließend wird die Einrichtung zum Auffangen des Niederschlagwassers (Schlauch und PET-Flache), das aus dem PMF sickert, angebracht (siehe Abb. 2).

2.3 Untersuchungsgebiet

2.3.1 Gebietsbeschreibung

2.3.1.1 Lage

Das Untersuchungsgebiet umfasst eine Fläche von 256 km² (16 x 16 km)²9 und liegt westlich der Landeshauptstadt München im Regierungsbezirk Oberbayern des Freistaates Bayern. Es deckt die Hälfte des Landkreises Fürstenfeldbruck ab (51,5%). Der größte Teil des Untersuchungsgebiets gehört zum Landkreis Fürstenfeldbruck (87,5%). Der

²⁷ Schutzrechtlich gesichert (deutsche Patentanmeldung DE 103 27 327.1): Rechteinhaber F. Hofmann ²⁸ Z.B. gereinigte 1.5 LPET-Flaschen der Deutschen Mineralbrunnen A.G. (keine PET-Flaschen verwen-

²⁸ Z.B. gereinigte 1,5 l PET-Flaschen der Deutschen Mineralbrunnen AG (keine PET-Flaschen verwenden, die zuvor zuckerhaltige Getränke enthielten)

²⁹ Bezogen auf die Landeskoordinaten (Gauß-Krüger, Zone 4, Bessel 1841)

Frankfurt

Main

Deutschland

Freistaat Bayern

Untersuchungsgebiet

Fluss

Städtische
Siedlungsfläche

Rest des Gebiets entfällt auf die Landkreise Dachau (8,9%) und Starnberg (2,5%) sowie die Stadt München (1,1%).

Abb. 3: Lage des Untersuchungsgebietes

2.3.1.2 Naturraum

Die naturräumliche Region "Nordseitiges Alpenvorland" (Kodierung nach Meynen et al. 1962) gliedert sich im Untersuchungsgebiet in vier naturräumliche Haupteinheiten. Im Südwesten befindet sich das Ammer-Loisach-Hügelland (037), im Südosten und Osten die Münchener Ebene (051), die nach Westen in das Fürstenfeldbrucker Hügelland (050) übergeht und im Norden das Donau-Isar-Hügelland (062).

Tab. 3: Naturräumliche Haupteinheiten im Untersuchungsgebiet

Naturräumliche Haupteinheit (nach Meynen et al. 1962)	Flächenanteil [%]	Fläche [km²]
Ammer-Loisach-Hügelland (037)	5,1	12,97
Fürstenfeldbrucker Hügelland (050)	33,7	86,22
Münchener Ebene (051)	42,6	108,98
Donau-Isar-Hügelland (062)	18,7	47,83
Summe	100,1	256,00

Das Ammer-Loisach-Hügelland gehört zum subalpinen Jungmoränenland (03) und ist geprägt von den Gletschern der letzten Eiszeit (Würm-Kaltzeit). Das stark profilierte Relief der Endmoränen kennzeichnet diesen Naturraum. Zwischen bewaldeten Hügel-

reihen und Wällen (bis 630 m NN³) liegen kleine Schotterfelder und vereinzelte Moorsenken. Im Norden schließen sich die gering reliefierten "Isar-Inn-Schotterplatten" (05) an. Dieser Naturraum (050 und 051) macht mit einem Anteil von 76% den größten Teil des Untersuchungsgebietes aus (siehe Tab. 3). In der Münchener Ebene fallen die fluvioglazialen Schotterfelder gleichmäßig von Süden nach Nordosten ab (von 580 bis 490 m) und bilden eine ebene Landschaft aus Niedermooren und ackerbaulich genutzten ehemaligem Heideflächen. Aus leicht gewellten Altmoränenplatten besteht das Fürstenfeldbrucker Hügelland (510 – 630 m), das im Untersuchungsgebiet vom Tal der Amper von Südwesten nach Nordosten durchschnitten wird. Ackerbau herrscht auf den trockenen grundwasserfernen Platten im Westen vor. Ausgedehnte Waldflächen finden sich im Ampertal und an den Talhängen. Das Unterbayerisches Hügelland (06) ist tertiären Ursprungs und nicht glazial überformt. Im Untersuchungsgebiet ist das Hügelland stark zertalt und von vielen Kuppen dominiert (500 – 590 m). Die jungtertiären Sande und Mergel werden ackerbaulich genutzt, große Waldflächen fehlen.

2.3.1.3 Klima

Das ozeanisch geprägte Klima des Alpenvorlandes weist wegen seiner großen Distanz zum Atlantischen Ozean bereits kontinentale Züge auf³¹ (Grottenthaler 1980, 60). Im Untersuchungsgebiet variieren die klimatischen Verhältnisse nur geringfügig. Zum einen weisen die ebenen Schotterfluren und sanft gewellte Hügelländer eine geringe Reliefenergie auf, zum anderen sorgen Schwäbische Alb, Fränkische Alb und Bayerischen Wald im Westen, Norden und Osten, sowie die Alpen im Süden für eine orografische Abriegelung des gesamtem Alpenvorlands. Die Uniformität des Klimas spiegelt sich insbesondere bei der Lufttemperatur wieder, während beim Niederschlag eine meridionale Zunahme der Intensität nach Süden auftritt (Liedtke & Marcinek 1995), die durch die Alpen verursacht wird. Im Untersuchungsgebiet führt dies zu durchschnittlichen Jahresniederschlagssummen zwischen 800 und 900 mm.

Die Klimadaten (von 1961 - 1990) der umliegenden Stationen des Deutschen Wetterdienstes (siehe Abb. 4) geben die o.g. klimatischen Bedingungen wieder (Müller-Westermeier 1996). Vom Mittelpunkt des Untersuchungsgebietes liegt die Station Augsburg-Mühlhausen 36,1 km in nordwestlicher Richtung, die Station München-Riem 32,9 km in südöstlicher Richtung und die Station Freising-Weihenstephan 39,6 km in nordöstlicher Richtung.

.

³⁰ NN: Normalnull, auf die Mittelwasserhöhe des Meeresspiegels am Pegel Amsterdam bezogene Basis für Höhenangaben in Deutschland (Bill & Zehner 2001, 191). Im weiteren Text beziehen sich alle angegebenen Geländehöhen auf NN und deshalb wird auf diese Angabe verzichtet.

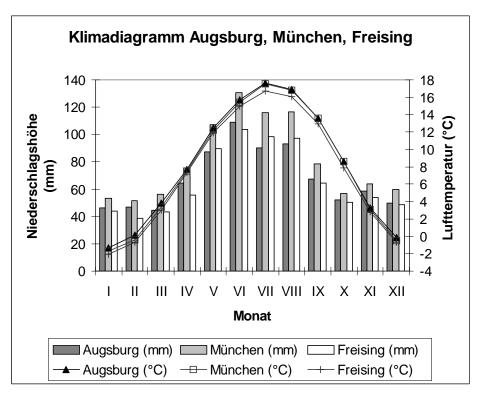


Abb. 4: Temperatur- und Niederschlagsdiagramm von Augsburg-Mühlhausen, München-Riem und Freising-Weihenstephan (Müller-Westermeier 1996)

Der Jahresgang der mittleren Temperatur der nächstgelegenen Station München-Riem (527 m NN, Naturraum: Münchner Ebene) reicht von –1,7°C im Januar zu 17,5°C im Juli (Jahresdurchschnitt: 8,0°C). Die jährliche Sonnenscheindauer beträgt 1709 Stunden und die mittlere Jahresniederschlagsmenge von 967 mm verteilt sich über 133 Tage (Müller-Westermeier 1996). Der Temperaturverlauf der weiter nördlich gelegenen Stationen Augsburg und Freising ist sehr ähnlich, die Niederschlagssummen liegen jedoch deutlich niedriger (811 mm bzw. 788 mm).

2.3.1.4 Landnutzung

Der Anteil der landwirtschaftlichen Nutzfläche im Untersuchungsgebiet liegt bei 80% im Donau-Isar-Hügelland (Tertiärhügelland), bei 60% in der Münchener Ebene (glaziale Schotterfelder) und dem Fürstenfeldbrucker Hügelland (flachwellige Altmoränenplatten) sowie bei 40% im Ammer-Loisach-Hügelland (subalpines Jungmoränenland) (siehe Tab. 4).

³¹ Ausgeprägte Jahres-Amplitude der Lufttemperatur mit relativ kaltem Winter und relativ warmem

Tab. 4: Prozentuale Verteilung der Landnutzungstypen im Untersuchungsgebiet (LfU, PbS, eigene Berechnung)

Name	Münchener Ebene	Fürstenfeldbrucker Hügelland	Donau-Isar- Hügelland	Ammer- Loisach- Hügelland
Ackerfläche (%)	40,23	49,86	69,50	23,56
Sonstige landwirtschaftl. Nutzfläche (%)	21,60	10,95	12,61	16,39
Wald (%)	7,06	27,51	10,61	57,27
Siedlung (%)	25,93	10,45	5,24	2,78
Sonstiges (%)	5,18	1,24	2,04	-
Summe (%)	100,0	100,0	100,0	100,0

2.4 Raumbezogene Daten

Die Problemstellung und die Zielsetzung des Projekts verlangten in hohem Maße den Einsatz von Geografischen Informationssystemen (GIS). Nahezu alle Daten, die in dem Projekt erhoben, verarbeitet und analysiert wurden, haben einen räumlichen Bezug. Wie Bill und Fritsch schon 1991 feststellen (Bill & Fritsch 1991, VII), können raumbezogene Daten ohne den Einsatz von EDV nicht mehr gehandhabt werden.

Die raumbezogenen Daten des Projekts wurden mit der GIS-Software ArcView, Arc-GIS und ArcInfo der Fa. ESRI (ESRI a, b, c) verarbeitet. Die Daten werden – wie in der bundesdeutschen Landesvermessung noch üblich³² – in der Gauß-Krüger-Projektion (Bezugsellipsoid: Bessel 1841, Datum: Potsdam) abgebildet. In Bayern wird das rechtwinklig in die Gauß-Krüger-Projektion gelegte Koordinatensystem auf den Hauptmeridian 12°E (Nullmeridian von Greenwich) bezogen (Bill 1996, 201-204). Eine Übersicht der externen und erzeugten GIS-Daten gibt der Anhang A8.

2.4.1 Vektordaten – Meteorologie

Eine Übersicht der meteorologischen Messstationen im Untersuchungsgebiet und 15 km darüber hinaus gibt die Tab. A9.1, Anhang A9. Die Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) baut seit 1989 landesweit ein agrarmeteorologisches Messnetz auf

Sommer

³² Die deutsche Landesvermessung hat beschlossen die Gauß-Krüger- auf die UTM-Projektion (Zone 32, Bezugsellipsoid: GRS80, Datum: ETRS89) umzustellen (Bundesamt für Kartographie und Geodäsie 2004). Zur Zeit werden sowohl Gauß-Krüger- als auch UTM-Projektion verwendet. Beide Projektionen sind einander ähnlich, da beide konforme (winkeltreue) transversale zylindrische Abbildungen eines Ellipsoids sind (Bill 1996, 201-204).

(z.Zt. 124 Stationen). Die Stunden- oder Tagesmittel der Messgrößen sind frei verfügbar und online über das Internet abrufbar. Insbesondere bezüglich der Windmessung entsprechen Ausstattung und Lage der Stationen sowie die Qualitätskontrolle der Daten³³ jedoch nicht dem meteorologischen Standard.

Der Deutsche Wetterdienst (DWD) unterhält bundesweit eine Vielzahl von Messstationen und fasst diese je nach erhobener Messgröße in verschiedene Messnetze (Datenkollektive)³⁴ zusammen. Eine Messstation kann folglich Daten für ein oder mehrere Datenkollektive liefern. Bei den in Tab. A9.1, Anhang A9 angegebenen Stationen der DWD-Kollektive handelt es sich z.T. um verschiedene Stationen. Die Daten müssen größtenteils über die DWD-Zentrale in Offenbach bestellt werden (z.T. über das Regionale Gutachtenbüro München, DWD) und nicht alle Daten sind für wissenschaftliche Zwecke kostenfrei.

Obwohl seit Juli 1997 kein fliegender Verband mehr am (Militär-)Flugplatz Fürstenfeldbruck stationiert ist³⁵, betreibt die Bundeswehr (BW) dort eine meteorologische Messstation. Aufgrund der umliegenden Gebäude erfüllt diese Station ebenfalls nicht die meteorologischen Standard-Anforderungen. Die Weitergabe der Bundeswehr-Daten an eine zivile Einrichtung (TU München) wurde durch eine Anfrage seitens des DWD möglich.

Die meteorologischen Stationen der Universität München werden im Untersuchungsgebiet nicht kontinuierlich betrieben³⁶ und konnten nicht verwendet werden.

Vom Regionalen Gutachtenbüro München des DWD wurden zwei Wölfle-Anemometer zur Messung von Windgeschwindigkeit und Windrichtung zur Verfügung gestellt. Ein Gerät wurde zwischen den Ortschaften Unterschweinbach und Waltershofen (Gem. Egenhofen; nordwestlicher Quadrant des Untersuchungsgebiets), das andere am Versuchsgut Puch (Gem. Fürstenfeldbruck) aufgestellt. Hard- und Softwareprobleme mit den Wölfle-Anemometern und den Speicherkarten ließen eine fortlaufende Messung nicht zu.

Trotz der scheinbar großen Anzahl von Messnetzen und –stationen lagen für den Zeitraum der Feldversuche in 2003 nur vom BW-Standort Fürstenfeldbruck Daten über die Windrichtung im Untersuchungsgebiet vor. Der DWD (FF-Datenkollektiv) und die LfL

³³ Eine Plausibiltätsprüfung der Messwerte erfolgt durch Grenzwerte, innerhalb derer die Messwerte verteilt sein müssen (Kerscher unveröffentlicht).

³⁴ Datenkollektive: AE (aerologische Aufstiege), EB (Erdbodentemperatur), FF (Windgeschwindigkeit, Windrichtung), KL (Klimastationen), MI (automatische Stationen), RR (Niederschlag), SO (Sonnenscheindauer), SY (synoptische Stationen), TU (Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit)

³⁵ http://www.luftwaffe.de/C1256C770036BB94/FrameDocname/OSLw Home

³⁶ Auskunft vom Meteorologischen Institut (Auskunft Lösslein per E-Mail) und vom Geophysikalischen Observatorium Fürstenfeldbruck (Auskunft Schmedes per E-Mail)

betreiben zurzeit keine derart ausgestattete Station³⁷ und die eigenen Messgeräte fielen wegen technischer Probleme aus. Um aussagekräftige Daten über die Windrichtung – ergänzend zu den BW-Daten – zu erhalten, untersuchte die DWD-Zentrale in Offenbach das FF-Datenkollektiv auf repräsentative Daten für den Raum Fürstenfeldbruck. Die Station Landsberg, die vom Zentrum des Untersuchungsgebiets 31,1 km in südwestlicher Richtung liegt (621 m, Naturraum: Fürstenfeldbrucker Hügelland), erfüllt diese Ansprüche (siehe Abb. 5).

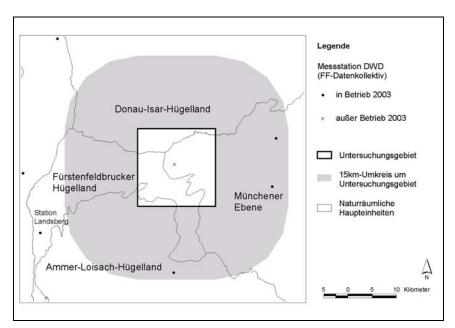


Abb. 5: Aktuelles und ehemaliges Messnetz des DWD (FF-Datenkollektiv: Windgeschwindigkeit und Windrichtung) im Untersuchungsgebiet und dessen Umgebung

2.4.2 Rasterdaten – Meteorologie

Insbesondere für die Auswahl der Pollensammlerstandorte (Stratifizierung, siehe Kap. 2.8.2, S. 59) waren meteorologische Flächendaten mit einer hohen räumlichen und zeitlichen Auflösung von Interesse. Das Vorhandensein adäquater Daten ließ der Bayerische Wind- und Solaratlas (Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Verkehr und Technologie 2001; siehe Tab. A8.1.2, Anhang A8) vermuten. Das Manko dieser Daten war einerseits die grobe zeitliche Auflösung (Jahresmittelwerte der Windgeschwindigkeit) oder andererseits die Uniformität der Daten aufgrund von räumlicher Auflösung und Skalierung der Messgrößeneinheit. Nach umfangreichen Recherchen beim DWD konnten – nach den Feldversuchen 2003 – für einige meteorologische Messgrößen Ras-

-

³⁷ Bis zum 31.12.1991 betrieb der DWD eine Messstation in Fürstenfeldbruck (FF-Datenkollektiv).

terdaten vom DWD bereitgestellt werden (Monatsmittelwerte, Auflösung: 1 x 1 km, Zeitreihe 1961-1990; siehe Tab. A8.2.2, Anhang A8).

2.5 Entwicklung von Routine-Analysen zur Datenlieferung

2.5.1 Automatische Bildanalyse

2.5.1.1 Zielsetzung

Zielsetzung des Projektes war gemäß Projektantrag vom 05.10.2001 die Entwicklung eines standardisierbaren Verfahrens zum Langzeitmonitoring gentechnisch veränderter Pflanzen gemäß EU-Richtlinie 2001/18/EG. Mit Rücksicht auf die finanziellen und personellen Erfordernisse eines Langzeitmonitorings sollte die Bestimmung der Konzentration der Pollen sowie Unterscheidung der Pollenarten nach dem Stand der Technik so weit wie möglich automatisiert werden.

Eine Machbarkeitsstudie zur automatischen Erkennung an reinen Pollenproben ergab unter Anwendung einer 3D-Bildverarbeitung für die Spezies Hasel, Erle, Birke, Süßgräser, Roggen und Beifuß eine Erkennungsleistung von über 95%. Für reale Mischproben aus der Umgebungsluft und Beschränkung auf eine 2D-Bildverarbeitung sank die Erkennungsleistung etwa auf 85%.

2.5.1.2 Vorgehensweise

Die Pollenprobenahme wurde mit dem Sedimentationssammler Sigma-2 durchgeführt. Die Pollen sedimentieren in dem windberuhigten Inneren des Gerätes auf eine 250µm starke glasklare Plexiglasfolie. Zur Fixierung der abgeschiedenen Partikel war die Plexiglasfolie mit einem witterungsbeständigen Kleber beschichtet. Zum Schutz vor einer vorzeitigen Kontamination blieb die Plexiglashaftfolie vor der Exposition durch ein Silikonpapier abgedeckt.

Aus den belegten Haftfolien wurden 18x18 mm große Stücke ausgestanzt. Diese wurden mit einer Glycerin-Wasser-Mischung (88%/12%) auf Objektträgern präpariert. Die entsprechend präparierten Haftfolien wurden anschließend 24h bei Raumtemperatur gelagert, damit die dehydrierten Pollen aufquellen konnten. Damit sollte erreicht werden, dass die Pollen wieder ihre charakteristische Form und Größe annehmen. Nur durch das Aufquellen der Pollen ist es möglich, als Vorbedingung für die gewünschte Erkennungsleistung, vergleichbare, reproduzierbare Merkmalgrößen aus den Abbildungen der jeweiligen Pollenart zu extrahieren.

Die verwendete Einbettung der Pollen musste außerdem für die Fluoreszenzmikroskopie geeignet sein. Die verwendete Glycerin-Wasser-Mischung weist keine Eigenfluoreszenz und damit auch kein Hintergrundsignal auf und beeinträchtigt die Eigenfluoreszenz der Pollen nicht. Die Eigenfluoreszenz der Pollen wurde für das Auffinden der Pollen in den atmosphärischen Mischproben genutzt.

2.5.1.3 Erkennungsverfahren

2.5.1.3.1 Bildanalytische Methode

Bei der klassischen Bildanalyse werden die Objekte binarisiert und an dem Binärbild morphologische Objektmerkmale wie Fläche, Durchmesser, Umfang oder Rauhigkeit des Umrisses für eine Erkennung vermessen. Diese Verfahrensweise folgt der Vorgehensweise des Menschen bei der Formerkennung. Die Erkennung mit Hilfe dieser morphologischen Merkmalgrößen bleibt jedoch in ihrer Leistung erheblich hinter der des Menschen zurück.

Das hier eingesetzte bildanalytische Verfahren zur Erkennung der Pollen versucht nicht die menschliche Vorgehensweise zu kopieren, sondern beruht auf der Extraktion so genannter Grauwertinvarianten (Ronneberger et al. 2002). Diese Invarianten repräsentieren abstrakte Kennzahlen für die objektspezifischen Merkmale der Pollen und werden aus den mikroskopischen Abbildungen der zu klassifizierenden Pollen im Durchlicht-Hellfeld und im Fluoreszenzlicht gewonnen. Dieses Verfahren stellt einen neuen Lösungsweg dar.

Im Gegensatz zur Ableitung morphologischer Parameter vom *gesamten Binärbild* werden bei der Invarianten-Methode Intensitätswerte (*Grauwerte*) der *einzelnen* Pixel miteinander verknüpft. So genannte Kernelfunktionen liefern einfache multiplikative und / oder additive Verknüpfungen von zwei (oder mehreren) Pixeln in allen Raumrichtungen. Die Kernelfunktion wird auf jedem Bildpixel angewendet und dabei in alle Raumrichtungen gedreht und translatiert. Diese Art der Summation über alle Bildpixel liefert als Ergebnis eine Invariante, die unabhängig gegenüber Translation und Rotation in der Bildebene ist. Diese Invarianz ermöglicht prinzipiell auch die Erkennung aus zweidimensionalen Bilddaten.

In den Projektarbeiten wurden jeweils 6 verschiedene Kernelfunktionen auf die Grauwertbilder der Pollen aus dem fluoreszenzmikroskopischen Abbildungsverfahren und aus der Aufnahme im Durchlicht-Hellfeld angewendet. Zusätzlich wurden die sechs Kernelfunktionen auf die Kombination jeweils eines Pixels eines Durchlichtbildes und eines Fluoreszenzbildes angewendet.

2.5.1.3.2 Training der Erkennung an einem Referenzbildarchiv

Durch Anwendung der 6 verschiedenen Kernelfunktionen auf die Pollenbilder in den 3 möglichen Pixelkombinationen (Durchlicht – Durchlicht, Fluoreszenz – Fluoreszenz,

Durchlicht – Fluoreszenz) für n ähnliche Pollenbilder einer Spezies ist es möglich, unterschiedliche Projektionen auf die Mikroskopierebene und damit die Verteilung in der räumlichen Orientierung der Pollen zu berücksichtigen. Man erhält auf diese Weise n 18-dimensionale Invariantensätze als "Fingerabdruck" einer Pollenspezies für die nachfolgende Klassifizierung.

Die Klassifizierung erfolgt mit Hilfe von so genannten Support-Vektor-Maschinen als Klassifikator. Für die Anwendung des Klassifikators wird eine Referenzdatenbank benötigt, die die Invariantensätze für alle erkennungsrelevanten Objekte enthält, mit denen das unbekannte Objekt verglichen werden kann.

Für die Erstellung einer Referenzdatenbank wird zunächst ein Bildarchiv von allen Objekten angelegt, die für die Erkennung relevant sind. Dieses Archiv sollte eine möglichst umfassende Menge aller relevanten Objekte enthalten, die in den zu bestimmenden Proben vorkommen können. Dazu gehören auch solche Objekte, deren Bestimmung nicht beabsichtigt ist. Von diesen wird jeweils ein Satz Invarianten berechnet und einer Pollenart, bzw. einer anderen Objektklasse zugeordnet (gelabelt). Die Invarianten werden in einem 18-dimensionalen Merkmalsvektor zusammengefasst und können in Projektionen des 18-dimensionalen Merkmalsraumes sichtbar gemacht werden.

In diesem Merkmalsraum bilden die Vektoren gleicher Objektklassenzugehörigkeit Cluster, zwischen denen der Klassifikator in einem iterativen Trainings-Prozess Trennflächen festlegt. Diese Flächen trennen Unterräume des Merkmalsraumes, denen jeweils eine Objektklasse eindeutig zugeordnet werden kann. Die Beschreibung der Trennflächen im Merkmalsraum wird in einer Referenzdatei abgelegt.

2.5.1.3.3 Erkennung unbekannter Pollen und anderer Aerosolpartikel

Zur Erkennung eines unbekannten Objektes werden dessen Merkmale, repräsentiert durch die Invarianten des Merkmalsvektors, mit den Beschreibungen der Trennflächen aus der Referenzdatei verglichen und damit der eindeutigen definierten Objektklasse des zugehörigen Unterraumes zugeordnet.

Wichtig ist daher eine möglichst vollständige Aufnahme der vorkommenden, zu klassifizierenden Objekte in die Referenzdatenbank, da es ansonsten zu Fehlklassifikationen kommen kann, wenn beim Training des Klassifikators durch leere Bereiche des Merkmalsraums willkürliche Trennflächen gelegt werden, in denen später die Merkmalsvektoren zu erkennender Objekte liegen können. Eine Beschränkung auf wenige Pollenspezies in der Referenzbilddatenbank führt vor allem bei Mischproben nicht zum Ziel, da in den zu untersuchenden Mischproben neben den Pollen weitere Objekte auftreten, die erkannt und von den Pollen unterschieden werden müssen.

2.5.2 Pollenmassenfilter

2.5.2.1 Feldversuche 2003

Im Jahr 2003 wurden im Untersuchungsraum PMF-Sammler während der Rapsblüte im Frühling (April-Mai) sowie während der Maisblüte (Juli) exponiert. Hierbei wurden jeweils zwei Versuche bedient (Zusammenfassungen in Tab. 5 und Tab. 6):

- zur Raumrepräsentativität mit 50 PMF-Sammlern an 50 Standorten, Exposition über den gesamten Zeitraum von jeweils ca. 4 Wochen,
- (a) für die PCR-Analytik 6 PMF an 6 Standorten in einem Rapsversuchsfeld und an 4 Standorten in einem Maisversuchsfeld mit variierenden Expositionszeiten von wenigen Tagen bis 4 Wochen. (b) 6 zusätzliche Standorte an einem Raps- und an einem Maisfeld, Exposition über 1 Woche

Tab. 5: Anzahl PMF, Standorte und Proben während der Rapsblüte in 2003

Rapsversuch	Anzahl PMF-Sammler	Anzahl Proben
Raumrepräsentativität	50	50
(Exposition: ca. 4 Wochen)		
PCR-Versuche	6	14
(Exposition: 2, 5, 7, 9, 14, 23 Tage)		
Zusätzliche Standorte	6	18
(Exposition: 1 Woche)		
Gesamt	62	82

Tab. 6: Anzahl PMF, Standorte und Proben während der Maisblüte in 2003

Maisversuch	Anzahl PMF-Sammler	Anzahl Proben	
Raumrepräsentativität	50	49	
(Exposition: ca. 4 Wochen)			
PCR-Versuche	4	11	
(Exposition: 5, 6, 7, 13, 25 Tage)			
Zusätzliche Standorte	6	18	
(Exposition: 1 Woche)			
Gesamt	60	78	

Vorbereitung:

 Zur Vorbereitung wird unter staubfreien Konditionen (Labor) pro Standort 1 Satz von 8 frischen Filterscheiben in die Transportgefäße gestapelt und das Gefäß verschlossen. Mindestens einen leeren Glasbehälter für Aufnahme der ersten Freilandfilterprobe vorsehen, die weiteren können dann in die leer gewordenen Transportgefäße überführt werden.

Probenentnahme:

- Kegelspitzdach von PMF abschrauben.
- Leeren Transportbehälter über die Filterscheiben des PMF stülpen und mit dem Entnahmebesteck die Filterscheiben in den Behälter überführen, Behälter verschließen und beschriften.
- Angeschlossene Proben-Sammelflasche aus dem Behälter nehmen, Alufolie abnehmen.
- Wasserstand in Probenflasche mit wasserfestem Faserschreiber markieren.
- Metallkörper des PMF mit Spritzflasche (0,1% Tickopur-Spüllösung) gut ausspülen (ca. 50-100 ml), so dass Lösung mit Partikeln durch Schlauch in die Probenflasche fließt
- Neuen Wasserstand in Probenflasche mit wasserfestem Faserschreiber markieren.
- Probenflasche mit dichtem Verschluss für Transport verschließen und auf Lichtschutz bei Transport und Lagerung achten.

Neue Probenbestückung:

- Neue Probenflasche beschriften, Schlauch anschließen, in Alufolie verpacken und im Köcher unterbringen.
- Kegeldach vom PMF Unterteil abschrauben.
- Im Labor vorbereitetes Transportgefäß mit 8 neuen Filterscheiben von oben über das PMF Unterteil stülpen.
- Dach des PMF aufschrauben.

Erhebung von Zusatzparametern zur Qualitätssicherung und Standortbeschreibung:

- Probenflasche mit Inhalt vor und nach dem Spülen des PMF auf 1 g genau wiegen und Gewichte auf Flasche und im Protokoll vermerken.
- Beobachtungen im Protokoll notieren: Z. B. ob Flüssigkeit klar, trübe, evtl. grünlich ist, Fremdkörper enthält etc.

Probenversand:

• Probenflasche und Transportbehälter mit den Filterproben in Alufolie lichtgeschützt verpacken. Proben aufrecht und gut geschützt verpackt innerhalb von 24h in den Versandkartons per Express versenden.

2.5.2.2 Probenaufbereitung

Nach Abschluss der Freilandexposition wurden die Pollenproben aus den Filterkörpern und den Sammelflaschen der PMF im Labor nach dem in Abb. 6 skizzierten Ablauf rückgewonnen und auf einer geeigneten Matrix niedergelegt.

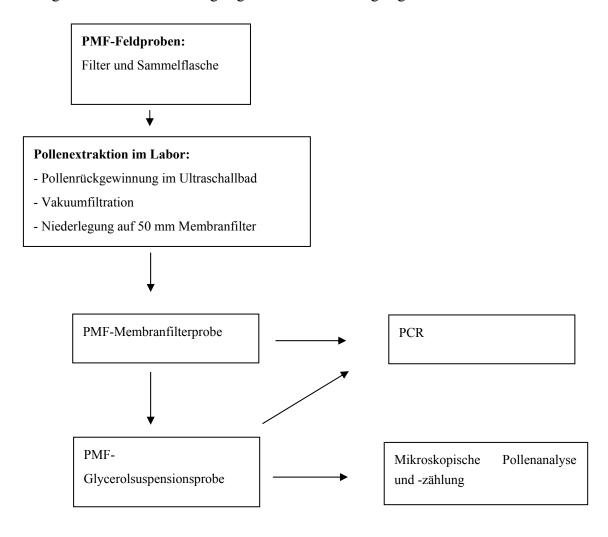


Abb. 6: Präparation der PMF-Proben für die PCR-Analytik und die mikroskopische Pollenanalyse

Damit sich die aufbereiteten Pollenpartikel hinterher sachgerecht, zuverlässig und repräsentativ untersuchen lassen, wurde die Pollenprobe in eine Glycerolsuspension überführt. Die viskose Lösung verhindert ein vorzeitiges und ungleichmäßiges Herabsinken der Partikel in der Suspension, so dass mittels Pipetieren repräsentative Teilproben entnommen und diese den verschiedenen Analyseverfahren zugeführt werden können.

Die Präparation der PMF-Pollenproben aus den Filterpads und der Flüssigkeit in den Sammelflaschen erfolgte im Labor nach dem Verfahren von Hofmann³⁸ (Hofmann et al. 2005) unter Anwendung von Ultraschall und Abscheidung der Probe als Filterkuchen auf Membranfilter (steril und PCR-geeignet) über Vakuumfiltration. Die Membranfilterproben [MF] wurden bei –20°C zwischengelagert.

Es erfolgte dann die Überführung der Pollenprobe (Filterkuchen) in eine Glycerolsuspension (ca. 50%, Dichte ca. 1,1 g/cm³, 4 ml) in ein für die PCR geeignetes und verschließbares Zentrifugenröhrchen (z. B. Greiner 15 ml). Nach Mischung der Pollensuspension im Rüttler wurden aus der Pollensuspension [PS] die Unterproben für die diversen Analysengänge abpipetiert:

- Unterproben für die PCR-Analytik: 2 x 500 μl [UP_{a-b}], an das LfU Augsburg gehend,
- Unterprobe für die mikroskopische Pollenanalyse [UM] zur qualitativen Bestimmung des Pollenspektrums sowie der quantitativen Auszählung der Pollenanzahl für ausgewählte Pflanzenpollen: 1 x 500 µl in 2 ml Eppendorf Safe-Lock-Caps, an das Institut für Bienenkunde Celle gehend,
- Rest: Rückstellprobe [UR].

Sämtliche Proben wurden bei -20°C aufbewahrt.

2.5.2.3 Analyse der Proben/Methode

2.5.2.3.1 Molekularbiologische DNA-Analytik

Die PMF-Unterproben [UP_{a-b}] wurden für die PCR-Analytik zur molekulargenetischen Analyse der Pollen-DNA an den Projektpartner LfU Augsburg übersandt.

2.5.2.3.2 Mikroskopische Pollenanalyse

Probenqualität:

_

Zur Kontrolle der Probenqualität wurden die Filterkuchen mit den Pollenproben auf den Membranfiltern unter dem Binokular begutachtet. Die PMF-Proben wiesen gute Belegungsdichten auf, es fanden sich in den Proben zahlreiche Raps- als auch Maispollen.

³⁸ schutzrechtlich gesichert (deutsche Patentanmeldung DE 103 27 327.1): Rechteinhaber F. Hofmann

Einschränkungen in der Qualität der Pollenproben (aufgeplatzte oder degenerierte Pollen) waren nicht festzustellen.

Qualitative und quantitative Pollenanalyse:

Für die qualitative und quantitative Pollenanalyse wurden die hierfür angefertigten Unterproben der Pollensuspension [UM] herangezogen. Das Verfahren wurde in Zusammenarbeit mit dem Institut für Bienenkunde in Celle auf Grundlage der Präparationsschritte nach DIN 10760 zur Pollenanalyse im Honig entwickelt, das Verfahren ist bei Hofmann et al. (2005) näher beschrieben. Die mikroskopische Pollenanalyse erfolgt auf der Basis der Standardroutine der melissopalynologischen Untersuchungen in Zusammenarbeit mit Frau von der Ohe am Institut für Bienenkunde in Celle.

Übersichtsdarstellung zur qualitativen und quantitativen Pollenanalyse:

Vorauszählung und Einstellung der Glycerolprobe (Aliquot von 0,5 ml von 4 bzw. 8 ml)

Ausstreichen von mehrfach 10-50 µl auf Objektträger

Auszählung der Präparate bis 1000 Pollen Gesamtzahl oder mehr unter 400x Vergrößerung

- qualitative Bestimmung der identifizierbaren Pollenarten
- quantitative Bestimmung für ausgewählte Pollenarten und Pollengesamtanzahl: Frühling: *Brassica*, *Pinus*, *Picea*, *Quercus*, Poaceae, Gesamtpollen Sommer: *Zea mays*, Poaceae, Chenopodiaceae, Gesamtpollen

Zur qualitativen Analyse des erfassten Pollenspektrums wurden alle mikroskopisch differenzierbaren Pflanzenpollen (Art, Gattung, Typus) mit einem Anteil über 0,1% bestimmt und aufgelistet und das resultierende Pollenspektrum in der Probe dargestellt. Als Bestimmungsgrundlage diente die Celler melissopalynologische Sammlung (von der Ohe & von der Ohe 2000), die Systematik der Pflanzennamen erfolgte nach Zander (1993).

Quantitativ wurde für die PMF-Proben aus der Frühjahrs- und Sommerbeprobung die Gesamtpollenanzahl sowie folgende Spezies bestimmt und ausgezählt. Hierbei wurde zur Erzielung einer angemessenen relativen Nachweisgrenze (z. B. 0,1%) eine dynamische Zählweise angelegt:

• Frühjahrsbeprobung zur Rapsblüte: *Brassica*, *Pinus*, *Picea*, *Quercus*, Poaceae, Gesamtpollen

Sommerbeprobung zur Maisblüte: Zea mays, Poaceae, Chenopodiaceae, Gesamtpollen

Aus der Unterprobe der Pollen-Glycerolsuspension für die Mikroskopie [UM] wurde nach Schütteln der Probe 10 μ l mittels Mikropipette auf einem Objektträger aufgebracht, mit einem Deckglas (22 x 22 mm²) abgedeckt und die Pollengesamtanzahl abgeschätzt. Daraufhin wurde die Pollen-Glycerolsuspension [UM] eingestellt, indem gegebenenfalls durch Glycerolzugabe [GZ] die zur Zählung verwendete Zählsuspensions-Probe [ZU] definiert soweit verdünnt wurde [Verdünnungsfaktor f_Z], dass durch Entnahme von 10-50 μ l eine Pollengesamtzahl von ca. 1.000 Pollen erreicht wird. Anschließend wurden mehrfach Unterproben [M_k , k=1..., $K\geq 2$] mit entsprechenden Volumina zwischen 10-50 μ l entnommen und diese sukzessive zur Bestimmung herangezogen.

Die Auszählung der Pollenanzahlen für die Zielpollenarten sowie der Gesamtpollen erfolgte unter 400-facher Vergrößerung derart, dass die jeweiligen Pollenarten pro Präparat komplett ermittelt wurden. Die Auszählung der Präparate erfolgte sukzessive bis insgesamt mindestens 2.000 Pollen als Gesamtzahl identifiziert wurden. Hierzu wurden mindestens zwei Präparate berücksichtigt, gegebenenfalls ein drittes und weitere. Die Pollenanzahl wurden dann entsprechend den ausgezählten Volumina auf die Probe folgendermaßen hochgerechnet, wobei für die Pollenarten und die Gesamtpollen die jeweilige Pollenkonzentration pro μ l sowie die Pollenanzahl bezogen auf die PMF-Probe angegeben wurden:

Zunächst wurden summarisch die Zählwerte als Pollenanzahl bezogen auf das insgesamt ausgezählte Volumen ermittelt, indem die Pollenanzahl und Volumina der k ausgezählten Präparate addiert wurden:

$$N_{i,Z} = \sum_{k=1}^{z} N_{i,k}$$
 [n Pollen]

$$V_Z = \sum_{k=1}^{z} V_k$$
 [µl]

 $N_{i,Z}$ Gesamt-Anzahl gezählter Pollen der Spezies i innerhalb der z ausgezählten Mikroskopier-Präparate (Empfehlung: $N_{i,Z} > 2000$) (Zählwert)

 $N_{i,k}$ Anzahl gezählter Pollen der Spezies i in Mikroskop-Zählpräparat k (k = 1,2, ..., K)

V_Z Gesamt-Volumen der z ausgezählten Mikroskopier-Präparate

 V_k Volumen des Mikroskopier-Präparats k (k = 1,2, ..., K)

- i Index für Pollenart
- k Index für Mikroskopier-Präparat (k = 1, 2, ..., K). Empfehlung: $K \ge 2$
- z Anzahl der tatsächlich ausgezählten Mikroskopier-Präparate ($z \le K$, Empfehlung: $z \ge 2$)

Aus den Zählwerten wurden die Pollenkonzentrationen C_{i, PS} der einzelnen Pollenarten und Gesamtpollen in der PMF-Glycerolsuspensionsprobe PS unter Berücksichtigung des Verdünnungsfaktors f_Z über folgende Schritte berechnet:

$$f_Z = \frac{V_{ZM}}{V_{UM}} = \frac{V_{UM} + V_{GZ}}{V_{UM}}$$
 (3)

$$N_{i,UM} = f_Z \cdot N_{i,Z}$$
 [n Pollen] (4)

$$C_{i,PS} = C_{i,UM} = \frac{N_{i,UM}}{V_{UM}} =$$
 [n Pollen / µl] (5)

f_Z Verdünnungsfaktor Zählsuspension

V_{UM} Volumen der Mikroskopier-Unterprobe UM von PS

V_{ZM} Volumen der durch Verdünnung von UM eingestellten Zählsuspension

V_{GZ} Volumen der Glycerolzugabe

 $N_{i,Z}$ Gesamt-Anzahl gezählter Pollen der Spezies i innerhalb der z ausgezählten Mikroskopier-Präparate (Empfehlung: $N_{i,Z} > 2000$) (Zählwert), aus (1)

N_{i,UM} Anzahl Pollen der Spezies i in der Mikroskop-Unterprobe UM

C_{i,PS} Pollenkonzentration der Spezies i in der Pollensuspension-Probe (gesucht)

C_{i,UM} Pollenkonzentration der Spezies i in der Mikroskopier-Unterprobe

Als Ergebnis wurde die absolute Pollenanzahl pro PMF-Probe wie folgt aus der Pollenkonzentration $C_{i, PS}$ ermittelt:

$$N_{i,PMF} = N_{i,PS} = C_{i,PS} \cdot V_{PS}$$
 [n Pollen / PMF-Probe] (6)

N_{i,PMF} Anzahl Pollen der Spezies i in der PMF-Probe (gesucht)

N_{i,PS} Anzahl Pollen der Spezies i in der Pollensuspensionsprobe PS

C_{i,PS} Pollenkonzentration der Spezies i in der Pollensuspension-

Probe, aus (5)

V_{PS} Volumen der Pollensuspensionsprobe PS

Nachweisgrenzen:

Die relative Nachweisgrenze (NWG) einer bestimmten Pollenart orientiert sich an der Gesamtzahl ausgezählter Pollen und wurde <0,1% gehalten (Zielpollen-Anzahl im Verhältnis zur Gesamtpollen-Anzahl). Die absolute NWG für die quantitative Pollenzählung ist dadurch bestimmt, dass in der jeweils ausgezählten Probe mindestens ein Pollen enthalten sein muss. Für Proben, in denen im Zählpräparat die Zielpollenart unter der jeweilig absoluten NWG lag, wurde diese angegeben.

Pollenfluss F_{PMF}:

Der Pollenfluss gibt die am Standort per Wind antransportierte Pollenmenge über den Expositionszeitraum τ als standardisierte Größe pro m^2 Bezugsfläche an. Der PMF filtert die Pollen aus dem Luftstrom und beschreibt damit einen horizontalen Fluss. Die Bezugsfläche ist senkrecht zur Windrichtung ausgerichtet. Der über den PMF erfasste Pollenfluss für die Spezies i $[\mathbf{F}_{i, PMF}]$ sowie entsprechend für die Gesamtzahl wurde nach folgender Formel ermittelt:

$$F_{i,PMF_{\tau}} = \frac{N_{i,PMF} \cdot 10^6}{8 \cdot 10^3 \cdot \tau}$$
 in $\left[\frac{n \, Pollen}{m^2 \cdot \tau} \right]$

wobei gilt:

 $\mathbf{F}_{i, PMF\tau}$: Pollenfluss der Spezies i pro m² über Expositionszeitraum τ

τ: Sammel- (Expositions-) -zeitraum in d Tagen (Regel ca. 28)

Standardbezugsfläche: $1 \text{ m}^2 = 10^6 \text{ mm}^2$

projizierte Sammelquerschnittsfläche PMF: 8·10³ mm²

Der Pollenfluss $F_{i, PMF}$ gibt die Intensität des Pollenfluges am Messort an und ist damit die Zielgröße im Monitoring für die Auswertung zur Ausbreitung der Pflanzenpollen im Hinblick auf die Dokumentation von Eintrag und Verbreitung von GVO. Der Pollenfluss kann als Standardgröße in Bezug zu anderen Messsystemen und zu Pollenausbreitungsrechnungen gesetzt werden.

2.5.3 PCR-Analytik

2.5.3.1 Zielsetzung

Eine PCR-Routineanalytik, die erfolgreich für das in diesem Projekt konzipierte Pollenmonitoring eingesetzt werden kann, sollte den reproduzierbaren und robusten Nachweis gentechnischer Veränderungen in Raps- bzw. Maispollen in Proben der verwendeten Pollensammler ermöglichen.

Vor Projektbeginn war klar, dass der Nachweis der gentechnischen Veränderungen der in diesem Projekt untersuchten transgenen Raps- und Maispflanzen durch PCR-Methoden an Blattmaterial routinemäßig möglich ist (Zeitler & Baumeister 2000). Darüber hinaus belegten Daten aus der Literatur und Ergebnisse aus Vorversuchen, dass transgene DNA auch aus Pollen durch PCR-Analytik nachgewiesen werden kann (Waiblinger et al. 1999). Um die PCR-Analytik für einen routinemäßigen Einsatz für das Pollenmonitoring zu etablieren, wurden folgende weitere Teilziele angestrebt:

Nachweis transgener DNA in Pollen von der Raps- bzw. Maisblüte Optimierung der DNA-Isolierung für Pollenproben Nachweis von DNA in Pollen auf PMF vom Freisetzungsfeld Nachweis von DNA in Pollen auf PMF aus der Umwelt

Nachweis von transgener DNA in Pollen auf PMF aus der Umwelt

2.5.3.2 Methoden

Die Nachweisreaktionen werden nach dem Prinzip der TaqMan-PCR durchgeführt. Bei dieser Methode werden spezifische DNA-Sequenzen durch einen Anstieg eines Fluoreszenzsignals während der PCR-Reaktion detektiert. Liegt eine PCR-fähige DNA vor, dann wird während der PCR-Reaktion von einem weiteren, ebenfalls spezifisch bindenden, dritten Oligonukleotid ein fluoreszierendes Nebenprodukt abgespalten. Der Anstieg des Fluoreszenzsignals kann so direkt mit dem Vorhandensein der spezifischen DNA-Sequenz in der Probe korreliert werden.

In der Praxis wird der positive PCR-Nachweis dann dokumentiert, wenn das Fluoreszenzsignal einen vorgegebenen Schwellenwert (threshold) überschritten hat. Der PCR-Zyklus, an dem dieses Ereignis eintritt wird als der Ct-Wert bezeichnet. Diese Ct-Werte sind bei der TaqMan-PCR auch für eine Quantifizierung der in einer Probe ursprünglich vorhandenen DNA-Sequenzen geeignet. Der Ct-Wert ist umso kleiner, je mehr DNA-Sequenzen in der Probe vorliegen (Zeitler et al. 2002).

Das LfU-Labor verfügt über 3 Nachweissysteme für transgenen Raps (eps, pat und bar) und 3 weitere Nachweismethoden für transgenen Mais (Bt11, Bt176 und MON810). Daneben sind jeweils TaqMan-PCRs für den spezifischen Nachweis von Raps- (rrf) und Mais-DNA (mrf) etabliert. Diese TaqMan-PCRs können routinemäßig für den Nachweis von Pollen eingesetzt werden.

Messungen mit DNA-Lösungen belegen, dass die TaqMan-PCR optimal für die Quantifizierung transgener Raps-DNA geeignet ist. Diese Methodik ist am LfU-Labor etabliert und kann umgehend für eine Quantifizierung transgener DNA aus transgenen Raps-Pollen eingesetzt werden, insofern PCR-fähige Präparationen zur Verfügung stehen.

Es wurden von insgesamt 78 Mais-Proben und 91 Raps-Proben die DNA extrahiert und auf das Vorhandensein von mais- bzw. rapsspezifischer DNA getestet. Von den Proben stammten 50 (Raps) bzw. 49 (Mais) aus dem eigentlichen Feldversuch 2003. Bei den restlichen Proben hat es sich um Proben aus den Vorversuchen 2002 und um zusätzliche PCR-Versuche 2003 gehandelt, die für PCR-Vergleichsmessungen geplant waren. Die Ergebnisse sind im Anhang A5 aufgelistet.

Das LfU führte an allen Proben Doppelmessungen durch. Proben, die sowohl positiv als auch negativ getestet wurden oder bei denen beide Messungen negativ waren (also keine raps- bzw. maisspezifische DNA nachweisbar war), wurden an GeneScan Analytics GmbH versandt und dort nochmals geprüft. Bei einem darauf folgenden Auftrag wurden an GeneScan Analytics GmbH weitere Proben zur Analyse gesandt, die besonders hohe Pollenanzahlen (berechnet als Soll-Genomkopien) in der Probe erwarten ließen (s. Anhang A5). Die Berechnung der Soll-Genomkopienanzahl basiert auf der theoretischen Annahme, dass die DNA aus den Pollen einer Probe zu 100% extrahiert wird und es zu einer perfekten fehlerfreien Quantifizierung während der Analyse kommt. Es wird davon ausgegangen, dass jedes Pollenkorn eine Genomkopie enthält. Bei Raps wurde jede PMF-Probe in 4 bzw. 8 ml Lösung aufgenommen (Pollensuspension), bei Mais in 4 ml. Aus je 1 ml dieser Pollensuspension wurden 100 μl DNA-Lösung extrahiert. Davon wurden dann 5 μl in der PCR-Reaktion eingesetzt.

Zudem wurden 14 Proben für Vergleichsmessungen parallel vom LfU (Augsburg), Impetus Bioscience (Bremerhaven) und GeneScan Analytics GmbH (Freiburg) analysiert. In einem zweiten Auftrag wurden an GeneScan Analytics GmbH nur Proben versandt mit einer theoretischen Soll-Genomkopienzahl von über ca. 300 (s. Kap. 3.3.6).

2.5.4 Datenaustauschprogramm/Datenhaltung

2.5.4.1 Zielsetzung

Die Projektpartner hielten ihre lokalen Daten in verschiedenen Datenhaltungssystemen (Oracle, Excel, ASCII etc.) unter verschiedenen Betriebssystemen (Windows und Li-

nux). Es wurden bisher keine speziellen Datenaustausch-Modelle definiert. Die Standardprogramme, die für den Datenaustausch eingesetzt werden können, sind die Import/Export Routinen der vorhandenen Datenhaltungssysteme. Es ist durchaus möglich, diese Dateien direkt z. B. als E-Mail-Anhang auszutauschen, dies ist jedoch mit wesentlich höherem Aufwand während eines Routinebetriebes verbunden. Außerdem ist die Daten-Konsistenz und Semantik nur sehr schwer zu gewährleisten. Hier sind nur einige Probleme des direkten Datei-Austausches aufgelistet:

- Was passiert, wenn ein Paket zwei Mal importiert wird?
- Was genau bedeuten die Datenfelder eines fremden Pakets?
- Enthalten zwei Pakete von zwei verschiedenen Partnern dieselben Daten?
- Welche Daten von mir werden die Projektpartner benötigen?

Die Lösung hierfür ist eine globale Vereinbarung über die Semantik der auszutauschenden Daten und ein strenges Format der Datenpakete.

Die Daten-Semantik kann am besten in einem globalen abstrakten Datenmodell definiert werden. Alle Datenpakete sollen nur solche Daten enthalten, die dem globalen Datenmodell entsprechen. Das Datenmodell soll jedoch erweiterungsfähig sein. Hierfür ist eine Versionskontrolle nötig. Alle Versionen des Datenmodells sollen abwärts kompatibel sein: Jedes Datenpaket einer älteren Version soll auch unter neueren Versionen als Datenpaket anerkannt werden.

Die Datenpakete müssen das XML-Datenformat haben, wie mit dem Umweltbundesamt/Bundesamt für Naturschutz vereinbart. Müssen die Datenpakete einem globalen
Schema entsprechen, so brauchen und können die lokalen Datenbestände es nicht. Somit braucht jeder Projektpartner eine Schnittstelle zu dem abstrakten Datenmodell. Diese Schnittstelle ist am einfachsten durch ein Programm realisierbar, das dem Benutzer
den Import und den Export von Daten ermöglicht. Unter Import versteht man das Auslesen eines fremden Datenpakets und die Übernahme der Daten des Pakets in das lokale
Datenhaltungssystem. Unter Export versteht man die Erstellung eines Datenpakets, das
einem anderen Projektpartner zugestellt werden soll. Das Programm soll für einen Endbenutzer leicht erlernbar und durch eine graphische Benutzeroberfläche intuitiv bedienbar sein.

Da das Datenmodell wachsen kann, soll eine einfache Aktualisierung des Import/Export-Programms möglich sein.

2.6 Vorversuche 2002 und Zusatzversuch 2004

Zum Test der Messapparatur und der Verfahrensabläufe bei den Probenahmen wurden im Jahr 2002 im Landkreis Fürstenfeldbruck Vorversuche auf lokaler Ebene durchgeführt. An der Versuchsstation Roggenstein der TU München und am Staatlichen Versuchsgut Puch konnten Parzellen mit HR-Raps bzw. Bt-Mais genutzt werden. In den Himmelsrichtungen Nord, Süd, West und Ost wurden in verschiedenen Entfernungen um die Parzellen 14 Sigma-2-Sammler mit PMF und 4 Sigma-2-Sammler ohne PMF aufgestellt. Die Distanz zum nächsten Rapsfeld betrug 8 bis maximal 520 m (Mais: 8 bis maximal 265 m). Der Versuchszeitraum erstreckte sich beim Raps vom 22. April bis zum 30. Mai 2002 (Expositionsdauer 38 Tage). Zweimal wöchentlich wurden den 18 Sigma-2-Pollensammler³⁹ in Roggenstein Proben entnommen⁴⁰. Der Versuchszeitraum erstreckte sich beim Mais vom 19. Juli bis zum 9. August 2002 (Expositionsdauer 21 Tage). Einmal wöchentlich wurden den 18 Sigma-2-Pollensammler⁴¹ in Puch Proben entnommen. Die PMF verblieben jeweils über die gesamte Expositionsdauer am Standort. In der Nähe der Versuchsparzellen befand sich jeweils eine agrarmeteorologische Messstation der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL). Die Station "Roggenstein" (Nr. 6) lag in westlicher Richtung ca. 840 m, die Station "Puch" (Nr. 5) lag in südöstlicher Richtung ca. 1,1 km von der Parzelle entfernt. Da die agrarmeteorologische Messstationen über keine Einrichtung zur Messung der Windrichtung verfügen, wurde jeweils ein Wölfle-Anemometer (Leihgabe des Regionalen Gutachtenbüros München des DWD) an den Parzellen installiert und betrieben. Die Aufbereitung und Analyse der Proben wurde von den jeweiligen Projektpartnern (DWD, LfU, Ökologie Büro Hofmann) übernommen.

Ziel der Untersuchung im Jahr 2004 war es mit dem Pollensammler Sigma-2 die Abhängigkeit der Rapspollendeposition (1) von meteorologischen Einflussgrößen und (2) von Tages-/Nachtzeit zu ermitteln. Eine längere Probenreihe wurde durch eine Verkürzung der Expositionszeit der Proben von sieben auf einen Tag erreicht. Der Versuchsaufbau sah in der Mitte eines ca. 4,9 ha großen nahezu rechteckigen Rapsfeldes in Berg (Lkr. Freising, Reg.-Bez. Oberbayern; Naturraum: Donau-Isar-Hügelland) zwei Sigma-2-Pollensammler im Abstand von ~2,5 m nach bekannter Installation (sieh Kap. 2.2.2.3) als Doppelmessung vor. Der Versuchszeitraum erstreckte sich vom 30. April

³⁹ Ein Sammler wurde vorzeitig am 17. Mai abgebaut; damit verblieben 17 Sammler in Betrieb.

⁴⁰ Zwei Ausnahmen vom turnusmäßigen Wechsel: Vom 26. April bis 3. Mai verblieben die Haftfolien 7 Tage und vom 24. bis 30. Mai 6 Tage in den Pollensammlern.

⁴¹ Die Sammler Nr. 10-17 wurden erst am 23. Juli, der Sammler Nr. 18 erst am 26. Juli in Betrieb genommen.

bis zum 1. Juni 2004. Täglich wurden an beiden Pollensammlern Proben genommen⁴² (Wechselzeitpunkt der Haftfolien morgens um 8 Uhr). An neun Tagen (10. – 18. Mai) wurden anstelle der 24h-Proben Tag-/Nachtproben entnommen. Die Wechselzeitpunkte betrugen in diesem Fall 6:30 bzw. 21 Uhr⁴³. Meteorologische Messwerte (Stundenmittelwerte) lieferte die agrarmeteorologische Messstation "Viehhausen" (Stationsnummer 110) der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), die in südöstlicher Richtung 2,2 km von den Pollensammlern entfernt lag. An der TU München wurde die Präparation und Auszählung der Rapspollen durchgeführt. Bei 10facher Vergrößerung unter dem Mikroskop wurden 200 mm² der Haftfolie abgefahren und Objekte, die nach Form, Größe und Textur mit den Referenz-Rapspollen übereinstimmten gezählt.

2.7 Feldversuche 2003

2.7.1 Pollenproben

2.7.1.1 Entnahme der Proben

Im Untersuchungsgebiet wurden die technischen Pollensammler an den 50 Standorten aufgestellt. Zur Erfassung der Rapspollen wurden in der Zeit vom 25.4. bis 23.5.2003 (28 Tage) Proben genommen, zur Erfassung der Maispollen vom 4.7. bis 31.7.2003 (27 Tage). Die Expositionsdauer der Haftfolien im Sigma-2-Sammler betrug jeweils eine Woche (siehe Tab. 7 und Tab. 8). Der Pollenmassenfilter (PMF) verblieb jeweils über die gesamte Blühperiode von Raps und Mais am Messstandort (siehe Tab. 7 und Tab. 8).

Tab. 7: Expositionsdauer der Sigma-2- und PMF-Proben 2003 (Rapsversuch)

	Sigma-2				PMF
Probenreihe	1.	2.	3.	4.	1.
Datum	25.42.5.44	2.59.5.	9.516.5.	16.523.5.	25.423.5.
Durchschnittliche Expositionszeit [d]	6,83	7,01	6,84	7,08	27,76
Bezeichnung	17. Woche	18. Woche	19. Woche	20. Woche	1720. Woche

 $^{^{42}}$ Vom 20.-24. Mai (4 Tage) und vom 27.-28. Mai (2 Tage) verblieb die Probe länger als 24h im Pollensammler.

⁴³ Sonnenauf- und –untergang in Freising: 10. Mai (5:39, 20:40 Uhr), 18. Mai (5:29, 20:50 Uhr).

⁴⁴ An den Standorten 49 und 50 wurden die Pollensammler erst am 28.4. aufgestellt.

Sigma-2 **PMF** 2. 1. 3. 4. 1. Probenreihe Datum 18.7.-25.7. ⁴⁵ 4.7.-11.7. 11.7.-18.7. 25.7.-31.7. 4.7.-31.7. 7.11 Durchschnittliche 6.81 6.99 6.07 26,86 positionszeit [d] Bezeichnung 27. Woche 28. Woche 29. Woche 27.-30. Woche 30. Woche

Tab. 8: Expositionsdauer der Sigma-2- und PMF-Proben 2003 (Maisversuch)

2.7.1.2 Transport und Versand der Proben

Am Tag der Probeentnahme (jeweils freitags) wurden die Haftfolien der Sigma-2-Geräte ausgetauscht. Die exponierten Proben wurden in Plastikschalen verstaut, in Versandtaschen des DWD verpackt (jeweils neun Proben pro Tasche) und am selben bzw. nächsten Tag per Post an den DWD nach Freiburg zur bildanalytische Auswertung verschickt.

Die PMF-Proben wurden am letzten Tag des Versuchszeitraums entnommen, die Filter in WECK-Gläser überführt und die PET-Flaschen verschraubt, beides in Pakete verpackt und am selben bzw. nächsten Tag per Post an das Ökologie Büro Hofmann versandt.

2.7.1.3 Entgegennahme der Ergebnisse

Die Art und die Anzahl der Pollen auf den Sigma-2-Folien wurden halb-automatisch mit dem Bildanalysesystem des DWD und der Klassifikationssoftware bestimmt (siehe Kap 2.5.1.3.1). Je Expositionszeitraum wurde die artspezifische Deposition (Pollen/Auszählfläche⁴⁶) der Zielpollen (Raps und Mais) und weiterer typische Pollenarten⁴⁷ sowie die Deposition aller Pollen angegeben⁴⁸ (siehe Anhang A2.2 und A2.3).

Die akkumulierten Pollen der PMF-Proben wurden nach Aufbereitung durch das Ökologie Büro Hofmann vom Institut für Bienenkunde⁴⁹, Celle ausgezählt (siehe Kap. 2.5.2.3.2) und die Ergebnisse vom Ökologie Büro Hofmann bereit gestellt. Neben den Zielpollen wurden weitere typische Pollenarten⁵⁰ und die Gesamtpollen als Pollen/Probe

46 Raps: 200 mm², Mais: 324 mm²

⁴⁵ Pollensammler am Standort 46 wurden am 25.7. abgebaut.

⁴⁷ Raps: Tanne+Fichte (*Abies+Picea*), Kiefer (*Pinus*); Mais: Süßgräser (*Poaceae*), Brennessel (*Urtica*)

⁴⁸ Zusätzlich wurde für die Maispollen die Depositionsrate (Pollen m⁻² d⁻¹) und die Konzentration (Pollen m⁻³) angegeben.

⁴⁹ Niedersächsisches Landesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit

⁵⁰ Raps: u.a. Fichte (*Picea*), Kiefer (*Pinus*); Mais: u.a. Süßgräser (*Poaceae*)

und Pollenfluss (Pollen m⁻² d⁻¹) und zusätzlich alle bestimmten Pollenarten sowie der Anteil der Zielpollen an den Gesamtpollen angegeben (siehe Anhang A4).

Die Anwesenheit von transgenen Raps- und Maispollen in den PMF-Proben wurde von der LfU mittels PCR-Analyse untersucht (siehe Kap. 2.5.3.2). Als Analyseergebnisse der PCR wurden die Ct-Werte (Nachweis transgener DNA; Doppelmessung), die Inhibition (Doppelmessung), sowie eine verbale Bewertung von DNA-Nachweis und Inhibition geliefert.

2.7.2 Kartierung der Raps- und Maisfelder

Zur Dokumentation der Pollenquellen wurden im Jahr 2003 im gesamten Untersuchungsgebiet die Raps- und Maisfelder im Maßstab 1:5.000 kartiert und digitalisiert. In der Zeit von Mai bis Juli wurden Straßen und insbesondere Feldwege des 256 km² großen Gebiets abgefahren und die Felder der Zielarten in Karten aus Luftbildern (BLVA c) abgegrenzt. Die kartierten Felder wurden anschließend anhand der digitalen Luftbilder (BLVA c) und digitalen Flurkarten (BLVA b) in einem Geographischen Informationssystem (GIS) digitalisiert (ESRI a). Die ergänzende Kartierung eines 1 km breiten Streifens außerhalb des Untersuchungsgebietes – zur Vermeidung von Randeffekten – konnte aufgrund personeller Engpässe nicht vollständig abgeschlossen werden.

2.7.3 Felderkartierung mittels Fernerkundung

Zur Kontrolle der Felderkartierung 2003 und im Hinblick auf die Anforderungen eines Langzeitmonitorings wurde eine Klassifizierung der Rapsfelder im Untersuchungsgebiet aus Satellitenbildern unternommen. Sowohl die Recherche von GAF/Euromap als auch die eigene Recherche nach geeigneten Satellitenbildern (multispektraler Sensor mit hoher Auflösung⁵¹, wolkenfreie Szene, vollständige Abdeckung des Untersuchungsgebiets, Zeitraum des Raps-Feldversuchs) ergab keinen Erfolg⁵². Lediglich zu einem sehr frühen Zeitpunkt (1. April 2003, vier Wochen vor der Hauptblüte des Rapses) lag eine LANDSAT-7-Szene vor und zu einem sehr späten Zeitpunkt (10. Juni 2003, vier Wochen nach der Hauptblüte des Rapses) eine IKONOS-Szene. Die Sensoren der beiden Satelliten unterscheiden sich v. a. in der Anzahl der Kanäle und der Auflösung (LANDSAT-7: 30 m MS, IKONOS: 4 m MS). Beide Satelliten besitzen 3 Kanä-

⁵¹ Zum Beispiel: LANDSAT-7, IRS (Indian Remote Sensing, Auflösung: 5,8 m PAN, 23 m MS), SPOT (Système Pour l'Observation de la Terre, Auflösung: 2,5 m PAN, 10 m MS), ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission & Reflection Radiometer, Auflösung: 15/30 m MS)

⁵² Zur Kartierung der Maisfelder gibt es wolkenfreie Aufnahmen des IRS vom 13. Juli und 6. August 2003 (letztere ist zu bevorzugen, da die fortgeschrittene Getreideernte die Auswertung erleichtert), die das Untersuchungsgebiet vollständig abdecken. Die Auswertung der IRS-Szene unterblieb aus finanziellen und zeitlichen Gründen.

le im sichtbaren Bereich (blau, grün, rot) und einen im nahen Infrarot (NIR). Über 3 weitere Kanäle im Infrarot (2x MIR, TIR) verfügt nur der LANDSAT-7.

Zur Auswertung der beiden o.g. Satellitenbilder wurden die Programme ERDAS IMA-GINE, eCognition und ENVI verwendet. Nach einer unüberwachten Klassifizierung zur Überprüfung der Trennung landwirtschaftlicher Objektklassen folgte eine überwachte Klassifizierung (Albertz 2001). Die überwachte Klassifizierung wurde mit dem Mahalanobis Distance Classifier (MDC) durchgeführt, der eine Klassifizierung mit nur einer Objektklasse ermöglicht (Laue 2004). Als Testflächen dienten Rapsfelder, deren Lage und Ausdehnung bekannt war (z.B. an den Versuchsgütern Roggenstein und Puch).

2.8 Raumrepräsentativität der Pollensammler

2.8.1 Begriffsbestimmung "Raumrepräsentativität"

Im Allgemeinen bezeichnen die beiden Begriffe "Repräsentanz" oder "Repräsentativität" das "Repräsentativsein", d.h. die Eigenart einer Gesamtheit wird entweder durch einen Einzelnen oder durch eine Gruppe charakterisiert (Duden 1997, 701). Mit dieser semantischen Erklärung ist bereits der Kernpunkt der Repräsentativität umrissen: Die Ableitung einer diskreten Anzahl von Elementen (Stichprobe), die als Stellvertreter ("repraesentatio identitatis", Schröder 1994, 21) einer Grundgesamtheit (oder Population), die als endliche oder unendlich Menge an Elementen verstanden wird (Bortz 1993, 84), gelten. Sachs (1997, 99) drückt diesen Zustand folgendermaßen aus: "Eine Stichprobe ist repräsentativ für die Grundgesamtheit, wenn sie den Schluss auf bestimmte Merkmale ermöglicht: d.h. "... ist repräsentativ für ... hinsichtlich der Merkmale..."". Eine Stichprobe kann folglich als häufigkeitsstatistische Abbildung (Variabilität und Variationsbreite) einer Grundgesamtheit angesehen werden.

Nach Vetter (1989, 35) müssen sich die Elemente der Stichprobe nach ihren Merkmalen so gruppieren lassen, dass die Elemente innerhalb der Gruppen intrastrukturell homogen sind, zwischen den Elementen verschiedener Gruppen interstrukturelle Unterschiede bestehen, in denen sich die Variabilität der Merkmalsausprägungen der Grundgesamtheit manifestiert. Bortz und Döring (2002, 401) unterscheiden diesbezüglich zwischen (merkmals-)spezifischer und globaler Repräsentativität. Der Unterschied beruht darauf, dass die Elemente der Stichprobe in "allen" Merkmalen der Grundgesamtheit entsprechen (globale Repräsentativität) oder nur hinsichtlich einiger relevanter Merkmale.

Wissenschaftliche Untersuchungen lassen sich normalerweise nicht an der Grundgesamtheit durchführen, da die Grundgesamtheit unendlich sein kann, nur teilweise bekannt sein kann, die Grundgesamtheit durch die Untersuchung beeinträchtigt oder zer-

 $^{^{53}}$ Im weiteren Text wird zu Vereinfachung nur der Begriff "Repräsentativität" verwendet.

stört wird oder die Untersuchung der Grundgesamtheit technisch, zeitlich oder finanziell zu aufwändig wäre (Bortz & Döring 2002, 399). Ist aus einem der Gründe eine Vollerhebung nicht möglich, kann nur ein Teil der Grundgesamtheit, die Stichprobe untersucht werden. Eine repräsentative Stichprobe der Grundgesamtheit ist notwendig, um "die Verteilungsfunktion des entsprechenden Merkmals in der Grundgesamtheit mit allen davon ableitbaren statistischen Kenngrößen zu schätzen" (Schmotz 1996, 15). Die Genauigkeit der Aussagen über die Grundgesamtheit erhöht sich, je besser die Merkmale der Stichprobe die Merkmale der Grundgesamtheit abbilden, und steigt mit dem Umfang der Stichprobe an (Bortz 1993, 84). Der schwindende Unterschied zwischen Grundgesamtheit und Stichprobe bei wachsendem Stichprobenumfang wird als Gesetz der großen Zahlen bezeichnet (Sachs 1997, 99).

Eine repräsentative Stichprobe kann man z. B. durch eine Zufallsstichprobe erhalten. Dieses Vorgehen bietet sich dann an, wenn keine Informationen über die untersuchungsrelevanten Merkmale vorliegen (Bortz 1993, 84). Allerdings darf die Stichprobe nicht zu klein sein (s.o. Gesetz der großen Zahlen), denn eine Zufallsstichprobe ist nicht per se repräsentativ⁵⁴. Ist hingegen bekannt "[...] welche Determinanten die Verteilung des untersuchungsrelevanten Merkmals beeinflussen, empfiehlt es sich, eine Stichprobe zusammenzustellen, die in Bezug auf diese Determinanten für die Grundgesamtheit repräsentativ ist" (Bortz 1993, 86). Diese Schichtung oder Stratifizierung der Grundgesamtheit anhand von Vor-Wissen, das von Relevanz für die Merkmalsverteilung der Grundgesamtheit ist, führt zu besseren Schätzwerten der Kenngrößen der Grundgesamtheit als eine reine Zufallstichprobe. Innerhalb der einzelnen Strata (Schichten) ist eine Zufallsauswahl allerdings von Vorteil (Bortz 1993, 86). Methodisch ist zwischen einer proportional und einer disproportional geschichteten Stichprobe zu unterscheiden. Dies bedeutet, dass der Stichprobenumfang im proportionalen oder nicht proportionalen Verhältnis zur jeweiligen Teilpopulation stehen (Bortz & Döring 2002, 429). Die Repräsentativität einer Stichprobe zu prüfen ist nur möglich, falls die Verhältnisse in der Grundgesamtheit bekannt sind, was meistens nicht der Fall ist (Kruskal & Mosteller 1979, 258).

Der Begriff "Raumrepräsentativität" impliziert, dass die Elemente einer Grundgesamtheit und damit der Stichprobe zusätzlich zu ihren Merkmal(en) durch eine Position im Raum charakterisiert sind. Neben der Stratifizierung der Grundgesamtheit stellt sich somit die Frage nach dem Ort der Probeentnahme, der "regionalstatistische Aspekt" (Kuhnt 1994, 1-2). Als Lösung bieten sich Zufalls-, Rastermessnetze (rechtwinkelig,

⁵⁴ Die Wahrscheinlichkeit aus der Population der Neu-Wähler bei einer Zufallsstichprobe mit einem Umfang von 30 Personen das Geschlechterverhältnis der Grundgesamtheit abzubilden (15 Frauen und 15 Männer) beträgt beispielsweise nur 14,4%.

hexagonal, radial), eine Kombination aus Zufalls- und Rastermessnetz, expertengestützte Messnetze sowie regionalstatistische Ansätze nach Vetter (1989) und Kuhnt (1994) an (Schmotz 1996, 18-24).

2.8.2 Auswahl repräsentativer Pollensammler-Standorte

Mit jeweils 50 Pollensammlern des Typs Sigma-2 und PMF sollte für die landwirtschaftlich genutzte Fläche eines 256 km² großen Untersuchungsgebiets der Expositionsgrad mit transgenen und nicht transgenen luftgetragenen Raps- und Maispollen repräsentativ erfasst werden. Um mit der begrenzten Zahl an Messstandorten (50 Standorte) die mögliche Häufigkeitsverteilung der Pollenexposition abzudecken, wurde das Prinzip der proportional geschichteten Stichprobe gewählt und eine Stratifizierung (Schichtung) des Untersuchungsgebiets vorgenommen. Die Stratifizierung bietet die Möglichkeit, Gebiete mit möglicherweise unterschiedlicher Pollenexposition und dadurch einen Gradienten der Pollenexposition zu erfassen. Als Strata (Schichten) eignen sich Parameter, die die Pollenexposition im Untersuchungsgebiet beeinflussen. Die Parameter können auf verschiedenen Ebenen der Pollenausbreitung wirken (Quelle, Freisetzung, Verteilung und Deposition). Je stärker die Beziehung zwischen den gewählten Parametern und der Pollenexposition ausgeprägt ist, desto "repräsentativer" für das Untersuchungsgebiet können die Standorte gewählt werden. Die Bandbreite an Standorten, die mittels Stratifizierung zielgerichtet ausgewiesen werden kann, könnte mit einer Zufalls- oder Rasterstichprobe nur mit größerem Stichprobenumfang erreicht werden. Die Strata für das 256 km² große Untersuchungsgebiet wurden nach ihrer inhaltlichen Eignung (Bedeutung für die Pollenexposition), technischen Eignung (hochaufgelöste Flächendaten) und Verfügbarkeit (zeitlich und finanziell) ausgewählt. Diese Anforde-

Eignung (Bedeutung für die Pollenexposition), technischen Eignung (hochaufgelöste Flächendaten) und Verfügbarkeit (zeitlich und finanziell) ausgewählt. Diese Anforderungen erfüllten die naturräumlichen Haupteinheiten (LfU), die orografische Höhe (BLVA a; aggregiert zu Höhenstufenklassen mit 10m-Intervall) und die landwirtschaftliche Landnutzung (PbS; Nutzungstypen: Ackerland, Grünland, Mischnutzung von Ackerland/Grünland)⁵⁵. Die naturräumlichen Haupteinheiten und die landwirtschaftliche Landnutzung beeinflussen die Pollenexposition, indem sie auf die Ebene der Pollenquelle einwirken (siehe Tab. 4 und Tab. 28). Die Geländehöhe wirkt indirekt über die Meteorologie (v. a. Wind⁵⁶) auf die Pollenverteilung und –deposition. Andere, insbe-

⁵⁵ Verwendung einer Landnutzungskarte im Maßstab 1:25.000 (Interpretation aus Luftbildern der Jahre 1999/2000) anstelle von kostenpflichtigen ATKIS©-Daten des Bayerischen Landesvermessungsamtes

⁵⁶ Der Vergleich des Digitalen Geländemodells (BLVA und eigene Berechnung; Auflösung: 25 x 25 m) mit den mittleren jährlichen Windgeschwindigkeiten (Bay. Solar- und Windatlas; Auflösung: 200 x 200 m) zeigt die sehr starke Abhängigkeit von Windgeschwindigkeit und Geländerelief im Untersuchungsgebiet.

sondere meteorologische Daten entsprachen nicht den o.g. Anforderungen und wurden daher nicht verwendet.

Das Untersuchungsgebiet wurde demzufolge in drei Strata (Schichten) untergliedert und die 50 Pollensammler (flächen-)proportional in jedes Stratum aufgeteilt. Anhand einer Liste mit Ausschlusskriterien wurde das Untersuchungsgebiet räumlich eingegrenzt. Die Kriterien leiten sich aus der Zielsetzung ab und sollten vergleichbare Probenahmebedingungen an den Messstandorten gewährleisten. Ausgeschlossen wurde zunächst die nicht landwirtschaftlich bewirtschaftete Fläche. Weiterhin sollten folgende Bedingungen eingehalten sein: (1) Mehr als 200 m Abstand zu Haupt-Naturraumgrenzen zur Gewährleistung einer eindeutigen Naturraum-Zuordnung, (2) mehr als 200 m Abstand zur regionalen und überregionalen Verkehrsinfrastruktur zur Vermeidung eines verstärkten Eintrags resuspendierter Partikel, (3) mehr als 100 m Abstand zu großflächigen Landnutzungstypen, die eine freie Anströmung verhindern (z. B. Siedlungen und Wälder).

In einem GIS (ESRI a) wurden auf Grundlage der Stratifizierung und der Ausschlusskriterien ex situ kleinräumige Vorranggebiete abgegrenzt. In diesen wurden vorläufige Standorte – möglichst gleichmäßig über das Untersuchungsgebiet verteilt – für die 50 Pollensammler festgelegt. Diese vorläufigen Standorte wurden ohne Kenntnis der Lage der Raps- und Maisfelder gewählt und orientierten sich am Straßennetz des Untersuchungsgebiets (v. a. Flurwege). Damit sollte die Standortwahl nicht direkt von den Pollenquellen beeinflusst, die Erreichbarkeit der Standorte gewährleistet und eine Zustimmung der Landwirte zur Aufstellung der Pollensammler erreicht werden. Bevor die vorläufigen Standorte als endgültige Standorte angenommen werden konnten, wurden sie vor Ort auf lokale Barrieren im Luftstrom überprüft und die Genehmigung der Eigentümer / Pächter eingeholt. Da die Strata durch Wechsel von Jahreszeit oder Kulturart keiner Veränderung unterworfen sind, wurden für Raps- und Maisversuch die gleichen Standorte verwendet.

Um eine räumliche Konzentrierung der Sammlerstandorte zu erkennen und zu vermeiden, wurde die Punktverteilung mit dem Nearest Neighbour Index nach Clark & Evans (1954) untersucht (Cressie 1993). Dazu wird der Quotient aus der durchschnittlich beobachteten Nächste-Nachbar Distanz mit der durchschnittlich zu erwartenden Nächste-Nachbar Distanz einer räumlichen Zufallsverteilung (complete spatial randomness, CSR) gebildet. Die Abweichung des Index von der räumlichen Zufallsverteilung wird auf Signifikanz getestet. Zur Berechnung wurde das Software-Programm CrimeStat II eingesetzt (Levine 2002).

2.8.3 Abstandsanalyse

2.8.3.1 Entfernung zum nächsten Feld

In der Diskussion um die Koexistenz von transgener, konventioneller und ökologischer Landwirtschaft wird als Lösung zur Vermeidung unerwünschter Auskreuzungen sehr häufig eine Abstandsregelung vorgeschlagen⁵⁷.

Die Daten der Felder-Kartierung 2003 bilden die Grundlage der Abstandsanalyse. Unter den realen landwirtschaftlichen Verhältnissen des Jahres 2003 wird – innerhalb der landwirtschaftlichen Nutzfläche und getrennt für die Naturräume – für jede Rasterzelle die Entfernung zum nächsten Raps- bzw. Maisfeld berechnet.

Dazu wurden die Vektordaten⁵⁸ in einheitliche Rasterdaten⁵⁹ mit einer Auflösung von 10 x 10 m überführt. Für jede Rasterzelle, die der landwirtschaftlichen Nutzfläche zugehört, wurde die nächstgelegene Rasterzelle, die als Mais oder Raps codiert war, bestimmt. Zugleich wurde die Distanz zwischen den Rasterzellen berechnet (beruhend auf den Mittelpunkten der Rasterzellen). Das resultierende Raster (jede Rasterzelle enthält als Wert die Entfernung zur nächsten Raps- bzw. Maisfeld) wurde anschließend anhand der Naturraumgrenzen unterteilt (ESRI c), um die Ergebnisse für jeden Naturraum einzeln auswerten zu können.

2.8.3.2 Abstand zwischen Pollensammler und nächstem Feld

Der Einfluss des jeweils nächsten Feldes auf die Pollendeposition an einem Standort wird zur Analyse von Feldversuchen häufig verwendet und soll deshalb auch hier betrachtet werden. Je Pollensammlerstandort wird die Entfernung zum nächsten Feld mit der am Standort ermittelten Pollendeposition in Bezug gesetzt.

2.8.4 Ausbreitungsmodell AUSTAL2000

Die Kombination von punktuellen Pollenmessungen eines Monitoring-Messnetzes mit einem Ausbreitungsmodell dient zum einen zur flächenhaften Darstellung der Pollenexposition zum anderen zur Kalibrierung und Verifizierung des Ausbreitungsmodells, durch die empirischen Daten. Aus dem Ausbreitungsmodell lassen sich durch Klassifizierung Gradienten der Pollenexposition ableiten und räumlich abgrenzen (Clench-Aas et al. 1999, 313). Zudem sind die Voraussetzungen gegeben auf der Grundlage häufigkeitsstatistischer Untersuchungen der Pollenexposition für das Untersuchungsgebiet repräsentative Messorte zu bestimmen.

⁵⁷ Barth et al. (2003) geben eine Übersicht.

^{58 &}quot;Kartierte Raps- und Maisfelder", "landwirtschaftliche Landnutzungstypen" und "naturräumliche Haupteinheiten" (siehe Tab. 8.1.1, Anhang A8.1)

Ausbreitungsmodelle speziell für Pollen liegen unter anderem von Kawashima & Takahashi (1995), Kawashima & Takahashi (1999), Hidalgo et al. (2002), Loos et al. (2003) und Helbig et al. (2004) vor. Diese Modelle wurden jedoch für andere Maßstabsebenen entwickelt und sind damit nicht für das Untersuchungsgebiet geeignet. Zur Abschätzung und Vorhersage der Pollendeposition wurde das Programm AUSTAL2000 (Janicke, GRS), eine beispielhafte Umsetzung der VDI 3945 durch das Ingenieurbüro Janicke im Auftrag des Umweltbundesamtes (UBA)⁶⁰, getestet. Die VDI Richtlinie 3945 wurde durch die neue TA Luft (2002, Anhang 3) als Ausbreitungsrechnung zur Berechnung der Konzentration und der Deposition gasförmiger Stoffe und Stäube, die von technischen Anlagen emittiert werden, festgesetzt. Der Ausbreitungsrechnung von AUSTAL2000 liegt ein Partikelausbreitungsmodell (Lagrange-Modell, Teilchensimulationsmodell) zugrunde. Bei der Anwendung des Ausbreitungsmodells auf Pollen konnte auf Erfahrungen von Hofmann et al. (2005), die ein Gaußmodell nach der alten TA Luft (1986) verwendet hatten, um die Pollenausbreitung eines GV-Rapsfeld zu modellieren, aufgebaut werden. Ferner verwendeten Hehl et al. (2005) zur Abschätzung der Bioaerosol-Exposition (Staub, Keime, Pilze, Endotoxin) von Anwohnern in den Landkreisen Cloppenburg, Emsland und Vechta das Ausbreitungsmodell LASAT⁶¹, das als Grundlage für die Entwicklung von AUSTAL2000 diente (Janicke 2005). Getestet wurde AUSTAL2000 an den im Jahr 2002 durchgeführten Vorversuchen auf lokaler Ebene (siehe Kap. 2.2.2.3) und zur Modellierung der Rapspollenausbreitung im gesamten Untersuchungsgebiet während des Feldversuchs 2003.

Wichtige Eingabeparameter von AUSTAL2000 zur Beschreibung der Ausbreitungssituation sind:

- Meteorologie: Repräsentative Ausbreitungsklassen-Zeitreihe (AKTerm) des DWD (Stundenwerte),
- Geländeprofil: Digitales Geländemodell im ArcInfo ASCII-Grid-Format,
- Qualitätsstufe: Freisetzungsrate von Partikeln (Standardwert für AKTerm: 63 Mio. Partikel),
- Rechengitter: Ursprung (Verwendung von Gauß-Krüger-Koordinaten möglich), Maschenweite, Ausdehnung und Verschachtelung von Rechengittern,
- Rauigkeitslänge: Abhängig von Landnutzung (9 Klassen: 0,01 2 m),

_

⁵⁹ Siehe Tab. 8.2.2, Anhang A8.2

⁶⁰ UFOPLAN 200 43 256 "Entwicklung eines modellgestützten Beurteilungssystems für den anlagenbezogenen Immissionsschutz"

⁶¹ Lagrange-Simulation von Aerosol-Transport (LASAT)

- Quelle: Definition von Art⁶² (Stäube, Gase), Geometrie (Punkt- oder Flächenquelle), Anzahl, Lage (Koordinaten, Ausdehnung und Drehwinkel), Höhe und Stärke⁶³ jeder einzelnen Quelle,
- Beurteilungspunkte: Lage (Koordinaten) und Höhe der Punkte, in diesem Fall die Pollensammler.

2.8.5 Entwicklung des Pollendepositionsindex als Ausbreitungsmodell

Zwischen der stark vereinfachenden eindimensionalen Betrachtung der Pollenausbreitung mittels "Entfernung zum nächsten Nachbarn" und aufwändigen dreidimensionalen Modellen (wie z. B. AUSTAL2000) fehlt ein einfaches zweidimensionales Ausbreitungsmodell, das auf lokaler bis regionaler Ebene zur Abschätzung der Pollendeposition an einem Punkt die Größe, Lage und Verteilung der benachbarten Felder und den Einfluss des Windes berücksichtigt. Um diese Lücke zu schließen, wurde der GIS-basierte Pollendepositionsindex (PDI) entwickelt. Der PDI wurde als ArcInfo AML Script geschrieben und ist somit bei programmkonformen Eingangsdaten⁶⁴ auf rotierende Anbauverhältnisse anwendbar und andere Gebiete Deutschlands übertragbar.

Der PDI wurde in dem Projekt eingesetzt, um die Pollendeposition an beliebigen Punkten (u.a. den Pollensammlerstandorten) abzuschätzen. Die Funktionalität des PDI kann auf verschiedene Weise genutzt werden: (1) Vergleich der berechneten mit der am Pollensammlerstandort gemessenen Pollendeposition, (2) Abgrenzung des Einflussbereichs um den Pollensammlerstandort, der ursächlich für das Messergebnis ist und (3) Verwendung des PDI als Stratum zur Ausweisung repräsentativer Pollensammlerstandorte.

2.8.5.1 Anwendung des PDI auf die Pollensammler-Standorte

Der PDI wurde nicht als universale Formel konzipiert, sondern sie ist durch ihren modularen Aufbau modifizierbar und kann damit an verschiedene Bedingungen angepasst werden. Die Berechnung des PDI erfolgt für jeden der zehn konzentrische Kreise⁶⁵, die unterschiedlich große Nachbarschaftsräume um die Berechnungspunkte definiert, einzeln.

Im einfachsten Fall (Formel 1) drückt der PDI die Flächensumme aller Raps- oder Maisfelder aus, die sich innerhalb des jeweiligen Nachbarschaftsraumes befinden. Eine

_

⁶² Für Rapspollen wurde die Staubklasse PM2 (Korngröße: 5-10 μm, Ablagerungsgeschwindigkeit: 0,01 m/s), und für Maispollen PM4 (>50 μm, 0,1 m/s) verwendet.

⁶³ Die Quellstärke ist in den Einheiten Gramm/Sekunde (g/s) anzugeben.

⁶⁴ Nomenklatur der Dateien und Attributtabellen sowie Rasterauflösung

⁶⁵ Radius entspricht jeweils einem Vielfachen von 100 m

Gewichtung der Felder in Abhängigkeit ihrer Himmelsrichtung oder Entfernung unterbleibt.

$$PDI_{i,n} = \sum A_{i,n}$$
 PDI Formel 1

i = Pollensammler-Standort-Nr.

A = Feldfläche (innerhalb Radius n m)

 $n = 100, 200, \dots, 1000$

Um die Felder einzelner Windrichtungssektoren (Himmelsrichtungen) auszuschließen oder die Flächensumme aller Felder einer Himmelsrichtung zu berechnen, wurde ein rasterbasierter Ansatz verwendet. Dazu wurden die Daten (Pollensammlerstandorte, Felderkartierung) in ein einheitliches Raster (identischer Ursprung und gleiche Auflösung) überführt und auf Grundlage der Nachbarschaftsräume die Windrichtungssektoren für die Pollensammlerstandorte berechnet.

PDI_{i,n} =
$$\Sigma$$
 A_{i,n,x} PDI Formel 17
x = 45°-Windrichtungssektor(en): N, NO, O, SO, S, SW, W, NW

Unter Verwendung von einfachen Funktionen, die die Pollenausbreitung im zweidimensionalen Raum ausdrücken sollen (siehe Okubo & Levin 1989, 329/330 und Edmonds 1979, 315), ergibt sich Formel 2. Die Gewichtung der Entfernung (Begünstigung sammlernaher Felder) fällt je nach Funktion unterschiedlich stark aus. Die logarithmische Funktion führt zu einer sehr schwachen, die inverse Potenzfunktion zu einer zunehmenden Gewichtung. Wiederum wird ein rasterbasierter Ansatz verwendet, in diesem Fall um die Entfernung zwischen den Rasterzellen (Pollensammler und Feld) zu berechnen.

$PDI_{i,n} = \Sigma (log B)^{-1}$	PDI Formel 2a
$PDI_{i,n} = \Sigma B^{-0.5}$	PDI Formel 2d
$PDI_{i,n} = \Sigma B^{-1}$	PDI Formel 2b
$PDI_{i,n} = \Sigma B^{-2}$	PDI Formel 2c

 $\overline{B} = Entfernung$ zwischen Sammler S_i und Feld $F_{i,n}$ (m)

 S_i = Rasterzelle (Pollensammler)

 $F_{i,n}$ = Rasterzelle (Feld), innerhalb des Radius n um Pollensammler S_i

Zusätzlich zu der Gewichtung durch die Entfernung können die Rasterzellen (Feld) durch die Himmelsrichtung zum Pollensammler gewichtet werden. Die Häufigkeitsverteilung der Windrichtungen (oder das Produkt aus Windrichtungshäufigkeit und Windgeschwindigkeit) während der gesamten Versuchszeit (Tag- und Nachtwerte oder nur

Tagwerte) wurde verwendet, sowie die Gewichtung nur eines oder mehrerer der acht Windsektoren (Hauptwindrichtung(en)).

$$PDI_{i,n} = \Sigma \left[(\log B)^{-1} * R_{24} \right]$$

$$PDI_{i,n} = \Sigma \left[(\log B)^{-1} * RG_{15} \right]$$

$$PDI \text{ Formel 6a}$$

 R_{24} = Häufigkeit der Windrichtung (Tag und Nacht, 24h) je 45°-Windsektor über die gesamte Versuchsdauer

RG₁₅ = Produkt aus der Häufigkeit der Windrichtung (Tag, 15h) und der Windgeschwindigkeit (Tag, 15h) je 45°-Windsektor über die gesamte Versuchsdauer

2.8.5.2 Anwendung des PDI auf das Untersuchungsgebiet

Zusätzlich kann der PDI zur flächenhaften Darstellung der relativen Pollenverbreitung im gesamten Untersuchungsgebiet genutzt werden und damit als Planungsgrundlage für ein großflächiges Monitoring dienen (Stratum zur Standortauswahl). Dafür wurde ein Punktraster mit der Auflösung von 100 x 100 m über das Untersuchungsgebiet gelegt und der PDI (Formel 1) für 20.160 Punkte – davon 12.940 Punkte im Agrarökosystem – berechnet. Durch eine Dreiecksvermaschung (TIN) konnten die Punktwerte in Flächendaten überführt werden. Mittels Klassifizierung der Flächendaten ließen sich Gebiete unterschiedlicher Pollendeposition räumlich abgrenzen.

2.9 Geostatistische Modellierung

Mittels geostatistischer Modellierung sollte geprüft werden, ob sich statistisch abgesicherte Beziehungen zwischen den Ergebnissen der beiden Pollensammlertypen und den vor Ort gegebenen Variablen finden lassen.

Datengrundlage sind die Werte, die speziell für die Untersuchung erhoben wurden:

- Ergebnisse der Pollensammlertypen Sigma-2 und Pollenmassenfilter
- Inventur der Landnutzung erhoben aus einer Luftbildinterpretation
- Erfassung der Raps- bzw. Maisfelder im Jahr 2003

Des Weiteren wurden allgemein verfügbare Daten eingesetzt:

- Digitales Höhenmodell der Bayerischen Landesvermessungsverwaltung
- Monatliche Summenwerte f
 ür Regen, Temperatur, Sonnenscheindauer und Globalstrahlung des Deutschen Wetterdienstes
- Messwerte für die Windrichtung und –stärke von drei agrarmeteorologischen Messstationen

Zielpollen, die durch eine veränderte Gensequenz markiert waren und deren genaue Herkunft damit überprüfbar war, kamen im Untersuchungsgebiet nahezu nicht vor, da die Anzahl der GV-Felder auf mesoskaliger Ebene zu gering war (jeweils ein Raps- und Maisfeld).

Methoden der schließenden Geostatistik sind u.a. die Bayes-Statistik, die Logistische Regression, die Anwendung der Fuzzy-Logic-Methode und der Neuralen Netze. Da die Methoden häufig ihren Ursprung in der Geologie haben bzw. mit Hilfe von Rasterdaten arbeiten, handelt es sich dabei um Analysen, die auf nominal bis ordinal skalierte Daten begrenzt sind. Der Einsatz von Daten mit Richtungsbezug ist in den entsprechenden Software-Paketen nicht vorgesehen. Aus diesen Gründen wurde die Anwendung des "klassischen" Verfahrens der Geostatistik, das Kriging (Ordinary-, Block- und Cokriging), geprüft. Des Weiteren wurde auf die analytische Statistik mit Hilfe von Korrelations- und Regressionsanalyse zurückgegriffen. Die verwendete Software ist in Tab. 9 aufgeführt.

Tab. 9: Verwendete Software

Anwendung	Software -	Version	Erweiterungen
	Produkt		
Statistische Analyse	SAS	8.2 und 9.1	
Geo-Informationsystem	ArcGIS	8.2	Geostatistical – Analyst, 3D – Analyst,
			Spatial – Analyst
	ArcView	3.2	3D – Analyst, Spatial – Analyst, Distance
			and Bearing by ID, Spatial Data Modeller
Geo-Statistik	CrimeStat	2.0	

3 Ergebnisse mit Diskussion

3.1 Automatische Bildanalyse

3.1.1 Projektverlauf

Im Rahmen des vorliegenden Projektes wurde ein vollautomatischer Suchlauf zum Auffinden der Pollen und anschließendem automatischen Bildeinzug realisiert. Es wurde eine Auswertefläche von 200 mm² zu Grunde gelegt. Auf dieser Grundlage konnte ein halbautomatisches Verfahren realisiert werden, bei dem die Pollen in der Mischprobe identifiziert, ihre Position bestimmt und anschließend für eine visuelle Bestimmung durch geschultes Personal automatisch angefahren wurde. Dieses Verfahren beschleunigte die manuelle Pollenanalyse bereits erheblich. Die Ergebnisse dieser automatisierten Pollenauszählung der Proben der Vorversuche 2002 sind im Anhang A2.1 dargestellt.

Durch weitere Verfahrensfortschritte bis zum Beginn der Feldversuche im Jahr 2003 wurde eine automatische Bestimmung der Gesamtpollenzahl und eine Unterscheidung der Zielgruppen Raps und Mais sowie einiger weiterer Pollenspezies für jede Probe erreicht. Die zugehörigen Ergebnisse aus den Feldversuchen befinden sich im Anhang A2.2 und A2.3.

Für einen ersten Suchlauf der Pollenbestimmung wurde eine 5-fache Objektivvergrößerung gewählt. Die Wahl dieser geringen Objektivvergrößerung ermöglichte aufgrund der damit verbundenen hohen Tiefenschärfe die Erfassung aller relevanten Partikel unterschiedlichster Größe (10-80 µm Durchmesser). Die gewählte Objektivvergrößerung hatte allerdings den Nachteil, dass eine Anzahl von Objekten nicht sicher klassifiziert werden konnte. Die Erkennung dieser Objekte sollte in einem zweiten Lauf mit 20-facher Objektivvergrößerung erfolgen.

Die Automatisierung dieses zweiten Laufs konnte im Rahmen des Projektes nicht realisiert werden. Es wurde deshalb bei 20-facher Objektivvergrößerung stichprobenartig eine visuelle Überprüfung der automatischen Erkennungsergebnisse mit 5-facher Objektivvergrößerung durchgeführt. Die Ergebnisse sollten zur Bestimmung der Fehlerrate und in einem zweiten Schritt zur Korrektur möglicher Fehlklassifikationen der automatischen Erkennung dienen.

Im Projektverlauf wurde deutlich, dass der Vergleichbarkeit der Auswertung von aktuellen Proben und Referenzproben bezüglich Alter der Pollen und Präparation der Proben sowie der Bildqualität in Abhängigkeit von mikroskopischen Einstellungen und gewählten Bildverarbeitungsverfahren eine hohe Bedeutung zu kommt. Die Bilder der Referenzproben bilden ein Referenzbildarchiv und sind die Grundlage zum Training des Klassifikators. Abweichungen in der Bildqualität zwischen den aktuellen Bildern

und den Referenzbildern können zu einer drastischen Verschlechterung der Erkennungsleistung führen.

3.1.2 Feldversuch: Erste automatische Erkennungsstufe

Eine Unterscheidung von Pollen und anderen Objekte erfolgte in dem ersten Lauf bei 5-facher Objektivvergrößerung. Dazu wurden die auf den Feldproben vorkommenden Pollenarten in Klassen eingeteilt. Kriterien waren dabei die Häufigkeit und eine möglichst gute Trennbarkeit durch die automatische Erkennung, wobei die Größenunterschiede der Pollen als wesentliches Unterscheidungsmerkmal genutzt wurde, da bei 5-facher Objektivvergrößerung viele Strukturdetails nicht erfasst werden, die für eine sichere Unterscheidung gleich großer Pollen erforderlich sind. Die geringe Vergrößerung wurde dennoch verwendet, um die auszuwertende Probenfläche effizient abrastern zu können. Bei den Feldversuchen zur Rapsbestimmung traten neben Rapspollen (~30 μ m Durchmesser), Pollen von Tanne/Fichte (> 85 μ m), Kiefer (~50-80 μ m) sowie Pollenagglomerate und die Klasse Varia (Birke, Eiche, Buche und Süßgras ~25–40 μ m) auf. Bei den Feldproben der Maiskampagne waren dies Mais (~80 μ m), Süßgräser (~25-40 μ m), Brennnessel (~10-15 μ m) und Varia (Beifuß, Gänsefuß, Korbblütler und Kräuter ~15-25 μ m).

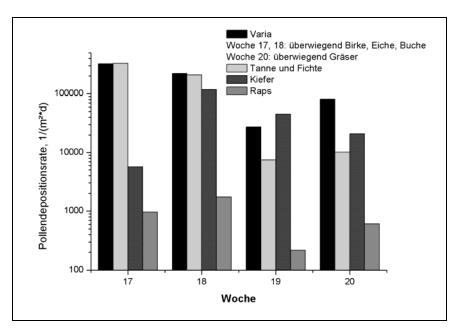


Abb. 7: Mittlere Pollendepositionsraten für verschiedene Pollenspezies während der Blühphase des Raps 2003

Eine weitere Möglichkeit der Unterscheidung verschiedener Pollenspezies besteht in einer zeitlichen Zuordnung aufgrund des Blühtermins. Während der Rapsblühphase

kommt es allerdings zu einer zeitlichen Überschneidung der Blühphasen verschiedenster Arten mit z.T. ähnlicher Größe, wie z. B. Birke, Eiche, Buche sowie Fichte, Tanne, Kiefer und Gräser (siehe Abb. 7), so dass eine Zuordnung über den Blühtermin nicht möglich war.

Günstigere Bedingungen für eine Unterscheidung herrschen während der Blühphase des Mais'. Die gleichzeitig mit dem Mais auftretenden Pollenarten sind aufgrund ihrer unterschiedlichen Größe gut voneinander zu trennen: Mais (ca. 80 μ m), Gräser (30 – 40 μ m) und Brennnessel (11 μ m) (siehe Abb. 8).

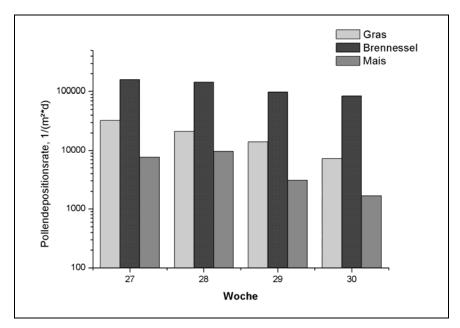


Abb. 8: Mittlere Pollendepositionsraten für verschiedene Pollenspezies während der Blühphase des Mais 2003

3.1.3 Visuelle Überprüfung der ersten Erkennungsstufe

Die Ergebnisse dieser stichprobenartigen Überprüfung sind in den Abb. 9 und Abb. 10 dargestellt. Die Einzelergebnisse der Stichprobe sind im Anhang A2.6 und A2.7 dargestellt.

Beim Raps ergab die Überprüfung, dass die sichere Erkennung aufgrund der Ähnlichkeit der Pollen mit anderen Kreuzblütlern, die gemeinsam mit dem Raps auftreten, erschwert wird. Für eine zusätzliche Absicherung der Ergebnisse wurden daher die Klassifikationsergebnisse für Raps nicht stichprobenartig, sondern komplett visuell überprüft und als Zählergebnisse im Anhang A2.2 bereitgestellt. Die visuellen Daten basieren auf einer Auswertefläche von 200 mm².

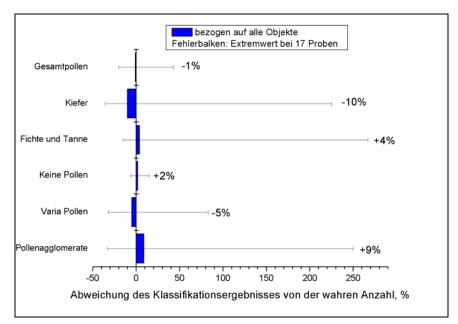


Abb. 9: Validierung der automatischen Auswertung der Proben aus dem Feldversuch während der Blühphase des Raps 2003 auf der Basis einer Bilderzeugung mit fünffacher Objektivvergrößerung.

Die Balken geben die prozentuale Abweichung des Gesamtergebnisses von 17 Stichproben aus der automatischen Erkennung vom Wert der visuellen Erkennung (wahre Anzahl) an. Die Fehlerbalken zeigen die Extremwerte für Abweichungen der automatischen Erkennung vom wahren Wert für einzelne Stichproben.

Für Rapspollen konnte auf Grund der geringen Partikelgröße und der hohen Verwechslungsmöglichkeit mit ähnlichen vorkommenden Pollenspezies bei fünffacher Objektivvergrößerung kein sinnvolles Klassifikationsergebnis angegeben werden.

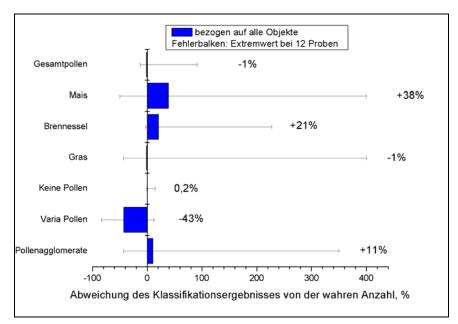


Abb. 10: Validierung der automatischen Auswertung der Proben aus dem Feldversuch während der Blühphase des Mais 2003 auf der Basis einer Bilderzeugung mit fünffacher Objektivvergrößerung.

Die Balken geben die prozentuale Abweichung des Gesamtergebnisses von 12 Stichproben aus der automatischen Erkennung vom Wert der visuellen Erkennung (wahre Anzahl) an. Die Fehlerbalken zeigen die Extremwerte für Abweichungen der automatischen Erkennung vom wahren Wert für einzelne Stichproben.

Für Mais liegen zur Absicherung neben den automatisch gewonnenen Ergebnissen zusätzlich Daten aus einer visuellen Zählung vor. Die visuellen Daten beziehen sich auf eine größere Probenfläche (324 mm²) als bei der automatischen Erkennung (200 mm²).

3.1.4 Datengrundlage der automatischen Klassifizierung

3.1.4.1 Erste Erkennungsstufe (5-fache Objektivvergrößerung)

Eine sichere Klassifizierung erfordert, dass für jede Pollenart ein ausreichend großes Referenzbildarchiv vorliegt. Wegen der geringen Belegungsdichte der zur Verfügung gestellten Proben wurde diese Zahl nicht erreicht. Für die Rapspollen wurde versucht, dieses Defizit durch die Erzeugung von so genannten Schüttelproben auszugleichen. Als Schüttelproben werden Pollenproben bezeichnet, die direkt an der blühenden Pflanze nur mit den Pollen dieser Pflanze beaufschlagt wurden.

Für die automatische Erkennung der Rapspollen stand eine Referenz mit Bildern von 573 Rapspollen aus der Pilotphase 2002, ca. 1.800 Rapspollen aus Schüttelproben, 600 Fichtenpollen, 400 Kiefernpollen, 1.000 verschiedenen Pollenarten (Varia), 200 Pollenagglomeraten sowie ca. 7.500 sonstigen Aerosolpartikeln zur Verfügung.

Zur automatischen Erkennung der Maispollen lag eine Referenz mit Bildern von 500 Maispollen aus der Pilotphase 2002, 50 Maispollen aus dem Feldversuch 2003, 2.400 Brennnesselpollen, 600 Gräserpollen, 700 verschiedenen anderen Pollenarten, 400 Pollenagglomeraten sowie 14.000 anderen Aerosolpartikel vor.

3.1.4.2 Zweite Erkennungsstufe (20-fache Objektivvergrößerung)

Für den Fall einer nicht ausreichend gesicherten Erkennung bei 5-facher Objektivvergrößerung war zunächst eine 3D-Erkennung mittels Einzug eines Bildstapels für jedes unsichere Objekt geplant. Diese Vorgehensweise erwies sich jedoch wegen des hohen Zeitbedarfs als nicht praktikabel, da die Daten nach diesem Verfahren nicht im vorgegebenen Zeitrahmen hätten bereitgestellt werden können. Als Alternative wurde daher die Erkennung anhand nur eines zentralen Schnittes durch das Pollenkorn (2D-Erkennung) entwickelt. Dafür ist ein wesentlich größeres Referenzbilddatenarchiv erforderlich. Die zur Verfügung stehende Probenzahl war für den Aufbau dieses umfangreichen Bilddatenarchivs nicht ausreichend, so dass die zweite Erkennungsstufe visuell durchgeführt werden musste.

3.1.5 Bewertung

Auf Grund der Ähnlichkeit der Rapspollen mit den gleichzeitig vorkommenden Pollen anderer Kreuzblütler ist die erste Erkennungsstufe nur als Vorklassifikation in Frage kommender Objekte geeignet. Rapspollen traten zudem auf den Proben teilweise in Form von Agglomeraten auf, bei denen zwei und mehr Pollen einander berühren. Die Agglomerate wurden verworfen, da eine bildanalytische Trennung noch nicht möglich ist. Das Problem soll in Zukunft durch eine Deagglomerationssoftware auf der Basis von Grauwertinvarianten gelöst werden. Zusammen mit einer möglichst exakten Segmentierung soll dadurch optisch ein quasi reines Pollenpräparat erzeugt werden, das auch für den Aufbau eines Referenzbildarchivs geeignet ist. Die Arbeiten zur Entwicklung und Erprobung entsprechender Softwaremodule werden im Rahmen des parallelen vom BMBF geförderten Vorhabens zum "Online-Monitoring natürlicher inhalativer Bioaerosole und sonstiger Staubkomponenten (OMNIBUSS)" geleistet. Die im Projekt verwendete Erkennungssoftware ist daher eine Forschungsversion, die kommerziell noch nicht verfügbar ist.

Maispollen können leicht mit anderen Aerosolpartikeln ähnlicher Größe nicht-biogenen Ursprungs verwechselt werden. Für eine Erkennung mussten daher in das Referenzbildarchiv neben einer ausreichenden Zahl von Bildern von Maispollen auch Bilder ähnlicher Aerosolpartikel als Gegenbeispiele aufgenommen werden. Auch in diesem Punkt ist das erstellte Referenzbildarchiv noch erweiterungsbedürftig. Dadurch ist zu erwar-

ten, dass für die untersuchte Stichprobe die automatische Erkennungsleistung für Maispollen noch deutlich verbessert werden kann.

3.1.6 Fehlerbetrachtung

Die Pollenzählung erfolgte jeweils an Stichproben aus einer Grundgesamtheit. Die Sicherheit des Zählergebnisses ist daher von der Zahl der Zählereignisse abhängig. Zur Festlegung einer Mindestanzahl von Zählereignissen wurde der Zählfehler in Abhängigkeit von der Pollenzahl bestimmt. Für eine Abschätzung des Zählfehlers bei geringer Zahl von Zählereignissen kann dazu die inverse Poissonverteilung herangezogen werden. Als Mindestanzahl der Zählereignisse wurde diejenige Pollenzahl festgelegt, deren 95%-Vertrauensintervall vollständig oberhalb von "Eins" liegt. Dieser Wert ist erst überschritten, wenn vier oder mehr Pollen gezählt werden (siehe Abb. 11).

Werden auf einer definierten Auswertefläche der Probe vier oder mehr Pollen gefunden, so kann man bei gleichmäßiger Verteilung der Pollen davon ausgehen, dass auf einer anderen Fläche gleicher Größe mindestens ein Pollen mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von weniger als 5% nachgewiesen werden kann. Eine Vergrößerung der Auswertefläche senkt die Nachweisgrenze und kann bei gleicher Konzentration zu einer weiteren Verbesserung der Nachweisempfindlichkeit des Verfahrens führen. Von ausgewählten Proben aus den Feldversuchen der Blühphase des Mais 2003 wurden daher in einer zweiten Auswertung größere Flächen ausgezählt (siehe Anhang A2.5).

Die Nachweisgrenze für das statistisch gesicherte Auftreten von mindestens einem Pollen bei gegebener Auswertefläche liegt bei mindestens 4 Pollen auf einer Stichprobe. Damit gilt für die Nachweisgrenze der Depositionsrate

$$NWG_{ADR} = \frac{4}{At} = \begin{cases} 1763(m^2d)^{-1} \\ 476(m^2d)^{-1} \end{cases}$$
 bei einer Expositionsdauer t von 7 Tagen und einer

Auswertefläche A von 324 mm² (oben), bzw. 1200 mm² (unten).

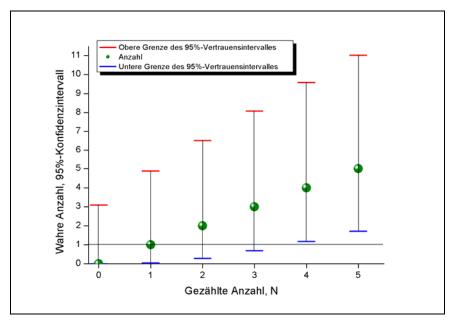


Abb. 11: 95%-Vertrauensbereich für das Zählergebnis, berechnet nach der inversen Poisson-Verteilung

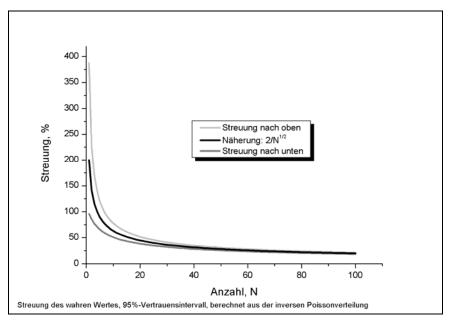


Abb. 12: Zählfehler aus der inversen Poisson-Verteilung: Ab ca. 100 Ereignissen kann die Näherungsformel verwendet werden.

Um den Anteil der Maispollen an der Gesamtpollenzahl zu bestimmen, wurden die Ergebnisse der automatischen Erkennung der Gesamtpollenzahl N_g von einer Auswertefläche von 200 mm² auf 324 mm² hochgerechnet. Der prozentuale Anteil der Maispollen, bestimmt aus der visuellen Erkennung über 324 mm², ist durch die Hochrechnung

mit einem Zählfehler behaftet, der in einem relativen Fehler $\Delta q_{1,rel} = \frac{1}{N_g} * \frac{200}{324} * \frac{2}{\sqrt{N_g}}$

resultiert. Der Zählfehler, vgl. die Näherungsformel aus Abb. 12, berücksichtigt die geringere Repräsentanz der kleineren Auswertefläche in Abhängigkeit von der Pollenzahl.

Der relative Fehler $\Delta q_{1,rel}$ ist in den meisten Fällen geringer als der relative Fehler, der entsteht, wenn man anstelle der Maispollendaten aus der visuellen Erkennung über 324 mm² $N_{M,324}$ die Ergebnisse für Maispollen $N_{M,200}$ aus der automatischen Erkennung verwendet:

$$\Delta q_{2,rel} = \frac{\left| \text{int}(N_{M,324} * \frac{200}{324} - N_{M,200}) \right|}{N_{M,200}} >> \Delta q_{1,rel}$$

Der unterschiedliche relative Fehler beruht darauf, dass sich der Zählfehler bei relativ hohen Gesamtpollenzahlen kaum auf das Ergebnis auswirkt, während bereits wenige Fehlklassifikationen bei einer geringen Anzahl von Maispollen zu hohen relativen Fehlern führen. Die Ergebnisse für den Anteil von Maispollen an der Gesamtpollenzahl sind für beide Berechnungswege im Einzelnen im Anhang A2.4 dargestellt.

3.1.7 Schlussfolgerungen

- (1) Die automatische Pollenerkennung war ein Teilziel des vorliegenden Vorhabens, dessen vollständige Erreichung aufgrund des Forschungsrisikos naturgemäß nicht zugesichert werden konnte. Gesamtziel des Vorhabens war die Prüfung der Raumrepräsentativität. Dafür waren zu festgelegten Terminen repräsentative Daten zur Pollendeposition zu erheben. Letztere Aufgabe war für die Erreichung des Vorhabenzieles vorrangig und wurde wie vereinbart nach dem Stand der Technik erfüllt.
- (2) Die Automatisierung stellt für die Auswertung großer Probenzahlen und die Bereitstellung gesicherter Daten bekannter Qualität eine notwendige Voraussetzung dar. Die verwendete Software auf Grundlage der Invariantentechnik stellte sich dafür als geeignet heraus. Die praktische Anwendung im Rahmen des Vorhabens führte zu Anpassungen und gab den Anstoß zu Verfahrensverbesserungen.
- (3) Die Verwendung der 5-fachen Objektivvergrößerung für eine erste Erkennungsstufe hat sich bewährt. Die Vorerkennung von Objekten mit Hilfe der Fluoreszenzmikroskopie in der ersten automatischen Erkennungsstufe beschränkt die zeitaufwendigere grauwertbasierte Erkennung auf eine geringere Zahl von Objekten und kann daher den Messvorgang erheblich verkürzen.

- (4) Als wesentliche Voraussetzung der angestrebten 2D-Erkennung stellte sich eine ausreichende Zahl von Objekten in dem Referenzbildarchiv heraus. Die darin enthaltene Zahl von Objekten der Zielgruppe muss deren Orientierung im Raum möglichst vollständig wieder geben. Für eine vollautomatische Erkennung ist der weitere Ausbau des Referenzbildarchivs für Raps und Mais erforderlich. Aufgrund des beschränkten Probenumfangs und der geringen Belegungsdichten der anfallenden Proben konnte diese Aufgabe im vorliegenden Vorhaben nicht vollständig geleistet werden.
- (5) Eine zweite Erkennungsstufe nach der Vorerkennung ist insbesondere bei den Rapspollen unumgänglich. Für die zweite Erkennungsstufe ist eine 20-fache Objektivvergrößerung erforderlich. Die Erkennungsleistung des Gesamtsystems für Raps- und Maispollen kann erst mit Bereitstellung dieser zweiten, automatisierten Erkennungsstufe beurteilt werden.
- (6) Feldproben mit einer Vielzahl auch nicht-biologischer Objekte stellen eine Herausforderung für die automatische Pollenerkennung dar. Inzwischen vorliegende Ergebnisse des OMNIBUSS-Vorhabens (s.o.) zeigen, dass durch die Weiterentwicklung der Software für eine kantengenaue Segmentierung und für eine Deagglomeration die Erkennungsleistung auch an diesen Mischproben deutlich gesteigert werden kann.
- (7) Die 3D-Erkennung ist bei Einzug eines Bildstapels für jedes Objekt zu zeitaufwendig. Alternativ ist die Erkennung anhand eines zentralen Schnittes (Äquatorialschnitt) durch das Pollenkorn (2D-Erkennung) möglich. Wie oben bereits erwähnt, ist dafür allerdings eine wesentlich größeres Referenzbildarchiv notwendig.
- (8) Die Vorbedingung einer statistisch gesicherten Aussage bei der Pollenbestimmung ist eine ausreichende Zahl von Zählereignissen. Die Belegungsdichte der Proben lag für Raps und Mais bei einer Sammeldauer von einer Woche mit dem Depositionssammler Sigma-2 im Bereich an der Nachweisgrenze des Verfahrens. Als Sammeldauer wird in Zukunft ein Zeitraum von zwei Wochen empfohlen.

3.1.8 Ausblick

Seit Juli 2003 ist der Deutsche Wetterdienst an dem Verbundprojekt "Online-Monitoring natürlicher inhalativer Bioaerosole und sonstiger Staubbestandteile (OM-NIBUSS)" beteiligt. Ziel des Vorhabens ist die Entwicklung eines feldtauglichen Pollen-Monitors, der stündliche, reproduzierbare Daten bekannter Qualität über den Pollenflug liefern soll. Diese zeitlich wesentlich höher aufgelösten Daten können ggf. als Referenzdaten für ein Langzeitmonitoring heran gezogen werden.

In einem gemeinsamen Projekt mit der MeteoSchweiz soll das bestehende Referenzbildarchiv des Deutschen Wetterdienstes weiter ausgebaut werden. Es soll geprüft werden, ob diese Bilddaten als Referenz für Proben aus einem GVO-Messnetz heran gezogen werden können. Insbesondere gilt es festzustellen, ob Unterschiede bei der Probenahme und Einbettung die Bildqualität und damit die Erkennungsleistung nachteilig beeinflussen.

Es wird erwartet, dass die genannten Projektarbeiten auch Beiträge zur vollständigen Automatisierung der Pollenerkennung für ein GVO-Monitoring liefern. Damit wäre die Voraussetzung gegeben, die Pollenerkennung kostengünstig auch an größeren Probenzahlen durchzuführen und die Daten zeitgerecht bereitzustellen.

3.2 Pollenmassenfilter

3.2.1 Ergebnisse

3.2.1.1 Qualitative Analyse des Pollenspektrums

Das mit dem PMF erfasste Pollenspektrum umfasst beim Rapsversuch 34 Spezies (9 Spezies nur an einem Standort) und beim Maisversuch 50 Spezies (16 Spezies nur an einem Standort). Durchschnittlich wurden an den Rapsstandorten 11 Spezies und an den Maisstandorten 10 Spezies nachgewiesen (Artenliste siehe Tab. A4.1.2 und Tab. A4.2.2, Anhang A4).

3.2.1.2 Quantitative Analyse der Pollenanzahl und des Pollenflusses

In 44 der 50 PMF-Proben (88%) wurden Rapspollen gefunden und in allen auswertbaren PMF-Proben (49, Verlust einer Probe) Maispollen. Die Raps- bzw. Maispollenanzahl der PMF-Proben in 2003 bewegte sich im Mittel bei 3.000 bzw. 5.000 Pollen/Probe. Der Anteil der Raps- bzw. Maispollen an den Gesamtpollen betrug im Durchschnitt 1,0% bzw. 27,8%. Die quantitative Auswertung von Nichtzielpollen zeigt, dass während des Rapsversuchs mit 59,7% die Fichtenpollen dominieren (daneben noch Kiefer mit 10,4% und Buche mit 5,5%) und während des Maisversuchs zusätzlich zum Mais mit 33,7% die Süßgräserpollen.

Tab. 10: Pollenanzahl und Pollenfluss der PMF von Raps- (n = 44) und Maisversuch (n = 49)

Quantitative Analyse PMF	Pollenanzahl (Pollen / Probe)		Pollenfluss (Pollen m ⁻² d ⁻¹)	
	Minimum (in Tsd.)	Maximum (in Tsd.)	Minimum (in Tsd.)	Maximum (in Tsd.)
Rapspollen	0,2	33,8	0,9	152,9
Gesamtpollen, Rapsversuch	310,0	2.899,6	1.402,2	12.876,6
Maispollen	1,1	99,8	5,0	460,5
Gesamtpollen, Maisversuch	15,2	354,0	70,5	1.637,8

Eine Darstellung der Messwerteverteilungen geht aus den Abb. 13 bis Abb. 14 hervor. Das Verfahren ist bei Hofmann et al. (2005) erläutert.

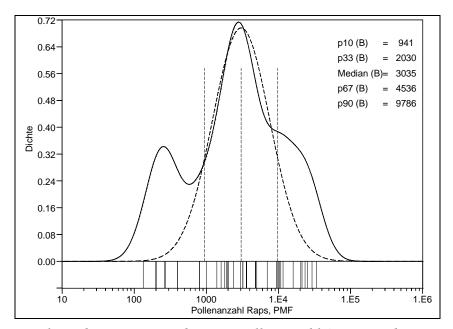


Abb. 13: Verteilung der Messwerte der Rapspollenanzahl (PMF-Proben, Rapsversuch, n=50, Werte < NWG durch 2/3 NWG ersetzt).

Die durchgezogene Linie gibt die Schätzkurve der Dichteverteilung an, die gestrichelte Linie die Lognormal-Basisverteilung.

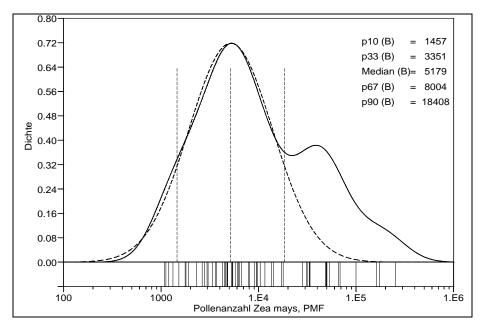


Abb. 14: Verteilung der Messwerte der Maispollenanzahl (PMF-Proben, Maisversuch, n=49).

Die durchgezogene Linie gibt die Schätzkurve der Dichteverteilung an, die gestrichelte Linie die Lognormal-Basisverteilung.

3.2.2 Bewertung

Der Pollenmassenfilter konnte entsprechend seiner Bestimmung große Mengen an Pollen akkumulieren. Mehr als 1.000 Zielpollen (Raps oder Mais) wurde an 36 Standorten (Rapsversuch) bzw. 49 Standorten (Maisversuch) gemessen. Damit wurde die Grundlage für den PCR-Nachweis von Raps- und Maispollen-DNA gelegt.

Dieser Nachweis erwies sich allerdings als recht schwierig (siehe Kapitel 3.3). Vor diesem Hintergrund wurde vom Ökologie Büro Hofmann ein verbessertes Verfahren zur Aufbereitung der PMF-Proben entwickelt. Durch Fraktionierung der Partikel entsprechend ihrer Größe lassen sich die Pollen gezielt selektieren und störende Partikel dadurch reduzieren. Dieses Verfahren konnte für die Proben des Jahres 2003 noch nicht eingesetzt werden.

3.3 PCR-Analysen

3.3.1 Ergebnisse für Pollen von der Rapsblüte

Messungen mit DNA-Lösungen belegen, dass die TaqMan-PCR optimal für die Quantifizierung transgener Raps-DNA geeignet ist. Diese Methodik ist am LfU-Labor etabliert und kann umgehend für eine Quantifizierung transgener DNA aus transgenen Raps-Pollen eingesetzt werden, insofern PCR-fähige Präparationen zur Verfügung stehen.

Messungen an nativen Pollen von frischen Rapspollenblüten zeigen, dass nach DNA-Präparation mit geeigneten Isolierungsmethoden eine Quantifizierung von Pollen-Körnern anhand der TaqMan-PCR grundsätzlich möglich ist.

3.3.2 Ergebnisse für PMF-Proben von 2002

In 2002 standen dem LfU 14 Feldproben von einer Rapsfreisetzung (Roggenstein) und 14 Feldproben von einem Monitoringfeldversuch mit transgenem Mais (Puch) zur Verfügung. Vorversuche mit diesen Proben zeigten, dass trotz positiver Kontrollreaktionen (Negativ- und Positiv-Kontrolle für die PCR-Reaktion, Positivkontrolle für die Aufarbeitung) ein Nachweis von DNA auf den untersuchten Filtern nicht möglich war.

Es wurde angenommen, dass die Ursache für die analytischen Probleme PCR-Inhibitoren aus der Probe sein könnten, die in die PCR-Reaktion eingeschleppt werden. Hinweis dafür waren Ergebnisse mit Kontrollreaktionen, die zeigten, dass der DNA-Nachweis für ein Kontrollsystem durch ein Eluat aus der Filteraufarbeitung blockiert wird. Wurde dieses Eluat zusätzlich aufgereinigt, so wurde wieder ein positives Signal mit Hilfe der Kontrollreaktion erzielt. Diese Ergebnisse deuteten darauf hin, dass bei der Bearbeitung von Proben aus der Umwelt mit zusätzlichen Problemen zu rechnen ist. Diese Annahme wurde durch Ergebnisse aus der Untersuchung von Proben vom Jahr 2003 bestätigt. Auch hier zeigte sich, dass der Nachweis von Pollen-DNA in den Filterproben durch starke Verunreinigungen erheblich beeinträchtigt wird (siehe Abb. 15 und Abb. 16). Abb. 15 zeigt insbesondere, dass die Filterproben aus der Umgebung der Rapsfelder durch Koniferen-Pollen verunreinigt sind. Nur vereinzelt konnten darin Rapspollen identifiziert werden.

Weitere Untersuchungen an den vorhandenen Feldproben sollten daher klären, wie Inhibitoren in der Probe abgetrennt werden könnten, und wie gegebenenfalls die Pollen selbst vor der DNA-Isolierung vom PMF aufgereinigt werden könnten.

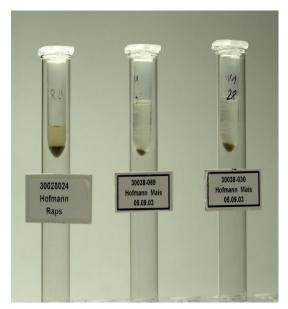
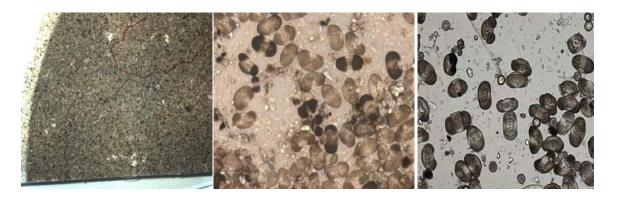




Abb. 15: Verschiedene Filterproben nach der Aufnahme des Belags in Glycerinlösung



PMF nach Exposition

Filterbelag vom PMF Probe 30028007

Filterbelag vom PMF Probe 30028039 (100-fach vergrößert)

(10-fach vergrößert)

(100-fach vergrößert)

Abb. 16: Mikroskopische Darstellung verschiedener Filterproben

3.3.3 Lösungsansätze zur Behebung des Grundproblems

Um die Probleme für die PCR-Analytik, die durch die extreme Verunreinigung der Proben verursacht werden, zu beheben, wurden verschiedene Strategien verfolgt:

- 1. Reinigung der Pollen vor der DNA-Isolierung
 - Ablösen des Filtermaterials
 - Zentrifugation über einen Glycerinstufengradienten
- 2. Entfernung der Inhibitoren aus der DNA-Präparation
 - Zusätzliche Reinigungsschritte nach der DNA-Isolierung

- Optimierung verschiedener DNA-Isolierungsmethoden
- 3. Verbesserung des Qualitätsmanagements

Höhere Anzahl an Kontrollreaktionen bei jeder Messung (Kontrolle der PCR-Reaktion, Kontrolle der DNA-Isolierung, Inhibitionskontrolle zu jeder Probe)

Die Ergebnisse aus den Untersuchungen in 2003 haben gezeigt, dass das Ablösen des Filtermaterials für die nachfolgende DNA-Isolierung sehr hilfreich ist. Der Versuch das abgelöste Filtermaterial über Glycerinstufengradienten zu reinigen war jedoch nicht erfolgreich. In allen bisher durchgeführten Experimenten konnte auch mit Kontrollpollen letztendlich keine positive PCR-Reaktion gefunden werden.

Als vorteilhaft und notwendig, da die Verunreinigung der Proben teilweise sehr hoch ist, stellte sich die Einführung eines Vorreinigungsschrittes vor der DNA-Isolierung heraus. Dazu wurden Qia-Shredder-Säulchen© verwendet. Die Reinigung des DNA-Eluats nach der DNA-Isolierung durch eine weitere Säulenaufreinigung führte ebenfalls teilweise zum Erfolg; jedoch nicht in jedem Fall.

3.3.4 Ergebnisse für PMF-Proben von 2003

In Tab. 11 sind Ergebnisse zu Untersuchungen an Rapspollen-Proben aus dem Jahre 2003 dargestellt. Sie zeigen, dass durch den Einsatz von Kontrollreaktionen belegt werden kann, dass:

- 1. Kontaminationen ausgeschlossen werden können
 - (Ct-Wert bei 50; d.h. keine DNA nachweisbar),
- 2. Der PCR-Nachweis erfolgreich durchgeführt wurde
 - (Ct-Werte bei ca. 31; Nachweis für Kontroll-DNA positiv),
- 3. Die DNA-Isolierung aus Pollen erfolgreich war
 - (Ct-Werte bei ca. 31; Nachweis für Kontroll-Rapspollen positiv)
- 4. Teilweise liegt Inhibition vor

(hier bei Probe 30028031 und 30028033, da Ct-Werte bei 50; d.h. es war keine DNA nachweisbar, obwohl nachweisbare DNA zur Probe dazugegeben wurde).

Tab. 11: Nachweis rapsspezifischer DNA in ausgewählten Filterproben aus 2003 (Ct-Wert)

Probe	Rapsgen	Rapsgen	Inhibition	Inhibition
	1. Messung	2. Messung	1. Messung	2. Messung
Negativkontrolle	50,0	50,0	-	-
Positivkontrolle	31,8	31,8	-	-
Aufarbeitungskontrolle	31,0	31,0	32,3	31,8
30028031	50,0	50,0	50,0	50,0
30028032	44,5	43,3	32,7	32,6
30028033	50,0	50,0	50,0	50,0
30028034	50,0	45,1	34,8	34,6
30028037	39,5	39,8	34,1	33,7
30028038	50,0	50,0	32,8	33,2
30028039	44,4	43,5	32,9	33,2

In Tab. 12 sind ein Teil der Ergebnisse zu Filterproben mit Maispollen dargestellt. Auch hier belegen die Kontrollreaktionen, dass ein Nachweis von Maispollen in den Filterproben für die hier gewählte Untersuchungsmethode grundsätzlich erfolgreich war. Tatsächlich konnten bei dieser Untersuchungsreihe Ergebnisse erzielt werden, die den Schluss zulassen, dass in den untersuchten Proben Maispollen enthalten sein müssen. Die Ct-Werte sind darüber hinaus so gut, dass eine Quantifizierung der transgenen Anteile möglich sein sollte. Ein Nachweis transgener Pollen und die Quantifizierung der GVO-Pollen waren jedoch nicht möglich.

Tab. 12: Nachweis maisspezifischer DNA in ausgewählten Filterproben aus 2003 (Ct-Wert)

Probe	Maisgen	Maisgen	Inhibition	Inhibition	
	1. Messung	2. Messung	1. Messung	2. Messung	
Negativkontrolle	50,0	50,0	-	-	
Positivkontrolle	32,5	32,3	-	-	
Aufarbeitungskontrolle	33,6	33,5	35,5	35,8	
30038001	33,8	34,6	34,2	35,0	
30038002	35,6	35,6	35,2	35,3	
30038003	48,5	47,6	35,7	35,9	
30038004	37,3	37,7	36,1	35,5	
30038005	33,5	34,1	34,1	34,0	
30038006	50,0	50,0	35,7	35,7	
30038007	50,0	50,0	35,6	35,5	

Ein Teil der Feldproben aus dem Versuchsjahr 2003 wurde für weitere Untersuchungen von der Firma GeneScan Analytics in Freiburg untersucht. Die Ergebnisse aus diesen Untersuchungen belegen die grundsätzliche Problematik beim PCR-Nachweis von Pollen-DNA in den für dieses Projekt verfügbaren Proben. Tatsächlich konnten von der Firma GeneScan Analytics in noch weniger Proben PCR-fähige DNA nachgewiesen werden. GeneScan schließt aus diesen Ergebnissen, dass in den Proben keine DNA enthalten ist. Dies ist insoweit zutreffend, als dass in den Proben offensichtlich keine DNA vorliegt, die mit den bei GeneScan Analytics eingesetzten Methoden nachweisbar ist. In dem zweiten Auftrag an GeneScan Analytics, in dem nur Proben mit einer theoretischen Soll-Genomkopienzahl von über ca. 300 versandt wurden, war es für Mais in vier von elf Proben möglich, einen Nachweis zu führen, und für Raps lediglich in einer von zehn Proben.

3.3.5 Diskussion der PCR-Ergebnisse

Die Ergebnisse aller Proben sind im Anhang A5 dargestellt. Insgesamt hat sich gezeigt, dass ein Nachweis artspezifischer DNA nicht reproduzierbar geführt werden konnte. Allerdings zeigte sich die Tendenz, dass je höher die Anzahl der Soll-Genomkopien in der Probe, desto wahrscheinlicher ist ein positiver Nachweis. Wie in Kapitel 2.5.2.2 dargestellt wurden die im PMF akkumulierten Pollen in 4 ml Glycerolsuspension überführt66. Ein Volumen von jeweils 1000 µl wurde der LfU und anderen Gentechnik-Laboren (siehe Kapitel 3.3.6) zu Verfügung gestellt. Die Pollen wurden von dem Labor extrahiert und dabei 100 µl DNA-Lösungen gewonnen. Nach dieser DNA-Extraktion wurde jeweils ein Volumen von 5 µl bei der PCR-Analyse untersucht (siehe Kapitel 3.3). Durch diese Aufteilung der Probe kann nur 1/80 der ursprünglichen Pollenanzahl in die PCR-Analyse eingehen. Demzufolge lagen aus den PMF-Proben der 50 Standorte im Durchschnitt 38 Raps- bzw. 63 Maispollen in einer PCR-Probe vor (maximal 423 Raps- oder 1248 Maispollen; siehe Tab. A5.1.1 und Tab. A5.2.1, Anhang A5). Ab einer theoretischen Soll-Genomkopienzahl von 500 in der PCR-Probe ist ein Nachweis in der Hälfte aller untersuchten Proben möglich gewesen. Bei einer theoretischen Soll-Genomkopienzahl von 100 pro PCR-Probe war der Nachweis nur noch in einem Drittel der Proben möglich. Wenn man realistischerweise davon ausgeht, dass es nicht zu einer 100% igen DNA-Extraktion und zu einer perfekten PCR-Analyse kommt, liegt die tatsächliche Genomkopienanzahl in der Probe vermutlich tiefer als die berechnete Soll-Genomkopienzahl. Damit lag in den meisten Fällen die Anzahl der Genomkopien pro Probe unterhalb der Nachweisgrenze. In diesem Nachweisbereich ist es nicht verwunderlich, dass nicht immer ein Nachweis gelingt. Positive Ergebnisse sind hier zwar möglich, streuen aber durch statistische Zufälle sehr stark.

Neben der weiteren Arbeit zur Aufreinigung der Proben, um eventuelle Inhibitoren aus der Reaktionslösung zu entfernen, gilt es also auch, die Soll-Genomkopienzahl zu erhöhen. Dies kann dadurch geschehen, dass an der Lyseeffizienz der DNA-Extraktion gearbeitet wird, um mehr DNA aus der Pollensuspension in Lösung zu bringen. Es scheint aber auch nötig zu sein, die Verdünnungsreihen möglichst so zu gestalten, dass aus der ursprünglichen Pollensuspension möglichst viel Material in die eigentliche PCR gelangt. In diesem Zusammenhang ist auf ein verbessertes Verfahren zur Aufbereitung der PMF-Proben hinzuweisen, dass in der Zwischenzeit vom Ökologie Büro Hofmann entwickelt wurde. Durch Fraktionierung der Partikel entsprechend ihrer Größe lassen sich die Pollen gezielt selektieren und störende Partikel dadurch reduzieren.

3.3.6 Vergleichsmessungen mit anderen Labors

Mit einem Teil der Proben aus diesem Projekt wurden Vergleichsmessungen in folgenden Laboratorien durchgeführt:

- GeneScan Analytics GmbH, Freiburg
- Impetus Bioscience, Bremerhaven
- Landesamt für Umweltschutz, Augsburg

Für diese Untersuchungen wurden den 3 Labors jeweils insgesamt 14 vergleichbare Proben zur Verfügung gestellt.

3.3.6.1 Ergebnisse der GeneScan Analytics

Bei der Entwicklung wurden die Parameter "Lyseeffizienz" und "Inhibitionsfreiheit der extrahierten DNA" betrachtet und in verschiedenen Versuchsansätzen optimiert. Am Schluss konnten 2 Methoden identifiziert werden, die reine DNA liefern, die inhibitionsfrei in die PCR eingesetzt werden kann.

Versuche mit Erdextrakten zur Simulation inhibitorischer Komponenten auf den Pollensammlern bestätigten vorab die Tauglichkeit der beiden Methoden zur Reinigung von DNA von inhibitorischen Substanzen aus solchen Erdextrakten. Die Analyse der Feldproben bestätigte schließlich diesen Befund.

⁶⁶ Die PMF-Proben der zusätzlichen PCR-Versuche (Raps) wurden in 8 ml Glycerolsuspension überführt. Das entspricht einer Verdünnung um den Faktor 160.

In Sachen Lyseeffizienz waren die Ergebnisse leider etwas widersprüchlich und weniger positiv. Nach anfänglichen guten Ergebnissen deuten die TaqMan-Daten der Feldproben jetzt auf recht schlechte Lyseeffizienzen hin, so dass hier noch deutlich Verbesserungsbedarf besteht.

Die 14 zur Verfügung gestellten Feldproben wurden aufgeteilt:

- 5 Proben wurden nach Methode 1 aufgearbeitet (18 III, 18 IV, 19 II, 19 V, 21II),
- 5 Proben nach Methode 2 (19 III, 19 IV, 20 III, 20 VI, 21 V).

Während bei Methode 1 alle DNA-Extrakte inhibitionsfrei waren, trat bei Methode 2 im unverdünnten Zustand bei Probe 20 VI Inhibition auf, ansonsten war auch hier keine Inhibition festzustellen (Test durch Analyse von unverdünnten, 1:5 verdünnten und 1:25 verdünnten DNA-Extrakten im TaqMan, Quantifizierung der Kopien eines Raps-Speziesgens, Auswertung der Daten hinsichtlich inhibitorischer Effekte).

Was die Lyseeffizienz anbetrifft, war bei den beiden Methoden kein signifikanter Unterschied feststellbar. In beiden Fällen lagen die von uns quantifizierten Pollenzahlen jeweils bei etwa 1-5 % der tatsächlich in den Proben enthaltenen Pollenzahlen, was sicherlich unbefriedigend ist, hier besteht noch deutlich Verbesserungsbedarf.

Die bisher noch nicht erwähnten 4 Proben wurden gepoolt und wieder in 4 – nun gleiche – Proben gesplittet, um einen direkten Performancevergleich der beiden ausgewählten Methoden zu ermöglichen sowie diese zusätzlich mit CTAB/Qiagen vergleichen zu können. Signifikante Unterschiede zwischen den Methoden 1 und 2 wurden hierbei nicht beobachtet.

Tab. 13: PMF Probenserie aus Rapsversuchen

Ver-	Rapspollen			SOLL ⁶⁷	IST ⁶⁸	
suchs-	gesamt (1	DNA-	Vol. DNA-	Genomkopien	Genomkopien	Wieder-
Code	ml)	Extraktionsmethode	Lösung	Raps/5 μl	Raps/5 μl	finderate
18 III	5740	CTAB-Präzipitation	100 μ1	287	2	0,7%
18 IV	6720	CTAB-Präzipitation	100 μ1	336	11	3,3%
19 II	10740	CTAB-Präzipitation	100 μ1	537	10	1,9%
19 V	9380	CTAB-Präzipitation	100 μ1	469	6	1,3%
		Anionenaustauscher-				
19 III	8280	säulchen	50 μl	828	11	1,3%
		Anionenaustauscher-				
19 IV	6420	säulchen	50 μl	642	18	2,8
		Anionenaustauscher-				
20 III	4280	säulchen	50 μl	428	18	4,2%
		Anionenaustauscher-				
20 VI	7853	säulchen	50 μl	784	20	2,5%
21 I	22800	Pool				
21 IV	22367	Pool				
21 II	15450	CTAB-Präzipitation	100 μ1	773	7	0,9%
		Anionenaustauscher-				
21 V	10150	säulchen	50 μl	1015	10	1,0%
21 III	450	Pool				
21 VI	2	Pool				
Pool 1	11405	CTAB-Präzipitation	100 μ1	573	13	2,3%
		Anionenaustauscher-				
Pool 2	11405	säulchen	50 μl	1145	15	1,3%
Pool 3	11405	Silica-Säulchen	100 μl	573	2	0,3%
Pool 4	11405	Silica-Säulchen	100 μ1	573	10	1,7

3.3.6.2 Ergebnisse von Impetus Bioscience

Als mögliches Problemfeld wurde die suboptimale DNA-Extraktion aus Pollen und/oder die unzureichende Qualität der isolierten DNA angenommen.

Da es sich bei den zu untersuchenden Proben um Freiland-Materialien handelt, akkumulieren neben Pollen durch Wind-, Regen- und Insekteneintrag unterschiedlichste Substanzen auf den Filtern. Einige davon, z. B. Huminsäuren, Phenolverbindungen oder Silikate aus Bodenpartikeln, können die Effizienz der DNA-Extraktion beeinträchtigen,

_

⁶⁷ Annahme: 1 Genomkopie pro Pollenkorn; gibt an, wie viele Genomkopien bei 100%iger DNA-Extraktionseffizienz und fehlerfreier, perfekter Quantifizierung theoretisch detektiert werden müssten.

⁶⁸ Bestimmt mir Hilfe der Realtime-PCR, Kopien ACCase

bzw. sind nicht oder nur sehr schwierig von der extrahierten DNA abzutrennen. Diese Co-Extrakte können eine nachfolgende PCR stören oder völlig inhibieren. Ebenso denkbar war eine auf Austrocknung der Pollen beruhende Dehydrierung der DNA, was deren Extraktion erschweren würde.

Ziel der nachfolgend beschriebenen Versuche war es, eine effizientere Methode zur Pollen-DNA-Extraktion zu finden bzw. den Anteil störender Substanzen zu reduzieren.

Durchgeführte Untersuchungen und Ergebnisse:

1) Literaturrecherche

Durch Sichtung entsprechender Fachpublikationen (siehe Anhang A11), besonders aus den Bereichen Mikrobiologie, Bodenökologie, Forensik und Lebensmitteltechnologie sollten Hinweise auf Methoden zur Extraktion von DNA aus schwierigem Probenmaterial und Vorschläge zur Eliminierung störender Co-Extrakte gewonnen werden.

Durch unsere Mitarbeit an dem Projekt "GVO-Monitoring" (UFOPLAN, PFAU; Az VE 039) wussten wir, dass publizierte Daten zu DNA-analytischen Pollen-Untersuchungen nicht zu erwarten waren. Trotzdem konnten wir einige hilfreiche Anhaltspunkte finden, wie aus anderen schwierigen Matrices wie z. B. Pilzsporen, fossiliertem Material oder Bodenproben DNA zu isolieren ist, bzw. aus verunreinigten DNAs einige Kontaminanten zu entfernen sind. Auch wenn Ergebnisse aus anderen Arbeitsgebieten nicht unbedingt übertragbar sind, wurden wir doch in unserer Annahme bestätigt, dass der Einsatz bestimmter Verfahren und Substanzen wie das T4 Gen 32 Protein oder des NucleoSpin DNA-Extraktionskits von Macherey&Nagel sinnvoll waren.

2) Bestimmung der Pollen-Nachweisgrenze

Um die Effizienz verschiedener DNA-Extraktionsmethoden zu überprüfen, wurden Pollen-Verdünnungsreihen hergestellt, mit verschiedenen Methoden parallel die DNA isoliert und anschließend PCR-analytisch die Nachweisgrenze bestimmt. Die so ermittelte geeignetste Methode wurde dann zur Analyse der Freiland-Proben eingesetzt. Sämtliche Pollen-Stammlösungen und Freiland-Proben wurden vom Ökologie Büro Hofmann zur Verfügung gestellt.

Aus einer reinen Rapspollen-Stammlösung wurden Verdünnungen hergestellt (10 Pollen, 50 Pollen, 100 Pollen, 500 Pollen), aus denen parallel mit drei Extraktionsverfahren (NucleoSpin-Kit, CTAB/Proteinase/Chloroform, SDS/Chloroform) die DNA isoliert wurde. Anschließend wurden die Isolate in einer Raps-spezifischen PCR amplifiziert.

Mit der SDS/Chloroform-Methode gelang es in keinem Fall, weniger als 100 Pollen zu detektieren. Die beiden anderen Methoden waren gleichwertig, mit beiden wurden reproduzierbar 100 Pollen detektiert, in einigen Fällen auch 50 Pollen. Eine Verbesserung

der Ergebnisse durch eine weitergehende Aufreinigung der DNA-Extrakte mit Microspin-Säulen konnte in keinem Fall erreicht werden.

3) Freiland-Proben

Die Methode, mit der wir bei der Bestimmung der Pollen-Nachweisgrenze die besten Erfahrungen gemacht hatten, wurde für die Extraktion von DNA aus den Freiland-Proben eingesetzt, die aus dem Bund-Länder-Projekt Bayern III (TUM) stammen.

Die beiden Extraktionsverfahren NucleoSpin und CTAB/Proteinase/Chloroform wurden parallel für die DNA-Extraktion aus Freiland-Pollenproben eingesetzt. Auch hier gab es keinen signifikanten Unterschied zwischen den beiden Methoden. Den Proben, die ein negatives PCR-Ergebnis zeigten, wurde das T4 Gen 32 Protein zugegeben und nochmals PCR-amplifiziert. In keinem Fall konnte ein positives Ergebnis erzielt werden.

4) Inhibitions-Überprüfung

Alle DNA-Proben, die ein negatives PCR-Ergebnis zeigten, wurden gespiked, d.h. jeweils mit einer definierten Anzahl von Raps-Genomen versetzt. PCR-störende Substanzen werden so einfach detektiert.

Alle untersuchten DNA-Proben, die ein negatives PCR-Ergebnis zeigten, wurden säulenchromatographisch gereinigt, gespiked und nochmals amplifiziert. In allen Fällen wurde ein positives Ergebnis erzielt, d.h. Inhibitoren konnten sehr effektiv entfernt werden.

5) Austrocknungsversuche

Die Annahme, aus getrockneten Pollen könne infolge von DNA-Dehydrierung keine oder weniger DNA isoliert werden, wurde an aus frischen Antheren gewonnenen Pollen durch unterschiedliche Expositionszeiten und Temperaturen im Wärmeschrank überprüft.

Aus Antheren gewonnene Pollen wurden 1 Tag, 1 Woche und 2 Wochen bei Raumtemperatur und 37°C gelagert. Die anschließend extrahierten DNAs wurden amplifiziert. In allen Fällen waren die Ergebnisse positiv.

6) T4 Gen 32 Protein

Die bei der Isolation bakterieller DNA aus Bodenbakterien häufig auftretenden Schwierigkeiten sollen sich nach Literaturangaben durch Zugabe von T4 Gen 32 Protein reduzieren lassen. Die Auswirkungen dieses Proteins auf solche Proben-DNAs, die PCRnegativ waren, wurden überprüft.

Fazit:

schieden werden.

Unsere Untersuchungen haben gezeigt, dass die beiden etablierten DNA-Extraktionsmethoden NucleoSpin und CTAB/Proteinase/Chloroform gleichermaßen geeignet sind, aus Rapspollen reproduzierbar DNA zu isolieren. Erstaunlicherweise kann durch einen weiteren, einfachen Aufreinigungsschritt DNA gewonnen werden, deren Qualität ausreicht, um ca. 100 Rapspollen PCR-analytisch zu detektieren, d.h. mögliche, in den Freiland-Proben akkumulierte DNA-Inhibitoren wirken sich weniger störend aus als angenommen, wobei es sicherlich in Abhängigkeit vom Standort Unterschiede im Eintrag möglicher Inhibitoren geben wird.

Zusätzliche Schritte, die eine Steigerung der DNA-Qualität bewirken sollen, konnten keine messbare Verbesserung bewirken. Die o.g. Nachweisgrenze wird in Abhängigkeit vom jeweils untersuchten Standort wahrscheinlich teilweise unter- oder überschritten. Die an den jeweiligen Standorten herrschenden Umweltbedingungen im Labor exakt zu simulieren ist zwar unmöglich, doch deuten unsere Untersuchungen zur Austrocknungs-Problematik darauf hin, dass die zur Rapspollen-Flugzeit vorherrschenden Temperaturen selbst bei mehrwöchiger Exposition keinen negativen Einfluss auf DNA-analytische Pollen-Untersuchungen ausüben. Eine Verbesserung der DNA-analytischen Nachweisgrenze von Rapspollen ist offensichtlich von der Verfügbarkeit einer effizienteren DNA-Extraktionsmethode abhängig. Zunächst sollte jedoch über die für ein flächendeckendes GVO-Monitoring notwendige Nachweisgrenze an übergeordneter Stelle ent-

3.3.6.3 Ergebnisse Landesamt für Umweltschutz (zu Vergleichsmessungen)

Auch am LfU wurden die Vergleichsproben mit der TaqMan-PCR untersucht. Es wurde eine rapsspezifische DNA-Sequenz (rrf) nachgewiesen. Lediglich bei 6 Proben konnte ein Ct-Wert kleiner 50 gemessen werden. In keiner der Proben konnten Doppelwerte kleiner 35 erzielt werden. Dies wird als Hinweis darauf gewertet, dass auch bei diesen Proben mit den angewandten Methoden ein Nachweis von Pollen-DNA nicht reproduzierbar möglich war.

Tab. 14: Ergebnisse aus den Vergleichsmessungen am LfU

LfU-Proben- Nr.	Proben- Nr. aus Bremen	Ausgangs- Volumen	Elutions- volumen	Einsatz in die PCR	Ct (rrf1)	Ct (rrf2)	Bewertung
30024001	18III	500 μl	100 μ1	5 μ1	50,00	50,00	negativ
30024002	18VI	500 μl	100 μ1	5 μl	50,00	50,00	negativ
30024003	19II	500 μl	100 μ1	5 μl	31,70	37,00	positiv
30024004	19V	500 μl	100 μl	5 μl	39,10	39,00	positiv
30024005	19III	500 μl	100 μ1	5 μl	50,00	50,00	negativ
30024006	19VI	500 μl	100 μl	5 μl	39,90	39,70	positiv
30024007	20III	500 μl	100 µl	5 μl	50,00	50,00	negativ
30024008	20VI	500 μl	100 µl	5 μl	50,00	50,00	negativ
30024009	21I	500 μl	100 μl	5 μΙ	50,00	43,30	Nachweis nicht ein- deutig
30024010	21IV	500 μl	100 μ1	5 μl	42,80	42,00	positiv
30024011	21II	500 μl	100 μ1	5 μl	50,00	50,00	negativ
30024012	21V	500 μl	100 μl	5 μ1	50,00	50,00	negativ
30024013	21III	500 μl	100 µl	5 μl	39,50	42,70	positiv
30024014	21VI	500 μl	100 μ1	5 μl	35,10	37,80	positiv

Schlussfolgerungen aus den Vergleichsmessungen:

Alle drei an den Vergleichsmessungen beteiligten Laboratorien berichten erhebliche Probleme beim Nachweis PCR-fähiger DNA in den für die Vergleichsmessung zur Verfügung gestellten Proben.

Ein Vergleich der erzielten Ergebnisse aus den drei Laboratorien ist kaum möglich.

Die Ergebnisse belegen die bisher nicht gelösten Schwierigkeiten für den Nachweis PCR-fähiger DNA in Pollen auf PMF von Feldversuchen.

3.3.7 Schlussfolgerungen

Für das Projekt wurden nachfolgende konkrete Teilziele angestrebt:

- 1. Nachweis transgener DNA in DNA-Lösungen und Blattmaterial (Mais und Raps)
- 2. Arbeiten mit Pollen von der Rapsblüte
- 3. Nachweis von Rapspollen auf PM-Filtern vom Freisetzungsfeld
- 4. Nachweis von Rapspollen auf PM-Filtern aus der Umwelt
- 5. Arbeiten mit Pollen von der Maisblüte
- 6. Nachweis von Maispollen auf dem PM-Filter

Projektziel 1, 2 und 5 wurden in diesem Projekt erreicht. Auch für den Nachweis von Maispollen auf dem PMF konnten viel versprechende Ergebnisse erzielt werden. Die Ergebnisse für den Nachweis von Rapspollen auf PMF vom Freisetzungsfeld sowie aus der Umwelt müssen jedoch als unzureichend bewertet werden.

Die Etablierung von PCR-Methoden für den Nachweis transgener DNA aus Blattmaterial von Raps und Mais kann als abgeschlossen betrachtet werden. Die Optimierung von DNA-Isolierungsverfahren für transgenen Raps- und Maispollen ist nach wie vor für transgenen Rapspollen von PMF-Proben nicht erreicht. Verfahrenskenndaten müssen insbesondere noch für den Nachweis transgener Maispollen von PMF-Proben ermittelt werden. Damit ist auch das Hauptziel, die Etablierung einer Routineanalytik für Pollenmassenfilter aus der Umwelt, derzeit noch nicht vollständig erreicht. Zum jetzigen Zeitpunkt kann angenommen werden, dass dieses Hauptziel für den Nachweis transgener Maispollen in PMF-Proben erreichbar sein könnte. Der Nachweis transgener Rapspollen in PMF-Proben ist jedoch nach wie vor mit unkalkulierbaren Problemen verbunden⁶⁹.

3.3.8 Ausblick - Bewertung verschiedener Probenmatrizes

Über die Zielsetzung des hier beschriebenen Projekts hinaus erscheint es sinnvoll eine Bewertung bezüglich der Möglichkeiten des Nachweises transgener Pollen vorzustellen. Die Bewertung stützt sich auf Ergebnisse, die durch Vergleichsmessung mit Kontrollproben erzielt wurden. Sie ist in Tab. 15 zusammenfassend wiedergegeben.

Tab. 15: Bewertung verschiedener Matrizes für die GVO-Pollen-Analytik

Matrix	Bewertung
Pollen von frischen Blüten	Nachweis transgener DNA unproblematisch
Pellets von Bienen, Bienenbrot	Nachweis transgener DNA unproblematisch
Honig	Nachweis transgener DNA möglich
	Entfernung von Sacchariden notwendig
Pollenfilter PMF	Nachweis prinzipiell möglich
	Umweltproben stark verunreinigt
	PCR-Inhibition kann Nachweis verhindern
	Nachweisgrenze steigt (> 100 Pollen/Nachweis)

⁶⁹ Durch ein verbessertes Verfahren bei der Aufbereitung der PMF-Proben (Fraktionierung der Partikel entsprechend ihrer Größe) ist das Problem möglicherweise gelöst. Für jeweils eine Raps- und eine Maisprobe (jeweils als Doppelmessung) gelang inzwischen der Nachweis der Raps- und Mais-DNA mittels PCR, der zuvor nicht möglich war (Mitteilung Ökologie Büro Hofmann).

Zusammenfassend kann aus dieser Bewertung abgeleitet werden, dass der Nachweis transgener Pollen in PMF-Proben die weitaus höchsten Anforderungen an die GVO-Pollen-Analytik stellt, während der Nachweis mit Pollenpellets von Bienen mit deutlich weniger Schwierigkeiten verbunden sein sollte.

3.4 Datenaustauschprogramm

3.4.1.1 Wichtigste Ergebnisse

- Es wurde ein globales abstraktes Datenmodell entwickelt, um die in einem GVP-Pollenmonitoring anfallenden Daten zu erfassen.
- Das Datenaustauschprogramm JTieX wurde in der Programmiersprache Java entwickelt und ist sowohl unter Linux als auch unter Windows lauffähig.
- Es wurde eine Installation des Programms JTieX durchgeführt (TU München) und vorgestellt.
- Es wurde ein Import/Export-Programm (Style-Sheet) für die Anpassung an den lokaler Benutzer (TU München) entwickelt.
- Es wurde ein Konzept des Betriebes des Programms in einer Umgebung mit zentraler Datenhaltung entwickelt.
- Das Programm zum Datenaustausch benutzt unter anderem Open-Source Software, z. B. stammt der XML-Parser aus dem apache-project (http://www.apache.org). Somit muss das Programm nach der Fertigstellung auch als Open-Source Software lizensiert werden und darf nicht verkauft werden.
- JTieX wird weiterhin gepflegt und ist über das Internet frei verfügbar (http://www.add2soft.de/jtiex/install.html).

3.4.1.2 Das globale abstrakte Datenmodell

Als globales abstraktes Datenmodell wurde auf das Datenmodell der Geschäftsstelle Medizin-Meteorologie des Deutschen Wetterdienstes in Freiburg zurückgegriffen. Dieses Modell kann mit kleineren Änderungen als das abstrakte Datenmodell eingesetzt werden. In den Abb. 17 und Abb. 18 sind die Entitäten des Datenmodells dargestellt. Im Unterschied zum ursprünglichen Modell sind die Beziehungskardinalitäten gelockert. In den Abb. 19 und Abb. 20 sind die Erweiterungen des ER-Modells dargestellt.

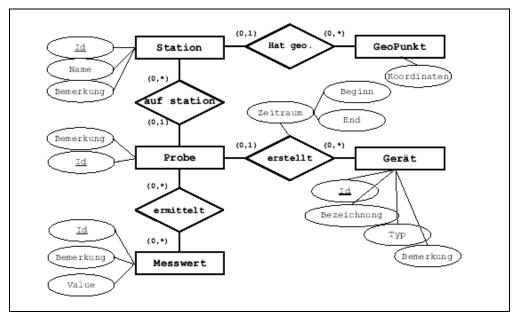


Abb. 17: Entitäten des globalen abstrakten Datenmodells (1); übernommen von DWD-Datenmodell (GFMM, Freiburg)

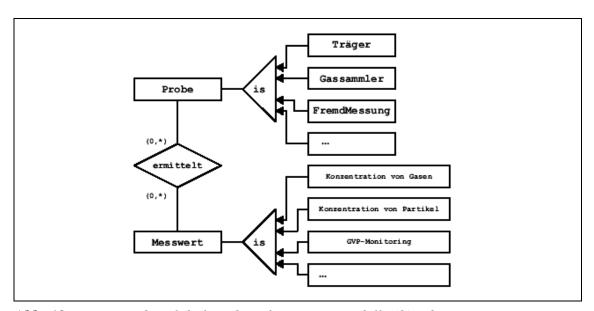


Abb. 18: Entitäten des globalen abstrakten Datenmodells (2); übernommen von DWD-Datenmodell (GFMM, Freiburg)

Es wurde ein neuer Entitätstyp "GeoRechteck" definiert. Der Entitätstyp "GeoRechteck" wurde eingeführt, weil die zu integrierenden Wetterdaten sich immer auf eine (oder mehrere) Zelle in einem geographischen Gitter beziehen. Ein GeoRechteck soll eine solche Zelle darstellen und repräsentiert ein Rechteck, das durch seine linken oberen und rechten unteren Ecke definiert ist. Die Ecken sind dann die Entitäten des Entitätstyps "GeoPunkt". Weiterhin darf ein Messwert sich auf eine Menge von Rechtecken

beziehen. Diese Erweiterungen sind nötig, da die meisten Wetterdaten sich nicht auf einen Punkt, sondern auf eine Fläche in ein gegebenes Gitter beziehen. Dieser Modellierungsvorgang ist in Abb. 19 dargestellt.

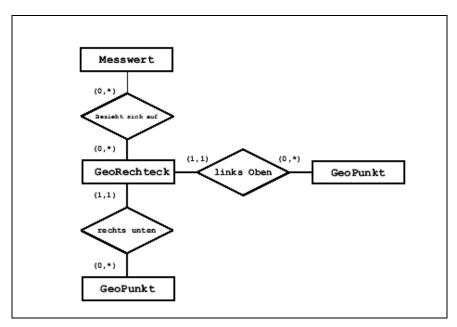


Abb. 19: Erweiterung des globalen abstrakten Datenmodells: GeoRechteck

Alle Entitäten des Datenmodells aus der Abb. 17, außer "GeoPunkt" werden zu einer Entität DataObject generalisiert. Zur Zuordnung der DataObjects wird die neue Entität "Partner" eingeführt. Diese Entität repräsentiert einen Projektpartner, der an dem Datenaustausch teilnimmt. Jedes DataObject gehört genau einem Partner und jeder Partner besitzt beliebig viele DataObjects. Diese Erweiterung ist nötig, um eventuelle Doppeldeutigkeiten der Datenpakete zu vermeiden. Dieser Modellierungsvorgang ist in Abb. 20 dargestellt.

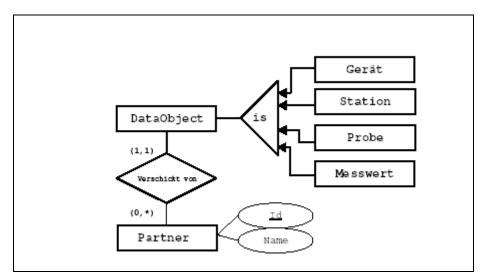


Abb. 20: Erweiterung des globalen abstrakten Datenmodells: Benutzer-Zuordnung

Eine konkrete Umsetzung des abstrakten Datenmodells ist zwingend notwendig: es werden nur die Daten als Datenpakete zugelassen, die dem Modell syntaktisch entsprechen. Da XML als Datenformat gewählt wurde, werden die Daten durch ein XML Schema beschrieben. Ein Datenpaket ist somit ein XML-Dokument, das einem XML Schema entspricht.

Das XML Schema wurde gemäß der Anforderung aus dem Umweltbundesamt entwickelt. Die Schlüsselwörter des Namensraumes (http://www.w3.org/2001/XMLSchema) werden ohne Präfix dargestellt. Die Schlüsselwörter des neuen Namensraumes werden mit Präfix "po:" dargestellt. Das komplette Schema ist im Anhang A6.1 dargestellt.

3.4.1.3 Datentypen und Datenpakete

3.4.1.3.1 Datentypen

In Abb. 21 ist die Definition eines Kommentars als ein Element des Schemas dargestellt. Die Kommentare werden von anderen Datentypen referenziert.

Abb. 21: XML-Schema: Kommentare

In Abb. 22 wird der Datentyp zur Beschreibung von Partnern dargestellt. Das Key eines Partners muss global eindeutig sein. In Abb. 23 wird der Datentyp zur Beschreibung von geographischen Punkten dargestellt. Das Element Länge repräsentiert den geographischen Längengrad des Punktes und das Element Breite repräsentiert den geographischen Breitengrad des Punktes.

Abb. 22: XML-Schema: Partner

Abb. 23: XML-Schema: GeoPunkt

In Abb. 24 wird der Datentyp zur Beschreibung von geographischen "Rechtecken" dargestellt. Das Element "LinksOben" repräsentiert die linke obere Ecke des Rechtecks und das Element "RechtsUnten" repräsentiert die rechte untere Ecke des Rechtecks.

Abb. 24: XML-Schema: GeoRechteck

In Abb. 25 wird der Datentyp zur Beschreibung von Schlüsseln, die aus zwei ganzen Zahlen zusammengesetzt sind, dargestellt. Das Element "PartnerKey" soll ein Key eines Partners enthalten. Das Element "LokalKey" soll die Identifikation der entsprechenden Entität in dem lokalen Schema des Partners enthalten.

```
<complexType name="DoubleKey_xml_type">
  <attribute name="LokalKey" type="int"/>
  <attribute name="PartnerKey" type="int"/>
  </complexType>
```

Abb. 25: XML-Schema: Zusammengesetzter Schlüssel

In Abb. 26 wird der Datentyp zur Beschreibung von Stationen dargestellt. In Abb. 27 wird der Datentyp zur Beschreibung von Gerätetypen dargestellt. Die Verwendung von

Gerätetypen anstatt von konkreten Geräten in Rahmen des Datenaustausches ist ausreichend. In Abb. 28 wird der Datentyp zur Beschreibung von Proben dargestellt.

Abb. 26: XML-Schema: Stationen

```
<complexType name="GeräteTyp_xml_type">
  <sequence>
     <element name="Key" type="po:DoubleKey_xml_type"/>
     <element name="Bezeichnung" type="string"/>
        <element ref="po:Kommentar" minOccurs="O"/>
        </sequence>
  </complexType>
```

Abb. 27: XML Schema: Gerätetypen

Abb. 28: XML-Schema: Proben

In Abb. 29 wird der Datentyp zur Beschreibung von Messwerten dargestellt. Der Typ eines Messwertes wird als ein einfacher String realisiert. Der Messwert selbst ist als ein Vektor variabler Länge von Parameter realisiert. Ein Parameter besitzt einen Namen, eine Messeinheit (ParamUnit) und kann verschiedene Datentypen annehmen.

```
<complexType name="MesswerteParam_xml_type">
   <element name="ParamName" type="string"/>
   <choice>
     <element name="FloatValue" type="float"/>
     <element name="DoubleValue" type="double"/>
     <element name="IntValue" type="int"/>
     <element name="StringValue" type="string"/>
     <element name="DateValue" type="date"/>
     <element name="DateTimeValue" type="dateTime"/>
     <element name="BoolValue" type="boolean"/>
     <element name="ByteValue" type="byte"/>
     <element name="DecimalValue" type="decimal"/>
    <element name="ParamUnit" type="string"/>
 </sequence>
</complexType>
<complexType name="Messwert_xml_type">
 <sequence>
    <element name="Key" type="po:DoubleKey_xml_type"/>
    <element name="MesswertTyp" type="string"/>
   <element name="Value" type="po:MesswerteParam_xml_type"</pre>
     max0ccurs="unbounded"/>
   <element name="BezugsFläche" type="po:GeoRechteck_xml_type"</pre>
     minOccurs="0" maxOccurs="unbounded"/>
    <element name="ProbeKey" type="po:DoubleKey_xml_type" minOccurs="0"</pre>
     max0ccurs="unbounded"/>
    <element ref="po:Kommentar" min0ccurs="0"/>
 </sequence>
</complexType>
```

Abb. 29: XML-Schema: Messwerte

3.4.1.3.2 Datenpaket

Ein Datenpaket ist ein XML-Dokument, das nur die Elemente enthalten darf, die in dem XML-Schema als Wurzelelemente definiert sind. Ein Wurzelelement "Kommentar" wurde in der Abb. 21 vorgestellt. Für das eigentliche Datenpaket soll zunächst der Datentyp definiert werden. Dieser ist in der Abb. 30 dargestellt. Das Wurzelelement Datenpaket ist im Anhang A6.2 dargestellt.

Abb. 30: XML-Schema: Datentyp des Datenpakets

Als Datenpakete lassen sich auch Wetter-, Klima- und geographische Daten in JTieX einbinden. Die Wetterdaten für das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland können z. B. vom Deutschen Wetterdienst bezogen werden (http://www.dwd.de/de/wir/Datenservice/Datenservice.htm). Die Wetterdaten werden als gewöhnliche Messwerte in einen Datenpaket eingefügt und aus einem Datenpaket extrahiert. Im Anhang A6.2 ist ein Beispiel für die Integration von Wetterdaten in einem Datenpaket dargestellt. Klimadaten z. B. des DWD unterscheiden sich nicht von sonstigen Messwerten in dem XML-Schema. Deshalb können diese ohne separate Modellierung berücksichtigt werden. Das XML-Schema der Datenpakete erlaubt in einer einfacher Weise, sowohl Proben als auch Messwerte an die jeweilige GeoPunkte (auch GeoRechtecke) zu binden, damit ist die Voraussetzung für die Benutzung der geographischen Daten in dieser Anwendung erfüllt.

3.4.1.4 Implementierung

Das Import/Export-Programm soll die Datenpakete importieren und exportieren. Unter dem Begriff Import versteht man die Konvertierung eines Datenpaketes in eine oder mehrere Dateien, die für den Datenpaket-Empfänger weiterverwendbar sind. Unter dem Begriff Export versteht man die genaue Umkehrung des Imports: die Konvertierung eines oder mehrerer Dateien aus den Daten-Beständen des Datenpaket-Absenders in ein Datenpaket. Die Weiterverwendbarkeit eines importierten Paketes beschränkt sich auf die Erstellung von Text- bzw. CSV-Dateien, deren Format von dem Benutzer vorgegeben ist. Um diese Funktionalitäten zu bieten, müssen Transformations-Regeln für jede lokale Installation des Programms definiert werden (sog. Style-Sheets).

Bei einem groß angelegten Monitoring sollte jeder Projektpartner eine benutzerspezifische Installation mittels eines Style-Sheets erhalten. Während der Projektlaufzeit wurde

eine solche Installation an der TU München zu Testzwecken installiert. Da die Datenaustausch-Routine parallel zum Projektverlauf entwickelt wurde, konnte nicht während der Laufzeit die Funktionalität von allen Projektpartnern geprüft werden. Auch war es für ein überschaubares Projekt mit geringer Anzahl von beteiligten Projektpartnern möglich, die Daten in handelsüblichen Programmen (meist Excel) zu halten und auch in dieser Form über gängige E-Mail-Programme auszutauschen. In einem größeren Routine-Betrieb wird das nicht mehr möglich sein.

Somit zerfiel die Entwicklung des Programms in zwei Abschnitte:

- (1) Entwicklung eines globalen Moduls:
 - flexible Grundoperation für das Lesen und Schreiben von Paketen,
 - graphische Benutzeroberfläche,
- (2) Konfiguration des Moduls für einen Benutzer:
 - Definition der Operationen des Benutzers,
 - Einschränkung der Funktionalität des globalen Moduls auf zugelassene Operationen,
 - Automatisierung der zugelassenen Operationen.

3.4.1.5 Zentrale Datenhaltung

Gemäß den anfänglichen Vorgaben dient JTieX dem Datenaustausch in einer Umgebung ohne eine zentrale Datenbank. Es ist jedoch möglich JTieX mit einer zentralen Datenbank zu betreiben, hierzu muss die Datenbank als ein Partner auftreten. Weiterhin soll dieser Partner in der Lage sein die Import- und Export-Funktionalitäten des JTieX automatisch auszuführen. Das Konzept hierzu sieht eine J2EE-Applikation vor, die die Steuerung von einem serverseitig installierten JTieX über das Internet/Intranet ermöglicht.

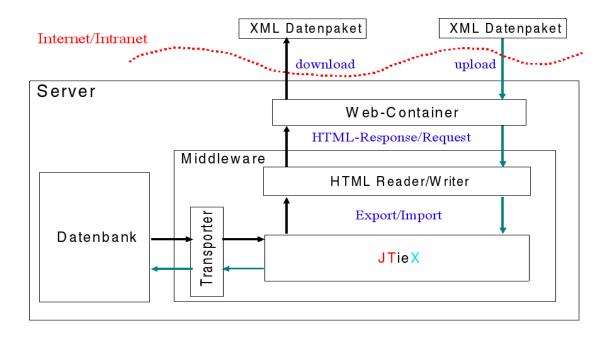


Abb. 31: Zentrale Datenhaltung mit JTieX

In der Abb. 31 ist das Konzept dargestellt. Der Web-Container übernimmt die Kommunikation durch das HTTP-Protokol mit externen Partnern. Das HTML Reader/Writer konvertiert XML-Pakete in HTML-Response, generiert XML-Pakete vom HTML-Request und stellt benötigte Kontroll-Routinen (Authentifizierung, Suchen, Vorschau,) zur Verfügung. Der Transporter übernimmt die Speicherung der XML-Pakete auf dem Server. Das Konzept ist sehr grob und muss bei einer Implementierung verfeinert werden.

Die Umsetzung des Konzepts ist im Rahmen des Vorhabens nicht enthalten, stellt aber eine mögliche Weiterentwicklung dar.

3.4.1.6 Einsatz des Programms nach der Beendigung des Projekts

Das Programm ermöglicht den Austausch von Daten, die zu dem globalem Datenmodell konform sind. Das Datenmodell beruht auf einigen wenigen Annahmen, die nicht nur für das Projekt gültig sind. Das Programm kann somit anderweitig eingesetzt werden. Insbesondere kommen dabei Daten in Frage, die bei Messungen jeglicher Art entstehen.

Optional können Informationen über Stationen, Geräte und Proben ausgetauscht werden. Weiterhin kann das Programm zeitliche und räumliche Zuordnung von Proben und Messwerten erfassen. Die aufgeführten Möglichkeiten decken einen großen Teil der Messungen, die mit verschiedenen Verfahren durchgeführt werden, ab.

Eine Anwendung des Programms außerhalb des Projekts setzt natürlich auch die spezifischen Benutzer-Installationen voraus. Eine Benutzer-Installation ist auch hier die Entwicklung eines Style-Sheets, das das lokale Datenmodell auf das globale Datenmodell abbildet.

3.5 Vorversuche 2002 und Zusatzversuch 2004

3.5.1 Vorversuche 2002

3.5.1.1 Qualitative und quantitative Pollennachweise

Die Vorversuche in der Umgebung der Raps- und Maisparzellen ergaben eine gute Praktikabilität der Sammler. Aufbau, Betrieb und Abbau der Pollensammler (Sigma-2 und PMF) funktionierte ohne Einschränkung. Der Auf- und Abbau des PMF gestaltet sich im Vergleich zum Sigma-2 deutlich aufwändiger. In 69 (51,5%) von 134 Proben der Sigma-2-Sammler konnten Raps- und in 14 (26,4%) von 53 Proben Maispollen über der Nachweisgrenze (NWG) nachgewiesen werden⁷⁰. An allen Raps-Standorten wurden in mindestens zwei von sieben Proben Rapspollen identifiziert. Alle Mais-Standorte, die weiter als 40 m vom Maisfeld entfernt waren (7 Standorte) konnten keinen positiven Nachweis von Maispollen erbringen. Alle PMF-Proben (jeweils 14) enthielten Rapsbzw. Maispollen⁷¹. Bei vergleichbarem Versuchsaufbau konnten beide Sammlertypen häufiger und mehr Raps- als Maispollen nachweisen, obwohl die Maisparzelle die ca. vierfache Fläche der Rapsparzellen hatte. In den o.g. qualitativen und quantitativen Pollennachweisen spiegeln sich deutlich die besseren Flugeigenschaften der Rapspollen im Vergleich zu den Maispollen wider. Diese Ergebnisse decken sich mit den Literaturangaben über Raps- und Maispollen (siehe Kap. 2.1.1.3 und 2.1.2.3). Die Sammelleistung des Pollenmassenfilters (PMF) lag – wie erwartet – zwei bis drei Zehnerpotenzen über der des Sigma-2-Sammlers. Die Anzahl der akkumulierten Raps- und Maispollen sollte für einen Nachweis von Zielpollen-DNA ausreichen (siehe Kap. 3.3.2). Die Sammelleistung des Sigma-2 überschritt insbesondere beim Mais häufig die Nachweisgrenze nicht. Die Exposition von Sigma-2-Proben <7 Tage wurde deshalb grundsätzlich verworfen.

⁷⁰ Maximale Deposition Raps (Feldmitte): 108,2 Pollen cm⁻² bzw. 295.000 Pollen m⁻² d⁻¹; Maximale Deposition Mais (Feldmitte): 55,5 Pollen cm⁻² bzw. 79.000 Pollen m⁻² d⁻¹

⁷¹ Anzahl Rapspollen/PMF: Minimum: ~90.000 (Entfernung Rapsfeld: 520 m), Maximum: ~870.000 (8 m); Anzahl Maispollen/PMF: Minimum: ~1.000 (Entfernung Maisfeld: 130 m), Maximum: ~650.000 (Feldmitte).

3.5.1.2 Korrelation der Pollendeposition mit der Meteorologie

Signifikante Korrelationen der Pollendeposition mit meteorologischen Messgrößen traten nur an einzelnen Rapssammler-Standorten auf (positive Korrelation mit Globalstrahlung und Lufttemperatur, negative Korrelation mit Niederschlag und Luftfeuchte). Die Analyse konnte aufgrund des sehr geringen Stichprobenumfangs nicht mit den Maisdaten durchgeführt werden. Da die Pollensammlerstandorte um die Versuchsparzellen nur wenige Dekameter voneinander entfernt standen, wurden die meteorologischen Messgrößen auf alle Sammlerstandorte gleichermaßen übertragen.

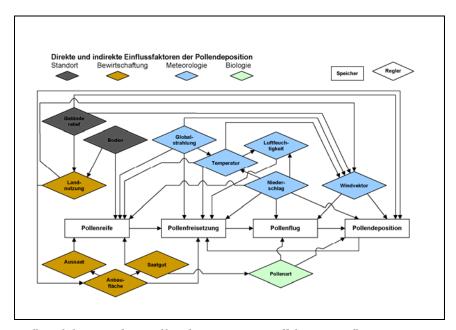


Abb. 32: Einflussfaktoren der Pollendeposition windblütiger Pflanzen

Abgeleitet aus den Erkenntnissen der Vorversuche, theoretischen Überlegungen und der Literatur (Crane 1986, Edmonds 1979, Fægri & Iversen 1989, Straka 1975) wurde das in Abb. 32 dargestellte Modell der Einflussfaktoren der Pollendeposition windblütiger Pflanzen entwickelt. Es wird deutlich, dass an der Pollendeposition direkt nur wenige Faktoren beteiligt sind:

- Art und Anzahl der luftgetragenen Pollen (Pollen-Pool),
- Windvektor (Richtung und Stärke in laminaren und turbulenten Strömungen),
- spezifische Polleneigenschaften (Sinkgeschwindigkeit, Pollenkit, etc.),
- Niederschlag (Naßdeposition),
- Geländerelief,
- Landnutzung (Art und Beschaffenheit möglicher Akzeptorflächen).

Da die Pollendeposition den Endpunkt eines längeren zeitlichen und räumlichen Prozesses bildet, wirken eine Vielzahl weiterer Faktoren auf die zeitlich vorgelagerten Stadien der Pollenverbreitung und damit indirekt auf die Pollendeposition. Diese Faktoren sind zum Teil dieselben, wie bei der Deposition, zum Teil andere, sie beeinflussen sich zum Teil untereinander oder sind voneinander abhängig. Die Tatsache, dass ein und derselbe Faktor auf unterschiedlichen Ebenen der Pollenverbreitung einwirkt, ist bei der Analyse von Pollendepositionsmessungen zu berücksichtigen.

3.5.2 Zusatzversuch 2004

3.5.2.1 Pollendeposition am Tag und in der Nacht

Im Rahmen dieses Versuchs wurden in den beiden Sigma-2-Pollensammlern (Bezeichnung: A und B) jeweils 23 Proben über 24h, 9 Proben am Tag und 9 Proben in der Nacht exponiert. Von den 24h-Proben enthielten 39,1% (A) bzw. 34,8% (B) Rapspollen über der Nachweisgrenze⁷². Keine der insgesamt 18 Nacht-Proben enthielt Rapspollen, jedoch 66,7% (A) bzw. 55,6% (B) der Tag-Proben.

Berücksichtigt man die für einen Passivsammler sehr kurze Expositionsdauer von 24 bzw. 15 / 9 Stunden, wurde eine hohe Anzahl positiver Nachweise erreicht. Die Tag-/Nachtmessungen deuteten an, dass sich in der Nacht kaum (Raps-)Pollen in der Luft befinden, noch nicht einmal während der Hauptblühphase des Rapses mitten in einem Rapsfeld. McCartney & Lacey (1991) kamen bei einem ähnlichen Versuchsaufbau – jedoch mit einem Aktivsammler (Pollen- und Sporenfalle nach Hirst, sog. Burkard-Falle) – zu vergleichbaren Ergebnissen. Zwischen 23 und 7 Uhr (GMT) fanden sie nahezu keine Rapspollen.

3.5.2.2 Prüfung der Doppelmessung

Die festgestellte Differenz zwischen den Messergebnissen am Standort A und Standort B⁷³ lässt sich eventuell auf die Eigenschaft des Rapspollens zurückführen, Pollenkit zu bilden und dadurch als Pollenagglomerat⁷⁴ transportiert zu werden. Das Auftreten von Agglomeraten, die das Zählergebnis erheblich beeinflussen können, wurde bei der Auszählung nicht gesondert erfasst. Trotz der Abweichungen zwischen den beiden Mess-

⁷² Die maximale Pollendeposition bzw. –rate wurde am 19. Mai mit 51 Rapspollen cm⁻² bzw. 495.000 Pollen m⁻² d⁻¹ gemessen.

⁷³ Entfernung zwischen der Pollensammlern ca. 2,5 m

⁷⁴ Bestehend aus 2 bis ca. 20 Pollen

reihen zeigt der Wilcoxon-Test, dass die Pollendeposition und /-srate der Sammler A und B sich nicht signifikant voneinander unterscheiden⁷⁵.

3.5.2.3 Korrelation der Pollendeposition mit der Meteorologie

Die Abhängigkeit der Pollendeposition von meteorologischen Messgrößen zeigt die Tab. 16. Als Einzelparameter korrelierten Lufttemperatur und Globalstrahlung signifikant positiv und Luftfeuchte und Blattnässe signifikant negativ mit der gemessenen Pollendeposition und /-srate. Auffällig ist die Tatsache, dass zum einen am Standort B (im Vergleich zu A) und zum anderen mit der Depositionsrate (im Vergleich zur Deposition) höhere Korrelationskoeffizienten erreicht werden. Keine signifikante Korrelation tritt mit der Windgeschwindigkeit und dem Niederschlag auf.

Der große Einfluss, den der Niederschlag auf die Freisetzung, Verbreitung und Deposition von Pollen besitzt, kommt bei der Betrachtung der einzelnen meteorologischen Parameter nicht zum Tragen. Bei multivariaten Verfahren wie im nachfolgenden Kapitel stellt der Niederschlag einen wichtigen Faktor innerhalb des Faktorenbündels dar.

Tab. 16: Rangkorrelation der Pollendeposition /-srate am Standort A und B mit meteorologischen Messgrößen (n = 28)

Meteorologische Messgröße	Depos	ition	Depositionsrate	
	A	В	A	В
Lufttemperatur (Mittelwert)	0,416*	0,513**	0,445*	0,528**
Lufttemperatur (Median)	0,430*	0,591**	0,458*	0,610**
Lufttemperatur (Summe)	0,415*	0,489**	0,447*	0,504**
Luftfeuchte (Mittelwert)	-0,507**	-0,500**	-0,547**	-0,508**
Luftfeuchte (Median)	-0,529**	-0,525**	-0,556**	-0,532**
Luftfeuchte (Summe)	-0,416*	-0,490**	-0,445*	-0,501**
Blattnässe (Mittelwert)	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Blattnässe (Median)	-0,555**	-0,402*	-0,554**	-0,395*
Blattnässe (Summe)	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Globalstrahlung (Mittelwert)	n.s.	0,476*	n.s.	0,495**
Globalstrahlung (Median)	n.s.	0,521**	n.s.	0,534**
Globalstrahlung (Summe)	n.s.	0,473*	0,380*	0,491**

⁷⁵ Wilcoxon-Test mit Monte-Carlo-Signifikanztest für n = 17 (alle Probenpaare mit mind. 1 Wert >NWG): 95%-Konfidenzintervall, 10.000 Stichprobentabellen.

3.5.2.4 Multiple lineare Regression der Pollendeposition mit der Meteorologie
Die Spearman-Rangkorrelation im vorangegangenen Kapitel hat gezeigt, dass die Pollendeposition von verschiedenen Faktoren beeinflusst wird. Die multiple lineare Regression klärt, welche Faktoren zusammen die Pollendeposition beeinflussen.
Die beste Anpassung wurde mit der in Tab. 17 abgebildeten Variablenauswahl erreicht.

Tab. 17: Ergebnisse der multiplen linearen Regression zwischen dem dekadischen Logarithmus der Pollendeposition und den meteorologischen Messgrößen

Aufgenommene / Entfernte Variablen (b)

Modell	Aufgenommene Variablen	Entfernte Variablen	Methode
1	Z_MI_LW, Z_MI_TA, Z_S_RAIN, Z_ME_RH, Z_MI_GR (a)		Eingeben

Modellzusammenfassung (b)

			Korrigiertes R-	Standardfehler des	Durbin-Watson-
Modell	R	R-Quadrat	Quadrat	Schätzers	Statistik
1	,873 (c)	,762	,708	,440425	2,010

ANOVA (b)

Mod	ell	Quadratsumme	df	Mittel der Quad- rate	F	Signifikanz
1	Regression	13,679	5	2,736	14,104	,000 (c)
	Residuen	4,267	22	,194		
	Gesamt	17,946	27			

Koeffizienten (b)

		Nicht standardi- sierte Koeffizien- ten		Standardisierte Koeffizienten			Kollinearitäts- statistik	
Мо	dell	В	Stan- dard- fehler	Beta	Т	Signifi- kanz	Tole-ranz	VIF
1	(Konstante)	,491	,083		5,893	,000		
	Z_MI_TA	,508	,119	,623	4,254	,000	,504	1,984
	Z_ME_RH	-,818	,194	-1,003	-4,209	,000	,190	5,256
	Z_S_RAIN	,406	,092	,498	4,415	,000	,848	1,179
	Z_MI_GR	-,782	,213	-,959	-3,670	,001	,158	6,319
	Z_MI_LW	-,286	,110	-,351	-2,604	,016	,596	1,678

⁽a) Alle gewünschten Variablen wurden aufgenommen.

(b) Abhängige Variable: A0 LOG

(c) Einflussvariablen: (Konstante), Z_MI_LW⁷⁶, Z_MI_TA, Z_S_RAIN, Z_ME_RH, Z_MI_GR

Die Varianzanalyse (ANOVA) bestätigt mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit <0,0001%, dass eine abgesicherte Korrelation zwischen der abhängigen (log Pollendeposition A) und mindestens einer unabhängigen Variablen besteht. Das korrigierte Bestimmtheitsmaß R² gibt Auskunft über die Modellgüte. In diesem Fall erklären die unabhängigen Variablen 70,8% der Variabilität. Alle Variablen leisten einen signifikanten Beitrag zu dem Modell. Die Untersuchung auf Multikollinearität (wechselseitige Abhängigkeit der Variablen) deutet nicht darauf hin, dass die Variablen interkorreliert sind⁷⁷. Die Residuenanalyse zeigte, dass die Voraussetzungen der multiplen linearen Regression (Normalverteilung der Residuen⁷⁸, Homogenität der Restvarianz (Homoskedastizität), keine Autokorrelation der Residuen⁷⁹) erfüllt sind.

Die Modellanpassung für den Standort B gelang nach Entfernung der Variablen Blattnässe und Globalstrahlung sowie nach Austausch der Variable Temperatur (Mittelwert) durch Temperatur (Median). Die Modellgüte liegt mit R² korrigiert = 0,569 niedriger als für den Standort A.

Die multiple lineare Regression zeigt, dass das Faktorenbündel Lufttemperatur, Luftfeuchte, Niederschlag, Blattnässe und Globalstrahlung einen hohen Anteil der Streuung der Pollendeposition erklären kann (71% am Standort A; 57% am Standort B, ohne Blattnässe und Globalstrahlung). In einer fünfjährigen Versuchsreihe mit Rapspollen konnten McCartney & Lacey (1991) mittels multipler Regression einen signifikanten Einfluss von Wind Run⁸⁰ und Globalstrahlung auf die Pollenkonzentration nachweisen (erklärte Varianz 8 bis 38%), jedoch keine signifikante Korrelation mit Maximum-, Minimum-Temperatur und der Niederschlagssumme.

_

⁷⁶ Abkürzungen: Z: z-transformiert, ME: Median, MI: Mittelwert, S: Summe, GR: Globalstrahlung, LW: Blattnässe, RAIN: Niederschlag, RH: Luftfeuchte, TA: Lufttemperatur

⁷⁷ Für alle Variablen gilt: Variance Inflation Factor (VIF) < 10, Eigenwert > 0 und Konditionsindex < 15.

⁷⁸ Histogramm und P-P-Diagramm des standardisierten Residuums zeigen keine Abweichungen, die auf einen Verstoß der Normalverteilung deuten.

⁷⁹ Durbin-Watson-Koeffizient ~2

⁸⁰ "Windmenge" ausgedrückt in Kilometern (km). Windgeschwindigkeit multipliziert mit der Dauer ihres Auftretens, aufsummiert über den Zeitraum eines Tages, Monats, Jahres o.ä.

3.6 Feldversuch 2003

3.6.1 Klimatisch-meteorologische Verhältnisse

3.6.1.1 Allgemeine Witterungsverhältnisse und Vegetationsentwicklung

Im Vergleich zum langjährigen Mittel war es im April 2003 im Gebiet Augsburg – Landsberg/Lech – Freising etwas wärmer (+0,2-0,9°C), sonnenscheinreicher (+30-40%) und deutlich trockener (28-35% des mittleren monatlichen Niederschlags). Die frühlingshafte Witterung bewirkte eine zügige Vegetationsentwicklung, so dass die Rapsblüte in Freising am 22. April begann und damit 11 Tage früher als im Mittel (DWD 2003a).

Der Mai brachte im ersten und letzten Monatsdrittel sommerliche Temperaturen. Die Temperatur (+1,5-2,2°C) und der Niederschlag (73-124%) lagen über dem Durchschnitt, der Sonnenschein im Bereich des monatlichen Mittels (92-126%). Die Vegetation ist weiterhin ihrer Zeit voraus (4. Mai: Aufgang Mais, 8 Tage früher als im Mittel) (DWD 2003b).

Im Gebiet Augsburg – Landsberg/Lech – Freising war es im Juli warm (+0,5-1,5°C), sonnenscheinreich (113-141%) und trocken (71-116%). Die Vegetationsentwicklung ist sehr weit fortgeschritten: 1. Juli – Beginn der Maisblüte (18 Tage früher als im Mittel), 8. Juli – Erntebeginn Raps (12 Tage früher) und 30. Juli – Milchreife Mais (22 Tage früher) (DWD 2003c).

3.6.1.2 *Verwendete Messstationen*

Wie bereits in Kapitel 2.4.1 beschrieben standen die Daten (Stunden- und Tagesmittel) der agrarmeteorologischen Stationen Dürabuch (Stationsnummer 4), Puch (Nr. 5) und Roggenstein (Nr. 6) des LfL zeitnah und kostenfrei zu Verfügung. Dieser Datensatz wurde durch Winddaten (Stundenwerte) der Station Fürstenfeldbruck (FFB) der Bundeswehr ergänzt. Als Referenz bezüglich der meteorologischen Messgröße "Wind" diente allerdings die DWD-Station Landsberg (Stundenwerte), die die Anforderungen an einen meteorologischen Messstandort erfüllt. Die vier erstgenannten Stationen befinden sich alle innerhalb des Untersuchungsgebiets und liegen 4,3 bis 11,7 km auseinander. Die DWD Station befindet sich vom Zentrum des Untersuchungsgebietes 31 km in südwestlicher Richtung (siehe Tab. 18).

Tab. 18: Stationsinformationen

Station	Betreiber	Nr.	Höhe (m)	Naturraum	Entfernung und Richtung ⁸¹
Dürabuch	LfL	4	535	Donau-Isar-Hügelland	8,6 km; NW
Puch	LfL	5	555	Fürstenfeldbrucker Hügel- land	4,6 km; W
Roggenstein	LfL	6	520	Münchener Ebene / Fürstenfeldbrucker Hügelland	3,7 km; SO
Fürstenfeld- bruck	BW	-	519	Münchener Ebene	0,9 km; NW
Landsberg (Flugplatz)	DWD	2829	621	Fürstenfeldbrucker Hügel- land	31,1 km; SW

3.6.1.3 Winddaten

Vollständige und abgesicherte Winddaten liegen nur für die Station Landsberg (DWD) vor. Die Station liegt jedoch ca. 20 km außerhalb des Untersuchungsgebietes. Laut Untersuchung der DWD-Zentrale in Offenbach liefert diese Station für das Untersuchungsgebiet repräsentative Winddaten. Diese Aussage wird durch Vergleiche mit den Winddaten aus dem Untersuchungsgebiet, die teilweise vorhanden sind oder nicht normgerecht erhoben wurden, gestützt.

Vergleicht man die Windgeschwindigkeit der Stationen innerhalb (LfL) und außerhalb (DWD) des Untersuchungsgebiets während des Raps- und Maisversuchs, zeigen sich große Gemeinsamkeiten (Abb. 33 und Abb. 34). Die höheren Windgeschwindigkeiten am DWD-Standort erklären sich durch den Aufbau der Messstationen. Der DWD misst die Windgeschwindigkeit 10 m über Grund, die LfL in 2,5 m.

⁸¹ Vom Mittelpunkt des Untersuchungsgebiets aus betrachtet.

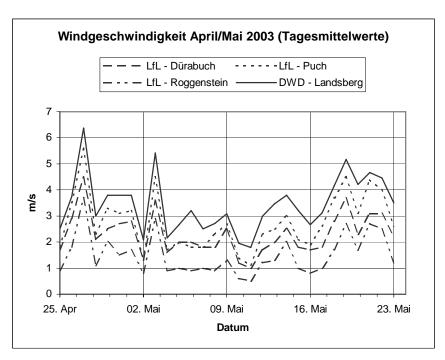


Abb. 33: Tagesmittel der Windgeschwindigkeit von Messstationen in und außerhalb des Untersuchungsgebietes während des Rapsversuchs (Unterteilung: Expositionsdauer Sigma-2-Sammler, 17.-20. Woche)

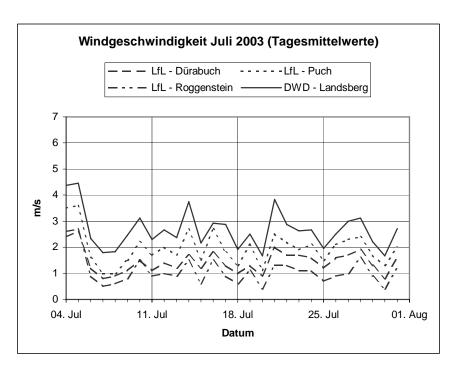


Abb. 34: Tagesmittel der Windgeschwindigkeit von Messstationen in und außerhalb des Untersuchungsgebietes während des Maisversuch (Unterteilung: Expositionsdauer Sigma-2-Sammler, 27.-30. Woche)

Die Ähnlichkeit der Kurvenverläufe schlagen sich statistisch in hohen Korrelationen (bis zu r = 0,97) nieder (siehe Tab. 19). Es fällt auf, dass die Windgeschwindigkeiten der DWD-Station besser mit den LfL-Stationen als der BW-Station korrelieren. Mit r > 0,93 werden beim Maisversuch hohe Korrelationen zwischen LfL- und DWD-Station erreicht (siehe auch Abb. 34), während die Korrelation mit der BW-Station auf Korrelationskoeffizienten zwischen 0,79 – 0,82 absinkt. Als Ursache kommt die Barrierewirkung umliegender Gebäude in Fürstenfeldbruck in Frage. Vergleicht man die Windrichtungsdaten der DWD-Station mit dem BW-Standort, zeigt sich, dass am BW-Standort sowohl beim Raps- als auch beim Maisversuch die Windrichtungen Süd und Nord unter- und die Windrichtung Nordwesten überrepräsentiert sind. Die Auswirkung umliegender Gebäude war beim Rapsversuch durch den vorherrschenden Westwind möglicherweise nicht so gravierend. Der Barriereeffekt umliegender Gebäude in Fürstenfeldbruck verstärkte sich durch die gleichmäßige Windverteilung während des Maisversuchs und führte möglicherweise zu der o.g. niedrigeren Korrelation der Daten zur Windgeschwindigkeit.

Tab. 19: Korrelation der Tagesmittel der Windgeschwindigkeit von Messstationen in und außerhalb des Untersuchungsgebietes

Korrelations-	R	APS (n = 29)		MAIS (n = 28)			
koeffizient (r)	Dürabuch	Puch	FFB	Dürabuch	Puch	FFB	
	(LfL 4)	(LfL 5)	(BW)	(LfL 4)	(LfL 5)	(BW)	
Landsberg (DWD)	0,960**	0,972**	0,932**	0,931**	0,948**	0,823**	
Dürabuch (LfL 4)	1	0,971**	0,919**	1	0,958**	0,810**	
Puch (LfL 5)	0,971**	1	0,951**	0,958**	1	0,788**	

Die Übereinstimmungen bei den außerhalb und innerhalb des Untersuchungsgebietes gewonnenen Windrichtungsdaten sind weniger deutlich (siehe Tab. 20). Auffällig sind die bereits o.g. Abweichungen (evtl. durch Abschattungseffekte von Gebäuden) bei den Windrichtungen Nord, Süd und Nordwest (Mais: zusätzlich Südwest). Trotzdem unterscheidet sich die Häufigkeitsverteilung der Windrichtung am DWD-Standort Landsberg nicht signifikant von der Verteilung am BW-Standort Fürstenfeldbruck⁸², weder über den gesamte Versuchzeitraum von Raps und Mais betrachtet, noch während der wöchentlichen Probenexposition.

⁸² Wilcoxon-Test mit Monte-Carlo-Signifikanztest: 95%-Konfidenzintervall, 10.000 Stichprobentabellen

Tab. 20: Häufigkeitsverteilung der Stundenmittel der Windrichtung von Messstationen in und außerhalb des Untersuchungsgebietes

Häufigkeitsverteilung der	RA	PS	MAIS		
Windrichtung (%)	Landsberg (DWD)	FFB (BW)	Landsberg (DWD)	FFB (BW)	
	n = 669	n = 620	n = 647	n = 565	
Nord (N)	6,9	1,6	10,7	2,8	
Nordost (NO)	7,6	7,7	7,0	9,2	
Ost (O)	7,0	9,2	11,6	12,9	
Südost (SO)	6,7	5,3	6,5	8,0	
Süd (S)	16,4	11,6	19,5	9,9	
Südwest (SW)	21,2	22,4	12,4	21,8	
West (W)	29,5	31,5	19,8	17,5	
Nordwest (NW)	4,6	10,7	12,7	17,9	
Summe	100,0	100,0	100,0	100,0	

Somit unterstützen die im Untersuchungsgebiet ermittelten Winddaten die Aussage des DWD, dass die weiter entfernt gelegene DWD-Station Landsberg repräsentative Daten (Windgeschwindigkeit und Windrichtung) für das Untersuchungsgebiet liefert und als Referenzdaten für das Untersuchungsgebiet übernommen werden können.

3.6.1.4 Rapsversuch – Vergleich der Messstationen

Wie die Abb. 35 exemplarisch für die Lufttemperatur zeigt, verhalten sich die meteorologischen Messgrößen (Lufttemperatur, Luftfeuchte, Niederschlag und Globalstrahlung) an allen vier Stationen im Untersuchungsgebiet sehr ähnlich. Die Tagesmittelwerte der einzelnen Parameter korrelieren zwischen allen vier Stationen signifikant (siehe Tab. 21). Abgesehen vom Niederschlag treten Korrelationskoeffizienten r > 0,97 auf. Über die Zeitdauer eines Tages oder die Expositionsdauer der Pollensammler betrachtet sind die Unterschiede zwischen den Stationen, die 4,3 bis 11,7 km auseinander liegen, sehr gering (regionale Variabilität der Messwerte gering). Viel deutlicher treten die Schwankungen über die Zeit hervor (zeitliche Variabilität der Messwerte hoch). Die meteorologischen Verhältnisse im Untersuchungsgebiet können räumlich als homogen angenommen werden, da vier Messstationen, die sich in unterschiedlichen Naturräumen und Höhenlagen befinden (siehe Tab. 18), über den Versuchszeitraum miteinander hoch korrelierte Messwerte geliefert haben.

Tab. 21: Korrelation der meteorologischen Tageswerte (Rapsversuch) von Messstationen im Untersuchungsgebiet (n = 29)

Korrelationskoeffizient r		Dürabuch (4)	Puch (5)	Roggenstein (6)
Lufttemperatur	FFB, BW	0,995**	0,993**	0,997**
	Dürabuch (4)	1	0,997**	0,996**
	Puch (5)	0,997**	1	0,993**
Luftfeuchte	FFB, BW	0,968**	0,969**	0,990**
	Dürabuch (4)	1	0,989**	0,982**
	Puch (5)	0,989**	1	0,976**
Globalstrahlung	Dürabuch (4)	1	0,987**	0,989**
	Puch (5)	0,987**	1	0,990**
Rangkorrelations	koeffizient r _S	Dürabuch (4)	Puch (5)	Roggenstein (6)
Niederschlag	FFB, BW	0,840**	0,962**	0,879**
	Dürabuch (4)	1	0,876**	0,787**
	Puch (5)	0,876**	1	0,913**

3.6.1.5 Rapsversuch – Bedingungen für Pollenflug

Die Abb. 35 zeigt den Verlauf der Tagesmittel der Lufttemperatur in den vier Wochen des Rapsversuchs. Die starken Schwankungen dieser und weiterer meteorologischer Messgrößen haben zu sehr unterschiedlichen Witterungsbedingungen während der Versuchszeitraums geführt. Die Unterteilung der Kurvenverläufe in vier Abschnitte markiert die vier Probenahme-Zeiträume des Sigma-2-Pollensammlers.

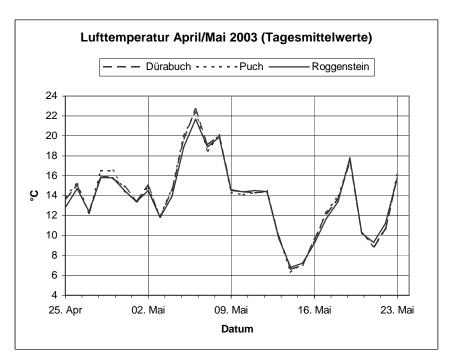


Abb. 35: Tagesmittel der Lufttemperatur von Messstationen im Untersuchungsgebiet während des Rapsversuchs (Unterteilung: Expositionsdauer Sigma-2-Sammler, 17.-20. Woche)

In den folgenden Unterkapiteln wird für jeden der vier Probenahme-Zeiträume des Sigma-2-Sammlers der Einfluss der einzelnen meteorologischen Messgrößen auf den Pollenflug vereinfacht dargestellt. Die Bewertung erfolgt durch eine dreistufige Skala (+ positive, o neutral, - negative Auswirkung auf den Pollenflug) und beruht auf den Erkenntnissen der Vorversuche 2002 und des Zusatzversuchs 2004 (s. Kapitel 3.5.1.2, 3.5.2.3 und 3.5.2.4). Aus der Bewertung der einzelnen meteorologischen Messgrößen wird eine Gesamtbewertung der Pollenflugverhältnisse für den Probenahme-Zeitraum abgeleitet.

Das Ergebnis in der Übersicht:

17. Woche⁸³: SEHR GUTE Bedingungen für Pollenflug,

18. Woche: GUTE Bedingungen für Pollenflug,

19. Woche: SEHR SCHLECHTE Bedingungen für Pollenflug und

20. Woche: SCHLECHTE Bedingungen für Pollenflug.

⁸³ In diesem und den folgenden Kapiteln bezieht sich die Bezeichnung nicht auf die Kalenderwoche, sondern die Expositionsdauer der Sigma-2-Proben (siehe Kap. 2.7.1.1).

3.6.1.5.1 17. Woche		
Lufttemperatur:	Leicht überdurchschnittlich mit geringer Varianz	+84
Luftfeuchte:	Niedrig mit geringer Varianz	+
Niederschlag:	Nahezu keiner	+
Globalstrahlung:	Durchschnittlich mit geringer Varianz	O
Windgeschwindigkeit:	Überdurchschnittlich mit hoher Varianz	+
Windrichtung:	West dominierend	
	→ Sehr gute Bedingungen für Pollenflug!	
3.6.1.5.2 18. Woche		
Lufttemperatur:	Überdurchschnittlich mit hoher Varianz	+
Luftfeuchte:	Niedrig mit hoher Varianz	+
Niederschlag:	Überdurchschnittlich	-
Globalstrahlung:	Überdurchschnittlich mit geringer Varianz	+
Windgeschwindigkeit:	Unterdurchschnittlich mit hoher Varianz	o
Windrichtung:	West, mit Süd und Nord	
	→ Gute Bedingungen für Pollenflug!	
3.6.1.5.3 19. Woche		
Lufttemperatur:	Unterdurchschnittlich mit hoher Varianz	-
Luftfeuchte:	Hoch mit geringer Varianz	-
Niederschlag:	Überdurchschnittlich	-
Globalstrahlung:	Unterdurchschnittlich mit hoher Varianz	-
Windgeschwindigkeit:	Unterdurchschnittlich mit geringer Varianz	-
Windrichtung:	Südwest, mit West	
	→ Sehr schlechte Bedingungen für Pollenflug!	
3.6.1.5.4 20. Woche		
Lufttemperatur:	Unterdurchschnittlich mit hoher Varianz	-
Luftfeuchte:	Hoch mit geringer Varianz	-
Niederschlag:	Leicht überdurchschnittlich	-
Globalstrahlung:	Durchschnittlich mit hoher Varianz	0
Windgeschwindigkeit:	Überdurchschnittlich mit hoher Varianz	+
Windrichtung:	Südwest und West dominierend	
	→ Schlechte Bedingungen für Pollenflug!	

⁸⁴ Zeichenerklärung: + positive, o neutral, - negative Auswirkung auf Pollenflug

3.6.1.6 Maisversuch – Vergleich der Messstationen

Wie die Tab. 22 und die Abb. 36 – exemplarisch für die Lufttemperatur – zeigen, verhalten sich die meteorologischen Messgrößen (Lufttemperatur, Luftfeuchte, Niederschlag und Globalstrahlung) an allen vier Stationen im Untersuchungsgebiet sehr ähnlich. Die Tagesmittelwerte der einzelnen Parameter korrelieren zwischen allen vier Stationen signifikant (siehe Tab. 22). Abgesehen vom Niederschlag treten Korrelationskoeffizienten r > 0,95 auf. Über die Zeitdauer eines Tages oder die Expositionsdauer der Pollensammler betrachtet sind die Unterschiede zwischen den Stationen, die 4,3 bis 11,7 km auseinander liegen, sehr gering (regionale Variabilität der Messwerte gering). Viel deutlicher treten die Schwankungen über die Zeit hervor (zeitliche Variabilität der Messwerte hoch). Die meteorologischen Verhältnisse im Untersuchungsgebiet können räumlich als homogen angenommen werden, da vier Messstationen, die sich in unterschiedlichen Naturräumen und Höhenlagen befinden (siehe Tab. 18), über den Versuchszeitraum miteinander hoch korrelierte Messwerte geliefert haben.

Tab. 22: Korrelation der meteorologischen Tageswerte (Maisversuch) von Messstationen im Untersuchungsgebiet (n = 28)

Korrelationskoef	fizient r	Dürabuch (4)	Puch (5)	Roggenstein (6)
Lufttemperatur	FFB, BW	0,991**	0,995**	0,994**
	Dürabuch (4)	1	0,995**	0,986**
	Puch (5)	0,995**	1	0,991**
Luftfeuchte	FFB, BW	0,960**	0,950**	0,979**
	Dürabuch (4)	1	0,988**	0,971**
	Puch (5)	0,988**	1	0,959**
Globalstrahlung	Dürabuch (4)	1	0,963**	0,951**
	Puch (5)	0,963**	1	0,983**
Rangkorrelations	koeffizient r _S	Dürabuch (4)	Puch (5)	Roggenstein (6)
Niederschlag	FFB, BW	0,894**	0,939**	0,850**
	Dürabuch (4)	1	0,957**	0,851**
	Puch (5)	0,957**	1	0,901**

3.6.1.7 Maisversuch – Bedingungen für Pollenflug

Die Abb. 36 zeigt den Verlauf der Tagesmittel der Lufttemperatur in den vier Wochen des Maisversuchs. Die Schwankungen dieser und weiterer meteorologischen Messgrö-

ßen haben zu leicht unterschiedlichen Witterungsbedingungen während der Versuchszeitraums geführt. Die Unterteilung der Kurvenverläufe in vier Abschnitte markiert die vier Probenahme-Zeiträume des Sigma-2-Pollensammlers.

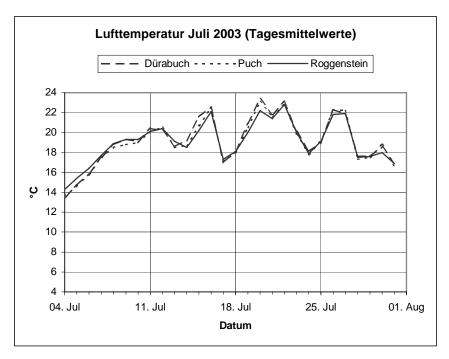


Abb. 36: Tagesmittel der Lufttemperatur von Messstationen im Untersuchungsgebiet während des Maisversuchs (Unterteilung: Expositionsdauer Sigma-2-Sammler, 27.-30. Woche)

In den folgenden Unterkapiteln wird für jeden der vier Probenahme-Zeiträume des Sigma-2-Sammlers der Einfluss der einzelnen meteorologischen Messgrößen auf den Pollenflug vereinfacht dargestellt. Die Bewertung erfolgt durch eine dreistufige Skala (+ positive, o neutral, - negative Auswirkung auf den Pollenflug) und beruht auf den Erkenntnisse der Vorversuche 2002 und des Zusatzversuchs 2004 (s. Kapitel 3.5.1.2, 3.5.2.3 und 3.5.2.4). Aus der Bewertung der einzelnen meteorologischen Messgrößen wird eine Gesamtbewertung der Pollenflugverhältnisse für den Probenahme-Zeitraum abgeleitet.

Das Ergebnis in der Übersicht:

27. Woche: GUTE Bedingungen für Pollenflug,

28. Woche: MITTLERE Bedingungen für Pollenflug,

29. Woche: MITTLERE Bedingungen für Pollenflug und

30. Woche: SCHLECHTE Bedingungen für Pollenflug.

3.6.1.7.1 27. Woche			
Lufttemperatur:	Unterdurchschnittlich mit hoher Varianz	o	
Luftfeuchte:	Durchschnittlich mit hoher Varianz	O	
Niederschlag:	Nahezu keiner		
Globalstrahlung:	Überdurchschnittlich mit geringer Varianz		
Windgeschwindigkeit:	Durchschnittlich mit geringer Varianz	O	
Windrichtung:	West, mit Nordwest		
	→ Gute Bedingungen für Pollenflug!		
3.6.1.7.2 28. Woche			
Lufttemperatur:	Durchschnittlich mit geringer Varianz	o	
Luftfeuchte:	Durchschnittlich mit hoher Varianz	o	
Niederschlag:	Leicht überdurchschnittlich mit geringer Varianz	-	
Globalstrahlung:	Durchschnittlich mit hoher Varianz	o	
Windgeschwindigkeit:	Durchschnittlich mit geringer Varianz	o	
Windrichtung:	Ost, mit Nord und Süd		
	→ Mittlere Bedingungen für Pollenflug!		
3.6.1.7.3 29. Woche			
Lufttemperatur:	Überdurchschnittlich mit geringer Varianz	+	
Luftfeuchte:	Durchschnittlich mit niedriger Varianz	o	
Niederschlag:	Überdurchschnittlich mit geringer Varianz	-	
Globalstrahlung:	Durchschnittlich mit hoher Varianz	o	
Windgeschwindigkeit:	Durchschnittlich mit geringer Varianz	o	
Windrichtung:	Ost, Süd und West		
	→ Mittlere Bedingungen für Pollenflug!		
3.6.1.7.4 30. Woche			
Lufttemperatur:	Durchschnittlich mit hoher Varianz	o	
Luftfeuchte:	Durchschnittlich mit niedriger Varianz	o	
Niederschlag:	Leicht überdurchschnittlich mit geringer Varianz	-	
Globalstrahlung:	Unterdurchschnittlich mit geringer Varianz	-	
Windgeschwindigkeit:	Durchschnittlich mit geringer Varianz	o	
Windrichtung:	Süd, mit West		
	→ Schlechte Bedingungen für Pollenflug!		

3.6.2 Sammelleistung der Pollensammler

Aus dem Raps-Feldversuch konnten 198 Proben mit dem Sigma-2-Sammler und 50 Proben mit dem PMF erstellt und ausgewertet werden. Der Mais-Feldversuch lieferte 199 Proben (Sigma-2) bzw. 49 Proben (PMF). Insgesamt konnten drei Sigma-2-Proben und eine PMF-Probe wegen Zerstörung oder Probleme bei der Analyse nicht ausgewertet werden.

Nur auf 10% (Rapsversuch) bzw. 26% (Maisversuch) der Sigma-2 Proben konnten die Zielpollen mit ausreichender Sicherheit nachgewiesen werden. Positiver sehen die Ergebnisse beim PMF aus: 88% bzw. 100% der Proben enthielten Raps- bzw. Maispollen über der absoluten Nachweisgrenze (siehe Kapitel 2.5.2.3.2, S. 49). Es sei darauf hingewiesen, dass das Unterschreiten einer Nachweisgrenze (NWG) nicht das Fehlen von Zielpollen in einer Proben beweist⁸⁵. Die Kapitel 2.5.2.3.2 (Seite 49) und 3.1.6 gehen näher auf Nachweisgrenzen und Unsicherheiten beim Nachweis der Zielpollen ein. Die weiteren Angaben im Text beziehen sich – sofern nicht anders angegeben – nur auf die Zielpollen oberhalb der Nachweisgrenze.

Tab. 23: Nachweis von Raps- und Maispollen in den Proben der Pollensammler Sigma- 2 (95%-Konfidenzintervall) und PMF

Kulturart	RAPS		MAIS	
Pollensammler-Typ	Sigma-2 (n = 198)	PMF (n = 50)	Sigma-2 (n = 199)	PMF (n = 49)
Pollennachweis ⁸⁶	20	44	52	49
NWG unterschritten	178	6	147	-

Die räumliche Verteilung der Pollennachweise zeigt, dass an 15 Standorten⁸⁷ mindestens eine von vier Sigma-2-Proben Rapspollen enthielt. Fünf dieser 15 Standorte wiesen zwei positive Sigma-2-Proben auf. An 26 Standorten⁸⁸ wurden Maispollen mit dem Sigma-2 nachgewiesen (einfacher Nachweis an 10 Standorten, zweifacher Nachweis an 7 Standorten, dreifacher Nachweis an 8 Standorten, vierfacher Nachweis an 1 Standort). Da beim Pollensammler PMF jede Probe für einen Sammlerstandort steht, wurden an 44 von 50 Standorten Rapspollen und an 49 von 49 Standorten Maispollen gefunden.

-

⁸⁵ Durch die Definition der Nachweisgrenze (vgl. Kap. 3.1.6) kann mit niedriger Irrtumswahrscheinlichkeit (<5%) ein falsch positiver Pollen-Nachweise ausgeschlossen werden (Fehler 1. Art). Gezählte Zielpollen unterhalb der Nachweisgrenze wurden nicht berücksichtigt, so dass der Fehler 2. Art (falsch negativer Pollennachweis) nicht ausgeschlossen werden kann.

⁸⁶ Sigma-2: Mit 68%-Konfidenzintervall erhöht sich die Anzahl der Proben mit Pollennachweis auf 31 Proben (Raps) bzw. 60 Proben (Mais).

⁸⁷ Mit 68%-Konfidenzintervall erhöht sich die Anzahl der Standorte mit Rapspollennachweis auf 24.

⁸⁸ Mit 68%-Konfidenzintervall erhöht sich die Anzahl der Standorte mit Maispollennachweis auf 29.

Die Anzahl an detektierten Zielpollen variiert je nach Sammlertyp und Kulturart erheblich. Tab. 24 verdeutlicht, dass bei Raps- und Maispollen die Sammelleistung des PMF - wie erwartet und beabsichtigt - deutlich (zwei Zehnerpotenzen) über der des Sigma-2 liegt. Beide Sammlertypen verhalten sich bezüglich der artspezifischen Sammelleistung jedoch gleich. Sigma-2 und PMF sammeln doppelt bis zehnmal so viele Mais- wie Rapspollen. Diese Tatsache überrascht, weil Raps- im Vergleich mit Maispollen über die besseren Flugeigenschaften verfügen (siehe Kap. 2.1.1.3 und 2.1.2.3). Allerdings muss berücksichtigt werden, dass der Mais- gegenüber dem Rapsanbau überwiegt (siehe Tab. 28) und die Pollensammler im Verhältnis näher an den Maisfeldern standen (siehe Tab. 34). Deshalb stellen in einigen PMF-Proben die Maispollen über 80% aller Pollen, während die Rapspollen im Maximum mit weniger als 10% an den Gesamtpollen vertreten sind (siehe Abb. 39 und Abb. 40). Die beiden Abbildungen zeigen zugleich den Trend, dass in der PMF-Probe mit steigenden Zielpollenzahlen der Anteil der Zielpollen an den Gesamtpollen gleichermaßen ansteigt. Die Situation, dass hohe Zielpollenzahlen mit hohen Gesamtpollenzahlen einhergehen, tritt demzufolge nicht auf

Tab. 24: Sammelleistung von Sigma-2 (Rapspollen / 200 mm² bzw. Maispollen / 324 mm²) und PMF (Pollen / Probe) bezüglich Raps- und Maispollen

Kulturart	RAPS		MAIS	
Pollensammler-Typ	Sigma-2 (n = 20)	PMF^{89} (n = 44)	Sigma-2 $(n = 52)$	PMF^{90} $(n = 49)$
10%-Perzentil	4	941	4	1.457
33%-Perzentil	5	2.030	8	3.351
Median	6	3.035	13	5.179
67%-Perzentil	8	4.536	33	8.004
90%-Perzentil	11	9.786	122	18.408

Die zeitliche Verteilung der Deposition der Zielpollen, die mit dem Sigma-2 ermittelt wurden, ähnelt einer Optimumkurve. Die maximale Deposition lag sowohl beim Raps als auch beim Mais in der 2. Woche des jeweiligen Versuchszeitraums (siehe Tab. 25 und Tab. 26). Der Anteil der Zielpollen an den Gesamtpollen beträgt dann 0,2% (Raps)

⁸⁹ Berechnung Ökologie Büro Hofmann

⁹⁰ Berechnung Ökologie Büro Hofmann

bzw. 3,5% (Mais)⁹¹. Beim Mais wurde bereits in der ersten Woche eine Maispollendeposition verzeichnet, die dem Maximum nahe kommt⁹². Nach dem Maximum geht die Maispollendeposition deutlich zurück. Beim Raps folgt auf das Maximum ein totaler Einbruch (Starkregen an drei Tagen), in der letzten Woche ist noch mal eine deutliche Deposition von Rapspollen feststellbar (höchster Anteil der Raps- an den Gesamtpollen). Die Deposition der Gesamtpollen unterscheidet sich von der Deposition der Zielpollen dahingehend, dass die Anzahl aller Pollen sowohl bei Raps (Ausnahme: 20. Woche) als auch Mais über den Versuchszeitraum kontinuierlich abnimmt. In der Anzahl der Gesamtpollen spiegelt sich somit die in Kap. 3.6.1.5 und 3.6.1.7 aus den meteorologischen Daten abgeleiteten Flugbedingungen für Pollen wider.

Tab. 25: Wöchentliche Deposition (Pollen/200 mm²) an Rapspollen und Gesamtpollen (Sigma-2)

	17. Woche	18. Woche	19. Woche	20. Woche
Anzahl Sammlerstandorte mit Rapspollennachweis	5	12	0	3
	36	96	0	20
Summe Rapspollen Summe Gesamtpollen	62.443	55.213	8.115	10.701
-			0.113	
Anteil Raps- an Gesamtpollen (%)	0,06	0,17	U	0,19

Tab. 26: Wöchentliche Deposition (Pollen/324 mm²) an Maispollen und Gesamtpollen (Sigma-2)

	27. Woche	28. Woche	29. Woche	30. Woche
Anzahl Sammlerstandorte mit Maispol-	14	24	13	1
lennachweis				
Summe Maispollen	954	992	164	5
Summe Gesamtpollen	31.062	28.230	19.082	14.847
Anteil Mais- an Gesamtpollen (%)	3,07	3,51	0,86	0,03

Der direkte Vergleich der Sammelleistung von PMF und Sigma-2 an den Standorten offenbart, dass die beiden Sammlertypen nicht in jedem Fall ähnliche Ergebnisse liefern. Die Tab. 27 zeigt die Korrelation von Sigma-2 und PMF bezüglich der Zielpollen, der erfassten Nicht-Zielpollen und der Gesamtpollen. Beim Raps- und Maisversuch werden die höchsten Korrelationen mit den Zielpollen erreicht. Allerdings ist die Korre-

_

⁹¹ Zum Vergleich: Durchschnittlicher Anteil der Zielpollen an den Gesamtpollen bei PMF:1,4% (Raps), 27,8% (Mais) und damit jeweils um den Faktor 8 höher (siehe Kapitel 3.2.1.2).

lation beim Raps deutlich niedriger und nur die Spearman-Rangkorrelation ist signifikant (Signifikanzniveau: 5%). Die Korrelation zwischen Sigma-2 und PMF mit einer Nichtzielpollenart und den Gesamtpollen liegt gegenüber den Zielpollen deutlich geringer, bzw. nicht signifikant vor (Rapsversuch: Kiefer-, Gesamtpollen).

Tab. 27: Korrelation der Sammelleistung von Sigma-2 (Deposition) mit PMF (Anzahl/Probe)

Korrelation der Sammelleistung von Sigma-2 mit PMF	Proben- umfang (n)	Spearman-Rangkorrelationskoeffizient (r _S)
RAPSVERSUCH		
Rapspollen	13	0,586*
Kieferpollen	50	0,074 (n.s.)
Gesamtpollen	50	0,053 (n.s.)
MAISVERSUCH		
Maispollen	25	0,862**
Gräserpollen	49	0,564**
Gesamtpollen	49	0,399**

Die Abb. 37 und Abb. 38 zeigen den geringen Zusammenhang zwischen der Rapspollendeposition von Sigma-2 und PMF und den starken Zusammenhang beim Mais. Es muss auch hier darauf hingewiesen werden, dass die Entfernung zwischen Sammler und Feld beim Raps deutlich größer war (Median: 88 m; n = 13) als beim Mais (Median: 4 m; n = 25) (siehe Tab. 34). Aus den Daten (Tab. 27, Abb. 37 und Abb. 38) lässt sich schließen, dass die unterschiedliche Sammelcharakteristik der beiden Sammlertypen auf der Entfernung der Pollenquelle zum Pollensammler beruhen könnte. Je größer die Entfernung zwischen Pollenguelle und Pollensammler, desto mehr weichen die Werte von Sigma-2 und PMF voneinander ab. Die höchste Korrelation zwischen Sigma-2 und PMF wurde beim Mais erreicht, der durchschnittlich am nächsten an den Sammlern stand. Das unterschiedliche Sammelverhalten der Pollensammler auf die verschiedenen Eigenschaften der genannten Pollen zurückzuführen, erscheint nicht unbedingt erfolgversprechend. Große und schwere (Mais) sowie kleine und leichte Pollen (Raps) werden von beiden Sammlertypen im ähnlichem Verhältnis gesammelt. Allerdings unterscheiden sich Koniferenpollen deutlich von vielen anderen Pollen: Koniferenpollen besitzen Luftsäcke. Dadurch verfügen die relativ großen Koniferenpollen (um 80 µm) über eine geringe Masse und eine vergleichsweise geringe Sinkgeschwindigkeit. Ob

0

⁹² Aufgrund der klimatischen Verhältnisse im Jahr 2003 war allgemein die Vegetation in ihrer Entwicklung mehrere Tage weiter als in normalen Jahren.

diese Eigenschaft, die große Entfernung, beide Faktoren zusammen oder ein anderer Effekt zu dem unterschiedlichen Sammelverhalten der Pollensammlertypen führt, kann nicht eindeutig geklärt werden.

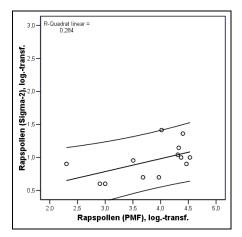


Abb. 37: Korrelation der Rapspollenanzahl von Sigma-2 mit PMF (95%-Konfidenzintervall; n = 13)

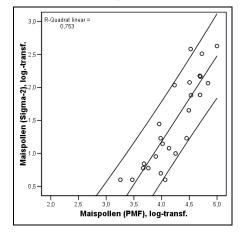


Abb. 38: Korrelation der Maispollenanzahl von Sigma-2 mit PMF (95%-Konfidenzintervall; n=25)

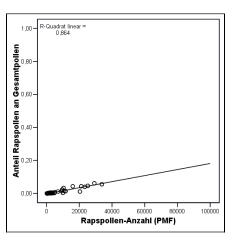


Abb. 39: Korrelation der Rapspollenanzahl mit dem Rapspollenanteil an den Gesamtpollen (PMF; n = 44)

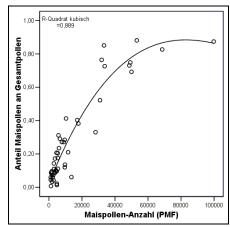


Abb. 40: Korrelation der Maispollenanzahl mit dem Maispollenanteil an den Gesamtpollen (PMF; n = 49)

3.6.3 Verteilung der Raps- und Maisfelder

Der Rapsanbau in den Naturräumen des Untersuchungsgebiets bewegt sich um 7% und liegt damit geringfügig unter dem Durchschnitt des Landkreises Fürstenfeldbruck (8,8%), jedoch deutlich über dem Landesdurchschnitt von 5,1% (siehe Tab. 28 und Tab. 2).

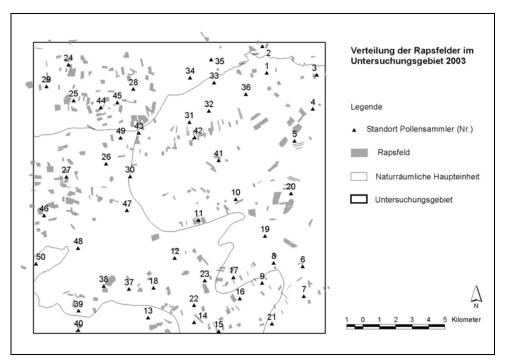


Abb. 41: Verteilung der Rapsfelder im Untersuchungsgebiet 2003

Zwischen den einzelnen Naturräumen (bezogen auf das Untersuchungsgebiet) schwankt die Größe und Form der Rapsfelder erheblich (siehe Abb. 41). In der Münchener Ebene sind die Felder durchschnittlich am kleinsten (1,75 ha), jedoch weist die Feldgröße eine hohe Varianz und Spannweite auf und es kommen viele rechteckig, lang gestreckte Felder vor (PAR⁹³ relativ hoch). Im Fürstenfeldbrucker und im Donau-Isar-Hügelland sind die Felder im Mittel gleich groß (~2,8 ha) und in ihrer Form kompakt (PAR ~0,032). Der erstgenannte Naturraum unterscheidet sich bezüglich Varianz und Spannweite nicht von der Münchener Ebene. Einheitliche Felder (geringe Varianz und Spannweite) prägen das Donau-Isar-Hügelland. Im Ammer-Loisach-Hügelland kommen nur fünf Rapsfelder vor.

⁹³ Perimeter-Area-Ratio (PAR, in der Einheit 1/m) steht für die Kompaktheit eines geometrischen Gebildes. Hohe Werte deuten auf ein Element mit geringem Flächeninhalt und großem Umfang, niedrige Werte entsprechend auf das Gegenteil.

Tab. 28: Beschreibende Statistik zu den Rapsfeldern bezogen auf die naturräumlichen Haupteinheiten⁹⁴

Name	Münchener Ebene	Fürstenfeldbrucker Hügelland	Donau-Isar- Hügelland	Ammer- Loisach- Hügelland
Anzahl der Felder	148	116	83	5
Feldgröße, Median(m²)	17.500	28.100	28.300	53.700
Variationsbreite (Tsd. m²)	219,0	203,8	117,0	78,3
Standardabweichung(m²)	30.800	29.100	24.900	29.200
Perimeter-Area-Ratio, PAR (1/m)	0,0426	0,0325	0,0321	0,0241
Anteil an Agrarfläche (%)	6,16	7,72	7,76	7,03

Auch beim Maisanbau zeigen sich zwischen den einzelnen Naturräumen hinsichtlich der Größe und Form der Felder Unterschiede (siehe Abb. 42). Der Maisanbau im Untersuchungsgebiet liegt - mit Ausnahme der Münchener Ebene - sowohl über dem Durchschnitt des Landkreises Fürstenfeldbruck (10,1%) als auch des Bundeslandes (12,1%) (siehe Tab. 29 und Tab. 2). Die Münchener Ebene zeichnet sich wiederum durch die durchschnittlich kleinsten (1,55 ha) Felder und einen relativ hohen PAR aus (viele rechteckig, lang gestreckte Felder). Die Spannweite zwischen dem kleinsten und größten Feld ist enorm, die geringe Standardabweichung deutet jedoch überwiegend einheitliche Feldergrößen an. Im Fürstenfeldbrucker Hügelland und im Donau-Isar-Hügelland sind die Felder mit 2,2 ha bzw. 3,0 ha deutlich größer als in der Münchener Ebene. In der Spannweite unterscheiden sich die Naturräumen hingegen nicht. Die Felder des Fürstenfeldbrucker und des Donau-Isar-Hügellands besitzen hinsichtlich ihrer Größe eine höhere Varianz als die Felder der Münchener Ebene. Die Kompaktheit der Felder (PAR) nimmt von der Münchener Ebene über das Fürstenfeldbrucker Hügelland bis zum Donau-Isar-Hügelland zu. Im Ammer-Loisach-Hügelland kommen nur 15 Maisfelder vor.

⁹⁴ Alle Felder, die vollständig innerhalb des Untersuchungsgebietes und der jeweiligen naturräumlichen Haupteinheit lagen wurden berücksichtigt.

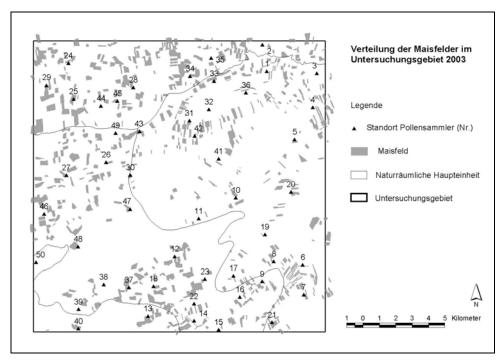


Abb. 42: Verteilung der Maisfelder im Untersuchungsgebiet 2003

Tab. 29: Beschreibende Statistik zu den Maisfeldern bezogen auf die naturräumlichen Haupteinheiten⁹⁵

Name	Münchener Ebene	Fürstenfeldbrucker Hügelland	Donau-Isar- Hügelland	Ammer- Loisach-
				Hügelland
Anzahl der Felder	318	271	195	16
Feldgröße, Median (m²)	15.500	21.800	29.700	22.900
Variationsbreite (Tsd. m²)	191,3	173,8	189,4	146,9
Standardabweichung (m²)	18.300	25.900	26.500	36.400
Perimeter-Area-Ratio, PAR (1/m)	0,0497	0,0400	0,0318	0,0326
Anteil an Agrarfläche (%)	9,85	15,69	18,33	13,78

In den Naturräumen liegen unterschiedliche Nutzungsstrukturen und Anbaubedingungen vor, die sich sowohl im Raps- als auch im Maisanbau in Anzahl, Größe und Form der Felder widerspiegeln. Die Naturräume sind damit von großer Bedeutung für die Planung eines GVP-Monitoring.

⁹⁵ Alle Felder, die vollständig innerhalb des Untersuchungsgebietes und der jeweiligen naturräumlichen Haupteinheit lagen wurden berücksichtigt.

3.6.4 Satellitenbildauswertung

Für die Jahre 1995 bis 2002 und die Region Norddeutschland zeigte Laue (2004), dass sich LANDSAT-Szenen grundsätzlich zur Klassifizierung von Raps eignen. Unter optimalen Bedingungen wurden 86% der Pixel der Objektklasse "Raps", die im Satellitenbild klassifiziert wurden, richtig zugeordnet und entsprachen der Landnutzung "Raps" in der Realität (ebd., 100). Die Detektierung wurde allerdings umso schwerer je früher die Aufnahme erfolgte (z. B. ergab eine Szene vom 3. April 2002 eine hohe und nicht tolerierbare Fehlklassifizierung) (ebd., 145, 155). Befindet sich der Raps noch in der Blattbildung und sind die Bestände nicht geschlossen, sind Verwechselung von Raps mit anderen Landnutzungen (v. a. Kulturpflanzen) möglich. Aus diesem Grund ist die für das Untersuchungsgebiet vorliegende LANDSAT-7-Szene (Aufnahmezeitpunkt 1. April) nicht optimal für die Klassifizierung von Rapsfeldern. Ein weiterer Nachteil der LANDSAT-7-Szene besteht in der relativ groben räumlichen Auflösung von 25 m⁹⁶. Deshalb empfehlen Lillesand & Kiefer (2000, 209-212) zur schlaggenauen und kulturspezifischen Abgrenzung landwirtschaftlich genutzter Flächen (Level III nach USGS Land Use/Land Cover Classification System) Satelliten- oder Luftbilder mit einer Auflösung von 1-5 m. Die Mindestgröße der Rapsfelder, die mittels LANDSAT-7 klassifiziert werden können, gibt Laue mit 2 ha an (Laue 2004, 17, 154). Im Untersuchungsgebiet fallen jedoch 44% der kartierten Rapsfelder unter diese Grenze. In Ermangelung anderer Daten wurde trotz dieser ungünstigen Bedingungen zur Abgrenzung von Rapsfeldern eine überwachte Klassifizierung (supervised classification) der LANDSAT-Szene mit dem Mahalanobis Distance Classifier (MDC) durchgeführt. Pixel der Objektklasse "Raps" konnten auf 44% der kartierten Rapsfelder klassifiziert werden. Zur Abgrenzung von Feldern war das Ergebnis der Klassifizierung nicht zu verwenden, da die Pixelhaufen zu unsymmetrisch waren und keinen Rückschluss auf die Feldgeometrie zuließen.

Die IKONOS-Szene vom 10. Juni 2003 ist vom Aufnahmezeitpunkt besser geeignet als die LANDSAT-Szene. Der Raps weist geschlossene Bestände auf und befindet sich in der Reifung. Zudem zeichnet sich die IKONOS-Szene durch ihre hohe Auflösung von 4 m aus. Allerdings deckt die Szene nur gut die Hälfte des Untersuchungsgebietes ab (Mitte und südwestlicher Quadrant mit ~200 Rapsfeldern) und es fehlt ein für die Klassifizierung der Vegetation wichtiger Kanal mittlerer infraroter Wellenlänge (MIR). Nach einer unüberwachten wurde wiederum die überwachte Klassifizierung (MDC) durchgeführt. Pixel der Objektklasse "Raps" konnten auf 78% der kartierten Rapsfelder klassifiziert werden. Es wurden 2 Felder entdeckt, die nicht durch die Feldkartierung

⁹⁶ Der vorliegende LANDSAT-7-Datensatz hat eine Auflösung von 25 x 25 m (MS) und nicht 30 x 30 m (MS) wie Lillesand & Kiefer (2000, 379) und Albertz (2001, 49) angeben.

erfasst worden waren. Ferner befanden sich 3 Rapsfelder an einer anderen Position als kartiert, und 22 Rapsfelder wiesen eine von der Kartierung abweichende Geometrie auf. Allerdings konnte aus der Klassifizierung nicht die Geometrie aller Rapsfelder abgeleitet werden. Schwierigkeiten bei der Klassifizierung ergaben sich v a. durch den störenden Einfluss von Dunst, der durch eine Atmosphärenkorrektur reduziert werden könnte (z. B. durch das Programm ATCOR⁹⁷). Die (Teil-)Ergebnisse der Auswertung von LANDSAT-7- und IKONOS-Szene konnten aus zeitlichen Gründen nicht zur Modifizierung der Feldkartierung verwendet werden.

Die Ergebnisse der Satellitenbildauswertung zeigen, dass im Jahr 2003 die Fernerkundung die Kartierung der Rapsfelder⁹⁸ im Untersuchungsgebiet nicht ersetzen konnte. Allenfalls ergänzende Informationen konnten aus den beiden vorhandenen Szenen gewonnen werden. Grundsätzlich kann die Fernerkundung einen wichtigen Beitrag zur Detektierung von Kulturpflanzen leisten. Mehrere Satelliten (LANDSAT, IRS, SPOT, ASTER, IKONOS) stehen zur Verfügung und können aktuelle Daten liefern, die sich – vorausgesetzt das Wetter (Wolken) lässt dies zu – entsprechend der Fragestellung auswerten lassen.

Als Ergänzung zu Feldkartierung und Fernerkundung bieten sich evtl. die Erhebungen der Landwirtschaftsämter bzw. des Landwirtschaftsministeriums (StMLF) im Zuge von Agrarstatistik und EU-Förderung an. Die Anfrage beim Amt für Landwirtschaft und Forsten Dachau / Fürstenfeldbruck / Landsberg und beim StMLF ergab, dass für 2003 noch keine digitalen Daten im "Integrierten Verwaltungs- und Kontrollsystem" (InVe-KoS) vorliegen (Schmidtner 2005). Die exakte Lage der (Raps- und Mais-)Felder bleibt im InVeKoS allerdings unbekannt, da mehrere Flurstücke, die einheitlich – d.h. von einer Person – bewirtschaftet werden, zu einem Feldstück zusammengefasst werden.

Wie es scheint, muss auch zukünftig auf mehrere Datenbestände (Feldkartierung, Fernerkundung, InVeKoS, GVP-Anbauregister) zurückgegriffen werden, um die Anbauverhältnisse auf den landwirtschaftlichen Nutzflächen exakt abzubilden.

3.7 Raumrepräsentativität der Pollensammler

3.7.1 Auswahl repräsentativer Pollensammler-Standorte

Ein grundsätzliches Problem bei der proportionalen Aufteilung der Sammler innerhalb der Strata (Schichten) stellen die unterschiedlichen Datenniveaus dar. Die stetigen Flächenanteile werden auf diskrete Anzahlen von Pollensammlern übertragen. Dies zeigt

⁹⁷ Leica Geosystems, Heerbrugg, Schweiz: ATCOR [www.geosystems.de/atcor/index.html]

⁹⁸ Für die Kartierung der Maisfelder eignen sich die o.g. Satellitenbilder nicht, da der Mais im Untersuchungsgebiet zu den Zeitpunkten noch nicht ausgesät war bzw. noch keine geschlossenen Bestände gebildet hatte.

sich bereits bei der Aufteilung der Sammler auf das Stratum (Schicht) "naturräumliche Haupteinheiten" in Tab. 30. Entsprechend des Flächenanteils der Naturräume wurden die 50 Sammler auf die Naturräume verteilt. Die meisten Sammler entfielen auf die Münchener Ebene (21 Stück), die wenigsten auf das Ammer-Loisach-Hügelland (3 Stück). Eine identische Abbildung der Flächenanteile durch die Pollensammler ist wie oben gesagt nicht möglich.

Tab. 30: Aufteilung der Pollensammler auf die naturräumlichen Haupteinheiten im Untersuchungsgebiet

Naturraum	Fläche (ha)	Anteil (%)	Anzahl Pollen- sammler	Anteil (%)
Münchener Ebene	10.897,85	42,57	21	42
Fürstenfeldbrucker Hügelland	8.622,23	33,68	17	34
Donau-Isar-Hügelland	4.783,21	18,68	9	18
Ammer-Loisach-Hügelland	1.296,71	5,07	3	6
Summe	25.600,00	100,00	50	100

In gleicher Weise erfolgte die Aufteilung der Sammler auf die Strata "orografische Höhe" und "landwirtschaftliche Landnutzung". Das Stratum Orografie setzte sich aus 13 Klassen (Höhenintervall 10 m) zusammen. Die höchste und niedrigste Klasse sollten aufgrund der geringen Klassenbelegung nicht mit Sammlern besetzt werden und die meisten Sammler sollten auf die Klasse 520 (511 – 520 m) entfallen.

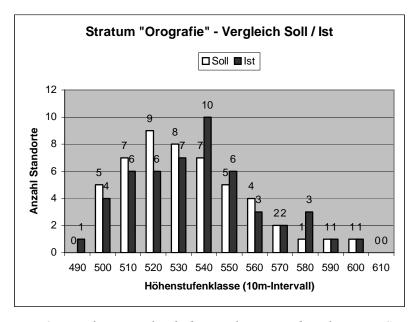


Abb. 43: Stratum Orografie - Vergleich der geplanten und realisierten Standorte

Die Abweichungen zwischen den geplanten und realisierten Standorten werden in Abb. 43 deutlich. Diese Abweichungen sind vertretbar, wenn man die hohe Aggregierung der Höhendaten auf 10m-Intervalle berücksichtigt (siehe Abb. 44 mit 1m-Höhenintervall) und die Lagemaße der Werteverteilung (Perzentile, Quartile) betrachtet (siehe Tab. 31).

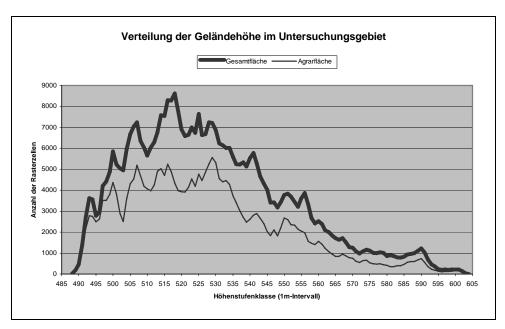


Abb. 44: Verteilung der Geländehöhe im Untersuchungsgebiet, basierend auf Im-Höhenintervall (Quelle: BLVA und eigene Berechnung)

Tab. 31: Lagemaße der Verteilung der Geländehöhe im Untersuchungsgebiet und der Pollensammler-Standorte

Lagemaße der Verteilung der Geländehöhe	Untersuchungsgebiet (n = 412.164)	Pollensammler-Standorte (n = 50)
	Geländehöhe (m)	Geländehöhe (m)
10%-Perzentil	501	500
25%-Quartil	511	512
Median	526	533
75%-Quartil	543	543
90%-Perzentil	561	563

Beim Stratum (Schicht) landwirtschaftliche Nutzung sollte die Mehrheit der Sammler auf das Ackerland (36 Sammler) entfallen, gefolgt von Grünland (10 Sammler) und Mischnutzung (4 Sammler). Die realisierte Verteilung der Standorte zeigt Abb. 45. Zu dieser Verteilung ist anzumerken, dass acht Sammler jeweils sehr nah (<30 m) an der Grenze zwischen zwei Nutzungstypen standen. Da die Landnutzung für den Maßstab

1:25.000 erhoben wurde, ist der Verlauf der Grenze mit einer Unsicherheit von wenigstens 25 m behaftet. Die vermeintlich sichere Zuordnung der Standorte zu einem Nutzungstyp beruht folglich auf einer nicht "scharfen" Grenze.

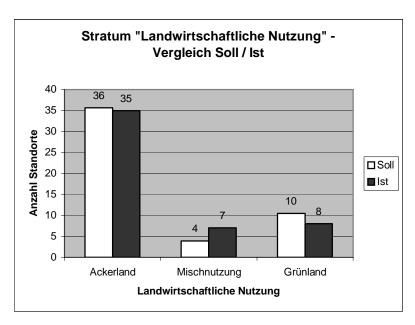


Abb. 45: Stratum landwirtschaftliche Nutzung - Vergleich der geplanten und realisierten Standorte

Die Analyse des Abstands (siehe Kap. 3.7.2) zwischen einem beliebigen Punkt innerhalb der landwirtschaftlich genutzten Fläche und dem nächsten Raps- bzw. Maisfeld und die Analyse des Abstands zwischen einem Pollensammler-Standort und dem nächsten Raps- bzw. Maisfeld ergaben im Vergleich für die Rapsstandorte eine gute Übereinstimmung, jedoch nicht für die Maisstandorte. Wie die Tab. 32 zeigt liegt das nächste Rapsfeld für ~1,5 Mio. Rasterpunkten (innerhalb der landwirtschaftlich genutzten Fläche) im Durchschnitt 280 m entfernt. Betrachtet man den Median der 50 Pollensammlerstandorte beträgt der Wert 256 m. Die Perzentile und Quartile zeigen, dass beim Raps die Verteilung der Rasterpunkte durch die Verteilungen der Pollensammlerstandorte gut abgedeckt wird. Dies ist bei den Pollensammlerstandorten des Maisversuchs nicht der Fall. Die Standorte befinden sich im Vergleich mit den ~1,4 Mio. Rasterpunkten zu nah an den Maisfeldern. Der Median der Verteilung liegt bei den Rasterpunkten bei 160 m, bei den Sammlerstandorten bei 55 m. Aussagen über die Maispollendeposition in einer Entfernung >200 m werden dadurch erschwert.

Die Kartierung der Raps- und Maisfelder erfolgte nach der Standortwahl, die nicht von der Lage der Rapsfelder beeinflusst wurde. Da im gleichen Gebiet die Anzahl der Maisfelder dreimal so hoch wie die Anzahl der Rapsfelder war, und die Pollensammler zu den Rapsfelder eine gewisse Distanz aufwiesen, lagen die Standorte unbeabsichtigt aber unvermeidlich näher an den Maisfeldern. Zudem wurde festgestellt, dass Maisanbau häufig auch in den als Grünland ausgewiesenen Flächen vorkam. Diese vermeintlich ackerbaufernen Pollensammler-Standorte erhöhen beim Maisversuch den Anteil der feldnahen Standorte. Folglich trifft die Annahme, dass dieselben Pollensammler-Standorte für den Raps- und Maisversuch gleichermaßen geeignet sein müssen, bezüglich der Abstände zum nächsten Feld nicht zu.

Tab. 32: Lagemaße der Verteilung der Pollensammler-Standorte und eines Rasters bezüglich der "Entfernung zum nächsten Feld" innerhalb des landwirtschaftlich genutzten Raums

Lagemaße der	RA	PS	MA	AIS
Verteilung der	Pollensammler-	Raster	Pollensammler-	Raster
"Entfernung zum	standorte		standorte	
nächsten Feld"	(n = 50)	(n = 1,53 Mio.)	(n = 50)	(n=1,42 Mio.)
	Entfernung (m)	Entfernung (m)	Entfernung (m)	Entfernung (m)
10%-Perzentil	62	60	2	30
25%-Quartil	120	140	4	73
Median	256	280	55	160
75%-Quartil	465	511	141	291
90%-Perzentil	674	849	322	474

Wie aus Tab. 30, der Abb. 43 und der Abb. 45 zu erkennen ist, wurde eine identische Abbildung der Flächenanteile durch die Anzahl der Sammler nicht erreicht. Auf die Problematik der unterschiedlichen Datenniveaus wurde zu Anfang des Kapitels verwiesen. Betrachtet man hingegen im gesamten landwirtschaftlichen Raum die Abstände beliebiger Punkte zum nächsten Feld und vergleicht diese mit den Abstandswerte der wenigen Pollensammlerstandorte stimmen – insbesondere beim Raps – die Verteilung recht gut überein (siehe Tab. 32). Zudem ist anzumerken, dass nicht alle vorgesehenen (vorläufigen) Messstandorte unverändert beibehalten werden konnten. Auf Wunsch oder aufgrund von einzelnen Verboten der Eigentümer oder Pächter mussten einige Sammlerstandorte um wenige bis einige hundert Meter von der ursprünglichen Position versetzt werden. Grundsätzlich war die Akzeptanz der Grundeigentümer und Pächter für Aufstellung und Betrieb der Messapparaturen sehr hoch, weil Standorte zwischen Feldrand und Flurweg gewählt wurden. Diese Standorte zeichneten sich zudem durch eine gute Erreichbarkeit aus. Die endgültige Lage der Standorte der Pollensammler zeigt Abb. 46.

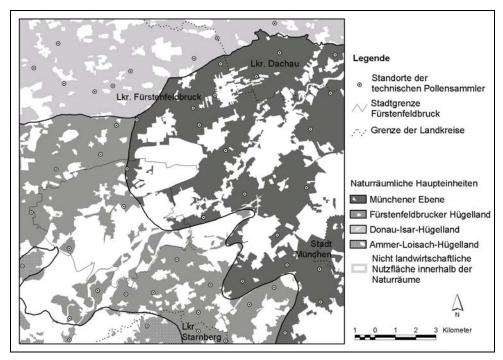


Abb. 46: Standorte der Pollensammler bei den Feldversuchen 2003

Der Nearest Neighbour Index der Punktverteilung der Pollensammler-Standorte ergibt mit "Rectangular Edge Correction" einen Wert von 1,135. Beträgt der Nearest Neighbour Index 1,0 entspricht die Punktverteilung einer Zufallsverteilung (CSR). Werte kleiner 1,0 deuten auf eine räumlich konzentrierte Verteilung und Werte größer 1,0 auf eine räumlich gleichmäßige Verteilung hin. Die Punktverteilung der Pollensammler-Standorte unterscheidet sich nicht signifikant von einer zufälligen Verteilung (Signifikanzniveau: 0,01). Somit konnte nachgewiesen werden, dass die Pollensammler im Untersuchungsgebiet weder geklumpt noch geometrisch gleichmäßig vorliegen.

Als Raumgliederung wurden die naturräumliche Gliederung nach Meynen et al. (1962) den Ökologischen Raumklassen nach Schröder et al. (2001) vorgezogen. Die Ökologischen Raumklassen wurden mit einer Auflösung von 2 x 2 km für das gesamte Bundesgebiet erstellt. Die Zielvariable der Klassifizierung ist die potenziell natürlich Vegetation (PNV). Zur Klassifizierung der als "UBA PNV IX" bezeichneten finalen Variante⁹⁹ wurden Bodenart, Orografie und Klimadaten (Lufttemperatur, Niederschlagssumme, Verdunstungsrate und Globalstrahlung) verwendet. Für die Bundesrepublik Deutschland liegen zwei Klassifizierungen mit 21 bzw. 73 Klassen vor. Im Untersuchungsgebiet unterscheiden sich die beiden Klassifizierungen nur geringfügig (Klassenanzahl:

_

⁹⁹ Es wurden mehrere Varianten (I bis IX) mit verschiedenen Parameterkombinationen berechnet.

vier bzw. fünf). Die räumliche Auflösung ist in beiden Fällen zu grob. Im Untersuchungsgebiet fallen zudem (unvermeidbare) Fehlklassifizierungen der Ökologischen Raumklassen (Variante UBA PNV IX, 21 Klassen¹⁰⁰) auf, z. B. Klasse 57 "Kristalline Mittelgebirge" im Tertiären Hügelland¹⁰¹. Die Naturräumlichen Haupteinheiten sind hierarchisch gegliedert. Die Gebietsabgrenzung erfolgt v. a. nach geologischen, orografischen und klimatischen Kriterien (Meynen et al. 1962, 5, 6, 17, 45) und in polygonaler Form. Für das Untersuchungsgebiet bietet die dritte (naturräumliche Haupteinheit) von sechs Ordnungen ausreichend detaillierte Informationen. Als Vektordaten können die naturräumlichen Haupteinheiten die Übergänge in der Landschaft besser abbilden als die groben Rasterdaten der Ökologischen Raumklassen (siehe Abb. 47).

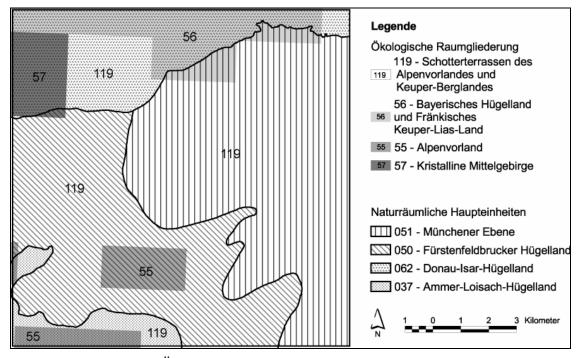


Abb. 47: Vergleich der Ökologischen Raumklassen (Variante UBA PNV IX, 21 Klassen) nach Schröder et al. (2001) mit den Naturräumlichen Haupteinheiten nach Meynen et al. (1962) und LfU im Untersuchungsgebiet

3.7.1.1 Multidimensionales Nachbarschafts-Repräsentanzmaβ (MNR)

Die Auswahl repräsentativer Standorte mittels des Multidimensionalen Nachbarschafts-Repräsentanzmaßes (MNR) nach Vetter (1989) und Vetter & Maass (1994), anschauliche Darstellungen in Schmotz (1996, 94-99) und Szibalski (2000, 42-46), wurde nicht –

¹⁰⁰ Gesamtmissklassifikation: 0,5984; Fehlklassifikationsrate für die Klasse 55: 0,6669, Klasse 56: 0,3767, Klasse 57: 0,6131, Klasse 119: 0,6649

Weiteres Beispiel: Das Stadtgebiet von München wurde der Klasse 63 "Schwäbisches Schichtstufenland" zugeordnet.

wie ursprünglich vorgesehen – im Projekt verwendet. Dieses auf der speziellen Nachbarschaftsanalyse (Renk 1977, Fränzle 1978) beruhende Verfahren bewertet einen Standort als repräsentativ, in dessen Nachbarschaftsraum sich die Flächenanteile aller Merkmalsausprägungen der betrachteten Variable bezogen auf den gesamten Untersuchungsraums proportional widerspiegeln. Das heißt, es wird nach einem Standort (+ Umgebung) gesucht, der über die gleiche Flächenverteilung wie das Untersuchungsgebiet verfügt, quasi ein miniaturisiertes Untersuchungsgebiet. Diese Eigenschaft trifft insbesondere für die Grenzbereiche von Merkmalsausprägungen einer Variablen zu (siehe Schröder 2001, Anhang A, 25). Zum besseren Verständnis des Verfahrens werden in Abb. 48 die Ergebnisse der Berechnung eines MNR für die Variable "naturräumlichen Haupteinheiten" des Untersuchungsgebietes gezeigt. Diese Berechnungen wurden mit STABO, der Umsetzung des MNR in einem GIS¹⁰² durchgeführt.

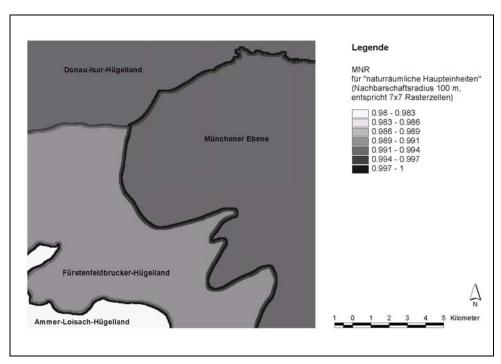


Abb. 48: MNR (RI) der Kartenebene "naturräumlichen Haupteinheiten" des Untersuchungsgebietes (Nachbarschaftsradius = 100 m, entspricht 7 x 7 Rasterzellen)

Das MNR kann für eine oder mehreren Variablen (Kartenebenen), die als Raster vorliegen, berechnet werden. Für jede Rasterzelle einer Variablen wird ein Repräsentanzindex (RI) berechnet, dessen Wert zwischen 0 (=Rasterzelle + Nachbarschaft nicht repräsentativ für die Kartenebene) und 1 (=Rasterzelle + Nachbarschaft höchst repräsentativ

¹⁰² Ursprünglich in ArcInfo (Recher & Schmotz 1993), später in verbesserter Form in ArcView 3.x (Behrens & Schneider 2004).

für die Kartenebene) liegen kann. Im Fall mehrerer Variablen setzt sich das MNR aus der Summe der RI geteilt durch die Anzahl der Variablen zusammen. Auch in diesem Fall (siehe Abb. 48) liegen die höchsten RI an der Grenze der Merkmalsausprägungen (hier Naturräume), da in diesem Bereiche eine Rasterzelle (mit ihren nachbarschaftlichen Rasterzellen; hier insgesamt 7 x 7 Rasterzellen) die Flächenverhältnisse des gesamten Untersuchungsgebietes am besten widerspiegelt. Diese Eigenschaft der Rasterzelle, das Große im Kleinen widerzuspiegeln, ist jedoch kein Kennzeichen für Repräsentativität. Im Gegenteil, die Eigenart der Grenzlage macht den Standort nicht repräsentativ, sondern besonders. Insgesamt haben ~99% aller Rasterzellen ausschließlich Rasterzellen mit der gleichen Merkmalsausprägung als Nachbarn. Beispielsweise sind 97% aller Rasterzelle, die zum Naturraum Ammer-Loisach-Hügelland zählen nur von Nachbar-Rasterzellen umgeben, die ebenfalls zum Naturraum Ammer-Loisach-Hügelland gehören. Damit lassen sich aus den Standorten mit hohem RI nicht zwangsläufig hohe Maße an Raumrepräsentativität ableiten. Das Verfahren des Multidimensionalen Nachbarschafts-Repräsentanzmaßes (MNR) erfüllt folglich nicht die Anforderungen der (Raum-)repräsentativität, wie in Kapitel 2.8.1 dargelegt.

3.7.2 Abstandsanalyse

3.7.2.1 Entfernung zum nächsten Feld

Auf der Grundlage der Felder-Kartierung 2003 und bezogen auf die landwirtschaftliche Nutzfläche wurde eine GIS-basierte (ESRI c) Abstandsberechnung für das Untersuchungsgebiet durchgeführt. Anzahl, Lage, Größe und Form der Felder spiegeln sich in den Abstandswerten der Tab. 33 wider. Von einem zufällig innerhalb der landwirtschaftlichen Nutzfläche gewählten Punkt beträgt im Durchschnitt der Abstand zum nächsten Rapsfeld im Fürstenfeldbrucker Hügelland 260 m und im Ammer-Loisach-Hügelland 630 m. Von einem zufällig innerhalb der landwirtschaftlichen Nutzfläche gewählten Punkt beträgt im Durchschnitt der Abstand zum nächsten Maisfeld im Donau-Isar-Hügelland 140 m und im Ammer-Loisach-Hügelland 300 m. Die von Barth et al. (2003, 138) zusammengetragenen Empfehlungen für Sicherheitsabstände zwischen gentechnikfreien Feldern und Feldern mit GVO-Anbau liegen – bei einer angestrebten Einkreuzungsrate <0.5% – beim Raps zwischen 10 und 600 m und beim Mais zwischen 200 und 1000 m. Die Abstandsanalyse zeigt, dass die Einhaltung von Abstandsregelungen in dieser Größenordnung in der Realität nicht einfach umzusetzen wäre, denn die meisten vorgeschlagenen Isolationsabstände liegen über der durchschnittlichen Entfernung zum nächsten Feld.

Tab. 33: Entfernung zum nächsten Raps- bzw. Maisfeldern im landwirtschaftlich genutzten Raum des Untersuchungsgebiets im Jahr 2003

	Münc Ebe		Fürste brue Hüge	cker	Donau Hüge		Ammer- Hüge	
Kulturart	Raps	Mais	Raps	Mais	Raps	Mais	Raps	Mais
n = (in Tausend)	633	608	485	443	362	321	49	46
Abstand, 25% Quartil (m)	150	90	130	80	140	70	200	120
Abstand, Median (m)	300	180	260	150	280	140	630	300
Abstand, 75% Quartil (m)	520	330	450	270	560	250	1360	880
Abstand, Maximum (m)	1900	1460	1690	1720	2130	650	2310	1830

3.7.2.2 Abstand zwischen Pollensammler und nächstem Feld

Der Abstandsanalyse zwischen Pollensammler und nächstem Feld liegt die Annahme zugrunde, dass die Pollendeposition ab dem Feldrand mit steigender Entfernung abnimmt. Zu berücksichtigen ist, dass dieser einfache Ansatz ein dreidimensionales Phänomen¹⁰³ auf eine Dimension reduziert.

Tab. 34: Entfernung der Pollensammler-Standorte zum nächsten Raps- bzw. Maisfeld

Kulturart	RAPS			MAIS		
Pollensammler-Typ	Sigma-2	PMF	Sigma-2 /	Sigma-2	PMF	Sigma-2 /
	(n = 15)	(n = 44)	PMF	(n = 26)	(n = 49)	PMF
			(n = 50)			(n = 50)
Minimum (m)	1	1	1	0	0	0
25%-Quartil (m)	80	88	120	2	4	4
Median (m)	133	220	256	5	50	55
75%-Quartil (m)	258	453	465	55	145	141
Maximum (m)	475	1510	1510	170	1190	1190

Zum besseren Verständnis der nachfolgenden Abbildungen ist in Tab. 34 die durchschnittliche Entfernung der Pollensammler zum jeweils nächsten Feld angegeben. Un-

¹⁰³ Unter Berücksichtigung der Zeit wird die Pollenausbreitung zu einem vierdimensionalen Phänomen.

terschieden wird hierbei zwischen allen Raps- und Mais-Sammlerstandorten (n = 50) sowie den Standorten mit positivem Nachweis von Zielpollen (n < 50).

Grundsätzlich standen die Maispollensammler näher an den Feldern als die Rapspollensammler. Vergleicht man die 50 Raps- und die 50 Maisstandorte ist der Abstand der Maisstandorte im Durchschnitt um den Faktor fünf geringer (256 m zu 55 m). Da die Nachweise von Zielpollen v. a. an feldnahen Standorten erreicht wurden, verschiebt sich die Verteilung der Entfernungswerte näher an die Felder. Dies gilt insbesondere für die wenigen positiven Pollennachweise mit dem Sigma-2-Sammler. Beim Rapsversuch halbiert sich die durchschnittliche Entfernung zwischen Sammler und Feld (256 m auf 133 m), beim Maisversuch kommt es zu einer Reduzierung um den Faktor elf (55 m auf 5 m). Da an sehr wenigen Standorten der PMF keine Zielpollen enthielt, fallen die Veränderungen gegenüber der Gesamtzahl der Standorte nicht so stark aus.

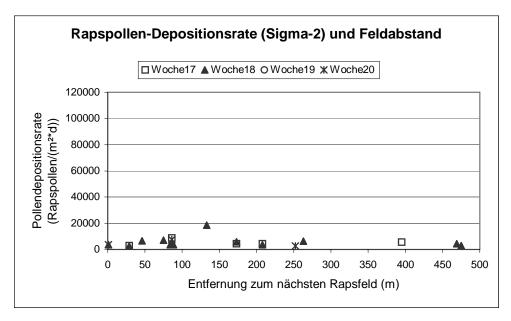


Abb. 49: Rapspollendepositionsrate (Sigma-2) in Abhängigkeit vom nächsten Rapsfeld und vom Zeitpunkt (Standorte = 15, Probenanzahl = 20)

Die Abb. 49 und Abb. 50 zeigen im Vergleich, dass höhere Depositionsraten beim Maisversuch (~80.000 Maispollen m⁻² d⁻¹) als beim Rapsversuch (~20.000 Rapspollen m⁻² d⁻¹) auftraten. Abgesehen von einem Ausreißer bewegt sich die Pollendeposition beim Raps sogar unter 10.000 Rapspollen m⁻² d⁻¹. Diese Depositionsraten werden jedoch unabhängig von der Entfernung zum nächsten Feld erreicht (von 0 bis 475 m). Die Rapspollendeposition kann demzufolge als niedrig, aber räumlich gleichmäßig und als scheinbar unabhängig von der Entfernung zur Pollenquelle gekennzeichnet werden. Hohe Depositionsraten (>20.000 Maispollen m⁻² d⁻¹) treten beim Maisversuch nur bei

Feldabständen <50 m auf. In größeren Entfernungen liegt die Depositionsrate wie beim Raps unter 10.000 Rapspollen m⁻² d⁻¹. Standorte mit positivem Maispollennachweis und einem Abstand >170 m treten nicht auf. Die Maispollendeposition lässt sich somit charakterisieren als sehr stark in unmittelbarer Nähe zur Quelle jedoch nimmt die Deposition mit ansteigender Entfernung rasch ab.

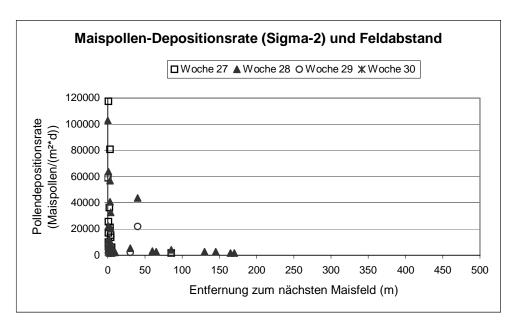


Abb. 50: Maispollendepositionsrate (Sigma-2) in Abhängigkeit vom nächsten Maisfeld und vom Zeitpunkt (Standorte = 26, Probenanzahl = 52)

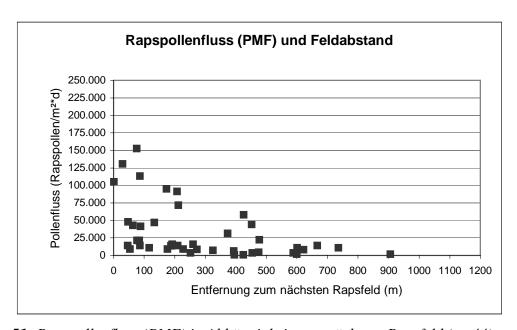


Abb. 51: Rapspollenfluss (PMF) in Abhängigkeit vom nächsten Rapsfeld (n=44)

Die Beschreibung der Pollendepositionsraten für Raps und Mais, die mit dem Sigma-2-Sammler ermittelt wurden, treffen in sehr ähnlicher Form auch für den Pollenfluss (horizontaler Pollentransport) zu, der durch den PMF gemessen wurden. Die Abb. 51 und Abb. 52 zeigen im Vergleich, dass höhere Werte (Pollenfluss) wiederum beim Maisversuch (~250.000 Maispollen m⁻² d⁻¹) als beim Rapsversuch (~150.000 Rapspollen m⁻² d⁻¹) auftraten. Im Gegensatz zur Pollendeposition nimmt der Pollenfluss beim Raps mit steigender Entfernung zum Feld ab, wenn auch deutlich langsamer als beim Mais. Werte ausschließlich <50.000 Pollen m⁻² d⁻¹ liegen beim Raps ab einer Entfernung von ~450 m vor, beim Mais bereits ab ~175 m. An den beiden Standorte, die am weitesten von einem Raps- oder Maisfeld entfernt waren (1510 m bzw. 1190 m), wurde ein Pollenfluss von 16.100 Rapspollen m⁻² d⁻¹ bzw. 5.500 Maispollen m⁻² d⁻¹ festgestellt.

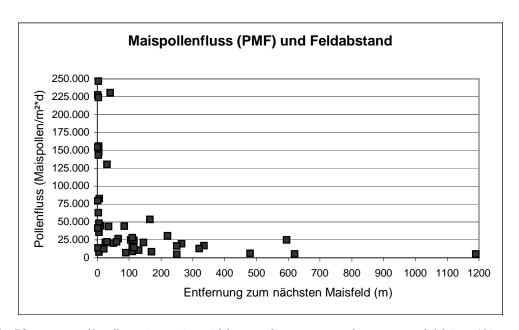


Abb. 52: Maispollenfluss (PMF) in Abhängigkeit vom nächsten Maisfeld (n=49)

Zur Absicherung der Entfernungsangaben war eine Verifikation der Felderkartierung mittels Fernerkundung geplant (siehe Kapitel 2.7.3), die jedoch nicht erfolgreich durchgeführt werden konnte (siehe Kapitel 3.6.4).

Die Rangkorrelation (nach Spearman) der Pollenanzahl der Standorte mit der Entfernung zum nächsten Raps- bzw. Maisfeld bringt mit Ausnahme der Sigma-2-Rapssammler signifikante Ergebnisse. Die Korrelationskoeffizienten bewegen sich auf einem mittleren Niveau.

Tab. 35: Korrelation der Pollenanzahl von Sigma-2 und PMF mit der Entfernung zum
nächsten Raps- bzw. Maisfeld

Kulturart	RAP	PS .	MAIS		
Pollensammler-Typ	Sigma-2 (n = 15)	PMF (n = 44)	Sigma-2 $(n = 26)$	PMF (n = 49)	
Spearman Rangkorrelationskoeffizient r _S	-0,325 (n.s.)	-0,542**	-0,659**	-0,692**	

3.7.3 Nachbarschaftsanalyse mit PDI

Der PDI wurde unter anderem entwickelt um die räumliche Anordnung der Raps- und Maisfelder in der Umgebung der Pollensammler zu beschreiben. Die Umgebung der Sammler wurde bis zu einer Entfernung von 1 km durch eine Abfolge von 10 konzentrischen Kreisen um die Sammler erfasst. Das Ergebnis der PDI-Berechnung nach Formel 1 (siehe 2.8.5.1) zeigt, dass die Fläche der umgebenden Felder stetig mit größerer Entfernung zum Sammler ansteigt (siehe Abb. 53). Es tritt demzufolge nicht der Fall auf, dass in einer bestimmten Entfernung die Fläche umliegender Felder signifikant stärker oder geringer zunimmt.

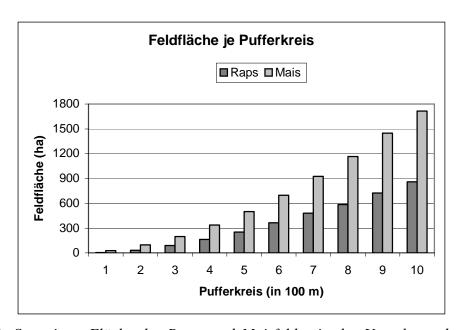


Abb. 53: Summierte Fläche der Raps- und Maisfelder in der Umgebung der Pollensammlerstandorte (Berechnung nach PDI-Formel 1)

Untersucht man die Felder, die sich im Umkreis der Pollensammler befinden, bezüglich der Himmelrichtung, zeichnen sich in der näheren Umgebung der Rapspollensammler deutliche Unterschiede zwischen den Himmelrichtungen ab, die sich mit steigender Entfernung nivellieren. Liegen im 100m-Nachbarschaftsraum noch fast 55% der Rapsfelder im S und SW, sind es im 200m-Nachbarschaftsraum nur noch 37% und in Umkreis von 1 km 27% (siehe Abb. 54). Abgesehen von einem leichten Übergewicht der südlichen Felder in den Pufferkreisen 500 m bis 700 m sind die Anteile der Himmelsrichtungen ab dem 300m-Pufferkreis recht ausgeglichen (Spannweite der Flächenanteile: 9% bis 17%). Noch einheitlicher ist die Situation beim Mais: Vom 100m- bis zum 300m-Umkreis haben die Flächenanteile der einzelnen Himmelrichtungen eine Spannweite von 8 – 17%, ab dem 400m-Pufferkreis liegen die Anteile sogar nur zwischen 10-15% (siehe Abb. 55).

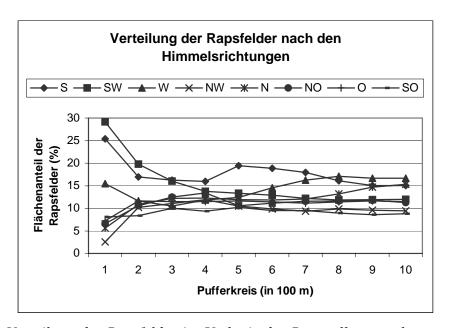


Abb. 54: Verteilung der Rapsfelder im Umkreis der Rapspollensammler entsprechend der Himmelsrichtungen

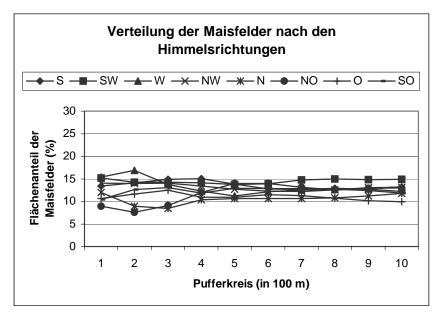


Abb. 55: Verteilung der Maisfelder im Umkreis der Maispollensammler entsprechend der Himmelsrichtungen

3.7.4 Pollen-Ausbreitungsmodell

3.7.4.1 AUSTAL2000

Mit dem an die Verhältnisse der Vorversuche 2002 angepassten Ausbreitungsmodell AUSTAL2000 wurde die Pollendeposition in der näheren Umgebung der Versuchsparzellen berechnet (Eingabeparameter siehe Tab. 36). Die Korrelation der gemessenen (Sigma-2) mit der errechneten Pollendeposition ergab einen Korrelationskoeffizient von r=0.822** (n=18) für Rapspollen und $r_S=0.673*$ für Maispollen (n=10). Die hohe und signifikante Korrelation deutet darauf hin, dass AUSTAL2000 in ebenem Gelände, einem hochaufgelösten Rechengitter, einer hohen Qualitätsstufe und einer flächigen Quellengeometrie geeignet ist Näherungswerte der Pollen-Deposition zu berechnen.

Tab. 36: Vergleich der Eingabeparameter für die Pollenausbreitung auf lokaler Ebene (Feldversuche 2002) und regionaler Ebene (Untersuchungsgebiet 2003)

Eingabeparameter ¹⁰⁴	Feldversuche 2002	Feldversuche 2002	Untersuchungsgebiet			
2	(Raps)	(Mais)	2003 (Raps)			
Meteorologie	AKTerm Station	AKTerm Station Land-	AKTerm Station Land-			
	Landberg (April, Mai 2002)	berg (Juli, August 2002)	berg (Versuchszeitraum 2003)			
Geländeprofil, Maschenweite	_105	(25 x 25 m) ¹⁰⁶	100 x 100 m ¹⁰⁷			
Qualitätsstufe	0 und 4 ¹⁰⁸	0 und 4	0			
Rechengitter, Maschenweite	3 x 3 m	3 x 3 m	100 x 100 m			
Rechengitter, Ausdehnung	267 x 280 Zellen	298 x 231 Zellen	172 x 172 Zellen			
Rauhigkeitslänge	0,2 m ¹⁰⁹	0,2 m	0,2 m			
Quellenart	PM 2	PM 4	PM 2			
Quellenanzahl	4	4	20 / Rechengang ¹¹⁰			
Quellengeometrie	Flächenquelle	Flächenquelle	Punktquelle			
Quellhöhe	2 m	2,5 m	2 m			
Quellstärke	Berechnung / Abschätz Bestandsdichte und Fel	ng / Abschätzung der Quellstärke aus Pollenproduktion/Pflanze,				
Beurteilungspunkte	18 Pollensammler- Standorte	17 Pollensammler- Standorte	-			
Aufpunkthöhe	1,7 m	1,7 m	-			
Rechendauer ¹¹¹	Qualität 0: ~1h, Qualität 4: ~14h	Qualität 0: ~279h ¹¹² , Qualität 4: ~2h	Qualität 0: ~8,5h			

¹⁰⁴ Die Berechnungen mit AUSTAL2000 wurden mit der Versionen 1.0.1 (Daten der Feldversuche 2002) und 2.1.14 (Daten des Feldversuchs 2003) durchgeführt.

¹⁰⁵ Kein Geländemodell verwendet, da Rapsversuch in ebenem Gelände.

¹⁰⁶ Geländemodell (BLVA a) für einige Berechnungen verwendet, da Maisversuch in leicht welligem Gelände.

¹⁰⁷ Geländemodell (BLVA a) an die Größe des Rechengitters angepasst.

¹⁰⁸ Qualitätsstufe 4 bedeutet eine Vervierfachung des Standardwert von 63 Mio. Partikeln (Qualitätsstufe

<sup>0).

109</sup> Klasse 5 (Landwirtschaft und natürliche Bodenbedeckung): 0,2 m

Absturz des Computers. Die 381 ¹¹⁰ Mehr als 20 Quellen führten zum Absturz des Computers. Die 381 Rapsfelder mussten auf mehrere Rechenvorgänge aufgeteilt werden.

¹¹¹ Computer: Pentium IV, 1,6 GHz, 256 MB RAM

¹¹² Berechnung mit Geländemodell

Es zeigte sich, dass die Rechenzeit von einigen Eingabeparametern abhängig ist, u.a. von der Art des emittierten Stoffes (Ablagerungsgeschwindigkeit von Staub der Korngrößenklasse PM2 < PM4), der Anzahl der Quellen, der Quellengeometrie, der Verwendung eines Geländemodells und der Qualitätsstufe. Als besonders wichtige Größe erwies sich das Geländemodell (DGM). In diesem Fall kann AUSTAL2000 nicht auf Windfelder der Windfeldbibliothek zurückgreifen, sondern es werden – auf Kosten längerer Rechenzeiten – 3-dimensionale Wind- und Turbulenzfelder für das DGM neu berechnet (Janicke 2003, 28/29; VDI 3945 Blatt 3, 22). Trotz Reduzierung der Qualitätsstufe und damit der Anzahl simulierter Partikel betrug die Rechenzeit mit DGM für den Maisversuch 279 Stunden (bei vierfacher Partikelanzahl, ohne DGM: 2h). Die Qualitätsstufe dient zur Regulierung der Partikelanzahl und damit zur Regulierung der Fehlerrate der Rechenergebnisse. Durch Erhöhung der Anzahl simulierter Partikel reduziert sich die statistische Unsicherheit des Ergebnisses (Janicke 2003, 11).

Zur Berechnung der Rapspollen-Deposition für den Zeitraum des Feldversuchs 2003 auf mesoskaliger Ebene konnte nicht auf das Geländemodell¹¹³ verzichtet werden, weil sich das Untersuchungsgebiet geomorphologisch deutlich unterscheidet. Aus diesem Grund waren Kompromisse bei anderen Eingabeparametern nötig. Das Rechengitter wurde vergröbert (Auflösung: 100 x 100 m) und verkleinert (172 x 172 Rasterzellen), die Qualitätsstufe musste auf Standardniveau verbleiben (0) und Flächen- wurden durch Punkquellen ersetzt. Mit diesen Vorgaben betrug die Rechenzeit für die maximal mögliche Anzahl an Quellen noch ungefähr 8,5h (mit mehr als 20 Quellen drohte ein Programm-/Computerabsturz). Dadurch wurden mehrere getrennte Rechengänge für das Untersuchungsgebiet notwendig. Zur Qualität der Daten ist anzumerken, dass sich aufgrund der mittleren Qualitätsstufe in jedem Datensatz die Rasterzellen mit vertretbarer Fehlerrate (< 10%) im Umkreis von wenigen Kilometern um die Pollenquellen befanden. Höhere Fehlerraten traten bei quellenfernen Rasterzellen auf, deren Depositionswerte jedoch mehrheitlich bei Null lagen. Der Einfluss dieser weniger vertrauenswürdigen Werte der Pollendeposition ist aus diesem Grund vernachlässigbar. Die einzelnen Rechenergebnisse wurden als ASCII-Datensätze in das GIS ArcInfo überführt und dort zusammengefasst. Das Ergebnis der nach AUSTAL2000 berechneten Ausbreitung von Rapspollen während des Feldversuchs 2003 im Untersuchungsgebiet zeigt Abb. 56.

-

¹¹³ Für die AUSTAL2000-Berechnung der Daten aus 2003 wurde in das Geländemodell die Höhe der Landnutzungen v. a. Wald und Siedlungsfläche einberechnet, deshalb müsste man eigentlich von einem Oberflächenmodell sprechen. Um Verwirrung zu vermeiden wird der in AUSTAL2000 übliche Terminus "Geländemodell" jedoch weiterverwendet.

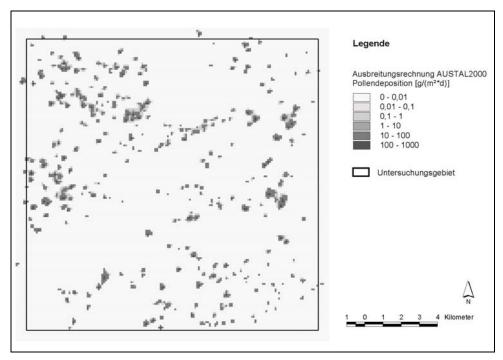


Abb. 56: Rapspollen-Deposition im Untersuchungsgebiet während des Feldversuchs 2003 basierend auf Berechnungen mit AUSTAL2000

Alle zu Anfang des Kapitels genannten Voraussetzungen, um eine hohe Übereinstimmung von Modell- und Messwerten der Pollendeposition zu erreichen, konnten auf mesoskaliger Ebene nicht eingehalten werden. Deshalb wurden auf mesoskaliger Ebene geringere Korrelationen als auf lokaler Ebene festgestellt. Der Korrelationskoeffizient $r_{\rm S}$ betrug für den Sigma-2 0,487 (n = 9) und für den PMF 0,607** (n = 33).

Die Verwendung des Ausbreitungsmodells AUSTAL2000 erwies sich grundsätzlich als sehr rechenaufwändig und zeitintensiv. Testläufe zur Kalibrierung der Eingabeparameter konnten nur auf lokaler Ebene nicht auf mesoskaliger Ebene durchgeführt werden. Eine Durchführung der Berechnung für die realen Anbau-Verhältnisse von Mais in 2003 mit knapp 900 Feldern konnte nicht abgeschlossen werden.

3.7.4.2 Anwendung des PDI auf die Sammlerstandorte¹¹⁴

Wie in Kapitel 3.7.3 dargestellt, steigt die Flächensumme – der die Pollensammler umgebenden Felder – stetig mit der Entfernung vom Pollensammler an (PDI-Formel 1). Korreliert man die Flächensummen der einzelnen Nachbarschaftsräume (Pufferkreise) mit den Messwerten der Pollendeposition, findet sich dieser lineare Anstieg nicht wie-

Da keine vollständige Kartierung der Raps- und Maisfelder über die Grenzen des Untersuchungsgebietes hinaus vorliegt, wurden alle Pollensammlerstandorte, die weniger als 1 km vom Rand des Untersuchungsgebietes entfernt lagen, nicht berücksichtigt, um einen Randeffekt auszuschließen.

der, sondern je nach Sammlertyp und Kulturart zeigen sich Kurvenverläufe mit einem mehr oder weniger ausgeprägtem Maximum, z.T. deutliche Optimumkurven (siehe Abb. 57). Die umliegenden Felder haben demzufolge nur bis zu einer bestimmten Entfernung Einfluss auf die Pollendeposition an den Sammlerstandorten.

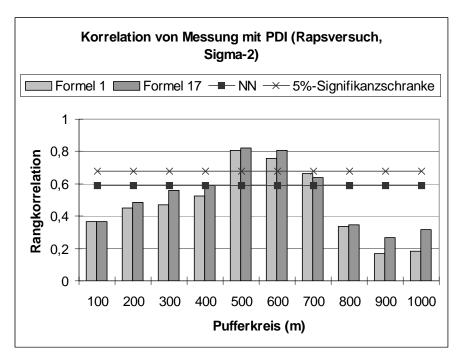


Abb. 57: Rangkorrelation der gemessenen (Sigma-2) und der berechneten (PDI Formel 1 und 17) Deposition von Rapspollen (n=9).

Zum Vergleich die Korrelation der gemessenen Pollendeposition mit der Entfernung zum nächsten Feld (NN) und die 5%-Signifikanzschranke.

Die Abb. 57 bis Abb. 60 zeigen für jeden der zehn Nachbarschaftsräume (Pufferkreise) der Pollensammler die Korrelation der Messwerte mit a) der PDI-Grundformel 1, b) der PDI-Formel mit der besten Anpassung und c) mit der Entfernung zum nächsten Feld (NN). Zugleich zeigt die 5%-Signifikanzschranke die signifikanten Korrelationen an.

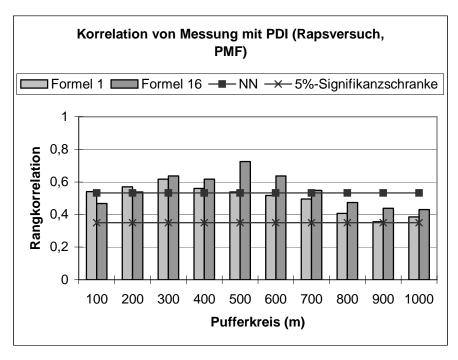


Abb. 58: Rangkorrelation der gemessenen (PMF) und der berechneten (PDI Formel 1 und 16) Deposition von Rapspollen (n=33).

Zum Vergleich die Korrelation der gemessenen Pollendeposition mit der Entfernung zum nächsten Feld (NN) und die 5%-Signifikanzschranke.

Beim Raps treten die höchsten Korrelationskoeffizienten des PDI sowohl beim Pollensammler Sigma-2 als auch beim PMF im Pufferkreis 500 m auf. Die Rangkorrelationen sind signifikant und die Abhängigkeit zwischen den empirischen Daten und den berechneten PDI-Werten ist stärker als unter Verwendung der Variablen "Entfernung zum nächsten Feld" (NN). Im Untersuchungsgebiet scheinen die Rapsfelder im Bereich von 0 bis 500 m den größten Einfluss auf die Messergebnisse der Pollensammler auszuüben. Beschränkt man sich auf einen kleineren Nachbarschaftsraum oder berücksichtigt man alle Felder bis 1 km Entfernung, fallen die Korrelationen niedriger aus. Von besonderer Bedeutung für die Pollendeposition erwiesen sich einzelne Windrichtungen. Im Gegensatz zur PDI-Formel 1, die die Felder aller Windrichtung verwendet, reduzieren die PDI-Formeln 16 und 17 die Anzahl der Windrichtungssektoren von acht auf zwei (W, SW) bzw. fünf (W, SW, S, SO, NO). Aus diesen Ergebnissen der PDI-Berechnung ist zu schließen, dass beide Sammlertypen somit vor allem Pollen aus westlicher und südwestlicher Richtung sammelten. Dies stimmt sehr gut mit den Winddaten (siehe Tab. 20) und der geostatistischen Modellierung überein (Abb. 63). Überraschenderweise brachte die Verwendung von Ausbreitungsfunktionen (siehe 2.8.5.1, Seite 64), die die Felder mit steigender Entfernung geringer gewichten, weder für den Sigma-2 noch für den PMF eine Verbesserung der Korrelationen. Dies deutet darauf, dass die Pollensammler, die durchschnittlich 256 m vom nächsten Feld entfernt waren (siehe Tab. 34), sich in ihrer Gesamtheit nicht im direkten Einflussgebiet eines Feldes befanden.

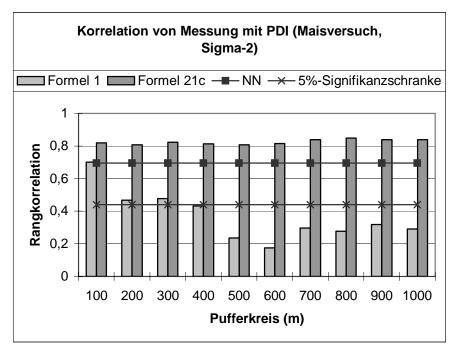


Abb. 59: Rangkorrelation der gemessenen (Sigma-2) und der berechneten (PDI Formel 1 und 21c) Deposition von Maispollen (n=21).

Zum Vergleich die Korrelation der gemessenen Pollendeposition mit der Entfernung zum nächsten Feld (NN) und die 5%-Signifikanzschranke.

Bei den Maisdaten deutet die PDI-Grundformel bei beiden Sammlertypen das große Gewicht der 100m-Pufferkreise an. Aufgrund der Nähe der Pollensammlerstandorte zu den Maisfeldern (siehe Tab. 34) ein nahe liegendes Ergebnis. Der PMF zeigt zusätzlich einen weiteren Peak für den 400m-Nachbarschaftsraum (0 – 400 m). Die Korrelation der gemessenen Pollendeposition mit der Variablen "PDI" bewegt sich auf dem gleichen Niveau, wie mit der Variablen "Entfernung zum nächsten Nachbarn". Eine Verbesserung des Korrelationskoeffizienten gelingt beim Sigma-2 und beim PMF mit jeweils der gleichen PDI-Formel (21c). Diese berücksichtigt nur die Maisfelder der Windrichtungen SW, W, NW, N und NO und gewichtet mit der Potenzfunktion (y = x²) besonders stark die den Sammlern nahe liegenden Felder. Durch die extreme Gewichtung leisten entfernt liegende Felder nahezu keinen Beitrag mehr zum PDI. Daher verändert sich der Korrelationskoeffizient mit steigender Entfernung kaum, sondern schwankt nur geringfügig um den Wert des 100m-Nachbarschaftsraumes. Auf Grundlage der PDI-Werte nach Formel 21c ist keine Aussage über den Nachbarschaftsraum mit dem größten Einfluss auf das Messergebnis möglich. Durch die geringe Distanz zwi-

schen Pollensammler und Maisfeld liegen viele Sammler im Nahbereich eines Feldes. Die Distanz und nicht die Feldgröße wird zum bestimmenden Faktor der Pollendeposition. Der Vorteil des flächenhaften PDI-Ansatzes gegenüber der linearen Entfernung sind dadurch nahezu aufgehoben.

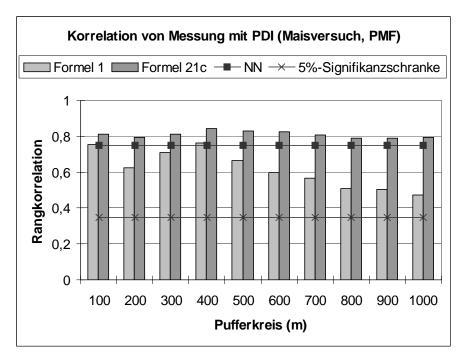


Abb. 60: Rangkorrelation der gemessenen (PMF) und der berechneten (PDI Formel 1 und 21c) Deposition von Maispollen (n=38).

Zum Vergleich die Korrelation der gemessenen Pollendeposition mit der Entfernung zum nächsten Feld (NN) und die 5%-Signifikanzschranke.

Eine Übersicht über die Ergebnisse der Korrelation der gemessenen Pollendeposition zum einen mit der Variablen "PDI", zum anderen mit der Variablen "Entfernung zum nächsten Feld" gibt die Tab. 37. Insbesondere beim Rapsversuch, der durch große Distanzen zwischen Pollensammlern und Feldern kennzeichnet ist, zeigt sich die Vorteile des flächenhaften und integrativen Ansatzes des PDI. Die Pollendeposition der feldnahen Maispollensammler lässt sich durch den PDI ebenfalls besser als durch die Entfernung zum nächsten Feld ausdrücken. Jedoch ist der Nachbarschaftsraum um die Maispollensammler, der ursächlich für die Pollendeposition am Sammlerstandort ist, nicht eindeutig abzugrenzen.

Tab. 37: Rangkorrelation der berechneten (PDI) und der gemessenen (Sigma-2 und PMF) Deposition von Raps- und Maispollen (Korrelation mit "Entfernung zum nächsten Raps- bzw. Maisfeld" zum Vergleich)

Kulturart	Pollen- sammler	n=	Rangkorrelation der Messwerte mit		PDI- Formel	PDI Puf- ferkreis
			Entf. nächstes Feld	PDI	Nr. ¹¹⁵	(m)
Raps	Sigma-2	9	-0,588 (n.s.)	0,824**	17 ¹¹⁶	500
Raps	PMF	33	-0,532**	0,724**	16117	500
Mais	Sigma-2	21	-0,676**	0,848**	21c ¹¹⁸	800
Mais	PMF	38	-0,75**	0,843**	21c ¹¹⁹	400

3.7.4.3 Anwendung des PDI auf das Untersuchungsgebiet

Der PDI nach Formel 1 wurde für die Gitterpunkte eines 100 x 100 m Rasters, das das Untersuchungsgebiet abdeckt¹²⁰, berechnet. In einem ersten Schritt nur für das Agrar-ökosystem (10.940 Punkte), dann für das gesamte Untersuchungsgebiet (20.164 Punkte). Auf Grund der Ergebnisse von Kapitel 3.7.4.2 wurde für jeden Punkt ein Nachbarschaftsraum von 500 m zur Berechnung des PDI herangezogen. Nach Interpolation der Punktwerte und Klassifizierung der Flächendaten zeigen sich punktuelle Schwerpunkte der Pollendeposition, die sich auf die geklumpte Lage von Rapsfeldern zurückführen lassen (siehe Abb. 61). Diese Schwerpunkte haben jedoch eine geringere räumliche Ausdehnung, als die eigentlichen Feldergrenzen vermuten lassen. Eine Art Hintergrundbelastung tritt für große Teile des Agrarökosystems und sogar des gesamten Untersuchungsgebietes auf.

¹¹⁵ Beschreibung der PDI-Formeln siehe Kapitel 2.8.5.1 und Anhang A7

Windrichtung: West, Südwest, Süd, Südost und NordostWindrichtungen: West, Südwest

¹¹⁸ Windrichtungen: Südwest, West, Nordwest, Nord und Nordost

¹¹⁹ Windrichtungen: Südwest, West, Nordwest, Nord und Nordost

¹²⁰ Um Randeffekte auszuschließen wurde das Raster über ein Kerngebiet von 14,1 x 14,1 km gelegt.

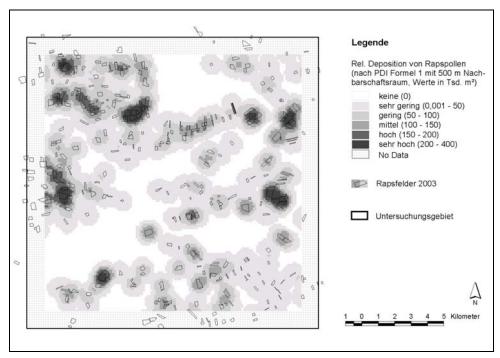


Abb. 61: Klassifizierung der relativen Pollendeposition im Untersuchungsgebiet basierend auf dem Pollendepositionsindex (PDI Formel 1, Rapsfelder 2003, 500 m Nachbarschaftsraum)

Die Berechnung des PDI für Gebiete, die außerhalb des Agrarökosystems liegen, sind nicht durch empirische Daten abgesichert. Insbesondere die Windverhältnisse in Siedlungs- oder Waldgebieten weichen von denen des landwirtschaftlich genutzten Raumes ab und können zu einem veränderten Depositionsverhalten der Pollen führen. Trotzdem wurde der PDI auch für diese Gebiete berechnet, da ansonsten bei der Dreiecksvermaschung die zum Teil mehrere hundert Meter großen Lücken im Raster nur aufgrund der Information der umliegenden Randpunkte geschlossen worden wären. Die Ungenauigkeit, die diese Interpolation mit sich bringt, fällt mehr ins Gewicht, als den PDI für nicht landwirtschaftliches Gebiet zu berechnen.

Die Unterschiede der Rapspollendeposition nach PDI zwischen dem Agrarökosystem und dem gesamten Untersuchungsgebiet sind gering (siehe Tab. 38). Obwohl die Rapsfelder ausschließlich auf das Agrarökosystem beschränkt sind und dadurch im sonstigen Untersuchungsgebiet niedrige PDI-Werte zu erwarten sind, verschiebt sich die Verteilung in den Klassen nicht sehr deutlich. Durch die Fragmentierung der Landschaft und der teilweise damit verbundenen Nähe zu Rapsfeldern ergibt sich auch für Standorte außerhalb des Agrarökosystems eine mittlere bis sehr hohe Pollendeposition.

Tab. 38: Flächenstatistik der relativen Deposition von Rapspollen im Agrarökosystem und im Untersuchungsgebiet. Berechnung basierend auf dem Pollendepositionsindex (PDI Formel 1, Rapsfelder 2003, 500 m Nachbarschaftsraum)

Relative Rapspollen-	PDI-Wert	Flächenanteil (%)			
deposition	(in Tsd. m ²)	Agrarökosystem (12.940 Rasterpunkte)	Untersuchungsgebiet (20.164 Rasterpunkte)		
Keine	0	20,7	27,5		
Sehr gering	0-50	41,4	43,6		
Gering	50 – 100	22,9	18,2		
Mittel	100 – 150	9,0	6,6		
Hoch	150 – 200	3,5	2,4		
Sehr hoch	> 200	2,5	1,7		
Summe	-	100,0	100,0		

Vergleicht man die Güte der Ausbreitungsmodelle AUSTAL2000 und PDI auf mesoskaliger Ebene anhand der Korrelation mit der gemessenen Pollendeposition (s. Tab. 39), wird beim PMF kein großer Unterschied sichtlich (die Aussagekraft der Sigma-2-Werte sollte wegen der kleinen Stichprobe nicht überbewertet werden). In beiden Modellen werden für Rasterzellen mit einer Ausdehnung von 100 x 100 m Mittelwerte der Pollendeposition berechnet. Diese groben Mittelwerte werden mit den 50 Punktmessungen der Pollendeposition in Bezug gesetzt. Unter dieser Umständen liegen die erreichten Korrelationskoeffizienten erstaunlich hoch. Trotz des hochkomplexen Berechnungsalgorithmus von AUSTAL2000 und der realitätsnahen Abbildung des Untersuchungsgebietes und der Ausbreitungsprozesse (Oberflächenmodell, meteorologische Stundenwerte, 3D-Windfelder) kann AUSTAL 2000 die gemessene Pollendeposition nicht besser erklären als der einfache PDI-Ansatz.

Tab. 39: Vergleich der Ausbreitungsmodelle PDI und AUSTAL2000 für Rapspollen auf mesoskaliger Ebene unter den Bedingungen des Feldversuchs 2003 (Berechnungsraster 100 x 100 m)

Spearman Rangkorrelationskoeffizient r _S	RAPS		
	Sigma-2 PMF		
	(n = 9)	(n = 33)	
Entfernung zum nächsten Feld	-0,48 (n.s.)	-0,50**	
PDI (Formel 1, 500 m Nachbarschaftsraum)	0,76*	0,54**	
AUSTAL2000	0,49 (n.s.)	0,61**	

3.7.5 Notwendige Anzahl von Pollensammlern für ein Pollenmonitoring

Das Vorkommen von Pollen in der Luft ist räumlich und zeitlich höchst variabel und beeinflusst die Pollendeposition im allerhöchsten Maß. Trotz der umfangreichen Kenntnisse über das Untersuchungsgebiet und damit der wichtigen Determinanten für die Reife, Freisetzung, Ausbreitung und Deposition der Pollen bleibt das Pollenvorkommen in der Luft und auf der Erdoberfläche in seiner Gesamtheit unbekannt. Modellierungen können lediglich Hinweise geben und Prognosen erstellen. Aus diesen Gründen sollte der Umfang der Stichprobe / Pollenmessungen eine Mindestanzahl nicht unterschreiten, zum einen um die Grundgesamtheit durch die Stichprobe näherungsweise abzudecken, und zum anderen um Ausbreitungsmodelle mit empirischen Daten zu kalibrieren. In dem Kontext Grundgesamtheit und Stichprobe wird auf das Zentrale Grenzwerttheorem hingewiesen. Es besagt, dass der Mittelwert einer Stichprobe, die aus einer Grundgesamtheit gezogen wird, mit wachsendem Stichprobenumfang in eine Normalverteilung übergeht. Bei einem Stichprobenumfang $n \ge 30$ sind die Werte der Stichprobe selbst dann normal verteilt, wenn die Grundgesamtheit nicht einer Normalverteilung entspricht (Bortz 1993, 91 und Sachs 1997, 109). Der Stichprobenumfang n für ein Pollenmonitoring sollte nicht niedriger als n = 30 liegen, damit der Mittelwert der Stichprobe sich dem Mittelwert der Grundgesamtheit annähert und die Varianz der Grundgesamtheit in der Varianz der Stichprobe auftritt.

Die Ähnlichkeit der Pollensammlerstandorte hinsichtlich der Messergebnisse der Pollensammler Sigma-2 und PMF wurde mit dem Programm PC-ORD mit einer Hauptkomponenten-Analyse (PCA) untersucht. Diese reiht die Standorte entlang eines Gradienten auf, der durch die beiden Standorte mit den größten Unterschieden in den Messergebnissen aufgespannt wird. Je näher die Standorte im Gradienten zusammenliegen (siehe Abb. 62), desto ähnlicher sind sich ihre Messergebnisse.

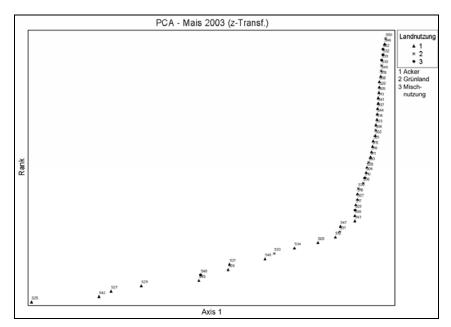


Abb. 62: PCA-Analyse der Sammlerstandorte (Mais) beruhend auf den Messergebnissen der Pollensammler Sigma-2 und PMF in 2003 (1. Achse erklärt 75,7% der Varianz).

Auf die PCA-Methodik soll nicht weiter eingegangen werden, stattdessen wird auf die Literatur verwiesen (stellvertretend: Kent & Coker 1992). Allerdings ist darauf hinzuweisen, dass Ordinationsverfahren, wie die PCA, die Ähnlichkeit von Elementen üblicherweise im mehrdimensionalen Raum abbilden. In diesem Fall ergaben die Broken-Stick-Eigenwerte, dass nur die erste Achse zur Unterscheidung der Sammlerstandorte heranzuziehen ist. Die PCA erklärt mit der ersten Achse 52,9% der Varianz der Messergebnisse der Raps-Standorte und 75,7% der Varianz der Messergebnisse der Mais-Standorte.

Ausgehend von der Zielgröße 30 Pollensammler und auf Grundlage der durch die PCA berechneten Ähnlichkeit der Sammlerstandorte, wurde eine Reduzierung der Anzahl der Sammlerstandorte vorgenommen. Die 50 Pollensammler ließen sich hierbei um 20 Stück reduzieren, ohne dass das Proportionalitätsgebot der Stratifizierung gebrochen wurde. Mit der reduzierten Anzahl von 30 Pollensammlerstandorten gelang es ebenfalls, die Merkmalsausprägungen des Untersuchungsgebietes proportional abzubilden. Für das ergänzend vorgeschlagene Stratum "PDI" sind die Werteverteilung der "Grundgesamtheit", die Werteverteilung der 50 Sammlerstandorte und die Werteverteilung der 30 Sammlerstandorte einander gegenübergestellt. Die Ergebnisse des PDI auf mesoskaliger Ebene zeigen für den Raps (bei einem Nachbarschaftsraum von 500 m) und den Mais (400 m), dass die Häufigkeitsverteilung der PDI-Werte des Agrarökosys-

tems gut durch die 50 Pollensammler abgebildet wurde. Mit den 30 Sammlerstandorten wurde zum Teil sogar eine bessere Annäherung an die Verhältnisse des Untersuchungsgebiets erreicht als mit den 50 Standorten.

Tab. 40: Vergleich der Häufigkeitsverteilung der PDI-Werte (Formel 1, 500 m) im Agrarökosystem und der Pollensammlerstandorte (Raps)

PDI-Werte	Nullwerte (%)	25% Quartil	Median	75% Quartil
Agrarökosystem (n = 12.940)	20,6	4.860	34.230	73.900
Pollensammler (n = 50)	22,0	3.060	32.190	78.800
Pollensammler, reduziert (n = 30)	23,3	3.570	35.020	82.180

Tab. 41: Vergleich der Häufigkeitsverteilung der PDI-Werte (Formel 1, 400 m) im Agrarökosystem und der Pollensammlerstandorte (Mais)

PDI-Werte	Nullwerte (%)	25% Quartil	Median	75% Quartil
Agrarökosystem (n = 12.940)	12,3	14.050	46.530	87.800
Pollensammler (n = 50)	8,0	27.970	65.440	100.240
Pollensammler, reduziert (n = 30)	6,7	22.510	45.010	80.660

Im vorliegenden Untersuchungsgebiet und unter den gegebenen Versuchsbedingungen könnte die Zahl der Pollensammlerstandorte zukünftig von 50 auf 30 reduziert werden.

3.8 Geostatistische Modellierung¹²¹

3.8.1 Untersuchung der Variablen

3.8.1.1 Rapspollensammler

5.0.1.1 Rapsponensammer

3.8.1.1.1 Räumliche Verteilung der Pollensammler

Wie die Nearest Neighbor Analyse bzw. die Moran's I Statistik zeigen, waren die Pollensammler im Falle der Rapspollen (siehe Tab. 42) zufällig verteilt, und es liegt keine räumliche Autokorrelation vor.

_

¹²¹ In diesem Kapitel wurden auch die Sigma-2-Proben berücksichtigt, deren Zählereignisse unter der Nachweisgrenze von 4 Pollen / Auszählfläche lagen.

Tab. 42: Nearest Neighbor Analyse und Moran's I Statistik der Rapspollensammler

Nearest Neighbor Analyse				
Mean Nearest Neighbor Distance:	1.555 m			
Standard Dev of Nearest:				
Neighbor Distance	411 m			
Minimum Distance	884 m			
Maximum Distance	19.181 m			
Based on Bounding Rectangle:				
Area	241.085.024 sq m			
Mean Random Distance	1.098 m			
Mean Dispersed Distance	2.359 m			
Nearest Neighbor Index	1,417			
Standard Error	81,16 m			
Test Statistic (Z)	5,636			
p-value (one tail)	0,0001			
p-value (two tail)	0,0001			
Moran's I Statistik	<u>.</u>			
Sample size	50			
Moran's "I"	-0,0224			
Spatially random (expected) "I"	-0,0204			
Standard deviation of "I"	0,0249			
Normality significance (Z)	-0,0803			
Randomization significance (Z)	-0,0817			

3.8.1.1.2 Pollensammlertypen

Zum Einsatz kamen die Sigma-2-Sammler und Pollenmassenfilter. Die einfache beschreibende Statistik der Sammlerergebnisse ist in Tab. 43 aufgeführt. Es handelt sich dabei um die Pollenanzahlen. Für die Sigma-2-Sammler lagen die Werte wochenweise vor und für den Pollenmassenfilter für den gesamten Versuchszeitraum. Eine Auswertung der Wochendaten war jedoch aufgrund der hohen Anzahl an Nullwerten (siehe Tab. 44) nur bedingt möglich.

Tab. 43: Beschreibende Statistik der Gesamtergebnisse der Sigma-2-Sammler und Pollenmassenfilter für die Rapspollen

	Mittelwert	Standard- abweichung	Median	Minimum	Maximum
Sigma-2-Sammler	5,44	6,01	4	0	30
Pollenmassenfilter	6.152	8.218	3.100	133	33.380

Tab. 44: Anzahl der Nullwerte der Sigma-2-Sammler bei den Rapspollen

	17. Woche	18. Woche	19. Woche	20. Woche
Nullwerte	22	18	36	29
Anteil der Nullwerte an der Gesamtzahl	44%	36%	72%	58%

Ein Zusammenhang zwischen den Gesamtwerten der Sigma-2-Sammler und der Pollenmassenfilter war nur aufgrund der Werte in der unmittelbaren Nähe zu den Rapsfeldern gegeben. Werden die fünf höchsten Werte des Pollenmassenfilters bei einer Korrelationsanalyse nicht berücksichtigt, kann keine Beziehung mehr konstatiert werden (siehe Tab. 45).

Tab. 45: Rangkorrelation zwischen den Summenwerten des Sigma-2-Sammlers und des Pollenmassenfilters mit allen Sammlern (N=50) und unter Nichtberücksichtigung der 5 höchsten Werte des Pollenmassenfilters

			Pollenmassenfilter
Spearmansche Korrelations-	N=50	Sigma-2-	0,3427
koeffizienten		Sammler	
Prob > r under H0: Rho=0			0,0148
Spearmansche Korrelations-	N=45	Sigma-2-	0,1077
koeffizienten		Sammler	
Prob > r under H0: Rho=0			0,4811

3.8.1.1.3 Rapsfelder

Im Untersuchungsgebiet lagen im April/Mai 2003 378 Rapsfelder vor, die Gesamtfläche der Felder betrug 1.169 Hektar. Das mittlere Feld hatte eine Fläche von 3,1 Hektar, das kleinste Feld 0,19 ha und das größte 22,0 Hektar.

3.8.1.2 Maispollensammler

3.8.1.2.1 Räumliche Verteilung

Auch bei den Pollensammlern, die für den Mais aufgestellt wurden, lag eine zufällige Verteilung und keine räumliche Autokorrelation vor (siehe Tab. 46).

Tab. 46: Nearest Neighbor Analyse und Moran's I Statistik der Maispollensammler

Nearest Neighbor Analyse	
Mean Nearest Neighbor Distance	1.565 m
Standard Dev of Nearest:	
Neighbor Distance	409 m
Minimum Distance	884 m
Maximum Distance	19.181 m
Based on Bounding Rectangle:	
Area	241.085.057 sq m
Mean Random Distance	1.098 m
Mean Dispersed Distance	2.359 m
Nearest Neighbor Index	1,426
Standard Error	81,16 m
Test Statistic (Z)	5,758
p-value (one tail)	0,0001
p-value (two tail)	0,0001
Moran's I Statistik	
Sample size	50
Moran's "I"	0,0162
Spatially random (expected) "I"	-0,0204
Standard deviation of "I"	0,0249
Normality significance (Z)	1,4679
Randomization significance (Z)	1,4933

3.8.1.2.2 Pollensammlertypen

Zum Einsatz kamen ebenfalls Sigma-2-Sammler und Pollenmassenfilter. Die einfache beschreibende Statistik ist in Tab. 47 aufgeführt. Für die Sigma-2-Sammler lagen die Werte wochenweise vor und für den Pollenmassenfilter für den gesamten Versuchszeitraum. Nachteilig für die wochenweise Auswertung war – wie beim Raps – der hohe Anteil an Nullwerten (siehe Tab. 48).

Tab. 47: Beschreibende Statistik der Gesamtergebnisse der Sigma-2-Sammler und Pollenmassenfilter für die Maispollen

	Mittelwert	Standard- abweichung	Median	Minimum	Maximum
Sigma-2-Sammler	23	41	5	0	152
Pollenmassenfilter	12.085	15.693	5.320	1.080	68.600

Tab. 48: Anzahl der Nullwerte der Sigma-2-Sammler bei den Maispollen

	27. Woche	28. Woche	29. Woche	30. Woche
Nullwerte	15	8	17	40
Anteil der Nullwerte an der Gesamtzahl	30%	16%	34%	80%

Im Gegensatz zu den Ergebnissen bei den Rapspollen lag zwischen den Gesamtwerten der Sigma-2-Sammler und der Pollenmassenfilter ein signifikanter Zusammenhang vor, der auch bei Weglassung der größeren Werte gegeben war (siehe Tab. 49).

Tab. 49: Rangkorrelation zwischen den Summenwerten des Sigma-2-Sammlers und des Pollenmassenfilters mit allen Sammlern (N=49) und unter nicht Berücksichtigung der 3 höchsten Werte

			Pollenmassenfilter
Spearmansche Korrelationskoef-	N=49	Sigma-2-	0,8752
fizienten		Sammler	
Prob > r under H0: Rho=0			< 0,0001
Spearmansche Korrelationskoef-	N=46	Sigma-2-	0,8528
fizienten		Sammler	
Prob > r under H0: Rho=0			< 0,0001

3.8.1.2.3 Maisfelder

Im Untersuchungsgebiet lagen im Juni 2003 869 Maisfelder vor, die Gesamtfläche der Felder betrug 2.361 Hektar. Das mittlere Feld hatte eine Fläche von 2,7 Hektar, das kleinste Feld 0,04 ha und das größte 19,3 Hektar.

3.8.1.3 Wind

Die Windwerte stammen von drei Wetterstationen des Agrarmessnetzes, deren Lage und Entfernung in Tab. 18 ersichtlich ist. Die Windverhältnisse zeigten trotz der entfernten Lage vergleichbare Werte (siehe Tab. 19).

Vergleicht man den Zeitraum, in dem der Raps blühte, so war die vorherrschende Windrichtung West und Südwest (siehe Anhang A10.5). Diese beiden Windrichtungen wiesen auch die höchsten Windgeschwindigkeiten auf (siehe Anhang A10.4). Allerdings dominierte vor allem zu Beginn der Beobachtungsperiode die Windrichtung West, gegen Ende dann Südwest. Nach den Sigma-2-Messungen war der Rapspollenflug in der 18. Woche besonders intensiv. In dieser Woche wurden 49% der Pollen vor-

gefunden. Zu diesem Zeitpunkt war der Westwind am zweitstärksten und hatte die meisten Beobachtungen. Der Südwestwind wehte zwar intensiv, aber nur kurz.

In der 27. bis zur 30. Woche (Maisblüte) waren die Windgeschwindigkeiten aus den verschiedenen Himmelsrichtungen mit Ausnahme Süd und Südosten wesentlich ausgeglichener (siehe Anhang A10.6). Bei der Verteilung der Windrichtungen dominierten West und Süd (siehe Anhang A10.7). Nach den Sigma-2-Messungen wurden in der 27. Woche 45% und in der 28. Woche 46% der Maispollen gesammelt. In diesen beiden Wochen war die mittlere Windgeschwindigkeit aus Süden am geringsten (siehe Anhang A10.8) und der Wind aus Südosten hatte den geringsten Anteil an der Verteilung der Windrichtungen (siehe Anhang A10.9).

3.8.1.4 Temperatur und Niederschlag

Die Werte für Temperatur, Niederschlag, Sonnenscheindauer und Globalstrahlung lagen als Rasterdaten des Deutschen Wetterdienstes vor. Die Rastergröße betrug 1 km * 1 km. Es handelte sich um Summenwerte für den jeweiligen Monat.

Aus einer Voruntersuchung ergab sich der Hinweis, dass der Pollenflug nach einer höheren Temperatur beginnt und kein Regen vorliegen darf. In Tab. 50 sind die statistischen Kennwerte gewichtet mit der Rasteranzahl der Daten des Deutschen Wetterdienstes für den Monat April und damit für die Flugzeit der Rapspollen aufgeführt.

Tab. 50: Beschreibende Statistik der Temperatur (1/10 °C) und der Regensummen (mm/m²) des Monats April

Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Maximum	Median		
Regen						
72,67	7,715	60	85	73		
Temperatur						
74,22	10,337	70	77	75		

3.8.2 Analyse der Rapspollenverbreitung

3.8.2.1 Auswahl der Variablen

Folgende Variablen wurden in einem ersten Schritt untersucht:

- Entfernung zum nächsten Feldmittelpunkt,
- Entfernung bis zum nächsten Feldrand,
- Feldfläche,
- Feldumfang,

- Richtungswinkel zum nächsten Feld,
- Fläche und Umfang von Feldgruppen¹²².

In Tab. 51 sind die beschreibenden Statistiken der genannten Variablen mit Ausnahme der Windrichtung ersichtlich. Aus der Differenz zwischen dem arithmetischen Mittelwert und dem Median wird deutlich, dass jeweils eine linkssteile Verteilung vorlag. Eine Überprüfung erbrachte, dass die Lognormal-Verteilung die beste Anpassung erbrachte. Die entsprechenden Tests zeigten jeweils eine hochsignifikante Anpassung. Aufgrund der Kreisverteilung der Winkel musste hier die entsprechende Sinus- / Kosinus-Transformation vorgenommen werden.

Aus Tab. 52 ist ersichtlich, dass neben der Windrichtung die Entfernungen zum nächsten Feldrand als erklärende Variablen in Frage kommen. Um den Einfluss der Windrichtung und der Entfernung zu berücksichtigen, wurde die Entfernung zum jeweils nächsten Feld in den Azimuten West und Südwest festgelegt (siehe Abb. 63). Des Weiteren wurde zur Verifikation noch die Entfernung zum nordwestlichen Feldrand mit hinzugenommen.

¹²² Bei der Variable Feldgruppe wurden Felder, die in unmittelbarer Nachbarschaft lagen, zusammengefasst.

Tab. 51: Beschreibende Statistik zu den 50 Rapsfeldern, die den Rapspollensammlern am nächsten lagen. Variablen: Entfernung zum nächsten Feld, Feldgröße, Feldumfang, Fläche und Umfang von Feldgruppen

Variable	Mittelwert	Standardabweichung	Median	Minimum	Maximum
Entfernung zum nächsten Feldmittelpunkt (m)	489	376	352	127	1.572
Entfernung zum nächsten Feldrand (m)	391	375	263	0	1.509
Feldfläche (m²)	26.431	19.455	20.129	4.347	91.298
Feldumfang (m)	730	265	664	336	1.465
Feldgruppe Fläche (m²)	58.367	54.457	38.462	5.876	206.174
Feldgruppe Umfang (m)	1.507	1.179	1.119	336	5.642

Tab. 52: Korrelationsanalyse des natürlichen Logarithmus der Entfernungen, Flächengrößen und Umfänge der Rapsfelder mit dem natürlichen Logarithmus der Rapspollenanzahlen des PMF

Anzahl Pollen des PMF (ln)	Entfernung zum nächsten Feldmittel- punkt (ln)	Entfernung zum nächsten Feldrand (ln)	Feldfläche (ln)	Feldumfang (ln)	Feldgruppe-Fläche (ln)	Feldgruppe- Umfang (ln)
Pearson Korrelations- koeffizient	-0,465	-0,496	-0,174	-0,221	0,180	0,114
Wahrscheinlichkeit > r unter H ₀ : Rho=0	0,0007	0,0002	0,2271	0,1228	0,2109	0,4288
Anzahl Beobachtungen	50	50	50	50	50	50

Tab. 53: Korrelationsanalyse des natürlichen Logarithmus der Entfernungen der Rapsfelder mit dem natürlichen Logarithmus der Rapspollenanzahlen des PMF bzw. *Winkel-Linear-Korrelation nach Johnson & Wehrly¹²³

Anzahl Pollen des PMF (ln)	Winkel zum nächs- ten Feld - Rand*	Entfernung zum nächsten westli- chen Feldmittel- punkt (ln)	Entfernung zum nächsten westli- chen Feldrand (ln)	Entfernung zum nächsten südwestli- chen Feldmittel- punkt (ln)	Entfernung zum nächsten südwestli- chen Feldrand (ln)	Entfernung zum nächsten westlichen oder südwestlichen Feldrand (ln)
Pearson / *Winkel– Linear–Korr,- koeffizient	0,866	-0,584	-0,586	-0,585	-0,581	-0,629
Wahrscheinlichkeit > r unter H ₀ : Rho=0	< 0,001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
Anzahl Beobachtungen	50	47	47	44	44	49

¹²³ In Zar (1996, 662)

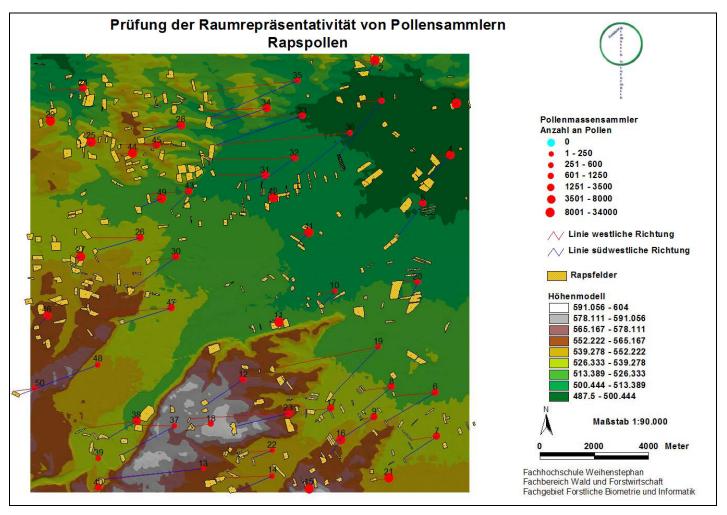


Abb. 63: Rapsfelder und Standorte der Pollensammler und deren westliche und südwestliche Verbindungslinie

3.8.2.2 Standorte mit Pollenanzahl unter der Nachweisgrenze (PMF)

Betrachtet wurde die Aufstellung der Pollensammler, bei denen die Anzahl der Rapspollen beim PMF unter der Nachweisgrenze lagen, unter der Annahme, dass die Hauptwindrichtung die wichtigste erklärende Variable darstellt. Damit ergaben sich zwei Ursachen für die geringen Werte, nämlich dass sich kein Rapsfeld in der Hauptwindrichtung bzw. sich ein Hindernis vor dem Pollensammler bzw. hinter dem Rapsfeld befand (siehe Tab. 54). Für die geringen Werte des Pollensammlers 10 konnten keine Hinweise gefunden werden. Der Wert lag weit unter dem durch den Sigma-2-Pollensammler ausgewiesenen Wert. Desgleichen gilt für die Ergebnisse des Pollenmassenfilters Nr. 20. Für den Pollensammler 14 wird auf das folgende Kapitel verwiesen.

Tab. 54: Ursachen der Pollenanzahl an der Beobachtungsgrenze beim Massenpollensammler

Pollensammler-	Feld in Hauptwindrichtung	Wald
Nr.		
10	-	-
14	-	-
36	Größte Entfernung zum nächst-	Wald zwischen Pollensammler und Raps-
	gelegenen westlichen Rapsfeld (4,97	feld im Westen und Südwesten
	km)	
37		Wald zwischen Pollensammler und Raps-
		feld im Westen und Südwesten
39	Kein Feld in den Hauptwindrichtungen	Wald zwischen Pollensammler und Raps-
		feld im Westen und Südwesten
48	Kein Feld in der westlichen Windrich-	Wald zwischen Pollensammler und Raps-
	tung	feld im Westen und Südwesten

3.8.2.3 Regressionsanalyse

Da die Windrichtung von entscheidender Bedeutung war, wurden drei Windrichtungen untersucht und zwar West, Südwest und Nordwest. Die Windrichtung Nordwest wurde ausgewählt, da sie die dritthöchste Windgeschwindigkeit aufwies.

Die korrigierten Bestimmtheitsmaße sind in Tab. 55 aufgeführt. Die Regression zwischen dem natürlichen Logarithmus von Pollenzahlen und der Entfernung zum westlichen Feldrand erbrachte ein Bestimmtheitsmaß von 0,34. Bei der Entfernung zum Mittelpunkt der Felder lag der Wert geringfügig niedriger, was insbesondere an den Sammlern mit geringer Entfernung zum Feld lag.

Das Bestimmtheitsmaß zum südwestlichen Rand lag in einer vergleichbaren Größenordnung. Durch die Entfernung der Werte, deren Höhe an der Beobachtungsgrenze lag, kam es nicht zu einer signifikanten Verbesserung, da für die meisten keine Entfernung vorlag und sie deshalb fehlende Werte darstellten.

Betrachtet man die Residuen der Regressionsanalyse mit den Variablen Logarithmus von Pollenzahlen und Entfernung zum Rand des westlichen Feldes, so fallen insbesondere die Pollensammler 13, 14, 18, 22, 40 und 50 auf (siehe Abb. 64). Alle Sammler liegen im Südwesten des Untersuchungsgebietes, das durch sein stark bergiges Gelände auffällt. Die beobachteten Werte lagen weit unter den vorhergesagten. Es ist zu vermuten, dass dort die Windverhältnisse vom übrigen Gebiet abweichen. Auch bei der Regression zum südwestlichen Feld stellten wiederum die Pollensammler 13, 14, 22 und 40 Ausreißer dar. Unter Weglassung dieser Werte erhöht sich das Bestimmtheitsmaß wesentlich. Eine Verwendung der aus dem Höhenmodell abgeleiteten Entfernung erbrachte keine wesentliche Verbesserung. Im Untersuchungsgebiet ist die Differenz zwischen der horizontalen und der schrägen Entfernung mit 1.111 m und 1.121 m auch nur gering.

Wurde nur die kürzeste Entfernung aus beiden Windrichtungen ausgewählt, so kam es zu einer Verschlechterung der Anpassungsgüte. Die lineare Kombination aus beiden Windrichtungen war geringfügig besser, allerdings fanden dort nur Werte Eingang, bei denen Entfernungen zum westlichen und südwestlichen Feld vorlagen. Auch eine gewichtete Regression unterschied sich nicht von der westlichen Windrichtung, wobei als Gewicht die Windgeschwindigkeit, die Häufigkeit und eine Kombination von beiden untersucht wurden.

Das Bestimmtheitsmaß zum nordwestlichen Feldrand bewegte sich bei den genannten Kriterien im Bereich von 0,14 bis 0,17 und war damit als Erklärung für die Pollenausbreitung unwesentlich.

Die Parameter für die Regression zum westlichen Feldrand – ohne die Sammler mit Werten an der Beobachtungsgrenze und die Sammler im Südwesten des Untersuchungsgebietes – sind in Tab. 56 aufgeführt. Die Residuenanalyse zeigte, dass die Voraussetzung der Homoskedastizität und der Normalverteilung erbracht waren.

Tab. 55: Korrigiertes Bestimmtheitsmaß für die Windrichtungen West, Südwest und Nordwest

	Korrigiertes Bestimmtheitsmaß
Alle PMF	
Entfernung zum nächsten westlichen Feldrand	0,340
Entfernung zum nächsten südwestlichen Feldrand	0,333
Entfernung zum nächsten nordwestlichen Feldrand	0,170
Ohne PMF mit Hindernissen	
Entfernung zum nächsten westlichen Feldrand	0,390
Entfernung zum nächsten südwestlichen Feldrand	0,363
Ohne PMF im Südwesten	
Entfernung zum nächsten westlichen Feldrand	0,620
Entfernung zum nächsten südwestlichen Feldrand	0,540
Entfernung zum nächsten nordwestlichen Feldrand	0,176
Lineare Kombination westlicher und südwestlicher Feldrand	0,639
Geringste Entfernung zum westlichen oder südwestlichen Feldrand	0,555
Lineare Kombination westlicher und südwestlicher Feldrand / Gewicht Windgeschwindigkeit	0,693

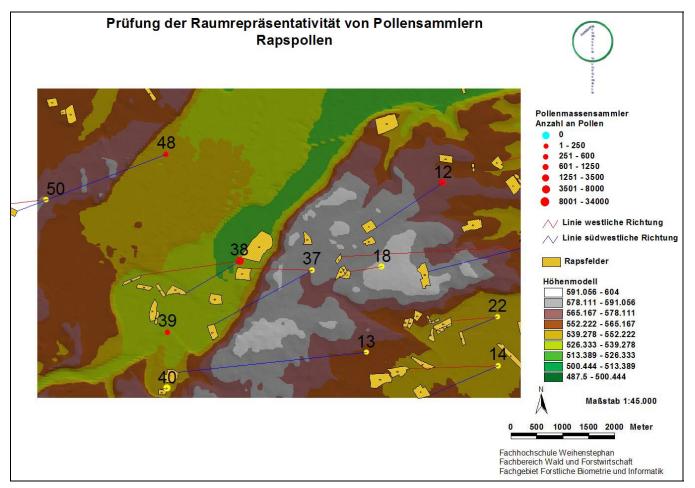


Abb. 64: Lage der Ausreißer bei der Regressionsanalyse mit den Variablen Logarithmus von Rapspollenzahlen und der Entfernung zum Rand des westlichen Feldes.

Tab. 56: Resultate der Regressionsanalyse zwischen dem natürlichen Logarithmus der Pollenanzahl PMF und der Entfernung zum westlichen Feldrand (ohne Pollensammler 13, 22, 40 und 50 und Sammler, bei denen kein Feld in westlicher Richtung vorgelagert war)

Abhängige Variable: Anzahl Pollen PMF (ln)

Unabhängige Variable: Entfernung zum nächsten westlichen Feldrand in m (ln)

Anzahl der Beobachtungen: 38

	Varianzanalyse						
Quelle		Freiheitsgrade	Summe der Quadra- te	Mittleres Quadrat	F-Statistik	Pr > F	
Modell		1	27,200	27,200	61,31	<0,0001	
Fehler		36	15,971	0,444			
Korrigierte	Sum-						
me		37	43,171				

Wurzel MSE	0,666	R-Quadrat	0,630
Abhängiger Mit-			
telwert	8,429	Korr. R-Quadrat	0,620
Variations-			
koeffizient	7,901		

	Parameterschätzwerte						
Variable		Freiheitsgrade	Parameter-Schätzer	Standardfehler	t-Wert	Pr > t	
Konstante		1	13,419	0,646	20,76	<0,0001	
Entfernung	zum						
westlichen	Feld-						
rand (ln)		1	-0,763	0,097	-7,83	<0,0001	

3.8.2.4 Wald zwischen Pollenmassenfilter und Rapsfeldern

Bei insgesamt zehn Pollensammlern lag Wald zwischen den Sammlern und dem am nächsten westlich gelegenen Rapsfeld. Beim Pollensammler Nr. 36 kam zu diesem Hindernis noch die größte Entfernung im Untersuchungsgebiet hinzu. Gemessen wurde die Distanz zwischen Rapsfeld und Wald und die Distanz zwischen Pollensammler und Wald. Die beiden Entfernungen wurde mit der Pollenanzahl des PMF verglichen. Eine statistische Aussage ist bei neun Fällen nicht möglich. Aus den vorliegenden Daten kann nur der Hinweis abgelesen werden, dass bei einer geringen Entfernung von circa

85 Meter zwischen Rapsfeld und Wald oder Wald und Pollensammler die Verbreitung eingeschränkt wurde.

3.8.2.5 Meteorologische Daten

Die Korrelationsanalyse erbrachte, dass keine Beziehung zwischen den großflächigen Temperatur- bzw. Regensummenwerten und den Pollenanzahlen besteht.

Tab. 57: Korrelationsanalyse zwischen der Anzahl der Rapspollen des PMF und den Summenwerten von Temperatur bzw. Regen der westlich gelegenen Felder während des Monats April

Pollenanzahl des PMF (ln)	Temperatur April	Regensumme Ap- ril
Spearmansche Korrelationskoeffizienten (N = 44)	-0,269	0,235
$ Prob > r \text{ under } H_0$: Rho=0	0,078	0,125

3.8.2.6 Geländeform

Neben den genannten Einflussgrößen wurde auch die Geländeform untersucht. Wie aus Abb. 65 ersichtlich ist, sind die Geländeformen zwischen Rapsfeld und Pollensammler sehr variabel. Auch mehrere Klassifizierungen erbrachten keinen Zusammenhang, sondern nur Hinweise darauf, dass ein Gelände mit hoher Reliefenergie sich nachteilig auf die Vorhersage der Pollendeposition auswirkt.

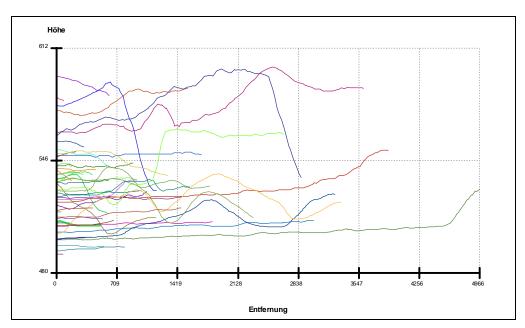


Abb. 65: Geländeformen zwischen Rapsfeldern und Pollensammlern

3.8.3 Analyse der Maispollenverbreitung

3.8.3.1 Auswahl der Variablen und Regressionsanalyse Folgende Variablen wurden in einem ersten Schritt untersucht:

- Entfernung zum nächsten Feldrand,
- Feldfläche,
- Feldumfang,
- Richtungswinkel zum nächsten Feld.

In Tab. 58 sind die beschreibenden Statistiken der genannten Variablen ersichtlich. Eine Überprüfung erbrachte ebenfalls, dass eine lognormale Transformation erforderlich war. Aufgrund der Kreisverteilung der Winkel musste wiederum die entsprechende Sinus- / Kosinus- Transformation vorgenommen werden.

Die Korrelationsanalyse mit den transformierten Werten zeigte, dass der Zusammenhang zwischen den beiden Sammlertypen höher ist, als die Rangkorrelation aufwies. Insbesondere bei den Sigma-2-Pollensammlern zeigte sich ein besonders hoher und signifikanter Zusammenhang mit der Entfernung zum nächst gelegenen Feldrand mit einem Korrelationskoeffizienten von -0,7 und etwas geringer mit der Windrichtung (siehe Tab. 59).

Eine Regressionsanalyse zwischen dem Ergebnis der Sigma-2-Sammlern und der Entfernung zum nächsten Feld erbrachte ein Bestimmtheitsmaß von 0,49. Als Ausreißer erwies sich der Sammler Nr. 29. Ohne diesen Sammler erhöhte sich das Bestimmtheitsmaß auf 0,54. Da die Korrelationsanalyse zeigte, dass auch die Windrichtung von Bedeutung ist, wurde die Entfernung zum nächst gelegenen Feld ohne Berücksichtigung der südlichen Felder ermittelt, da die Windgeschwindigkeit von Süden in den beiden Wochen mit den höchsten Pollenwerten am geringsten war. Dadurch erhöhte sich das Bestimmtheitsmaß auf 0,65 und ohne den Sammler Nr. 29 auf 0,71. Die Verteilung der Pollensammler und der Maisfelder ist in Abb. 66 dargestellt.

Die Parameter für die Regression zum nächstgelegenen Feldrand ohne Berücksichtigung der Felder im Süden sind in Tab. 60 aufgeführt. Die Residuenanalyse zeigte, dass die Voraussetzung der Homoskedastizität und der Normalverteilung erbracht waren.

Tab. 58: Beschreibende Statistik zu den Maisfeldern, die den 49 Pollensammlern am nächsten lagen (Variablen: Entfernung zum nächsten Feldrand, Feldgröße und Feldumfang)

Variable	Mittelwert	Standardabweichung	Median	Minimum	Maximum
Entfernung zum nächsten Feldrand (m)	141	226	484	0	1.190
Feldfläche (m²)	32.702	27.932	23.139	5.117	131.204
Feldumfang (m)	838	307	776	430	1.717

Tab. 59: Korrelationsanalyse des natürlichen Logarithmus von Entfernung, Flächengrößen und Umfänge der Maisfelder mit dem natürlichen Logarithmus der Maispollenanzahlen des PMF sowie des Sigma-2-Pollensammlers bzw. *Winkel-Linear-Korrelation nach Johnson & Wehrly¹²⁴

	Sigma-2 / PMF (ln)	Entfernung zum nächsten Feld- rand (ln)	Feldfläche (ln)	Feldumfang (ln)	Winkel zum nächsten Feldrand*
		P	MF (ln)		
Pearson / Linearer Winkel* Korrelations-koeffizienten	0,901	-0,664	0,365	0,146	0,362
Wahrscheinlichkeit $> r $ unter H_0 : Rho=0	<0,0001	<0,0001	0,010	0,316	<0,0001
	Sigma-2 (ln)				
Pearson / *Winkel Linear Kor- relations-koeffizienten	0,901	-0,705	0,381	0,184	0,515
Wahrscheinlichkeit > r unter H ₀ : Rho=0	<0,0001	<0,0001	0,007	0,205	<0,0001

¹²⁴ In Zar (1996, 662)

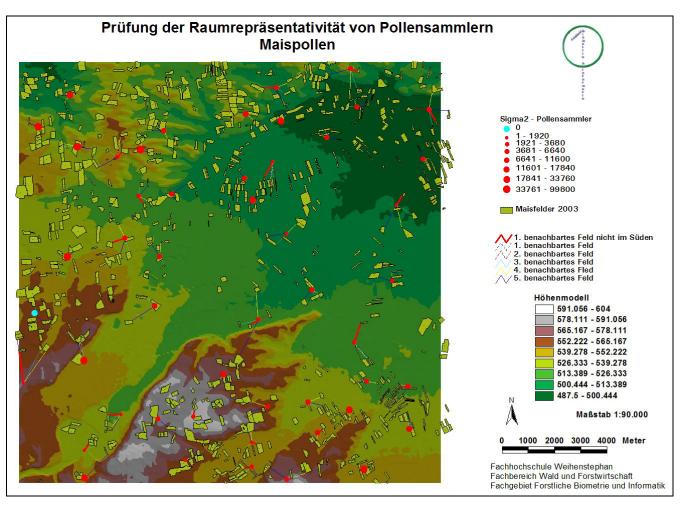


Abb. 66: Maisfelder und Sigma-2-Pollensammler und deren Verbindungslinien

Tab. 60: Resultate der Regressionsanalyse zwischen dem natürlichen Logarithmus der Anzahl der Pollen des PMF und der Entfernung zum Feldrand (ohne Berücksichtigung der Felder im Süden sowie dem Pollensammler 29)

Abhängige Variable: Anzahl Pollen (ln) PMF

Unabhängige Variable: Entfernung zum nächsten Feldrand in m (ln)

Anzahl der Beobachtungen: 48

Varianzanalyse						
	Freiheits-	Summe	der	Mittleres	F-Statistik	Pr > F
Quelle	grad	Quadrate		Quadrat	r-Statistik	Г1 / Г
Modell	1	40,909		40,909	75,29	<0,0001
Fehler	46	24,995		0,543		
Korrigierte Summe	47	65,905				

Wurzel MSE	0,737	R-Quadrat	0,621
Abhängiger Mittelwert	8,853	Korr. R-Quadrat	0,613
Koeff.var	8,326		

Parameterschätzwerte						
Variable		Parameter- schätzer	Standardfehler	t-Wert	Pr > t	
Konstante	1	10,766	0,245	43,98	<0,0001	
Entfernung zum Feldrand ohne Süden (ln)	1	-0,469	0,054	-8,68	<0,0001	

Neben der Entfernung zum nächsten Feld wurde auch die Entfernungen zu den 2., 3. und 4. nächstem Feldern errechnet. Die entsprechende Korrelationsanalyse ist in Tab. 61 aufgeführt. Zwar ließen sich noch signifikante Koeffizienten bestimmen, deren Höhe hatte aber geringen Einfluss. Eine Verbesserung der Regressionsanalyse war durch die Aufnahme einer weiteren Entfernung nicht gegeben.

Tab. 61: Korrelationsanalyse des natürlichen Logarithmus der Entfernung zum nächsten bis zum viertnächsten Maisfeld und dem natürlichen Logarithmus der Maispollenanzahlen der Sigma-2-Pollensammler

Sigma-2- Pollensammler	Entfernung zum nächsten Feld in m (ln)	Entfernung zum zweitnächsten Feld in m (ln)	Entfernung zum drittnächsten Feld in m (ln)	Entfernung zum viertnächsten Feld in m (ln)
Pearson Korrelati- onskoeffizient	-0,742	-0,327	-0,474	-0,373
Wahrscheinlichkeit > r unter H ₀ : Rho=0		0,0235	0,0007	0,009

3.8.3.2 Meteorologische Daten

Die Korrelationsanalyse erbrachte, dass keine Beziehung zwischen den großflächigen Temperatur- bzw. Regensummenwerten und den Pollenzahlen besteht.

Tab. 62: Korrelationsanalyse der Pollenanzahl der Sigma-2-Pollensammler und den Werten von Temperatur bzw. Regensumme der am nächsten gelegenen Feldern (ohne die im Süden gelegenen Felder) während des Monats Juli

Pollenanzahl des Sigma-2 (ln)	Temperatur	Regensumme
	Juli	Juli
Spearmanscher Korrelationskoeffizient	0,135	-0,196
Prob > r under H0: Rho=0	0,393	0,258
Anzahl der Beobachtungen	42	35

3.8.4 Diskussion der geostatistischen Modellierung

3.8.4.1 Material und Methoden

Die 50 Pollensammler-Standorte wurden durch Stratifizierung im Untersuchungsgebiet verteilt. Die Kartierung der Felder erfolgte mit Hilfe von Messtrupps. Der Versuch, die Ergebnisse der Rapsfelderinventur anhand von LANDSAT-Satellitenbildern nachzuprüfen, scheiterte am Angebot an wolkenfreien Szenen im Versuchszeitraum. In einer Szene (Aufnahmezeitpunkt dreieinhalb Wochen vor Versuchsbeginn) ließen sich nur wenige Rapsfelder nachweisen.

Bei den Sigma-2-Pollensammlern verhinderten die insgesamt niedrigen Werte und die damit zusammenhängende hohe Anzahl an Nullwerten eine intensivere Auswertung der Wochenergebnisse.

Besonders nachteilig erwies sich bei der Auswertung, dass nur auf die Ergebnisse von drei agrarmeteorologischen Wetterstationen zurückgegriffen werden konnte (Windrichtungsdaten lagen von einer Station außerhalb des Untersuchungsgebietes vor). Diese zeigten zwar vergleichbare Verläufe an Windgeschwindigkeit, lagen aber in der Mitte und im Norden des Untersuchungsgebietes. Insbesondere bei den Rapspollen, die auch weitere Strecken überwinden konnten und bei denen die Anzahl der Felder nur etwa ein Drittel der Maisfelder betrug, konnte deshalb die Verbreitung im hügeligen Süden und Südwesten des Untersuchungsgebietes nicht verifiziert werden.

Die Angaben über Temperatur, Regen, Sonnenscheindauer und Globalstrahlung des Deutschen Wetterdienstes lagen nur als Monatssummen vor und nur als 1 * 1 km Raster und waren damit zu ungenau.

Die Analyse wurde begonnen bei der Rapspollenverbreitung mit Hilfe von klassischen Methoden der Geostatistik. Es wurden verschiedene Kriging-Verfahren, wie Ordinary-, Block- und Cokriging eingesetzt, um Oberflächen der Pollenverbreitung zu generieren. Die damit erreichten Fehler waren aber zu hoch. Bei den geostatistischen Verfahren der Bayes-Statistik, der Logistischen Regression, der Fuzzy-Logic-Methode und der Neuralen Netze ist ein Richtungsbezug nicht vorgesehen. Es wurde deshalb mit der Korrelations- und Regressionsanalyse, aufbauend auf den Ergebnissen des Geo-Informationssystems, gearbeitet.

3.8.4.2 Analyse der Rapspollenverbreitung

Bei der Analyse der Rapspollen waren die anfänglich vorgefundenen Korrelationskoeffizienten gering. Erst mit Hilfe der Regressionsanalyse konnten die Daten zunächst gruppiert werden. Die Entfernung zum nächsten westlich gelegenen Feld stellte aufgrund der Windverhältnisse die entscheidende Variable dar. Mit Abstand folgte die Distanz zu den südwestlichen Feldern. Belegt wird die Bedeutung der Hauptwindrichtung West durch den Umstand, dass Sammler ohne westlich vorgelagerte Felder nur sehr geringe Pollenanzahlen aufwiesen, bzw. in der Hauptwindrichtung liegende Wälder ebenfalls die Ausbreitung verhinderten.

Die Feld- oder Feldgruppengröße – des nächstgelegenen Feldes – als Maßstab für das Potential an verfügbaren Pollen hatte keinen signifikanten Einfluss auf die Sammelergebnisse. Da im Westen oder Südwesten keine weiteren Rapsfelder – nachrangig zu dem am nächsten gelegenen Rapsfeld – vorkamen, konnte dieser Einfluss nicht untersucht werden.

Im bergigen Teil des Untersuchungsgebietes verliefen die Täler in Nord-Südrichtung. Dort wurde die enge Relation zur Windrichtung West nicht vorgefunden. Da es in diesem Teil des Gebietes auch keine Wetterstation gab, konnte keine Verifikation der Ergebnisse durchgeführt werden.

Für die Werte der Pollenmassenfilter mit den Nummern 10 und 20 konnte keine Begründung gefunden werden. Sie lagen weit unter den Ergebnissen der entsprechenden Sigma-2-Pollensammler und es waren keine Auffälligkeiten im Gelände oder in der Landnutzung vorhanden.

3.8.4.3 Analyse der Maispollenverbreitung

Die Analyse konnte im Fall der Maispollen wesentlich Ziel führender durchgeführt werden, da hier die Daten der beiden Pollensammlertypen eng miteinander korreliert waren und auf die Wochenergebnisse der Sigma-2-Pollensammler zurückgegriffen werden konnte. Entfernung zum nächsten Feld und Berücksichtung der Felder in der Richtung der höheren Windgeschwindigkeit, waren die wichtigsten Einflussgrößen. Die Feld- oder Feldgruppengröße – des nächstgelegenen Feldes – als Maßstab für das Potential an verfügbaren Pollen hatte keinen signifikanten Einfluss auf die Sammelergebnisse. Das gleiche gilt auch für die weiter weg gelegenen Felder beim Mais.

3.8.4.4 Ausblick

Besonders die Raps-, aber auch die Maispollen waren bei der vorliegenden Untersuchung anscheinend in der Lage, weite Strecken zu überwinden. Trotzdem beziehen sich die vorgefundenen statistischen Beziehungen jeweils auf die Relation nächstes Feld und Sammler. Damit konnten rund 65 bzw. 70 Prozent der Streuung erklärt werden. Eine weitere Eingrenzung wäre nur möglich, wenn die Pollen entsprechende Markierungen aufwiesen, die einen Rückschluss auf jedes einzelne Ursprungsfeld zuließen. Transgene Gensequenzen könnten solche Markierungen sein, wenn jeweils eine Sequenz stellvertretend für ein Feld wäre und sich somit jeder Pollen eindeutig zurückverfolgen ließe.

4 Bewertung der Ergebnisse und Schlussfolgerungen

4.1 Pollendeposition auf mesoskaliger Ebene

Durch die Untersuchung konnte gezeigt werde, dass Pollen der Kulturpflanzen Raps und Mais nicht nur in der direkten Umgebung eines Feldes (<200 m) auftreten, sondern im gesamten Agrarökosystem präsent sind. Ein wenig überraschend war der Nachweis von Maispollen in allen PMF-Proben, trotz der hohen Sinkgeschwindigkeit des Pollens. Vermutlich begünstigen die Windverhältnisse im Sommer die Verbreitung. Die Frage der Befruchtungsfähigkeit ist unabhängig von der Ausbreitung des Pollens zu beurteilen und war nicht Gegenstand der Untersuchungen.

4.2 Technische Pollensammler

Die beiden verwendeten passiven Pollensammlertypen (Sigma-2 und PMF) waren in ihrer Kombination ein gut einzusetzendes System, das für Feldmessungen außerordentlich gut geeignet erscheint. Besonders hervorzuheben sind die einfache Handhabung und die Unabhängigkeit von einer Stromversorgung. Dadurch konnten die Pollensammler von einem Team aus Hilfskräften nach kurzer Einweisung selbständig aufgebaut, regelmäßig die Proben gewechselt und abgebaut werden. Die Unabhängigkeit von einer Stromversorgung ermöglichte das freie Aufstellen im Gelände. Lediglich die Wünsche der Eigentümer, sowie örtliche Gegebenheiten (Erreichbarkeit etc.), mussten hierbei beachtet werden.

Die Versendung der Proben nach Freiburg (DWD) zur Auswertung über bildanalytische Verfahren verlief Dank des vom DWD erprobten Rücksende- und Beschriftungsverfahrens reibungslos. Die Versendung der Proben an das Ökologie Büro Hofmann nach Bremen wurde ebenfalls entsprechend eines vorgegebenen Protokolls durchgeführt und verlief gleichfalls reibungslos. Für ein Monitoring größeren Maßstabs scheint es daher unerlässlich, exakte Protokolle zur Verfügung zu haben, in welcher Weise die Proben genommen werden müssen, wie die Beschriftung zu erfolgen hat und wie der Versand zu welchen Terminen erfolgen soll.

Die beiden technischen Pollensammler haben die Erwartungen hinsichtlich der Sammelmenge an Pollen und die Auswertbarkeit der Proben, die an sie gestellt wurden, erfüllt. Wie zu erwarten war, hat der PMF deutlich mehr Pollen gesammelt als der Sigma-2-Sammler. Da beide Sammler unterschiedliche Auswertemöglichkeiten bieten, ergänzen sie sich ideal. Der Sammelzeitraum von ca. 4 Wochen (jeweils über eine gesamte Blühphase von Raps bzw. Mais) erscheint für den PMF optimal. Der Sammelzeitraum von lediglich einer Woche für den Sigma-2 eröffnet zwar die Möglichkeit, die Ergebnisse mit einer größeren zeitlichen Auflösung zu betrachten, hat allerdings den Nachteil,

dass relativ viele Proben keine Zielpollen (Raps oder Mais) enthielten. Hier scheint es angebracht, die Expositionszeitraum auf 2 Wochen zu erhöhen. Ein zu großer Zeitraum birgt die Gefahr einer Überbelegung durch andere Pollen (z. B. Koniferen). Dadurch kann die Bildanalyse gestört werden.

4.3 Bildanalyse

Im Rahmen des vorliegenden Projektes wurde ein vollautomatischer Suchlauf zum Auffinden der Pollen auf dem Präparat und anschließendem automatischem Bildeinzug realisiert. Auf dieser Grundlage konnte ein halbautomatisches Verfahren eingesetzt werden, bei dem die Ziel-Pollen der Misch-Präparate identifiziert, ihre Position bestimmt und anschließend für eine visuelle Bestimmung durch geschultes Personal automatisch angefahren werden konnte. Außerdem konnte die Gesamtpollenzahl der Präparate automatisch bestimmt werden. Die vollautomatische Erkennung der Zielpollen konnte im Lauf des Projektes nicht erzielt werden. Allerdings beschleunigt das erreichte Verfahren die manuelle Pollenanalyse bereits erheblich. So konnten auch während des Projektverlaufs alle notwendigen Daten bereitgestellt werden.

Die automatische Bildanalyse ist eine Voraussetzung für ein größer angelegtes Monitoring, um zeitlich und finanziell einen hohen Probendurchsatz bewältigen zu können. Die bisherige halbautomatische Bildanalyse ist ein weit entwickeltes Verfahren, das bereits in diesem Stadium die Analyse von größeren Probenzahlen gewährleisten kann. Da die Entwicklung des Verfahrens zur automatischen Bildanalyse am DWD außerdem weiterbetrieben wird (Schultz et al. 2005), ist damit zu rechnen, dass mit den in Kapitel 3.1.8 angegebenen Verbesserungen und Weiterentwicklungen in naher Zukunft ein leistungsfähiges Instrument zur Bildanalyse von Sigma-2-Proben zur Verfügung steht. Damit könnten bei einem GVO-Monitoring kostengünstig auch größere Probenmengen bearbeitet und die Daten zeitgerecht geliefert werden.

4.4 Molekulargenetische Analyse

Der Nachweis von Raps- bzw. Maispollen in den untersuchten PMF-Proben war grundsätzlich möglich, jedoch nicht in jeder untersuchten Probe erfolgreich. Der Nachweis von Maispollen war tendenziell erfolgreicher als der von Rapspollen. Dennoch war weder ein Nachweis von transgener Raps- und Mais-DNA noch eine Quantifizierung des Anteils transgener DNA möglich.

Da das Verfahren zur Erfassung der Pollen mit Hilfe des PMF-Sammlers weitgehend standardisiert ist und es sich außerdem um das einzige Verfahren handelt, das für eine molekulargenetische Analyse theoretisch und praktisch genügend Pollen sammeln kann, sollte auf diesem Gebiet unbedingt weiter gearbeitet werden. Hinzu kommt, dass es sich

nicht um die Etablierung eines neuen Verfahrens handelt, sondern darum bestehende Verfahren anzupassen. Bei den Untersuchungen stellte sich heraus, dass es möglich ist, die Proben so weit aufzureinigen, dass es keine Inhibition mehr gab, die die PCR-Reaktion gestört hätte. Demnach ist ein Nachweis durchaus möglich. Möglicherweise ist aber für einen derartigen Nachweis immer noch nicht genügend DNA aus den Pollen zu extrahieren, um einen entsprechenden Nachweis mit bisherigen Standard-Methoden zu erbringen. Möglich wäre es folglich noch, die Verdünnungsschritte bei der Präparation zu reduzieren, um für die eigentliche PCR-Reaktion noch genügend Pollen (bzw. Soll-Genomkopien) in der Lösung für einen Nachweis zu haben. Ein verbessertes Verfahren zur Präparation der PMF-Proben wird derzeit vom Ökologie Büro Hofmann entwickelt. Erste Ergebnisse zeigen positive Auswirkungen auf die Sensitivität der PCR.

Hier besteht also deutlich noch weiterer Forschungsbedarf, wie die Proben zu behandeln und aufzuarbeiten sind, um die entsprechenden Nachweise führen zu können.

4.5 Datenaustauschprogramm

Das Datenaustauschprogramm JTieX wurde entwickelt, um Daten, die aus verschiedenen Programmen verschiedener Projektpartner stammen, untereinander auszutauschen. Für kleinere Projekte, wie in diesem Fall, ist eine speziell dafür entwickelte Datenaustausch-Routine in der Regel nicht nötig. So war es auch in diesem Projekt möglich, die Daten über gängige E-Mail-Programme aus den jeweiligen Datenhaltungsprogrammen auszutauschen. Dies ist bei einem großangelegten Langzeitmonitoring nicht mehr möglich.

Das entwickelte Datenaustauschprogramm JTieX erfüllt die Anforderungen an eine Datenaustausch-Routine für ein großflächiges Monitoring (z. B. bundesweit). Das Programm ist frei verfügbar und kann jederzeit von einer Behörde oder anderen beauftragten Institutionen genutzt werden (nach der lokalen Installation eines Style-Sheets für den Import/Export von Daten). Obwohl es primär als dezentrale Austausch-Routine konzipiert war, kann es auch zur zentralen Datenhaltung genutzt werden. Die Daten eines GVP-Monitorings könnten somit bei einer der verantwortlichen Behörden gepflegt werden.

4.6 Repräsentativität der Pollensammler-Standorte

Wie in Kapitel 2.8.1 dargestellt, kann die Repräsentativität einer Stichprobe im Grunde nur dann geprüft werden kann, wenn die Grundgesamtheit bekannt ist. Diese Erkenntnis liegt für die Zielgröße "Pollendeposition" für das Untersuchungsgebiet nicht vor.

Allerdings kommt dem Vorwissen über das Untersuchungsgebiet ein hohe Bedeutung für die Auswahl repräsentativer Standorte zu. Im Gegensatz zu einer reinen Zufallsverteilung werden bei der geschichteten Stichprobe Determinanten berücksichtigt, die in einer direkten Beziehung zu der Zielgröße "Pollenexposition" stehen. Auf diese Weise ausgewählte Standorte sind repräsentativ hinsichtlich dieser Determinanten und folglich der zu Grunde liegenden Zielgröße. Als Determinanten der Pollenexposition wurden die naturräumlichen Haupteinheiten, die Orografie und landwirtschaftliche Landnutzung erkannt und für die geschichtete Stichprobe (Stratifizierung) verwendet. Im Verlauf des Projekts wurde der Pollendepositionsindex (PDI) entwickelt, der sich als weitere Determinante eignet.

Auf Grund der hohen Varianz der Pollenexposition wird für zukünftige Untersuchungen eine Mindestanzahl von 30 Pollensammler-Standorten für das Untersuchungsgebiet empfohlen. Diese Anzahl soll sicherstellen, dass die Grundgesamtheit der Pollenexposition durch die Stichprobe abgedeckt ist.

4.7 Pollendepositionsindex

Durch die Entwicklung des Pollendepositionsindex (PDI) ist es möglich, Vorhersagen über die relative Pollendeposition in einem bestimmten Gebiet einfach und schnell zu treffen. Voraussetzung dafür ist das Vorhandensein von Daten über die Lage und Geometrie der Felder in dem in Frage kommenden Untersuchungsgebiet (Daten über Windrichtung und Windgeschwindigkeit können zusätzlich einfließen). Die GIS-basierte Berechnung des PDI lässt sich auf andere Gebiete Deutschlands übertragen und ist unabhängig von der Kulturart.

Mit dem PDI wird der Grad der Pollendeposition für ein Gebiet berechnet. Dadurch können beispielsweise Gebiete ermittelt werden, die voraussichtlich einer hohen oder niedrigen Pollendeposition unterliegen. Durch die flächenhaften Berechnungen des PDI kann er für die Planung eines Pollen-Monitorings genutzt werden (PDI als Stratum einer Stratifizierung), um die Aufstellung der Sammler möglichst effizient zu gestalten. Darüber hinaus kann der PDI als rechnerische Methode verwendet werden, um den theoretischen Anteil an gentechnisch verändertem Pollen in einem Gebiet mit gemischtem Anbau (konventionell und mit GVP) zu berechnen.

Obwohl der PDI ein sehr einfaches Modell der Pollenausbreitung darstellt, erbrachte der Vergleich zwischen dem PDI und dem Partikel-Ausbreitungsmodell AUSTAL2000 hinsichtlich der Vorhersagewerte der Pollendeposition für das Untersuchungsgebiet vergleichbare Korrelationen mit den tatsächlichen Messwerten (allerdings benötigt AUSTAL2000 eine deutlich längere Berechnungszeit).

Damit ist der PDI ein sehr nützliches und einfach zu benutzendes Werkzeug für die Planung und Umsetzung eines GVP-Monitorings.

5 Empfehlungen

Für ein Monitoring der Pollendeposition von gentechnisch veränderten Pflanzen braucht man eine möglichst effiziente Anordnung der Messstandorte. Von Vorteil für diese Messplanung ist das Vorwissen über das Untersuchungsgebiet, damit Pollensammler möglichst effizient hinsichtlich der zu erwartenden Ergebnisse, der Betriebs- und Personalkosten aufgestellt werden können. Für die Untersuchung der Gesamtdeposition von Pollen von Kulturpflanzen auf mesoskaliger Ebene sind passive Pollensammler aufgrund ihrer Robustheit, sehr geringen Standortanforderungen und Kosten besonders geeignet. Auf dieser Betrachtungsebene wird die Pollendeposition maßgeblich durch die folgenden drei Parameter beeinflusst: (1) die naturräumlichen Haupteinheiten, die durch die Nutzungsstruktur und Anbaubedingungen Anzahl, Größe und Form der Felder beeinflussen (siehe Kapitel 3.6.3), (2) die Windverhältnisse, die im hohen Maße durch die Orografie beeinflusst werden, und (3) die Art der landwirtschaftlichen Nutzung (Ackerland, Grünland). Diese drei Datenbestände (Naturräumliche Gliederung, DGM 25, ATKIS) liegen bundesweit bei den Vermessungs- und Umweltämtern der Länder vor und können zur Planung eines Monitorings herangezogen werden. In vergleichbarer Güte liegen diese Daten (Naturräumliche Gliederung Deutschlands, SRTM, CORINE Land Cover 2000) nahezu kostenlos sogar auf Bundesebene vor und sind im Anhang exemplarisch dargestellt (siehe Anhang A12).

Es wird eine proportional geschichtete Stichprobe mit den Strata Naturraum, Orografie (z. B. 20m-Klassen), Landnutzung (Ackerland, Grünland) und Pollendepositionsindex (PDI) empfohlen. Der PDI kann die Pollendeposition im Untersuchungsgebiet abschätzen und somit Gebiete unterschiedlicher Pollendeposition abgrenzen. Voraussetzung für die Berechnung des PDI ist eine zeitnahe Kartierung der Lage der Felder entsprechender Kulturarten. Aufwändige Berechnungen der Pollenausbreitung sind insbesondere im Anschluss an den Feldversuch sinnvoll, um die Messergebnisse der Pollendeposition zu erklären. Dazu bedarf es präziser und verlässlicher Daten der Anbauverhältnisse, die voraussichtlich nicht im Vorfeld des Feldversuchs vorliegen werden. Eine Verifizierung der Feldkartierung durch Fernerkundung und die Erhebung der Landwirtschaftsämter (InVeKoS, GVP-Anbauregister) wird aller Voraussicht nach erst nach Abschluss des Feldversuchs möglich sein. Die einzige Lösung, um die Anbauverhältnisse in Deutschland möglichst real widerzuspiegeln (was zwingend für ein GVP-Monitoring geboten ist), bietet ein schlaggenaues und bundesweites Anbaukataster von transgenen und konventionellen Pflanzen.

Zur Bestimmung der Pollendeposition dient der Sigma-2, zur Bestimmung des Anteils gentechnisch veränderter Pollen und des Pollenflusses der Pollenmassenfilter (PMF).

Die Anzahl und Art der Pollen wird für beide Pollensammler bildanalytisch bestimmt, der Nachweis von transgener und nicht transgener DNA von Kulturpflanzen (v. a. Raps und Mais) per molekulargenetischer Analyse. Die Standorte der Pollensammler sind durch eine Zufallsauswahl zu bestimmen. Um vergleichbare Verhältnisse an den Sammler-Standorten zu gewährleisten, sind u.a. definierte Abstände zu anderen Landnutzungen einzuhalten (z. B. Siedlung, Wald oder Verkehrsflächen). Befindet sich der zufällig gewählte Standorte innerhalb eines Feldes, ist der Standort in kürzester Entfernung an den nächstgelegenen Feldweg zu verschieben. Das erleichtert dem betroffenen Landwirt den Standort zu akzeptieren und ermöglicht zugleich eine gute Erreichbarkeit des Standorts. Eine Anzahl von 30 Sammlerstandorten ist für ein Untersuchungsgebiet der Größe von 16 x 16 km nicht zu unterschreiten, damit die Strata durch Sammlerstandorte abgedeckt werden und die Grundgesamtheit der Pollendeposition durch die Messergebnisse annähernd abgebildet wird. Die Sammlerstandorte sind per GPS zu verorten und können zusammen mit den o.g. Daten in einem GIS verwaltet und analysiert werden.

In dem vorliegende Projekt wurden ausschließlich Standorte im Agrarökosystem gewählt. An einigen dieser Standorte wurde aufgrund der großen Entfernungen zu den Feldern bereits die Nachweisgrenze des Sigma-2 und PMF unterschritten. Die Aufstellung einer geringen Anzahl von Pollensammlern z. B. im Siedlungsbereich oder in Schutzgebieten ist denkbar, allerdings ist der Nachweis von Pollen von Kulturpflanzen dort selten zu erwarten.

Die Übertragbarkeit des Monitorings auf andere Gebietes Deutschlands ist gegeben, da standardisierte Verfahren bei der Messung und Auswertung der Pollenproben zur Anwendung kamen, bundesweit erhobene Daten die Grundlage der Messplanung des Monitorings bilden und der Pollen in der Transportphase den gleichen Gesetzmäßigkeiten unterworfen ist. Eine Ausnahme stellen Gebiete mit stark ausgeprägten Höhenunterschieden dar. Die lokalen Windsysteme dieser Gebiete können die Sammelleistung der Pollensammler stark beeinflussen und die Auswertung der Messwerte erschweren. In Anhang A12 sind diese Gebiete in Deutschland grob abgegrenzt.

Zusammenfassend ist zu sagen, dass die in diesem Projekt entwickelte Methodik zur Probennahme und zu Probenanalysen für ein zukünftiges GVP-Monitoring – mit Ausnahme der molekulargenetischen Analyse – unmittelbar einsetzbar ist.

6 Literatur

Gesetze, Verordnungen, Verwaltungsvorschriften

- DIN EN 779 (2002): Partikel-Luftfilter für die allgemeine Raumlufttechnik Bestimmung der Filterleistung. Deutsche Fassung EN 779
- Entscheidung des Rates vom 3. Oktober 2002 über Leitlinien zur Ergänzung des Anhangs VII der Richtlinie 2001/18/EG des Europäischen Parlaments und des Rates über die absichtliche Freisetzung genetisch veränderter Organismen in die Umwelt und zur Aufhebung der Richtlinie 90/220/EWG des Rates (2002/811/EG). ABI. EG L 280 vom 18.10.2002, S. 27-36
- Gesetz zur Regelung der Gentechnik (GenTG) vom 20. Juni 1990 i.d.F. vom 21.12.2004, BGBl. I. 1080
- Richtlinie 2001/18/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 12. März 2001 über die absichtliche Freisetzung genetisch veränderter Organismen in die Umwelt und zur Aufhebung der Richtlinie 90/220/EWG des Rates. ABI. EG L 106 vom 17.4.2001, S. 1-38
- TA Luft (2002): Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft TA Luft). Vom 24. Juli 2002. GMBl. vom 20.7.2002, Heft 25 29, S. 511-605
- Verordnung (EG) Nr. 1829/2003 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 22. September 2003 über genetisch veränderte Lebensmittel und Futtermittel. ABl. EG L 268 vom 18.10.2003, S. 1-23

Technische Regeln

- VDI 2119, Blatt 4 (1997): Messung partikelförmiger Niederschläge. Mikroskopische Unterscheidung und größenfraktionierte Bestimmung der Partikeldeposition auf Haftfolien. Probenahmegerät Sigma-2. Berlin: Beuth
- VDI 3945 Blatt 3 (2000): Umweltmeteorologie. Atmosphärische Ausbreitungsmodelle. Partikelmodell. Berlin: Beuth
- VDI 4330, Blatt 1 (in Bearbeitung): Monitoring der Wirkung von gentechnisch veränderten Pflanzen. Grundlagen und Strategie. GVP-Monitoring Monitoringstrategie
- VDI 4330, Blatt 2 (in Bearbeitung): Monitoring von gentechnisch veränderten Pflanzen. Probenahme für ein Pollenmonitoring. GVP-Monitoring Probenahmedesign für das Pollenmonitoring
- VDI 4330, Blatt 3 (in Bearbeitung): Monitoring der Wirkung von gentechnisch veränderten Organismen (GVO) Pollenmonitoring Technische Pollensammlung mit Pollenmassenfilter (PMF) und Sigma-2-Sammler. GVP-Monitoring Technische Pollensammlung
- VDI 4330, Blatt 4 (in Bearbeitung): Biologische Pollensammlung Bienenvolk als biologischer Pollensammler. GVP-Monitoring Biologische Pollensammlung

- VDI 4330, Blatt 5 (in Bearbeitung): Monitoring der Wirkung gentechnisch veränderter Organismen (GVO) Qualitative Verfahren zum Nachweis gentechnisch modifizierter Nukleinsäuren in der Umwelt. GVP-Monitoring Molekularbiologie
- VDI 4330, Blatt 6 (in Bearbeitung): Monitoring der Wirkung gentechnisch veränderter Organismen (GVO). Probenahme von Pflanzenmaterial für den Nachweis von Transgensequenzen. GVP-Monitoring Molekularbiologie

Zitierte Literatur

- ACRE Guidance Note 16 (2004): Guidance on best practice in the design of post-market monitoring plans in submissions to the advisory committee on release to the environment, London: Department for Environment, Food and Rural Affairs
- Albertz, J. (2001): Einführung in die Fernerkundung. Grundlagen der Interpretation von Luftund Satellitenbildern. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft
- Altenburger, R.; Segner, H. (2000): Anwendungen biologischer Testverfahren für ökotoxikologische Wirkungsanalysen. In: Fomin, A.; Arndt, U.; Elsner, D.; Klumpp, A. (Hrsg.): Bio-Indikation, Biologische Testverfahren, 2. Hohenheimer Workshop zur Bioindikation am Kraftwerk Altbach-Deizisau 1998, Stuttgart: Verlag Günter Heimbach, S. 23-31
- Arndt, M. (2003): Bt-Mais ein Projektüberblick mit Ergebnissen bodenfaunistischer Untersuchungen (Nematoden). In: Bayer. Landesamt für Umweltschutz (Hrsg.): Monitoring der Umweltveränderungen von gentechnisch veränderten Organismen Statusseminar zu den bayerischen Projekten, Augsburg, S. 35-46
- Aylor, D. E. (2002): Settling speed of corn (*Zea mays*) pollen. J. Aerosol Science, 33, S. 1601-1607
- Barth, R.; Brauner, R.; Hermann, A.; Hermanowski, R.; Nowack, K.; Schmidt, H.; Tappeser, B. (2003): Grüne Gentechnik und ökologische Landwirtschaft. Berlin: UBA-Texte 01/03 (Hrsg.: Umweltbundesamt)
- Bauernhof.net: Lexikon der Landwirtschaft. http://www.bauernhof.net/lexikon/kpl.htm [07.11.2004]
- Beug, H.-J. (2004): Leitfaden der Pollenbestimmung für Mitteleuropa und angrenzende Gebiete. München: Verlag Dr. Friedrich Pfeil
- Bill, R. (1996): Grundlagen der Geo-Informationssysteme. Band 2. Heidelberg: Wichmann
- Bill, R.; Fritsch, D. (1991): Grundlagen der Geo-Informationssysteme. Band 1. Karlsruhe: Wichmann
- Bill, R.; Zehner, M. L. (2001): Lexikon der Geoinformatik. Heidelberg: Wichmann
- Bioindication.de: Allgemeine Informationen. http://www.bioindication.de/ [07.11.2004]
- Biosicherheit.de: Lexikon. http://www.biosicherheit.de/lexikon/ [07.11.2004]
- BKG Bundesamt für Kartographie und Geodäsie: Georeferenzierungen. (http://www.-geodatenzentrum.de/geodaten/ → Technische Hinweise → Georeferenzierungen [07.11.2004])

- BMVEL Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (2003): Bericht über den Zustand des Waldes. Ergebnisse des forstlichen Umweltmonitorings. Bonn
- Bortz, J. (1993): Statistik für Sozialwissenschaftler. Springer: Berlin
- Bortz, J.; Döring, N. (2002): Forschungsmethoden und Evaluation für Human- und Sozialwissenschaftler. Springer: Berlin
- Bund/Länder-AG "Monitoring der Umweltwirkungen von GVP" (2000): Eckpunkte für ein Monitoring der Umweltwirkungen von gentechnisch veränderten Pflanzen (GVP)
- Bund/Länder-AG "Monitoring der Umweltwirkungen von GVP" (2001): Monitoring von gentechnisch veränderten Pflanzen Prioritätensetzung. In: Umweltbundesamt (Hrsg.): Stand der Entwicklung des Monitoring von gentechnisch veränderten Organismen (GVO), Berlin: UBA-Texte Nr. 60/01, S. 34-55
- Bund/Länder-AG "Monitoring der Umweltwirkungen von GVP" (2002): Entwurf eines Konzeptes für das Monitoring von gentechnisch veränderten Organismen (GVO), 20. September 2002
- Champion, G. T.; May, M. J.; Bennett, S.; Brooks, D. R.; Clark, S. J.; Daniels, R. E.; Firbank, L. G.; Haughton, A. J.; Hawes, C.; Heard, M. S.; Perry, J. N.; Randle, Z.; Rossall, M. J.; Rothery, P.; Skellern, M. P.; Scott, R. J.; Squire, G. R.; Thomas, M. R. (2003): Crop management and agronomic context of the Farm Scale Evaluations of genetically modified herbicide-tolerant crops. Transactions of the Royal Society of London, Series B, 358, S. 1801-1818
- Clark, P. J.; Evans, F. C. (1954): Distance to nearest neighbour as a measure of spatial relationships in populations. Ecology, 35, S. 445-453
- Clench-Aas, J.; Bartonova, A.; Bøhler, T.; Grønskei, K. E.; Sivertsen, B.; Larsen, S. (1999): Air pollution exposure monitoring and estimating Part I. Integrated air quality monitoring system. Journal of Environmental Monitoring, 1, Nr. 4, S. 313-319
- Crane, P. R. (1986): Form and function in wind dispersed pollen. In: Blackmore, S.; Ferguson, I. K. (Hrsg.): Pollen and Spores. Form and Function. Linnean Society Symposium Series, Number 12. London: Academic Press. S. 179-202
- Cressie, N. A. C. (1993): Statistics for Spatial Data. New York: J. Wiley & Sons
- Diepenbrock, W.; Fischbeck, G.; Heyland, K.-U.; Knauer, N. (1999): Spezieller Pflanzenbau. Stuttgart: Ulmer
- Dietze, V., Deutscher Wetterdienst, Freiburg: Mündliche Auskunft
- Di-Giovanni, F.; Kevan, P. G.; Nasr, M. E. (1995): The variability in settling velocities of some pollen and spores. Grana, 34, S. 39-44
- Duden (1997): Fremdwörterbuch Duden Band 5. Hrsg.: Wissenschaftlicher Rat der Dudenredaktion. Dudenverlag: Mannheim
- DWD Deutscher Wetterdienst (Hrsg., 2003a): Agrarmeteorologischer Monatsbericht für Bayern für den Monat April 2003 Ausgabe Südbayern
- DWD Deutscher Wetterdienst (Hrsg., 2003b): Agrarmeteorologischer Monatsbericht für Bayern für den Monat Mai 2003 Ausgabe Südbayern

- DWD Deutscher Wetterdienst (Hrsg., 2003c): Agrarmeteorologischer Monatsbericht für Bayern für den Monat Juli 2003 Ausgabe Südbayern
- Edmonds, R. L. (1979, Hrsg.): Aerobiology. The Ecological Systems Approach. US/IBP synthesis series 10. Stroudsburg: Dowden, Hutchinson & Ross
- EFSA (2004): Guidance Document of the Scientific Panel on Genetically Modified Organisms for the Risk Assessment of Genetically Modified Plants and Derived Food and Feed (Question No EFSA-Q-2003-005). The EFSA Journal, 99, 1-94
- Emberlin, J.; Adams-Groom, B.; Tidmarsh, J. (1999): A Report on the Dispersal of Maize Pollen. National Pollen Research Unit for the Soil Association. Bristol: Soil Association (Hrsg.) [http://www.soilassociation.org/ → Library → Research Papers]
- Eurimage (2005): ASTER [http://www.eurimage.com/products/docs/aster.pdf]
- Fægri, K.; Iversen, J. (1989): Textbook of Pollen Analysis. Chichester: John Wiley & Sons (4. Auflage: Fægri, K.; Kaland, P. E.; Krzywinski, K.)
- Finck, M. (2002): Luftreinhaltung und Risikomanagement in der grünen Biotechnologie: Synergieeffekte. Gefahrstoffe Reinhaltung der Luft, 62, Nr. 11/12, S. 441
- Fisahn, A. (2004): The concept of "Adverse Effects on the Environment" and the regulation of genetically modified organisms. In: Breckling, B.; Verhoeven, R. (Hrsg.): Risk Hazard Damage. Specification of Criteria to Assess Environmental Impact of Genetically Modified Organisms. Bonn (Bundesamt für Naturschutz): Naturschutz und Biologische Vielfalt 1, S. 215-225
- Fränzle, O. (1978): The Structure of Soil Associations and Cenozoic Morphogeny in Southeast Africa. In: Nagl, H. (Hrsg.): Beiträge zur Quartär- und Landschaftsforschung Festschrift zum 60. Geburtstag von Julius Fink. Verlag Ferdinand Hirt: Wien, S. 159-176
- Geisler, G. (1988): Pflanzenbau. Ein Lehrbuch. Biologische Grundlagen und Techniken der Pflanzenproduktion. Berlin: Paul Parey Verlag
- Goss, J. A. (1968): Development, Physiology, and Biochemistry of Corn and Wheat Pollen. Botanical Review, 34, 333-358
- Graul, H. (1962): Die naturräumlichen Einheiten auf Blatt 180 Augsburg. Bad Godesberg: Bundesanstalt für Landeskunde und Raumforschung (Hrsg.)
- Grottenthaler, W. (1980): Geologische Karte von Bayern 1:25000. Erläuterungen zum Blatt Nr. 7833 Fürstenfeldbruck. München: Bayerisches Geologisches Landesamt (Hrsg.)
- Gunstone, F. D. (2004, Hrsg.): Rapeseed and Canola Oil. Production, Processing, Properties and Uses. Oxford: Blackwell Publishing
- Haeupler, H.; Loos, G. H.; Surkus, B. (2003): Monitoring von herbizidresistentem Raps in NRW. In: Umweltbundesamt (Hrsg.): Monitoring von Umweltwirkungen gentechnisch veränderter Organismen. Berlin: UBA-Texte 53/03, S. 71-89
- Haeupler, H.; Loos, G. H.; Sarazin, A.; Surkus, B. (2004): Geobotanische Untersuchungen von gentechnisch verändertem und "konventionellem" Raps. Methoden und Ergebnisse einer ersten Studienphase für ein Konzept zu einem Langzeitmonitoring gentechnisch veränderter Pflanzen. Floristische Rundbriefe, Beiheft 7, S. 5-109

- Heard, M. S.; Hawes, C.; Champion, G. T.; Clark, S. J.; Firbank, L. G.; Haughton, A. J.; Parish,
 A. M.; Perry, J. N.; Rothery, P.; Scott, R. J.; Skellern, M. P.; Squire, G. R.; Hill, M. O.
 (2003): Weeds in fields with contrasting conventional and genetically modified herbicide-tolerant crops. I. Effects on abundance and diversity. Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B, 358, S. 1819-1832
- Hehl, O.; Hoopmann, M.; Etling, C. (2005): Modellgestützte Abschätzung der Bioaerosol-Exposition von Anwohnern in der Nähe von Tierhaltungsanlagen. Allergo Journal, 14, Nr. 2, 112-113
- Helbig, N.; Vogel, B.; Vogel, H.; Fiedler, F. (2004): Numerical modelling of pollen dispersion on the regional scale. Aerobiologia, 20, S. 3-19
- Heß, D. (1990): Die Blüte. Stuttgart: Ulmer
- Hidalgo, P. J.; Mangin, A.; Galán, C.; Hembise, O.; Vázquez, L. M.; Sanchez, O. (2002): An automated system for surveying and forecasting *Olea* pollen dispersion. Aerobiologia, 18, S. 23-31
- Hofmann, F.; Schlechtriemen, U.; Wosniok, W.; Foth, M.; Seiffert, B.; Breitfuß, G.; von der Ohe, W.; von der Ohe, K.; Dietze, V.; Schultz, E.; Tappeser, B. (2003): Technische und biologische Pollenakkumulatoren und PCR-Screening für eine erste Stufe eines GVO-Umweltmonitorings. Modellprojekt zum Langzeitmonitoring von GVP. In: Umweltbundesamt (Hrsg.): Monitoring von Umweltwirkungen gentechnisch veränderter Organismen. Berlin: UBA-Texte 53/03, S. 33-55
- Hofmann, F.; Schlechtriemen, U.; Wosniok, W.; Foth, M. (2005): GVO-Pollenmonitoring Technische und biologische Pollenakkumulatoren und PCR-Screening für ein Monitoring von gentechnisch veränderten Organismen. Bonn: BfN-Skripten (Hrsg.: Bundesamt für Naturschutz), Band 139
- Huss-Marp, J. (2000): Untersuchung zur Bedeutung der relativen Luftfeuchte für die Allergenfreisetzung aus Pollen. Dissertation, Technische Universität München
- Janicke, Ingenieurbüro (2003): AUSTAL2000, Programmbeschreibung zu Version 1.0, Stand 2003-02-09. (http://:www.austal2000.de) [18.02.2003]
- Janicke, Ingenieurbüro (2005): LASAT Ein Programmsystem zur Berechnung von Schadstoffausbreitung in der Atmosphäre (http://www.janicke.de/htm/g_home.htm) [14.08.2005]
- Jarosz, N.; Loubet, B.; Durand, B.; McCartney, A.; Foueillassar, X.; Huber, L. (2003): Field measurements of airborne concentration and deposition rate of maize pollen. Agricultural and Forest Meteorology, 119, S. 37-51
- Jørgensen, R. B.; Andersen, B. (1994). Spontaneous hybridisation between oilseed rape (*Brassica napus*) and weedy B. campestris (*Brassicaceae*): a risk of growing genetically modified oilseed rape. American Journal of Botany, 81, Nr. 12, S. 1620-1626
- Jørgensen, R. B.; Andersen, B.; Landbo, L.; Mikkelsen, T. R. (1996). Spontaneous hybridisation between oilseed rape (*Brassica napus*) and weedy relatives. Acta Horticulturae (ISHS), 407, S. 193-200

- Kawashima, S.; Takahashi, Y. (1995): Modelling and simulation of mesoscale dispersion processes for airborne cedar pollen. Grana, 34, S. 142-150
- Kawashima, S.; Takahashi, Y. (1999): An improved simulation of mesoscale dispersion of airborne cedar pollen using a flowering-time map. Grana, 38, Nr. 5, S. 316-324
- Kent, M.; Coker, P. (1992): Vegetation Description and Analysis. A Practical Approach. London: Belhaven Press
- Kerscher, W., Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Freising: Telefonische Auskunft
- Körber-Grohne, U. (1987): Nutzpflanzen in Deutschland. Kulturgeschichte und Biologie. Stuttgart: Konrad Theiss Verlag
- Kruskal, W.; Mosteller, F. (1979): Representative Sampling, III: the Current Statistical Literature. International Statistical Review, 47, S. 245-265
- Kuhnt, G. (1994): Regionale Repräsentanz Beiträge zu einer raumorientierten Meßtheorie. Habilitation, Universität Kiel
- Lang, A. (2003): Effekte von Bt-Mais auf Insekten und Spinnen. In: Bayer. Landesamt für Umweltschutz (Hrsg.): Monitoring der Umweltveränderungen von gentechnisch veränderten Organismen Statusseminar zu den bayerischen Projekten, Augsburg, S. 47-48
- Langridge, D. F.; Goodman, R. D. (1982): Honeybee pollination of oilseed rape, cultivar Midas. Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry, 22, S. 124-126
- Laue, H. O. A. (2004): Automated Detection of Canola/Rapeseed Cultivation from Space. Application of new Algorithms for Identification of Agricultural Plants with Multispectral Satellite Data on the Example of Canola Cultivation. Dissertation, Universität Bremen
- Leins, P. (2000): Blüte und Frucht: Aspekte der Morphologie, Entwicklungsgeschichte, Phylogenie, Funktion und Ökologie. Stuttgart: Schweizerbart
- LfL Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (Hrsg., 2005): Agrarmärkte 2004. Schriftenreihe, 4
- LfStaD Bayerisches Landesamt für Statistik und Datenverarbeitung (Hrsg., 2003): Statistisches Jahrbuch für Bayern 2003. München
- Liedtke, H.; Marcinek, J. (Hrsg., 1995): Physische Geographie Deutschlands. Gotha: Justus Perthes Verlag
- Lillesand, T. M.; Kiefer, R. W. (2000): Remote Sensing and Image Interpretation. New York: John Wiley & Sons
- Lösslein, H., Meteorologisches Institut, Ludwig-Maximilians-Universität (LMU), München: Auskunft per E-Mail
- Loos, C.; Seppelt, R.; Meier-Bethke, S.; Schiemann, J.; Richter, O. (2003): Spatially explicit modelling of transgenic maize pollen dispersal and cross-pollination. Journal of Theoretical Biology, 225, S. 241-255
- Ludy, C.; Lang, A. (2004): Long-term monitoring of spiders in Bt maize fields and their margins. Poster, GfÖ-Jahrestagung 2004, Gießen
- McCartney, H. A.; Lacy, M. E. (1991): Wind dispersal of pollen from crops of oilseed rape (*Brassica napus* L.). J. Aerosol Science, 22, Nr. 4, S. 467-477

- Meynen, E.; Schmidthüsen, J.; Gellert, J.; Neef, E.; Müller-Miny, H.; Schultze, J. H. (Hrsg., 1962): Handbuch der naturräumlichen Gliederung Deutschlands. Band I. Bad Godesberg: Bundesanstalt für Landeskunde und Raumforschung
- Michler, G. (1994): Die naturräumlichen Einheiten auf Blatt 181 München. Bonn-Bad Godesberg: Bundesforschungsanstalt für Landeskunde und Raumordnung (Hrsg.)
- Miller, P. D. (1982): Maize Pollen: Collection and Enzymology. In: Sheridan, W. F. (Hrsg.):
 Maize For Biological Research. A Special Publication of the Plant Molecular Biology
 Association, University Press, University of North Dakota, S. 279-293
- Müller-Westermeier, G. (1996): Klimadaten von Deutschland Zeitraum 1961 1990. Offenbach am Main: Deutscher Wetterdienst (Hrsg.)
- Pascher, K.; Macalka-Kampfer, S.; Reiner, H. (2000): Vegetationsökologische und genetische Grundlagen für die Risiko-Beurteilung von Freisetzungen von transgenem Raps und Vorschläge für ein Monitoring. Wien: Bundesministerium für soziale Sicherheit und Generationen, Sektion IX (Hrsg.)
- Okubo, A.; Levin, S. A. (1989): A theoretical framework for data analysis of wind dispersal of seeds and pollen. Ecology, 70, Nr. 2, S. 329-338
- Paton, J. B. (1921): Pollen and pollen enzymes. American Journal of Botany, 8, Nr. 10, S. 471-501
- Pohl, F. (1937): Die Pollenerzeugung der Windblütler. Eine vergleichende Untersuchung mit Ausblicken auf den Bestäubungshaushalt tierblütiger Gewächse und die pollenanalytische Waldgeschichtsforschung. (Untersuchungen zur Morphologie und Biologie des Pollens VI.) Dresden: Beihefte zum Botanischen Centralblatt, Bd. LVI. Abt. A, S. 365-470
- Recher, H.; Schmotz, W. (1993): STABO-Standortauswahl für Bodenuntersuchungen Version 1.0. regionalstatistisches Kartenanalysesystem zur Durchführung der Nachbarschaftsanalyse und zur Ermittlung repräsentativer Probenahmestandorte Benutzeranleitung. Kiel
- Renk, W. (1977): Die räumliche Struktur und Genese der Bodendecke im Bereich der Großen Randstufe Transvaals und Swazilands. Dissertation, Universität Kiel
- Rieger, M. A.; Lamond, M.; Preston, C.; Powles, S. B.; Roush, R. T. (2002): Pollen-Mediated Movement of Herbicide Resistance Between Commercial Canola Fields. Science, 296, S. 2386-2388
- Ronneberger, O.; Schultz, E.; Burkhardt, H. (2002): Automated pollen recognition using 3D volume images from fluorescence microscopy. Aerobiologia, 18, Nr. 2, S. 107-115
- Rothmaler, W. (1999): Exkursionsflora von Deutschland. Band 2. Gefäßpflanzen Grundband. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag (Hrg.: Bäßler, M.; Jäger, E. J.; Werner, K.)
- Sachs, L. (1997): Angewandte Statistik. Anwendung statistischer Methoden. Berlin: Springer
- Scarisbrick, D. H.; Daniels, R. W. (Hrsg., 1986): Oilseed Rape. London: Collins
- Schmedes, E., Sektion Geophysik, Ludwig-Maximilians-Universität (LMU), München: Auskunft per E-Mail

- Schmidtner, A., Referat B4, Bayerisches Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten, München: Auskunft per E-Mail
- Schmotz, W. (1996): Entwicklung und Optimierung von Verfahren zur flächenhaften Erfassung der Schadstoffgehalte in Böden. EcoSys Beiträge zur Ökosystemforschung, Band 17 (Hrsg.: Vorstand des "Vereins zur Förderung der Ökosystemforschung zu Kiel e.V." und Direktorium des "Ökologie-Zentrums der Universität Kiel"). Kiel: Verein zur Förderung der Ökosystemforschung zu Kiel
- Schröder, W. (1994): Regionalisierung in den Geowissenschaften. In: Schröder, W.; Vetter, L.; Fränzle, O. (Hrsg.): Neuere statistische Verfahren und Modellbildung in der Geoökologie. Braunschweig: Vieweg, S. 17-30
- Schröder, W.; Schmidt, G.; Pesch, R.; Matejka, H.; Eckstein, T. (2001): Konkretisierung des Umweltbeobachtungsprogrammes im Rahmen eines Stufenkonzeptes der Umweltbeobachtung des Bundes und der Länder Teilvorhaben 3. Berlin: Umweltbundesamt (Hrsg.), Förderkennzeichen (UFOPLAN 299 82 212 / 02)
- Schultz, E.; Heimann, U.; Scharring, S.; Peschke, K.-D.; Ronneberger, O.; Wang, Q.; Gehrig, R.; Köhler, B. (2005): Present state of automated pollen recognition and possible benefits for pollen forecast. Allergo Journal, 14, Nr. 4, S. 275
- Squire, G. R.; Brooks, D. R.; Bohan, D. A.; Champion, G. T.; Daniels, R. E.; Haughton, A. J.;
 Hawes, C.; Heard, M. S.; Hill, M. O.; May, M. J.; Osborne, J. L.; Perry, J. N.; Roy, D.
 B.; Woiwood, I. P.; Firbank, L. G. (2003): On the rationale and interpretation of the
 Farm Scale Evaluations of genetically modified herbicide-tolerant crops. Transactions of the Royal Society of London, Series B, 358, S. 1779-1799
- SRU Rat von Sachverständigen von Umweltfragen (2004a): Koexistenz sichern: Zur Novellierung des Gentechnikgesetzes. Kommentar zur Umweltpolitik, März 2004, Nr. 4
- SRU Rat von Sachverständigen von Umweltfragen (2004b): Umweltgutachten 2004 des Rates von Sachverständigen für Umweltfragen. Umweltpolitische Handlungsfähigkeit sichern. Berlin: Bundestagsdrucksache 15/3600
- Stanley, R. G.; Linskens, H. F. (1985): Pollen. Biologie, Biochemie, Gewinnung und Verwendung. Greifenberg/Ammersee: Urs Freund Verlag [Deutsche Lizenzausgabe von Stanley, R. G.; Linskens, H. F. (1974): Pollen. Biology, Biochemistry, Management. Berlin: Springer]
- Statistisches Bundesamt (Hrsg., 2004): Statistisches Jahrbuch 2004. Für die Bundesrepublik Deutschland. Wiesbaden
- StMLU Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen & UBA Umweltbundesamt (Hrsg. 2003): Ökosystemare Umweltbeobachtung. Vom Konzept zur Umsetzung. Von Schönthaler, K.; Meyer, U.; Pokorny, D.; Reichenbach, M.; Schuller, D.; Windhorst, W. Berlin: Erich-Schmidt-Verlag
- StMWVT Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft, Verkehr und Technologie (Hrsg., 2001): Bayerischer Solar- und Windatlas. München
- Straka, H. (1975): Pollen- und Sporenkunde. Eine Einführung in die Palynologie. Stuttgart: Gustav Fischer Verlag

- Subiza, J. (2001): How to interpret pollen counts. Alergología e Inmunología Clínica, 16, Nr. 2, S. 59-65 (span. Originaltitel: Cómo interpretar los recuentos de pólenes)
- Szibalski, M. (2000): Großmaßstäbige Regionalisierung labiler Bodenkennwerte in standörtlich hochdiversen Kulturlandschaften. Dissertation, Universität Gießen
- Treu, R.; Emberlin, J. (2000): Pollen dispersal in the crops Maize (*Zea mays*), Oil seed rape (*Brassica napus* ssp. *oleifera*), Potatoes (*Solanum tuberosum*), Sugar beet (*Beta vulgaris* ssp. *vulgaris*) and Wheat (*Triticum aestivum*). Evidence from publications. Bristol: Soil Association (Hrsg.) [http://www.soilassociation.org/ → Library → GMO]
- U, N. (1935): Genomic analysis of *Brassica* with special reference to the experimental formation of *B. napus* and peculiar mode of fertilization. Jpn. J. Bot., 7, S. 389-452
- UBA Umweltbundesamt (Hrsg., 1998): Umweltbeobachtungsprogramme des Bundes Integration der Beobachtungsprogramme anderer Ressorts. Berlin: UBA-Texte Nr. 73/98, UBAFB Nr.: 98-112
- UBA Umweltbundesamt & BBA Biologische Bundesanstalt für Landwirtschaft und Forsten (2002): Gemeinsames Positionspapier von UBA und BBA zum Monitoring von gentechnisch veränderten Pflanzen (GVP), August 2002
- Vetter, L. (1989): Evaluierung und Entwicklung statistischer Verfahren zur Auswahl von repräsentativen Untersuchungsobjekten für ökotoxikologische Problemstellungen. Dissertation, Universität Kiel
- Vetter, L.; Maass, R. (1994): Nachbarschaftsanalytische Verfahren. In: Schröder, W.; Vetter, L.; Fränzle, O. (Hrsg.): Neuere statistische Verfahren und Modellbildung in der Geoökologie. Braunschweig: Vieweg, S. 103-107
- von der Ohe, K.; von der Ohe, W. (2000): Celler Melissopalynologische Sammlung (CMS). Celle: Niedersächsisches Landesinstitut für Bienenkunde (Hrsg.)
- Waiblinger, H.-U.; Wurz, A.; Freyer, R.; Pietsch, K. (1999) Spezifischer Nachweis von gentechnisch verändertem Raps in Honig. Deutsche Lebensmittel-Rundschau, 95. Jahrgang, Heft 2, S. 44-48
- Wallace, H. A.; Bressman, E. N. (1949): Corn and corn growing. New York: J. Wiley & Sons
- Winkler, H.; Ostrowski, R.; Wilhelm, M. (2001): Pollenbestimmungsbuch der Stiftung Deutscher Polleninformationsdienst. Paderborn: Takt-Verlag, Stiftung Deutscher Polleninformationsdienst (Hrsg.)
- Zander, R. (1993): Handwörterbuch der Pflanzennamen. Stuttgart: Ulmer (Hrsg.: Encke, F.; Buchheim, G.; Seybold, S.)
- Zander, E. (1997): Die Bienenweide. Stuttgart: Eugen Ulmer
- Zar, J. H. (1996): Biostatistical Analysis. Upper Saddle River: Prentice Hall
- Zeitler, R.; Baumeister, W. (2000): Nachweis gentechnischer Veränderungen in Pflanzen und ihre Identifizierungsmöglichkeiten. Schriftenreihe des LfU, Heft 158, S. 22-24
- Zeitler, R.; Pietsch, K.; Waiblinger, H.-U. (2002): Validation of real-time PCR methods for the quantification of transgenic contaminations in rape seed. European Food Research Technology, 214, S. 341-351

- Zscheischler, J.; Estler, M. C.; Staudacher, W.; Groß, F.; Burgstaller, G.; Streyl, H.; Rechmann, T. (1990): Handbuch Mais. Umweltgerechter Anbau Wirtschaftliche Verwertung. Frankfurt/Main: DLG-Verlag
- Züghart, W.; Breckling, B. (2003a): Konzeptionelle Entwicklung eines Monitoring von Umweltwirkungen transgener Kulturpflanzen, Teil 1. Berlin: Umweltbundesamt (Hrsg.), UBA-Texte 50/03
- Züghart, W.; Breckling, B. (2003b): Konzeptionelle Entwicklung eines Monitoring von Umweltwirkungen transgener Kulturpflanzen, Teil 2. Berlin: Umweltbundesamt (Hrsg.), UBA-Texte 50/03

Daten

- BLVA Bayerisches Landesvermessungsamt (a), München: Digitales Geländemodell DGM 25
- BLVA Bayerisches Landesvermessungsamt (b), München: Flurkarte 98
- BLVA Bayerisches Landesvermessungsamt (c), München: Digitale Orthofotos, Stand 1999, 2000
- DFD Deutsches Fernerkundungsdatenzentrum & DLR Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Wessling: CORINE Land Cover 2000. Daten zur Bodenbedeckung – Deutschland
- GAF/EUROMAP (a), München, Neustrelitz: LANDSAT-7 (PAN+MS), 01.04.2003
- GAF/EUROMAP (b), München, Neustrelitz: IKONOS (PAN+MS), 10.06.2003
- LANIS-Bund, Bundesamt für Naturschutz (BfN), Bonn: Naturräumliche Gliederung Deutschlands (Stand: 2004)
- LfU Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, Augsburg: Fachinformationssystem-Naturschutz (FIS): Haupt-Naturraumgrenzen [www.bayern.de/lfu/natur/schutzgebietskonzepte/fis natur/index.html]
- NASA/USGS: SRTM Format 3 arc second [http://srtm.usgs.gov/]
- PbS Planungsbüro Prof. Dr. Jörg Schaller, Kranzberg (2001): GIS-Regionsatlas München. Version 3.1, Stand: 4.5.2001. Im Auftrag: Bayerischer Industrieverband Steine und Erden e.V.
- StMLF Bayerisches Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten, München: Agrarmeteorologisches Messnetz Bayern Wetterdatenabruf (LfL Landesanstalt für Landwirtschaft). [http://www.stmlf.bayern.de/ → Landwirtschaft → Pflanzenbau → Wetterdatenbank]

Software

- Behrens, T.; Schneider, O. (2004): NAA (STABO), Vers. 2.0.4, Extension für ArcView, Vers. 3.x [Kontakt: www.geo-extend.de]
- Definiens Imaging, München: eCognition, Vers. 3.0
- ESRI Environmental Systems Research Institute, Inc. (a), Redlands, CA, USA: ArcView, Vers. 3.2a

- ESRI Environmental Systems Research Institute, Inc. (b), Redlands, CA, USA: ArcGIS, Vers. 8.1 und 8.2
- ESRI Environmental Systems Research Institute, Inc. (c), Redlands, CA, USA: ArcInfo, Vers. 8.1
- GRS Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit, Köln: GO-AUSTAL, Vers. 1.5. [www.grs.de]
- Janicke, Ingenieurbüro, Dunum: AUSTAL2000, Vers. 1.0.1 und Vers. 2.1.14 [www.austal2000.de]
- Leica Geosystems, Heerbrugg, Schweiz: ERDAS IMAGINE, Vers. 8.7
- Levine, N. (2002): CrimeStat II: A Spatial Statistics Program for the Analysis of Crime Incident Locations. Ned Levine & Associates, Houston, TX, and the National Institute of Justice, Washington, DC
- MjM Software, Gleneden Beach, OR, USA: PC-ORD, Vers. 4.0
- R, Vers. 2.1.0 [http://www.r-project.org/]
- RSI Research Systems Inc., Boulder, CO, USA: ENVI (The Environment for Visualizing Images), Vers. 4.1
- SAS Institute Inc., Cary, NC, USA: SAS, Vers. 8.2 und 9.1
- SPSS, Chicago, IL, USA: SPSS, Vers. 12.0

Danksagung

Wir bedanken uns für die Projekt-Betreuung bei den Auftraggebern:

F. Berhorn (Bundesamt für Naturschutz, Bonn) und

Dr. D. Heublein (Bayerisches Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz, München),

und außerdem bedanken wir uns für die Projekt-Betreuung bei:

Prof. Dr. J. Pfadenhauer und **Dr. H. Albrecht** (Lehrstuhl für Vegetationsökologie, TU München),

für die Projekt-Zusammenarbeit bei:

F. Hofmann (Ökologie Büro Hofmann, Bremen),

Prof. Dr. G. Lausen und A. Dugarjapov* (Universität Freiburg),

Prof. Dr. S. Rogg (Fachhochschule Weihenstephan),

Dr. E. Schultz, **V. Dietze**, **U. Heimann**, **S. Scharring** (Deutscher Wetterdienst, Geschäftsfeld Medizin-Meteorologie, Freiburg) und

Dr. R. Zeitler* (Landesamt für Umweltschutz, Augsburg),

für die Unterstützung und Kooperation bei:

Prof. Dr. G. Wenzel und Dr. G. Schwarz (†) (Lehrstuhl für Pflanzenzüchtung, TU München),

Dr. R. Müller und Mitarbeitern (TUM-Versuchsgut Roggenstein),

E. Heiles und Mitarbeitern (Staatliches Versuchsgut Puch) und

den beteiligten Landwirten in der Region Fürstenfeldbruck,

für die Bereitstellung von Daten und Messgeräten bei:

Deutscher Wetterdienst, Zentrale Offenbach,

Deutscher Wetterdienst, Geschäftsfeld Medizin-Meteorologie, Freiburg,

Deutscher Wetterdienst, Regionales Gutachtenbüro München,

Landesamt für Umweltschutz, Augsburg,

LANIS-Bund, Bundesamt für Naturschutz, Bonn,

Planungsbüro Prof. Dr. J. Schaller, Kranzberg,

SSP Sampler System Products, Horben,

und für den unermüdlichen Einsatz bei den studentischen Hilfskräften:

A. Brem, A. Helmer, D. Kilislioğlu, C. Kimmig, G. Kiszela, F. Lopes de Souza, R. Mann, G. Mayerhofer, W. Qual, C. Riessen, R. Scheffer, H. Seifert, T. Schlossorsch, M. Schweiger, A. Zellhuber.

^{* =} Inzwischen nicht mehr bei dieser Institution beschäftigt.

Der Anhang zum BfN Skriptenband

"Raumrepräsentativität technischer Pollensammler für ein Langzeitmonitoring von gentechnisch veränderten Pflanzen (GVP)"

steht als Download auf der Homepage des BfN zur Verfügung unter: http://www.bfn.de/

Anhang zum BfN Skriptenband 169

"Raumrepräsentativität technischer Pollensammler für ein Langzeitmonitoring von gentechnisch veränderten Pflanzen (GVP)"

Förderkennzeichen

Bayerisches Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz:

Az. 76a-8793-2001/12

Bundesamt für Naturschutz:

BFN-FKZ: 202 67 430 / 33

A1	Pollensammler-Standort
A1.1	Feldversuch Raps 2003
A1.2	Feldversuch Mais 2003
A2	Sigma-2 – Bildanalytische Pollenanalyse
A2.1	Vorversuche 2002
A2.2	Feldversuch Raps 2003
A2.3	Feldversuch Mais 2003
A2.4	Bestimmung des Maispollenanteils an der Gesamtpollenzahl 2003
A2.5	Auswertungen mit größerer Fläche – Feldversuch Mais 2003
A2.6	Visuelle Überprüfung der ersten Erkennungsstufe (Feldversuch Raps 2003)
A2.7	Visuelle Überprüfung der ersten Erkennungsstufe (Feldversuch Mais 2003)
A3	PMF – Präparation
A3.1	Feldversuch Raps 2003
A3.2	Feldversuch Mais 2003
A4	PMF – Bildanalytische Pollenanalyse
A4.1	Feldversuch Raps 2003
A4.2	Feldversuch Mais 2003
A5	PMF – Molekulargenetische Pollenanalyse
A5.1	Feldversuch Raps 2003
A5.2	Feldversuch Mais 2003
A6	Datenaustauschprogramm (JTieX)
A6.1	XML-Schema
A6.2	Beispiel-Datenpaket
A7	Pollendepositionsindex (PDI)
A8	GIS-Daten
A8.1	Externe GIS-Daten
A8.2	Erzeugte GIS-Daten
A9	Meteorologische Messstationen
A10	Meteorologische Messwerte
A11	Literaturrecherche Impetus Bioscience
A12	Potenzielle Gebiete für ein GVP-Pollen-Monitoring in Deutsch-
land	

A1 Pollensammler-Standorte

A1.1 Feldversuch Raps 2003

Tab. A1.1: Pollensammler-Standorte – Feldversuch Raps 2003

	Gauß-Krüger-Koordinaten		Geländehöhe (m)				Entfernung zum nächsten Raps-	
Standort	Rechtswert	Hochwert	DGM	GPS	Naturraum ¹	Landnutzungstyp	feld (m)	
S01	4450895	5346084	493	492,7	ME	Acker	454	
S02	4450653	5347543	535	536,7	DIH	Acker	133	
S03	4453628	5345979	491	488,4	ME	Grünland	75	
S04	4453410	5344098	496	495,0	ME	Acker	373	
S05	4452414	5342334	500	500,1	ME	Acker	176	
S06	4452859	5335427	525	527,5	ME	Grünland	116	
S07	4452918	5333814	535	534,4	ME	Acker	325	
S08	4451270	5335623	525	525,6	ME	Acker	188	
S09	4450627	5334530	537	539,2	FFBH	Acker	273	
S10	4449184	5339120	511	511,8	ME	Mischnutzung	167	
S11	4447150	5337971	516	516,0	ME	Acker	29	
S12	4445842	5335888	575	575,6	FFBH	Acker	393	
S13	4444372	5332631	561	561,1	ALH	Acker	424	
S14	4446904	5332372	549	547,9	FFBH	Acker	263	
S15	4448245	5331890	583	582,6	FFBH	Acker	86	
S16	4449414	5333684	549	549,5	FFBH	Acker	212	
S17	4449060	5334838	533	533,2	ME	Acker	86	
S18	4444669	5334270	596	597,4	FFBH	Acker	475	
S19	4450785	5337094	522	521,2	ME	Acker	905	
S20	4452216	5339436	512	510,6	ME	Acker	252	
S21	4451169	5332292	542	540,8	ME	Acker	452	
S22	4446893	5333310	543	542,4	FFBH	Mischnutzung	395	
S23	4447485	5334657	562	562,3	FFBH	Acker	192	
S24	4439998	5346537	533	531,2	DIH	Acker	46	
S25	4440285	5344569	541	537,3	DIH	Acker	173	
S26	4442079	5341090	534	532,7	FFBH	Acker	736	
S27	4439894	5340369	538	537,7	FFBH	Acker	1	
S28	4443566	5345189	520	517,3	DIH	Mischnutzung	477	
S29	4438799	5345342	533	533,6	DIH	Acker	208	
S30	4443388	5340379	523	-	ME	Grünland	600	
S31	4446641	5343365	508	506,8	ME	Grünland	260	
S32	4447710	5343994	504	503,8	ME	Mischnutzung	621	
S33	4448004	5345541	500	500,8	ME	Grünland	667	
S34	4446684	5345816	529	527,0	DIH	Acker	1510	
S35	4447832	5346814	504	499,4	DIH	Grünland	588	
S36	4449745	5344910	499	497,6	ME	Grünland	858	
S37	4443331	5334201	579	577,8	FFBH	Acker	469	

_

¹ ALH: Ammer-Loisach-Hügelland, DIH: Donau-Isar-Hügelland, FFBH: Fürstenfeldbrucker Hügelland, ME: Münchener Ebene

S38	4441940	5334368	527	527,6	FFBH	Acker	76
S39	4440556	5333009	535	535,1	FFBH	Mischnutzung	264
S40	4440553	5331945	544	543,3	ALH	Acker	53
S41	4448243	5341271	508	509,0	ME	Acker	63
S42	4446939	5342532	509	508,2	ME	Acker	88
S43	4443873	5342785	513	512,2	ME	Acker	210
S44	4441788	5344176	552	552,9	DIH	Acker	47
S45	4442690	5344456	551	551,9	DIH	Acker	190
S46	4438664	5338221	557	556,1	FFBH	Acker	84
S47	4443219	5338504	529	-	FFBH	Acker	227
S48	4440534	5336435	541	546,0	FFBH	Mischnutzung	1047
S49	4442867	5342520	517	515,3	FFBH	Mischnutzung	426
S50	4438227	5335568	576	577,4	ALH	Grünland	599

A1.2 Feldversuch Mais 2003

Tab. A1.2: Pollensammler-Standorte – Feldversuch Mais 2003

	Gauß-Krüge	r-Koordinaten	Geländehöhe (m)			Entfernung zum nächsten Mais-	
Standort	Rechtswert	Hochwert	DGM	Naturraum	Landnutzungstyp		
S01	4450895	5346084	493	ME	Acker	105	
S02	4450653	5347543	535	DIH	Acker	265	
S03	4453628	5345979	491	ME	Grünland	595	
S04	4453410	5344098	496	ME	Acker	115	
S05	4452414	5342334	500	ME	Acker	90	
S06	4452859	5335427	525	ME	Grünland	50	
S07	4452918	5333814	535	ME	Acker	3	
S08	4451270	5335623	525	ME	Acker	65	
S09	4450627	5334530	537	FFBH	Acker	30	
S10	4449184	5339120	511	ME	Mischnutzung	10	
S11	4447150	5337971	516	ME	Acker	335	
S12	4445842	5335888	575	FFBH	Acker	6	
S13	4444382	5332632	560	ALH	Acker	5	
S14	4446904	5332372	549	FFBH	Acker	110	
S15	4448245	5331890	583	FFBH	Acker	145	
S16	4449414	5333684	549	FFBH	Acker	165	
S17	4449060	5334838	533	ME	Acker	35	
S18	4444669	5334270	596	FFBH	Acker	2	
S19	4450785	5337094	522	ME	Acker	130	
S20	4452216	5339436	512	ME	Acker	20	
S21	4451169	5332292	542	ME	Acker	1	
S22	4446893	5333310	543	FFBH	Mischnutzung	110	
S23	4447485	5334657	562	FFBH	Acker	115	
S24	4439998	5346537	533	DIH	Acker	4	
S25	4440285	5344569	541	DIH	Acker	1	
S26	4442079	5341090	534	FFBH	Acker	25	
S27	4439894	5340369	538	FFBH	Acker	3	
S28	4443566	5345189	520	DIH	Mischnutzung	85	
S29	4438804	5345304	532	DIH	Acker	40	

S30	4443388	5340379	523	ME	Grünland	30
S31	4446641	5343365	508	ME	Grünland	5
S32	4447710	5343994	504	ME	Mischnutzung	620
S33	4448004	5345541	500	ME	Grünland	3
S34	4446684	5345816	529	DIH	Acker	1
S35	4447832	5346814	504	DIH	Grünland	220
S36	4449745	5344910	499	ME	Grünland	110
S37	4443331	5334201	579	FFBH	Acker	60
S38	4441940	5334368	527	FFBH	Acker	480
S39	4440556	5333009	535	FFBH	Mischnutzung	250
S40	4440553	5331945	544	ALH	Acker	4
S41	4448243	5341271	508	ME	Acker	170
S42	4446939	5342532	509	ME	Acker	0
S43	4443915	5342785	513	ME	Acker	5
S44	4441788	5344176	55	DIH	Acker	250
S45	4442690	5344456	551	DIH	Acker	2
S46	4438664	5338221	557	FFBH	Acker	130
S47	4443397	5338477	529	FFBH	Acker	1
S48	4440534	5336435	541	FFBH	Mischnutzung	3
S49	4442589	5342688	517	FFBH	Grünland	320
S50	4438227	5335568	576	ALH	Grünland	1190

A2 Sigma-2 – Bildanalytische Pollenanalyse

Die grau unterlegten Messwerte liegen unterhalb der Nachweisgrenze (NWG) von 4 Pollen (zur Definition siehe Kapitel 3.1.6).

A2.1 Vorversuche 2002

Tab. A2.1.1: Bildanalytische Pollenanalyse – Vorversuche Raps 2002

- Auswertefläche: 240 mm² (TU München: 197 mm²)
- Die Messstellen 2, 12, 14, 15 u. 16 wurden von der TU München ausgewertet.
- Anzahl auswertbarer Proben mit Messdaten oberhalb der NWG: 67
- Anzahl auswertbarer Proben mit Messdaten unterhalb der NWG: 64

Serien-Nr.	Messstelle	Expositionsdauer, Tage	Rapspollenzahl	Anzahldepositionsrate, Rapspollen/cm²/Woche
15	2	3,8	4	3,8
15	12	3,8	0	0,0
15	14	3,8	Ō	0,0
15	15	3,8	2	1,9
15	16	3,8	0	0,0
15	Summe	3,8	6	0,0
16	1	7,0	23	9,6
16	2	7,0	20	10,2
16	3	7,0	25	10,4
16	4	7,0	7	2,9
16	5	7,0	8	3,3
16	6	7,0	2	0,8
	7	7,0	4	1,7
16 16	8	7,0	1	
16	9	7,0		0,4
16	10		5	2,1
16		7,0	1	
	11	7,0		0,4
16	12	7,0	8	4,1
16	13	7,0	2	0,8
16	14	7,0	5	2,5
16	15	7,0	8	4,1
16	16	7,0	12	6,1
16	17	7,0	n.d.	n.d.
16	18	7,0	n.d.	n.d.
16	Summe	7,0	132	
17	1	3,3	1	1,0
17	2	3,3	7	7,5
17	3	3,3	0	0,0
17	4	3,3	1	1,0
17	5	3,3	6	5,8
17	6	3,3	0	0,0
17	7	3,3	1	1,0
17	8	3,3	0	0,0
17	9	3,3	2	1,9
17	10	3,3	0	0,0
17	11	3,3	0	0,0
17	12	3,3	0	0,0
17	13	3,3	0	0,0
17	14	3,3	6	6,4
17	15	3,3	5	5,3
17	16	3,3	1	1,1
17	17	3,3	0	0,0
17	18	3,3	Ō	0,0
17	Summe	3,3	30	

Serien-Nr.	Messstelle	Expositionsdauer, Tage	Rapspollenzahl	Anzahldepositionsrate, Rapspollen/cm²/Woche
18	1	3,7	3	2,2
18	2	3,7	213	206,6
18	3	3,7	0	0,0
18	4	3,7	62	45,2
18	5	3,7	25	18,2
18	6	3,7	1	0,7
18	7	3,7	2	1,5
18	8	3,7	8	5,8
18	9	3,7	5	3,6
18	10	3,7	5	3,6
18	11	3,7	27	19,7
18	12	3,7	1	1,0
18	13	3,7	14	10,2
18	14	3,7	86	83,4
18	15	3,7	33	32,0
18	16	3,7	16	15,5
18	17	3,7	5	3,6
18	18	3,7	1	0,7
18	Summe	3,7	507	V,1
19	1	3,3	7	6,8
19	2		48	51,0
19	3	3,3 3,3	1	1,0
			14	
19	4	3,3		13,6
19	5	3,3	6	5,8
19	6	3,3	3	2,9
19	7	3,3	5	4,9
19	8	3,3	0	0,0
19	9	3,3	0	0,0
19	10	3,3	4	3,9
19	11	3,3	0	0,0
19	12	3,3	12	12,8
19	13	3,3	1	1,0
19	14	3,3	12	12,8
19	15	3,3	20	21,3
19	16	3,3	23	24,5
19	17	3,3	24	23,3
19	18	3,3	3	2,9
19	Summe	3,3	183	
20	1	3,7	30	21,9
20	2	3,7	175	169,2
20	3	3,7	8	5,8
20	4	3,7	12	8,8
20	5	3,7	22	16,0
20	6	3,7	24	17,5
20	7	3,7	17	12,4
20	8	3,7	6	4,4
20	9	3,7	10	7,3
20	10	3,7	1	0,7
20	11	3,7	7	5,1
20	12	3,7	20	19,3
20	13	3,7	4	2,9
20	14	3,7	22	21,3
20	15	3,7	14	13,5
20	16	3,7	179	173,1
20	17	3,7	35	25,5
20	18	3,7	37	27,0
20	Summe	3,7	623	Z1,0
4 0	Juillille	J,1	023	j

Serien-Nr.	Messstelle	Expositionsdauer, Tage	Rapspollenzahl	Anzahldepositionsrate, Rapspollen/cm²/Woche
21	1	3,4	4	3.9
21	2	3,4	82	86,1
21	3	3,4	3	2,9
21	4	3,4	1	1,0
21	5	3,4	8	7,8
21	6	3,4	2	1,9
21	7	3,4	2	1,9
21	8	3,4	3	2,9
21	9	3,4	2	1,9
21	10	3,4	n.d.	n.d.
21	11	3,4	0	0,0
21	12	3,4	2	2,1
21	13	3,4	2	1,9
21	14	3,4	3	3,2
21	15	3,4	11	11,6
21	16	3,4	52	54,6
21	17	3,4	n.d.	n.d.
21	18	3,4	0	0,0
21	Summe	3,4	177	
22	1	3,6	1	0,7
22	2	3,6	32	31,4
22	3	3,6	3	2,2
22	4	3,6	3	2,2
22	5	3,6	1	0,7
22	6	3,6	4	2,9
22	7	3,6	0	0,0
22	8	3,6	0	0,0
22	9	3,6	0	0,0
22	10	3,6	n.d.	n.d.
22	11	3,6	2	1,5
22	12	3,6	0	0,0
22	13	3,6	1	0,7
22	14	3,6	8	7,8
22	15	3,6	17	16,7
22	16	3,6	4	3,9
22	17	3,6	2	1,5
22	18	3,6	1	0,7
22	Summe	3,6	79	
23	2	5,9	0	0,0
23	12	5,9	0	0,0
23	14	5,9	3	1,8
23	15	5,9	0	0,0
23	16	5,9	6	3,6
23	Summe	5,9	9	

Tab. A2.1.2: Bildanalytische Pollenanalyse – Vorversuche Mais 2002

• Auswertefläche: 200 mm²

• Anzahl auswertbarer Proben mit Messdaten oberhalb der NWG: 14

• Anzahl auswertbarer Proben mit Messdaten unterhalb der NWG: 39

Serien-Nr.	Messstelle	Expositionsdauer, Tage	Maispollenzahl	Anzahldepositionsrate, Maispollen/m²/Tag
24	1	7	85	6,1E+04
24	2	7	87	6,3E+04
24	3	7	14	1,0E+04
24	4	7	9	7E+03
24	5	7	0	0
24	6	7	0	0
24	7	7	13	9E+03
24	8	7	47	3,4E+04
24	9	7	57	4,1E+04
24	10	3	9	1,5E+04
24	11	3	6	1,0E+04
24	12	3	0	1,02104
24	13	3	1	2E+03
24	14	3	0	0
24	15	3	0	0
24	16	3	0	0
24	17	3	0	0
24	Summe	3	328	<u> </u>
25	1	7	111	7,9E+04
25	2	7	0	7,92+04
25	3	7	2	1E+03
25	4	7	2	1E+03
25	5	7	15	1,1E+04
25	6	7	1	7E+02
25	7	7	4	3E+03
25	8	7	0	0
25	9	7	6	4E+03
25	10	7	3	2E+03
25	11	7	0	0
25	12	7	0	0
25	13	7	0	0
25	14	7	1	7E+02
25	15	7	0	7 E + 0 2
25	16	7	0	0
25	17	7	0	0
25	18	7	2	1E+03
25	Summe	7	147	1E+03
26	1	7	23	1,6E+04
	2	7	0	1,0=+04
26 26	3	7	0	0
	4	7	0	
26 26	5	7	0	
26	6	7	0	0
26	7	7	0	0
26	8	7		0
26	9	7	2	1E+03
26	10	7	0	0
26	11	7	0	0
26	12	7	0	0
26	13	7	0	0
26		7		0
	14 15		0	
26 26	16	7	0	0
				0
26	17	7	0	0
26	18	7	0	U
26	Summe	7	25	

A2.2 Feldversuch Raps 2003

Tab. A2.2.1: Bildanalytische Pollenanalyse – Feldversuch Raps 2003 Woche 17

- Auswertefläche: 200 mm²
- Ergebnisse der automatischen Erkennung
- Anzahl auswertbarer Proben mit Messdaten für Raps oberhalb der NWG: 5
- Anzahl auswertbarer Proben mit Messdaten für Raps unterhalb der NWG: 44
- *Probe 33 hatte eine abweichende Auswertefläche von 180 mm².

Messstelle	Keine Pollen	Pollen:						
		Gesamtzahl	Agglomerate	Varia	Tanne und Fichte	Kiefer	Varia Kreuzblütler	Raps
1	2632	1093	89	491	331	4	0	0
2	458	1002	49	413	431	8	0	3
3	992	1091	64	581	305	11	0	2
4	546	998	48	502	346	6	0	0
5	536	1058	48	507	400	6	0	1
6	1453	1105	70	490	401	3	0	1
7	1174	1304	76	569	502	5	0	0
8	1162	1257	65	467	590	5	0	0
9	1683	1169	81	392	528	6	0	0
10	801	1196	67	535	453	7	0	0
11	512	1480	99	517	648	14	0	4
12	392	1404	77	545	620	8	0	0
13	510	1761	93	596	873	12	0	1
14	472	1217	78	432	547	4	0	0
15	501	1395	83	511	610	13	0	12
16	724	1314		501	533	11	0	2
			89					
17	1824	1165	87	379	508	17	0	0
18	503	1322	71	532	568	9	0	0
19	638	1978	135	827	733	12	0	1
20	594	1098	55	476	452	4	0	1
21	1529	1348	110	435	572	11	0	0
22	608	1360	102	497	544	5	0	8
23	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
24	703	1176	84	380	536	7	0	1
25	502	1233	70	356	648	13	0	6
26	1100	1087	76	343	508	8	0	0
27	777	996	49	400	439	9	0	1
28	447	971	54	402	404	2	0	1
29	380	1193	66	372	613	4	0	6
30	746	1115	65	444	467	6	0	3
31	2723	957	75	374	346	9	0	3
32	1258	2444	167	1478	453	10	0	2
33*	731	790	47	356	286	7	0	0
34	643	934	69	397	322	8	0	0
35	731	1135	63	331	604	11	0	0
36	1189	1844	114	1114	379	8	0	1
37	727	1778	117	715	695	17	0	0
38	1607	1559	100	703	529	27	0	0
39	635	1889	95	828	750	26	0	0
40	689	1723	98	768	646	14	0	1
41	1950	995	64	392	402	6	0	3
42	1245	1177	124	367	431	5	0	2
43	790	1160	62	475	490	7	0	2
44	893	1119	69	333	574	3	0	2
45	589	812	51	304	349	6	0	0
46	746	953	60	332	431	9	0	1
47	1016	1691	117	460	872	8	0	0
48	719	1636	107	559	740	15	0	1
49	972	1046	84	315	473	4	Ō	2
50	607	915	46	243	526	8	0	ō

Tab. A2.2.2: Bildanalytische Pollenanalyse – Feldversuch Raps 2003 Woche 18

• Auswertefläche: 200 mm²

• Ergebnisse der automatischen Erkennung

• Anzahl auswertbarer Proben mit Messdaten für Raps oberhalb der NWG: 12

• Anzahl auswertbarer Proben mit Messdaten für Raps unterhalb der NWG: 38

• *Probe 16 hatte nur 110 mm² Auswertefläche

Messstelle	Keine Pollen	Pollen:							
		Gesamtzahl	Agglomerate	Varia	Tanne und Fichte	Kiefer	Varia Kreuzblütler	Raps	
1	1118	1147	102	339	261	241	0	0	
2	514	906	41	254	274	229	0	26	
3	1015	1050	76	294	259	259	0	10	
4	1513	1040	73	299	257	263	0	2	
5	772	824	53	248	264	153	0	0	
6	1279	1020	78	306	255	225	0	0	
7	1183	1166	82	365	381	170	1	3	
8	1141	1079	92	292	321	187	0	3	
9	1932	1079	97	330	277	180	0	1	
10	1188	1170	97	394	293	188	1	3	
11	1447	1098	108	292	308	170	0	4	
12	918	1184	72	353	385	230	0	0	
13	1095	1384	111	404	513	133	1	0	
14	1136	1019	76	308	322	152	0	9	
15	1282	1453	128	422	454	192	0	1	
16*	1129	635	52	177	205	96	0	1	
17	2423	1125	116	291	319	167	0	0	
18	994	959	48	327	323	161	0	4	
19	931	1359	119	419	376	206	0	1	
20	1090	1019	78	285	302	195	0	3	
21	1094	1178	90	338	377	191	2	0	
22	1051	1114	74	467	304	121	0	0	
23	1867	1283	100	315	472	195	0	1	
24	1171	1091	87	301	271	249	0	9	
25	993	1035	66	295	300	234	0	8	
26	2021	1090	99	289	300	202	0	2	
27	1032	1076	89	307	314	183	0	5	
28	642	922	69	322	192	201	0	0	
29	455	978	72	272	295	190	0	5	
30	995	975	65	327	243	210	0	0	
31	1826	1027	86	321	258	189	0	1	
32	1501	1507	139	679	232	179	0	0	
33	1067	1018	92	298	239	204	0	1	
34	1279	957	55	305	269	218	Ō	0	
35	1476	1132	68	424	306	198	0	Ō	
36	2265	1136	79	431	274	191	0	3	
37	1919	1149	78	423	372	114	0	6	
38	2912	1126	110	302	348	143	0	3	
39	807	1543	104	505	603	123	0	0	
40	564	1008	67	316	412	77	0	2	
41	3813	1160	105	298	304	241	2	0	
42	1315	1031	74	332	300	172	0	5	
43	1080	980	61	308	288	199	0	2	
44	1752	958	66	272	293	194	0	1	
45	1340	832	56	271	228	165	0	0	
46	1357	977	65	336	314	127	0	5	
47	1737	1447	103	456	529	153	0	0	
48	975	1420	111	388	545	152	0	2	
49	817	951	51	346	240	210	0	2	
50	1074	1396	95	550	419	140	1	1	

Tab. A2.2.3: Bildanalytische Pollenanalyse – Feldversuch Raps 2003 Woche 19

• Auswertefläche: 200 mm²

• Ergebnisse der automatischen Erkennung

• Anzahl auswertbarer Proben mit Messdaten für Raps oberhalb der NWG: 0

• Anzahl auswertbarer Proben mit Messdaten für Raps unterhalb der NWG: 50

Messstelle	Keine Pollen	Pollen:						
		Gesamtzahl	Agglomerate	Varia	Tanne und Fichte	Kiefer	Varia Kreuzblütler	Raps
1	452	187	19	40	6	84	0	0
2	276	175	16	25	11	90	0	1
3	262	182	15	45	11	81	0	0
4	788	271	31	73	11	94	0	0
5	279	134	8	28	14	67	0	1
6	307	153	14	52	10	49	0	0
7	329	137	12	39	15	46	0	1
8	427	135	10	40	8	57	0	0
9	478	131	12	37	11	47	0	0
10	292	213	14	77	4	90	0	0
11	213	141	8	36	14	67	0	0
12	246	150	6	51	10	71	0	0
13	372	171	21	36	15	56	0	1
14	321	110	5	35	7	53	0	0
15	344	97	4	36	6	41	0	2
16	296	117	10	21	16	49	0	1
17	544	181	9	46	37	69	0	2
18	264	146	10	29	14	73	0	0
19	326	96	2	16	19	55	0	0
20	114	121	11	10	16	62	0	0
21	152	105	7	18	9	56	0	1
22	147	124	5	65	6	38	0	0
23	180	115	9	16	17	55	0	0
24	297	182	19	25	26	74	0	0
25	318	160	7	44	21	73	0	1
26	236	168	14	23	9	94	0	0
27	298	180	18	43	15	66	0	2
28	346	204	12	49	10	109	0	0
29	251	175	11	30	19	93	0	0
30	355	154	8	35	14	81	0	0
31	344	163	9	83	10	43	0	0
32	242	173	6	95	11	49	0	0
33	352	153	23	29	12	43	0	0
34	331	221	17	37	28	105	0	0
35	177	139	13	58	4	38	0	0
36	252	185	18	51	6	74	0	0
37	195	233	16	106	3	76	0	0
38	281	141	7	37	6	76	0	1
39	152	233	13	21	10	163	0	0
40	202	116	13	22	13	41	0	1
41	677	195	14	47	13	93	0	0
42	189	149	13	33	5	72	0	0
43	162	147	11	39	8	67	0	0
44	318	192	16	36	6	101	0	1
45	158	168	13	28	8	93	0	0
46	173	138	7	40	4	73	0	0
47	180	204	12	54	22	92	0	0
48	204	153	9	38	6	82	0	0
49	226	149	10	48	5	65	0	1
50	158	248	16	130	7	63	0	0

Tab. A2.2.4: Bildanalytische Pollenanalyse – Feldversuch Raps 2003 Woche 20

- Auswertefläche: 200 mm²
- Ergebnisse der automatischen Erkennung
- Anzahl auswertbarer Proben mit Messdaten für Raps oberhalb der NWG: 3
- Anzahl auswertbarer Proben mit Messdaten für Raps unterhalb der NWG: 46
- *Probe 35 hatte eine Auswertefläche von 170 mm².

Messstelle	Keine Pollen	Pollen:						
		Gesamtzahl	Agglomerate	Varia	Tanne und Fichte	Kiefer	Varia Kreuzblütler	Raps
1	260	264	7	216	4	23	0	0
2	202	112	2	69	14	23	0	0
3	544	151	6	98	13	22	Ō	0
4	233	99	9	33	11	28	Ō	0
5	351	121	7	62	8	29	0	1
6	751	203	9	120	15	41	0	0
7	291	169	17	58	25	34	0	1
8	250	131	7	58	18	34	0	0
9	615	153	11	56	24	40	0	0
10	208	215	6	152	8	36	0	1
11	266	154	10	64	15	43	0	2
12	260	201	21	79	18	41	Ō	0
13	226	141	11	57	17	34	0	0
14	329	143	7	83	19	20	0	0
15	333	287	15	178	17	36	0	11
16	554	131	11	41	18	39	0	0
17	592	383	20	270	20	32	Ō	1
18	367	177	18	60	22	40	0	1
19	573	234	22	88	22	58	0	0
20	391	169	17	69	12	33	0	4
21	444	191	22	67	23	35	0	0
22	256	401	14	319	14	25	0	1
23	252	109	6	53	15	23	0	0
24	630	198	19	78	28	33	0	2
25	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
26	536	149	13	67	8	32	0	3
27	479	153	7	75	22	30	0	5
28	328	385	20	287	16	22	0	0
29	206	126	5	77	19	14	0	1
30	373	151	8	76	12	37	0	2
31	973	248	20	136	13	39	0	0
32	606	500	21	395	12	30	0	0
33	410	230	16	126	18	38	0	0
34	318	119	5	56	20	27	0	1
35*	817	304	27	184	13	26	0	0
36	413	256	15	148	19	44	0	0
37	341	314	21	206	14	29	2	0
38	473	185	18	69	16	44	0	2
39	283	165	17	51	15	48	0	0
40	252	144	14	63	12	25	1	1
41	565	142	12	50	15	41	0	0
42	339	109	10	45	6	26	0	2
43	354	194	17	92	14	37	0	0
44	382	208	12	117	23	32	0	0
45	258	165	11	92	19	19	0	2
46	307	181	19	79	24	21	0	0
47	307	292	15	205	9	33	0	0
48	310	174	8	95	12	41	0	2
49	268	354	14	270	8	34	0	0
50	339	916	31	759	24	39	0	1

A2.3 Feldversuch Mais 2003

Tab. A2.3.1: Bildanalytische Pollenanalyse – Feldversuch Mais 2003 Woche 27

- Auswertefläche: 200 mm² (automatisch), bzw. 324 mm² (visuell)
- Ergebnisse der automatischen Erkennung, Vergleich mit visueller Bestimmung
- Anzahl auswertbarer Proben mit Messdaten für Mais oberhalb der NWG: 14
- Anzahl auswertbarer Proben mit Messdaten für Mais unterhalb der NWG: 36

Messstelle	Automatische	Pollenerkennun	g					Visuelle Bestimmung
	Keine Pollen	Gesamtzahl	Agglomerate	Varia	Gräser	Brennessel	Mais	Mais
1	3439	126	9	22	30	55	1	0
2	3009	127	11	19	19	66	1	1
3	6130	114	10	20	19	54	1	0
4	2773	116	8	19	16	62	3	3
5	3073	156	15	31	13	82	0	1
6	4987	168	10	36	25	86	1	1
7	2149	237	13	80	29	102	0	3
8	3185	136	13	20	20	68	2	1
9	4067	182	10	37	32	88	5	0
10	1769	139	13	22	20	68	3	3
11	2417	134	3	26	21	79	2	0
12	1763	136	10	22	19	73	2	3
13	1357	128	7	34	17	61	2	0
14	2064	138	9	29	29	62	0	2
15	2519	228	18	72	53	66	1	1
16	3835	147	11	22	33	67	3	1
17	2088	145	11	40	24	56	3	Ö
18	1927	122	15	26	10	55	1	0
19	1693	277	26	103	23	99	0	0
20	2174	167	11	38	35	70	2	1
21	1680	285	19	29	15	186	17	39
22	1492	234	9	30	90	94	2	0
23	3358	120	5	22	28	56	4	0
24	2115		9	38				
25	2204	157 274	20	21	20 12	65 58	16 143	36 274
	1882						143	1
26		127	10	25	21	60	100	
27	1614	219	14	19	19	44	109	185
28	2450	192	16	26	55	74	5	4
29	1850	133	8	38	13	66	0	3
30	2021	243	17	94	34	80	1	1
31	8484	173	14	23	29	83	10	14
32	5533	399	30	28	106	202	3	0
33	2409	136	9	19	21	68	10	10
34	1963	159	7	27	17	60	41	59
35	4259	166	15	18	24	91	3	0
36	3315	204	12	23	16	136	5	3
37	1470	858	31	62	673	59	2	2
38	4030	106	10	10	14	60	2	1
39	1744	114	9	21	21	53	1	0
40	1396	135	5	32	16	58	19	32
41	7700	145	15	33	15	55	12	0
42	3357	143	7	11	21	52	45	137
43	2485	7181	412	57	26	6265	9	4
44	3098	146	11	23	28	69	4	1
45	1790	183	10	12	61	59	31	85
46	3300	139	7	16	34	71	4	2
47	2530	137	19	15	18	58	8	24
48	2259	266	27	22	129	35	26	51
49	4398	2727	173	59	47	2273	2	0
50	2382	550	35	68	348	64	0	1

Tab. A2.3.2: Bildanalytische Pollenanalyse – Feldversuch Mais 2003 Woche 28

- Auswertefläche: 200 mm² (automatisch), bzw. 324 mm² (visuell)
- Ergebnisse der automatischen Erkennung, Vergleich mit visueller Bestimmung
- Anzahl auswertbarer Proben mit Messdaten für Mais oberhalb der NWG: 24
- Anzahl auswertbarer Proben mit Messdaten für Mais unterhalb der NWG: 26

Messstelle	Automatische	Pollenerkennun	g					Visuelle Bestimmung
	Keine Pollen	Gesamtzahl	Agglomerate	Varia	Gräser	Brennessel	Mais	Mais
1	4719	239	16	54	38	115	0	1
2	3334	169	14	27	13	98	3	0
3	4064	197	19	27	17	113	2	1
4	5664	165	22	25	9	81	6	2
5	3265	178	14	21	20	107	2	0
6	8846	244	24	44	21	126	5	2
7	8446	442	38	186	36	134	10	8
8	5015	218	23	32	15	118	7	6
9	5419	264	23	55	25	128	10	12
10	4383	206	22	32	39	86	5	5
11	5093	188	26	23	27	80	6	2
12	3217	164	13	31	14	90	3	10
13	4646	281	22	13	32	187	5	1
14	4115	211	20	34	25	107	5	2
15	15741	394	54	58	57	147	24	6
16	10547	250	32	26	28	117	15	4
17	6152	182	26	22	25	73	10	0
18	2690	153	14	24	18	80	3	4
19	2973	226	24	54	25	95	4	1
20	7456	190	15	34	20	101	5	2
21	2788	270	18	26	32	160	16	26
22	2935	291	19	36	23	194	0	0
23	7341	200	18	26	19	115	4	11
		280	27	62	15	96		72
24 25	4508 3185	277	15	29	22	108	53 88	140
	8876							0
26		274	26	65	34	119	4	
27	4900	222	17	21	17	88	62	125
28	4781	346	33	48	77	145	10	9
29	2932	217	16	31	23	76	55	96
30	2780	262	15	87	23	118	4	2
31	8914	389	27	28	31	267	9	2
32	5239	324	26	36	15	220	1	1
33	2633	141	9	26	15	77	5	14
34	3244	190	11	42	15	86	25	49
35	5383	178	20	25	22	88	3	2
36	4349	242	15	31	17	157	7	3
37	3682	359	24	46	180	80	5	7
38	9337	166	28	20	19	66	5	0
39	2058	134	15	26	10	66	2	1
40	2357	140	10	26	11	66	17	44
41	9350	198	32	27	19	76	12	4
42	11028	357	39	43	24	101	111	227
43	4070	4771	245	58	47	4166	10	5
44	4557	229	18	32	55	100	6	1
45	2685	187	10	23	23	102	19	25
46	3537	127	6	19	7	85	4	6
47	2449	137	11	22	12	77	4	2
48	4589	229	16	40	26	80	51	88
49	2782	1385	63	51	28	1178	2	0
50	3133	343	25	52	149	91	1	0

Tab. A2.3.3: Bildanalytische Pollenanalyse – Feldversuch Mais 2003 Woche 29

- Auswertefläche: 200 mm² (automatisch), bzw. 324 mm² (visuell)
- Ergebnisse der automatischen Erkennung, Vergleich mit visueller Bestimmung
- Anzahl auswertbarer Proben mit Messdaten für Mais oberhalb der NWG: 13
- Anzahl auswertbarer Proben mit Messdaten für Mais unterhalb der NWG: 37

Messstelle	Automatische	Pollenerkennun	g					Visuelle Bestimmung
	Keine Pollen	Gesamtzahl	Agglomerate	Varia	Gräser	Brennessel	Mais	Mais
1	3139	166	12	28	20	91	3	2
2	2399	137	6	28	13	82	2	1
3	2708	130	11	18	19	69	2	0
4	4309	123	9	14	10	80	1	0
5	2323	133	13	17	22	68	0	0
6	3033	315	10	108	19	165	3	2
7	3850	312	26	170	20	68	2	4
8	3363	159	16	24	14	87	2	1
9	3662	239	17	95	23	80	7	5
10	2307	159	9	40	26	74	1	2
11	5038	166	22	24	9	83	6	1
12	3218	150	12	33	19	68	6	2
13	1903	345	19	44	16	243	4	0
14	2454	120	7	15	14	74	3	0
15	1885	163	6	47	40	61	3	0
				32	11		4	
16	3503	200	24			105		2
17	4027	185	15	35	19	92	9	3
18	1730	93	5	15	15	52	1	0
19	1678	151	14	28	20	74	1	0
20	2099	132	7	26	11	77	4	1
21	2191	177	19	24	15	96	4	12
22	2136	255	20	38	32	144	1	0
23	2182	101	4	17	10	65	1	0
24	2883	181	22	33	19	78	7	11
25	2336	166	16	17	20	87	10	10
26	5237	172	16	30	20	81	9	0
27	3617	158	16	24	14	76	12	14
28	2190	182	17	35	23	88	2	4
29	2224	155	13	27	13	69	20	50
30	2258	406	20	242	45	79	0	1
31	6050	216	15	23	24	139	0	2
32	2444	337	24	27	24	237	1	1
33	1826	166	10	35	19	87	5	16
34	2618	145	13	19	11	87	2	1
35	4466	244	34	33	18	109	16	0
36	1828	302	17	41	16	209	2	0
37	1567	110	9	16	8	68	0	1
38	2214	89	7	9	8	56	2	2
39	1535	75	3	17	19	33	0	0
40	1494	68	3	30	6	22	4	1
41	7702	158	22	32	15	57	10	0
42	4497	102	10	15	10	53	4	17
43	2345	2389	91	52	21	2133	1	1
44	3203	165	15	24	32	73	6	2
45	2452	161	20	20	15	78	8	6
46	4721	204	20	33	30	89	12	11
47	1844	84	6	17	8	45	2	4
48	2262	115	7	20	26	48	7	11
49	2228	952	34	57	30	795	2	0
50	1928	166	10	36	58	51	1	0

Tab. A2.3.4: Bildanalytische Pollenanalyse – Feldversuch Mais 2003 Woche 30

- Auswertefläche: 200 mm² (automatisch), bzw. 324 mm² (visuell)
- Ergebnisse der automatischen Erkennung, Vergleich mit visueller Bestimmung
- Anzahl auswertbarer Proben mit Messdaten für Mais oberhalb der NWG: 1
- Anzahl auswertbarer Proben mit Messdaten für Mais unterhalb der NWG: 49

Messstelle	Automatische	Pollenerkennun	g					Visuelle Bestimmung
	Keine Pollen	Gesamtzahl	Agglomerate	Varia	Gräser	Brennessel	Mais	Mais
1	1978	95	11	10	7	54	2	Ō
2	1845	96	5	12	7	65	2	0
3	1968	96	6	12	13	59	0	Ō
4	2573	132	10	19	13	77	3	0
5	1321	100	5	17	7	66	0	Ō
6	3544	275	11	58	11	181	3	Ō
7	5197	390	49	173	35	70	14	Ō
8	3999	118	12	17	8	67	2	1
9	3911	225	24	48	26	96	7	1
10	1411	123	7	25	9	75	0	0
11	1436	101	3	12	9	73	1	Ō
12	1519	106	5	21	11	62	2	0
13	3522	229	11	20	9	176	2	0
14	2576	116	19	18	7	50	3	0
15	1645	99	4	18	15	56	2	0
16	4296	125	14	14	9	72	2	0
17	7264	158	20	28	11	70	9	0
18	1243	62	4	8	5	41	0	Ö
19	1213	98	6	13	10	58	5	0
20	1182	84	3	19	11	46	2	Ö
21	3295	222	26	15	7	145	3	Ö
22	1132	151	10	28	20	82	1	Ö
23	2201	92	7	14	3	56	5	0
24	1277	116	10	20	6	70	0	0
25	1405	90	12	17	6	42	1	2
26	6721	155	10	29	11	87	8	0
27	2489	94	5	9	6	64	5	2
28	2003	122	12	18	6	69	5	1
29	1377	98	3	23	9	59	1	1
30	1879	201	19	81	15	64	3	1
31	3708	161	13	24	15	94	2	0
32	1382	264	4	23	13	219	1	0
33	1443	114	7	23	5	69	3	5
34	2419	127	11	24	11	69	1	0
35	1475	139	11	45	9	61	2	0
36	2072	241	20	17	10	174	0	0
37	1284	96	7	15	8	57	2	0
38	2916	105	13	14	3	59	3	0
39	831	83		22	6	39	0	0
40	871	81	9	23	10	39	0	0
41	3277	146	13	43	13	61		0
42				12	10		3	
	1695	93	4			60		0
43	1633	1592	54	28	6 7	1449	1	0
44	2530	111	9	29		63	4	0
45	1542	85		15	4	46	2	
46	332	12	1	4	1	5	0	n.d.
47	1659	108	13	20	9	51	2	0
48	1962	95	6	27	8	44	4	2
49	1764	1244	45	31	7	1115	1	0
50	1286	111	3	36	15	54	0	0

A2.4 Bestimmung des Maispollenanteils an der Gesamtpollenzahl 2003

Tab. A2.4.1: Bestimmung des Maispollenanteils an der Gesamtpollenzahl – Woche 27

Messstelle	Automatische	Auswer-	Visuelle	Berechnungsweg:		2. Berechnungsweg:	M = 1 = = = 11 = =			
	tung		Auswertung	Hochrechnung der						
	200 mm ²		324 mm ²	lenzahl auf 324 mm²		zahlen der auto Auswertung	omatischer			
	Gesamtpollen	Mais	Mais	Maisanteil an der	Relativer	Maisanteil an der				
			-	Gesamtpollenzahl	Fehler	Gesamtpollenzahl	Fehler			
1	126	1	0	0,0%	0,087%	0,8%	100%			
2	127	1	1	0,5%	0,086%	0,8%	0%			
3	114	1	0	0,0%	0,101%	0,9%	100%			
4	116	3	3	1,6%	0,099%	2,6%	33%			
5	156	0	1	0,4%	0,063%	0,0%	n.d.			
6	168	1	1	0,4%	0,057%	0,6%	0%			
7	237	0	3	0,8%	0,034%	0,0%	n.d.			
8	136	2	1	0,5%	0,078%	1,5%	50%			
9	182	5	0	0,0%	0,050%	2,7%	100%			
10	139	3	3	1,3%	0,075%	2,2%	33%			
11	134	2	0	0,0%	0,080%	1,5%	100%			
12	136	2	3	1,4%	0,078%	1,5%	0%			
13	128	2	0	0,0%	0,085%	1,6%	100%			
14	138	0	2	0,9%	0.076%	0,0%	n.d.			
15	228	1	1	0,3%	0,036%	0,4%	0%			
16	147	3	1	0,4%	0,069%	2.0%	67%			
17	145	3	0	0,0%	0,071%	2,1%	100%			
18	122	1	0	0.0%	0,092%	0,8%	100%			
19	277	0	0	0,0%	0,032%	0,0%	n.d.			
20	167	2	1	0,4%	0,027%	1,2%	50%			
21	285	17	39	8,4%	0,026%	6,0%	41%			
22	234	2	0	0,0%	0,026%	0,9%	100%			
23	120	4	0	0,0%	0,034%	3,3%	100%			
					0.063%					
24	157	16	36	14,2%	,	10,2%	38%			
25	274	143	274	61,7%	0,027%	52,2%	18%			
26	127	100	1	0,5%	0,086%	0,8%	0%			
27	219	109	185	52,1%	0,038%	49,8%	5%			
28	192	5	4	1,3%	0,046%	2,6%	60%			
29	133	0	3	1,4%	0,080%	0,0%	n.d.			
30	243	1	1	0,3%	0,033%	0,4%	0%			
31	173	10	14	5,0%	0,054%	5,8%	10%			
32	399	3	0	0,0%	0,015%	0,8%	100%			
33	136	10	10	4,5%	0,078%	7,4%	40%			
34	159	41	59	22,9%	0,062%	25,8%	12%			
35	166	3	0	0,0%	0,058%	1,8%	100%			
36	204	5	3	0,9%	0,042%	2,5%	60%			
37	858	2	2	0,1%	0,005%	0,2%	50%			
38	106	2	1	0,6%	0,113%	1,9%	50%			
39	114	1	0	0,0%	0,101%	0,9%	100%			
40	135	19	32	14,6%	0,079%	14,1%	5%			
41	145	12	0	0,0%	0,071%	8,3%	100%			
42	143	45	137	59,1%	0,072%	31,5%	89%			
43	7181	9	4	0,0%	0,000%	0,1%	78%			
44	146	4	1	0,4%	0,070%	2,7%	75%			
45	183	31	85	28,7%	0,050%	16,9%	68%			
46	139	4	2	0,9%	0,075%	2,9%	75%			
47	137	8	24	10,8%	0,077%	5,8%	88%			
48	266	26	51	11,8%	0,028%	9,8%	19%			
49	2727	2	0	0,0%	0,020%	0,1%	100%			
50	550	0	1	0,1%	0,001%	0,0%	n.d.			

Tab. A2.4.2: Bestimmung des Maispollenanteils an der Gesamtpollenzahl – Woche 28

Messstelle	Automatische	Auswer-	Visuelle	1. Berechnungsweg:		2. Berechnungsweg:	
Meddotelle	tung	71001101	Auswertung	Hochrechnung der		Verwendung der I	Maispollen-
	200 mm ²		324 mm²	lenzahl auf 324 mm²			omatischen
						Auswertung	
	Gesamtpollen	Mais	Mais	Maisanteil an der	Relativer	Maisanteil an der	Relativer
				Gesamtpollenzahl	Fehler	Gesamtpollenzahl	Fehler
1	239	0	1	0,3%	0,033%	0,0%	n.d.
2	169	3	0	0,0%	0,056%	1,8%	100%
3	197	2	1	0,3%	0,045%	1,0%	50%
4	165	6	2	0,7%	0,058%	3,6%	83%
5	178	2	0	0,0%	0,052%	1,1%	100%
6	244	5	2	0,5%	0,032%	2,0%	80%
7	442	10	8	1,1%	0,013%	2,3%	50%
8	218	7	6	1,7%	0,038%	3,2%	43%
9	264	10	12	2,8%	0,029%	3,8%	30%
10	206	5	5	1,5%	0,042%	2,4%	40%
11	188	6	2	0,7%	0,048%	3,2%	83%
12	164	3	10	3,8%	0,059%	1,8%	100%
13	281	5	1	0,2%	0,026%	1,8%	80%
14	211	5	2	0,6%	0,040%	2,4%	80%
15	394	24	6	0,9%	0,016%	6,1%	83%
16	250	15	4	1,0%	0,031%	6,0%	87%
17	182	10	0	0,0%	0,050%	5,5%	100%
18	153	3	4	1,6%	0,065%	2,0%	33%
19	226	4	1	0,3%	0,036%	1,8%	75%
20	190	5	2	0,6%	0,047%	2,6%	80%
21	270	16	26	5,9%	0,028%	5,9%	0%
22	291	0	0	0,0%	0,025%	0,0%	n.d.
23	200	4	1	0,3%	0,044%	2,0%	75%
24	280	53	72	15,9%	0,026%	18,9%	17%
25	277	88	140	31,2%	0,027%	31,8%	2%
26	274	4	0	0,0%	0,027%	1,5%	100%
27	222	62	125	34,7%	0,037%	27,9%	24%
28	346	10	9	1,6%	0,019%	2,9%	40%
29	217	55	96	27,3%	0,039%	25,3%	7%
30	262	4	2	0,5%	0,029%	1,5%	75%
31	389	9	2	0,3%	0,016%	2,3%	89%
32	324	1	1	0,2%	0,021%	0,3%	0%
33	141	5	14	6,1%	0,074%	3,5%	80%
34	190	25	49	15,9%	0,047%	13,2%	20%
35	178	3	2	0,7%	0,052%	1,7%	67%
36	242	7	3	0,8%	0,033%	2,9%	71%
37	359	5	7	1,2%	0,018%	1,4%	20%
38	166	5	0	0,0%	0,058%	3,0%	100%
39	134	2	1	0,5%	0,080%	1,5%	50%
40	140	17	44	19,4%	0,075%	12,1%	59%
41	198	12	4	1,2%	0,044%	6,1%	83%
42	357	111	227	39,3%	0,018%	31,1%	26%
43	4771	10	5	0,1%	0,000%	0,2%	70%
44	229	6	1	0,3%	0,036%	2,6%	83%
45	187	19	25	8,3%	0,048%	10,2%	21%
46	127	4	6	2,9%	0,086%	3,1%	0%
47	137	4	2	0,9%	0,077%	2,9%	75%
48	229	51	88	23,7%	0,036%	22,3%	6%
49	1385	2	0	0,0%	0,002%	0,1%	100%
50	343	1	0	0,0%	0,019%	0,3%	100%
		_					_

Tab. A2.4.3: Bestimmung des Maispollenanteils an der Gesamtpollenzahl – Woche 29

Messstelle	Automatische	Διιςωρι-	Visuelle	1. Berechnungsweg:		2. Berechnungsweg:				
Messsiene	tung	Auswei-	Auswertung	Hochrechnung der		Verwendung der	Maispollen-			
	200 mm ²		324 mm ²	lenzahl auf 324 mm²		zahlen der automatischen				
			02			Auswertung				
	Gesamtpollen	Mais	Mais	Maisanteil an der	Relativer	Maisanteil an der	Relativer			
	·			Gesamtpollenzahl	Fehler	Gesamtpollenzahl	Fehler			
1	166	3	2	0,7%	0,058%	1,8%	67%			
2	137	2	1	0,5%	0,077%	1,5%	50%			
3	130	2	0	0,0%	0,083%	1,5%	100%			
4	123	1	0	0,0%	0,091%	0,8%	100%			
5	133	0	0	0,0%	0,080%	0,0%	n.d.			
6	315	3	2	0,4%	0,022%	1,0%	67%			
7	312	2	4	0,8%	0,022%	0,6%	0%			
8	159	2	1	0,4%	0,062%	1,3%	50%			
9	239	7	5	1,3%	0,033%	2,9%	57%			
10	159	1	2	0,8%	0,062%	0,6%	0%			
11	166	6	1	0,4%	0,058%	3,6%	83%			
12	150	6	2	0,8%	0,067%	4,0%	83%			
13	345	4	0	0,0%	0,019%	1,2%	100%			
14	120	3	0	0,0%	0,094%	2,5%	100%			
15	163	3	0	0,0%	0,059%	1,8%	100%			
16	200	4	2	0,6%	0,044%	2,0%	75%			
17	185	9	3	1,0%	0,049%	4,9%	78%			
18	93	1	0	0,0%	0,138%	1,1%	100%			
19	151	1	0	0,0%	0,067%	0,7%	100%			
20	132	4	1	0,5%	0,081%	3,0%	75%			
21	177	4	12	4,2%	0,052%	2,3%	75%			
22	255	1	0	0,0%	0,030%	0,4%	100%			
23	101	1	0	0,0%	0,122%	1,0%	100%			
24	181	7	11	3,8%	0,051%	3,9%	0%			
25	166	10	10	3,7%	0,058%	6,0%	40%			
26	172	9	0	0,0%	0,055%	5,2%	100%			
27	158	12	14	5,5%	0,062%	7,6%	25%			
28	182	2	4	1,4%	0,050%	1,1%	0%			
29	155	20	50	19,9%	0,064%	12,9%	55%			
30	406	0	1	0,2%	0,015%	0,0%	n.d.			
31	216	0	2	0,6%	0,039%	0,0%	n.d.			
32	337	1	1	0,2%	0,020%	0,3%	0%			
33	166	5	16	5,9%	0,058%	3,0%	100%			
34	145	2	1	0,4%	0,071%	1,4%	50%			
35	244	16	0	0,0%	0,032%	6,6%	100%			
36	302	2	0	0,0%	0,024%	0,7%	100%			
37	110	0	1	0,6%	0,107%	0,0%	n.d.			
38	89	2	2	1,4%	0,147%	2,2%	50%			
39	75	0	0	0,0%	0,190%	0,0%	n.d.			
40	68	4	1	0,9%	0,220%	5,9%	75%			
41	158	10	0	0,0%	0,062%	6,3%	100%			
42	102	4	17	10,3%	0,120%	3,9%	150%			
43	2389	1	1	0,0%	0,001%	0,0%	0%			
44	165	6	2	0,7%	0,058%	3,6%	83%			
45	161	8	6	2,3%	0,060%	5,0%	50%			
46	204	12	1	0,3%	0,042%	5,9%	92%			
47	84	2	4	2,9%	0,160%	2,4%	0%			
48	115	7	11	5,9%	0,100%	6,1%	0%			
49	952	2	0	0,0%	0,004%	0,2%	100%			
50	166	1	0	0,0%	0,058%	0,6%	100%			

Tab. A2.4.4: Bestimmung des Maispollenanteils an der Gesamtpollenzahl – Woche 30

Messstelle	Automatische tung	Auswer-	Visuelle Auswertung	Berechnungsweg: Hochrechnung der (2. Berechnungsweg: Verwendung der	Maispollen-
	200 mm ²		324 mm²	lenzahl auf 324 mm²			omatischen
	Gesamtpollen	Mais	Mais	Maisanteil an der Gesamtpollenzahl	Relativer Fehler	Maisanteil an der Gesamtpollenzahl	Relativer Fehler
1	95	2	0	0,0%	0,133%	2,1%	100%
2	96	2	0	0,0%	0,131%	2,1%	100%
3	96	0	Ō	0.0%	0,131%	0,0%	n.d.
4	132	3	0	0,0%	0.081%	2,3%	100%
5	100	0	0	0,0%	0,123%	0,0%	n.d.
6	275	3	0	0.0%	0.027%	1.1%	100%
7	390	14	0	0,0%	0,016%	3,6%	100%
8	118	2	1	0,5%	0,096%	1,7%	50%
9	225	7	1	0,3%	0,037%	3,1%	86%
10	123	0	0	0,0%	0,037 %	0,0%	n.d.
11	101	1	0	0,0%			100%
	_	2	0	,	0,122%	1,0%	
12	106	2	0	0,0%	0,113%	1,9%	100%
13	229			0,0%	0,036%	0,9%	100%
14	116	3	0	0,0%	0,099%	2,6%	100%
15	99	2	0	0,0%	0,125%	2,0%	100%
16	125	2	0	0,0%	0,088%	1,6%	100%
17	158	9	0	0,0%	0,062%	5,7%	100%
18	62	0	0	0,0%	0,253%	0,0%	n.d.
19	98	5	0	0,0%	0,127%	5,1%	100%
20	84	2	0	0,0%	0,160%	2,4%	100%
21	222	3	0	0,0%	0,037%	1,4%	100%
22	151	1	0	0,0%	0,067%	0,7%	100%
23	92	5	0	0,0%	0,140%	5,4%	100%
24	116	0	0	0,0%	0,099%	0,0%	n.d.
25	90	1	2	1,4%	0,145%	1,1%	0%
26	155	8	0	0,0%	0,064%	5,2%	100%
27	94	5	2	1,3%	0,135%	5,3%	80%
28	122	5	1	0,5%	0,092%	4,1%	80%
29	98	1	1	0,6%	0,127%	1,0%	0%
30	201	3	1	0,3%	0,043%	1,5%	67%
31	161	2	0	0,0%	0,060%	1,2%	100%
32	264	1	Ō	0,0%	0,029%	0,4%	100%
33	114	3	5	2,7%	0,101%	2,6%	0%
34	127	1	0	0,0%	0,086%	0.8%	100%
35	139	2	0	0,0%	0,075%	1,4%	100%
36	241	0	0	0,0%	0,033%	0,0%	n.d.
37	96	2	0	0,0%	0,131%	2,1%	100%
38	105	3	0	0,0%	0,131%	2,9%	100%
39	83	0	0	0,0%	0,113%	0,0%	n.d.
40	81	0	0	0.0%	0.169%	0.0%	n.d.
41	146	3	0	0,0%	0,109%	2,1%	100%
42	93	3	0	0,0%	0,070%	3,2%	100%
					0,138%		100%
43	1592	1	0	0,0%		0,1%	
44	111	4	0	0,0%	0,106%	3,6%	100%
45	85	2	1	0,7%	0,158%	2,4%	50%
46	12	0	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
47	108	2	0	0,0%	0,110%	1,9%	100%
48	95	4	2	1,3%	0,133%	4,2%	75%
49	1244	1	0	0,0%	0,003%	0,1%	100%
50	111	0	0	0,0%	0,106%	0,0%	n.d.

A2.5 Auswertungen mit größerer Fläche (Feldversuch Mais 2003)

Tab. A2.5: Bildanalytische Pollenanalyse – Auswertungen mit größerer Fläche (Feldversuch Mais 2003)

- Zählergebnisse zweier disjunkter Auswerteflächen
- **Fettgedruckt** sind die Zählergebnisse, die mit den Hochrechnungen von der kleineren Auswertefläche übereinstimmen.
- **Fettgedruckt und grau unterlegt** sind die Zählergebnisse, die außerhalb des 68%-Vertrauensintervalls der Hochrechnung liegen. Das 68%-Vertrauensintervall gibt an, welcher Wertebereich mit einer Sicherheit von 68% vom Ergebnis einer Auszählung auf einer disjunkten Fläche angenommen wird, siehe Abb. 11 und 12 (95%-Vertrauensintervall).

Woche	Messstelle	Zählergebnis	Zählergebnis	Hochrechnung	95%-	68%-
		324 mm ²	1200 mm ²	von 324 mm²	Vertrauensintervall	Vertrauensintervall
				auf 1200 mm ²	der Hochrechnung	der Hochrechnung
27	6	0	2	0	011	04
27	20	0	1	0	011	04
27	22	0	0	0	011	04
27	26	0	0	0	011	04
27	32	0	0	0	011	04
27	35	0	3	0	011	04
27	39	0	5	0	011	04
28	1	0	2	0	011	04
28	2	0	2	0	011	04
28	3	0	5	0	011	04
28	5	0	1	0	011	04
28	13	0	1	0	011	04
28	17	0	3	0	011	04
28	22	0	2	0	011	04
28	26	0	1	0	011	04
27	29	1	4	4	018	19
27	28	2	4	7	124	314
27	37	2	18	7	124	314
28	16	2	11	7	124	314
28	30	2	4	7	124	314
27	10	3	12	11	330	619
27	12	3	12	11	330	619
27	36	3	4	11	330	619
27	43	3	14	11	330	619
28	10	3	13	11	330	619
28	41	3	4	11	330	619
28	46	4	5	15	435	824
27	33	9	43	33	1661	2346

A2.6 Visuelle Überprüfung der ersten Erkennungsstufe (Feldversuch Raps 2003)

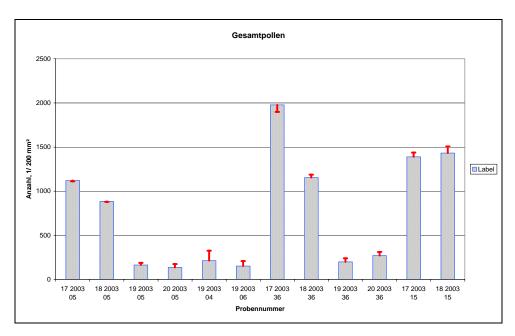


Abb. A2.6.1: Abweichung (rote Fehlerbalken) des Ergebnisses der automatischen Erkennung bei fünffacher Objektivvergrößerung für einzelne Stichproben vom wahren Wert (visuelle Überprüfung, blau schraffierte Balken für Gesamtpollen)

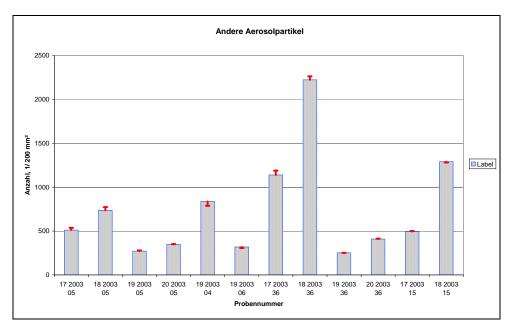


Abb. A2.6.2: Abweichung (rote Fehlerbalken) des Ergebnisses der automatischen Erkennung bei fünffacher Objektivvergrößerung für einzelne Stichproben vom wahren Wert (visuelle Überprüfung, blau schraffierte Balken für andere Aerosolpartikel)

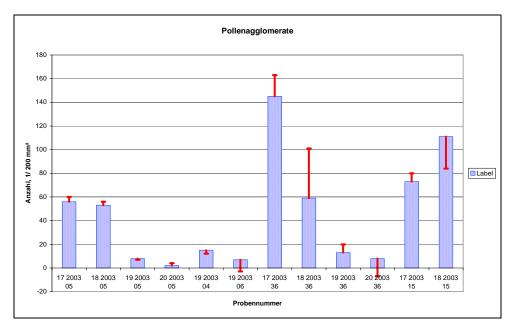


Abb. A2.6.3: Abweichung (rote Fehlerbalken) des Ergebnisses der automatischen Erkennung bei fünffacher Objektivvergrößerung für einzelne Stichproben vom wahren Wert (visuelle Überprüfung, blau schraffierte Balken für Pollenagglomerate)

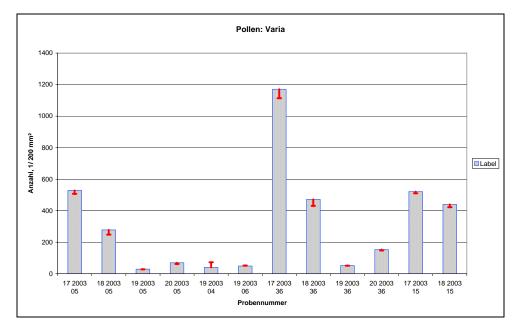


Abb. A2.6.4: Abweichung (rote Fehlerbalken) des Ergebnisses der automatischen Erkennung bei fünffacher Objektivvergrößerung für einzelne Stichproben vom wahren Wert (visuelle Überprüfung, blau schraffierte Balken für **Pollen Varia**)

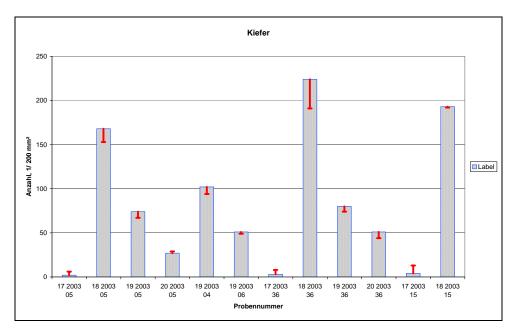


Abb. A2.6.5: Abweichung (rote Fehlerbalken) des Ergebnisses der automatischen Erkennung bei fünffacher Objektivvergrößerung für einzelne Stichproben vom wahren Wert (visuelle Überprüfung, blau schraffierte Balken für Kieferpollen)

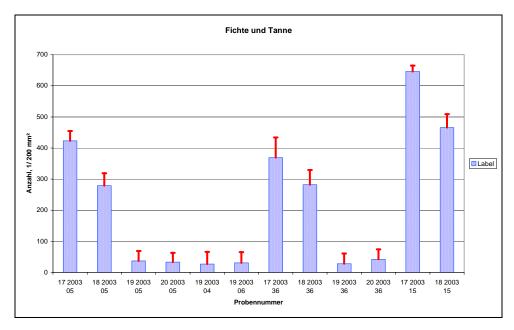


Abb. A2.6.6: Abweichung (rote Fehlerbalken) des Ergebnisses der automatischen Erkennung bei fünffacher Objektivvergrößerung für einzelne Stichproben vom wahren Wert (visuelle Überprüfung, blau schraffierte Balken für Fichten- und Tannen-Pollen)

A2.7 Visuelle Überprüfung der ersten Erkennungsstufe (Feldversuch Mais 2003)

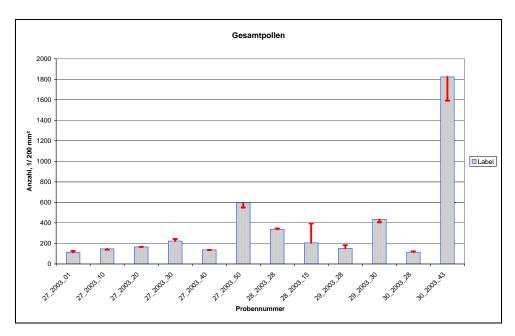


Abb. A2.7.1: Abweichung (rote Fehlerbalken) des Ergebnisses der automatischen Erkennung bei fünffacher Objektivvergrößerung für einzelne Stichproben vom wahren Wert (visuelle Überprüfung, blau schraffierte Balken für Gesamtpollen)

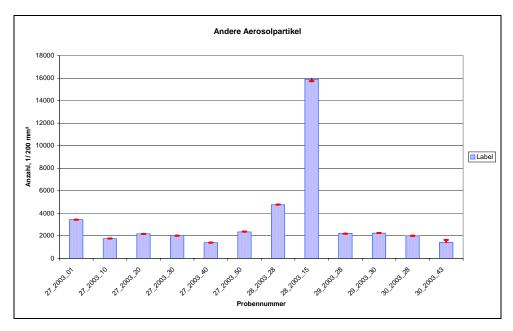


Abb. A2.7.2: Abweichung (rote Fehlerbalken) des Ergebnisses der automatischen Erkennung bei fünffacher Objektivvergrößerung für einzelne Stichproben vom wahren Wert (visuelle Überprüfung, blau schraffierte Balken für andere Aerosolpartikel)

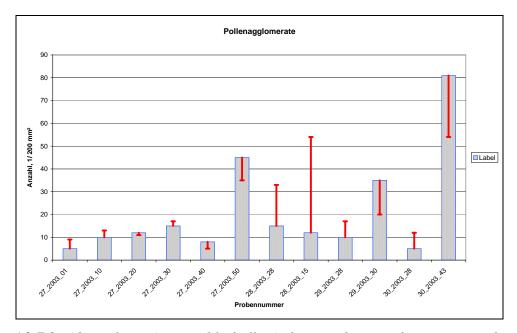


Abb. A2.7.3: Abweichung (rote Fehlerbalken) des Ergebnisses der automatischen Erkennung bei fünffacher Objektivvergrößerung für einzelne Stichproben vom wahren Wert (visuelle Überprüfung, blau schraffierte Balken für Pollenagglomerate)

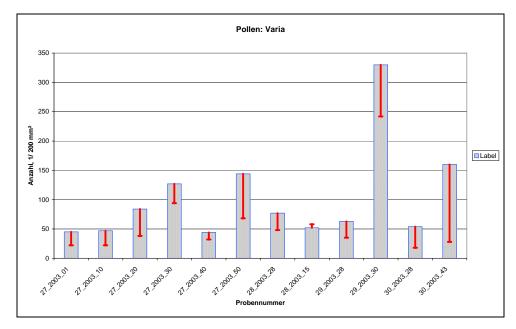


Abb. A2.7.4: Abweichung (rote Fehlerbalken) des Ergebnisses der automatischen Erkennung bei fünffacher Objektivvergrößerung für einzelne Stichproben vom wahren Wert (visuelle Überprüfung, blau schraffierte Balken für **Pollen Varia**)

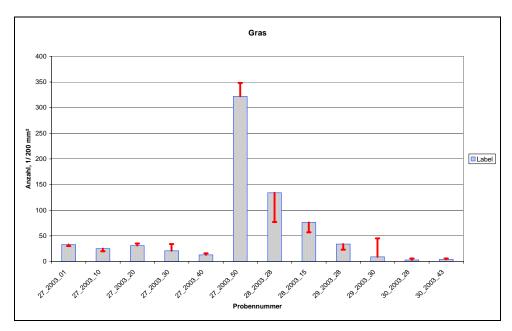


Abb. A2.7.5: Abweichung (rote Fehlerbalken) des Ergebnisses der automatischen Erkennung bei fünffacher Objektivvergrößerung für einzelne Stichproben vom wahren Wert (visuelle Überprüfung, blau schraffierte Balken für **Gräserpollen**)

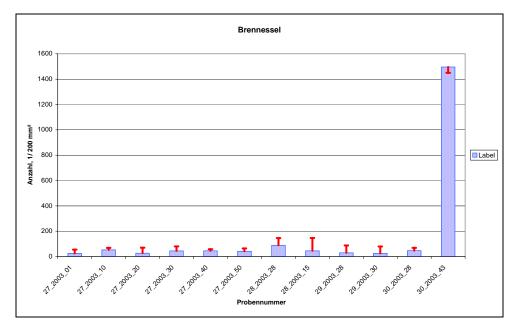


Abb. A2.7.6: Abweichung (rote Fehlerbalken) des Ergebnisses der automatischen Erkennung bei fünffacher Objektivvergrößerung für einzelne Stichproben vom wahren Wert (visuelle Überprüfung, blau schraffierte Balken für **Brennnesselpollen**)

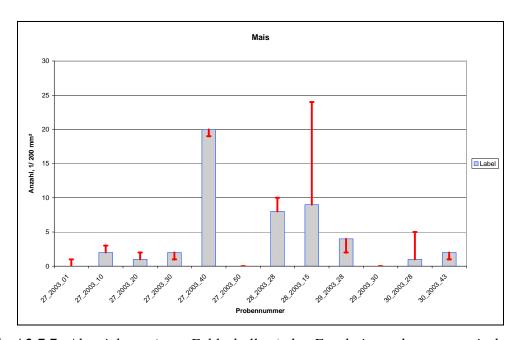


Abb. A2.7.7: Abweichung (rote Fehlerbalken) des Ergebnisses der automatischen Erkennung bei fünffacher Objektivvergrößerung für einzelne Stichproben vom wahren Wert (visuelle Überprüfung, blau schraffierte Balken für Maispollen)

$A3 \qquad PMF-Pr\"aparation$

A3.1 Feldversuch Raps 2003

Tab. A3.1.1: PMF-Präparation – Feldversuch Raps 2003

Feldprob	е							Glyc	erolsus	pensio	n-Pr	obe				
	Exposition raum	onszeit-		Gewich	+ DET	Niede schla		Droh	Vol ge	camt	Cell e	LfU 1	LfU 2	GeneS can	Impe-	Rück- stell- probe
Mess- standort		Ende	Dauer (h)	Beginn			g ml/d		1		e ml	ml	∠ ml	ml	ml	ml
1	25. Apr		662:39:00		505				43%		0,5		1	0	0	1,5
2	25. Apr		663:14:00		263				1		0,5		1	0	0	1,5
3	25. Apr						<u> </u>				0,5		1	0	0	1,5
4	25. Apr			83,5			-		43%		0,5		1	0	0	1,5
5	25. Apr		663:34:00		527				43%		0,5		1	0	0	1,5
6	25. Apr	23. Mai	667:43:00	83,5	553				43%		0,5		1	0	0	1,5
7	25. Apr	23. Mai	667:28:00	83,5	523	523	18,8	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5
8	25. Apr	23. Mai	667:24:00	83,5	458	458	16,5	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5
9	25. Apr	23. Mai	668:49:00	83,5	496	496	17,8	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5
10	25. Apr	23. Mai	668:58:00	83,5	489	489	17,5	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5
11	25. Apr	23. Mai	670:05:00	83,5	361	361	12,9	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5
12	25. Apr	23. Mai	670:47:00	83,5	433	433	15,5	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5
13	25. Apr	23. Mai	663:01:00	83,5	355	355	12,8	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5
14	25. Apr	23. Mai	669:03:00	83,5	504	504	18,1	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5
15	25. Apr	23. Mai	668:20:00	83,5	409	409	14,7	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5
16	25. Apr	23. Mai	667:53:00	83,5	323	323	11,6	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5
17	25. Apr	23. Mai	668:37:00	83,5	326	326	11,7	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5
18	25. Apr	23. Mai	678:33:00	83,5	399	399	14,1	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5
19	25. Apr	23. Mai	675:18:00	83,5	372	372	13,2	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5
20	25. Apr	23. Mai	674:10:00	83,5	330	330	11,7	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5
21	25. Apr	23. Mai	675:33:00	83,5	238	238	8,4	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5
22	25. Apr	23. Mai	669:51:00	83,5	231	231	8,3	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5
23	25. Apr	23. Mai	669:13:00	106	296	296	10,6	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5
24	25. Apr	23. Mai	670:28:00	83,5	543	543	19,4	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5
25	25. Apr	23. Mai	668:51:00	106	608	608	21,8	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5
26	25. Apr	23. Mai	668:14:00	83,5	700	700	25,1	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5
27	25. Apr	23. Mai	668:08:00	83,5	358	358	12,8	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5
28	25. Apr	23. Mai	671:50:00	83,5	416	416	14,8	4	43%		0,5		1	0	0	1,5
29	25. Apr	23. Mai	669:53:00	83,5	357	357	12,8	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5
30	25. Apr	23. Mai	667:47:00	106	559	559	20,1	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5
31	25. Apr	23. Mai	671:04:00	83,5	527	527	18,8	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5
32	25. Apr	23. Mai	671:04:00	83,5	443	443	15,8	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5
33	25. Apr	23. Mai	671:26:00	83,5	353	353	12,6	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5
34	25. Apr	23. Mai	670:51:00	83,5	228	228			43%		0,5		1	0	0	1,5
35	25. Apr	23. Mai	671:02:00	83,5	400					1,11	0,5	1	1	0	0	1,5
36	25. Apr	23. Mai	670:57:00	83,5	449	449	16,0	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5
			670:27:00		352	352	12,6	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5
38	25. Apr	23. Mai	669:45:00	83,5	320	320	11,4			1,11	0,5	1	1	0	0	1,5
39		23. Mai	668:45:00	106	139		5,0		43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5
40	25. Apr	23. Mai	668:47:00	106	177	177	6,4	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5

41	25. Apr	23. Mai	671:10:00	106	357	357	12,8	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5
42	25. Apr	23. Mai	671:12:00	106	662	662	23,7	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5
43	25. Apr	23. Mai	670:00:00	83,5	550	550	19,7	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5
44	25. Apr	23. Mai	672:15:00	83,5	399	399	14,2	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5
45	25. Apr	23. Mai	672:15:00	83,5	174	174	6,2	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5
46	25. Apr	23. Mai	664:45:00	83,5	698	698	25,2	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5
47	25. Apr	23. Mai	664:40:00	83,5	423	423	15,3	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5
48	25. Apr	23. Mai	665:00:00	106	351	351	12,7	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5
49	28. Apr	23. Mai	597:28:00	83,5	434	434	17,4	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5
50	28. Apr	23. Mai	592:17:00	83,5	321	321	13,0	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5

Tab. A3.1.2: PMF-Präparation – Feldversuch Raps 2003 (PCR-Versuche)

Feldprob	е							Glyc	erolsus	spensio	n-Pr	obe				
	Exposition raum	nszeit-		Gewi	cht PET	Niede schla		Prot	oVol ge	samt	Cell e	LfU 1	LfU 2	GeneS can	Impe- tus	Rück- stell- probe
Mess- standort	Beginn	Ende	Dauer (h)	Be- ginn	Ende	ml	ml/d	ml	%	g/cm³	ml	ml	ml	ml	ml	ml
Ш	7. Mai.	9. Mai.	54:35:00	106	268	162	71,2	8	64%	1,17	0,5	1	0	1	1	4,5
VI	7. Mai.	9. Mai.	54:57:00	106	286	180	78,6	8	64%	1,17	0,5	1	0	1	1	4,5
II	7. Mai.	16. Mai.	222:10:00	83,5	417	334	36,0	8	64%	1,17	0,5	1	0	1	1	4,5
V	7. Mai.	16. Mai.	222:45:00	83,5	358	275	29,6	8	64%	1,17	0,5	1	0	1	1	4,5
Ш	9. Mai.	16. Mai.	167:52:00	83,5	188	105	14,9	8	64%	1,17	0,5	1	0	1	1	4,5
VI	9. Mai.	16. Mai.	168:04:00	83,5	200	117	16,6	8	64%	1,17	0,5	1	0	1	1	4,5
Ш	16. Mai.	25. Mai.	212:23:00	83,5	168	85	9,5	8	64%	1,17	0,5	1	0	1	1	4,5
VI	16. Mai.	25. Mai.	212:08:00	83,5	162	79	8,9	8	64%	1,17	0,5	1	0	1	1	4,5
I	7. Mai.	30. Mai.	549:30:00	83,5	420	337	14,7	8	64%	1,17	0,5	1	0	1	1	4,5
IV	7. Mai.	30. Mai.	550:02:00	83,5	471	388	16,9	8	64%	1,17	0,5	1	0	1	1	4,5
II	16. Mai.	30. Mai.	326:55:00	83,5	178	95	6,9	8	64%	1,17	0,5	1	0	1	1	4,5
V	16. Mai.	30. Mai.	327:30:00	83,5	188	105	7,7	8	64%	1,17	0,5	1	0	1	1	4,5
Ш	25. Mai.	30. Mai.	115:01:00	83,5	85	2	0,3	8	64%	1,17	0,5	1	0	1	1	4,5
VI	25. Mai.	30. Mai.	115:40:00	83,5	87	4	0,7	8	64%	1,17	0,5	1	0	1	1	4,5

Tab. A3.1.3: PMF-Präparation – Feldversuch Raps 2003 (zusätzliche Standorte)

Feldprob	е							Glyd	erolsus	spensio	n-Pr	robe				
	Exposition raum	onszeit-		Gewi	cht PET	Niede schla		Prol	oVol ge	samt	Cell e	LfU 1	LfU 2	GeneS can		Rück- stell- probe
Mess- standort	Beginn	Ende	Dauer (h)	Be- ginn	Ende	ml	ml/d	ml	%	g/cm³	ml	ml	ml	ml	ml	ml
51	5. Mai.	9. Mai.	96:17:00	83,5	213	130	32,3	8	64%	1,17	0,5	1	0	0	0	6,5
52	5. Mai.	9. Mai.	96:34:00	83,5	231	148	36,7	8	64%	1,17	0,5	1	0	0	0	6,5
53	5. Mai.	9. Mai.	95:41:00	83,5	291	208	52,0	8	64%	1,17	0,5	1	0	0	0	6,5
54	5. Mai.	9. Mai.	95:41:00	83,5	274	191	47,8	8	64%	1,17	0,5	1	0	0	0	6,5
55	5. Mai.	9. Mai.	96:15:00	83,5	303	220	54,7	8	64%	1,17	0,5	1	0	0	0	6,5
56	5. Mai.	9. Mai.	96:15:00	83,5	310	227	56,5	8	64%	1,17	0,5	1	0	0	0	6,5
51	9. Mai.	16. Mai.	167:40:00	83,5	175	92	13,1	8	64%	1,17	0,5	1	0	0	0	6,5
52	9. Mai.	16. Mai.	167:41:00	83,5	171	88	12,5	8	64%	1,17	0,5	1	0	0	0	6,5
53	9. Mai.	16. Mai.	166:32:00	83,5	180	97	13,9	8	64%	1,17	0,5	1	0	0	0	6,5
54	9. Mai.	16. Mai.	167:04:00	106	221	115	16,5	8	64%	1,17	0,5	1	0	0	0	6,5

55	9. Mai.	16. Mai.	168:02:00	83,5	179	96	13,6	8	64%	1,17	0,5	1	0	0	0	6,5
56	9. Mai.	16. Mai.	168:00:00	106	218	112	16,0	8	64%	1,17	0,5	1	0	0	0	6,5
51	16. Mai.	23. Mai.	167:20:00	106	179	73	10,5	8	64%	1,17	0,5	1	0	0	0	6,5
52	16. Mai.	23. Mai.	167:13:00	106	167	61	8,8	8	64%	1,17	0,5	1	0	0	0	6,5
53	16. Mai.	23. Mai.	171:12:00	83,5	339	256	35,8	8	64%	1,17	0,5	1	0	0	0	6,5
54	16. Mai.	23. Mai.	170:39:00	83,5	339	256	35,9	8	64%	1,17	0,5	1	0	0	0	6,5
55	16. Mai.	23. Mai.	170:59:00	83,5	352	269	37,7	8	64%	1,17	0,5	1	0	0	0	6,5
56	16. Mai.	23. Mai.	170:56:00	106	384	278	39,0	8	64%	1,17	0,5	1	0	0	0	6,5

A3.2 Feldversuch Mais 2003

Tab. A3.2.1: PMF-Präparation – Feldversuch Mais 2003

Feldprob	е							Glyc	erolsus	spensic	n-Pr	obe				
Mess-	Exposition raum	onszeit-		Gewich	t PET	Niede schla		Prok	Vol ge	samt	Cell e	LfU 1	LfU 2	Gene- Scan	Impe- tus	Rück- stell- probe
	Beginn	Ende	Dauer (h)	Beginn	Ende	ml	ml/d	ml	%	g/cm³	ml	ml	ml	ml	ml	ml
1	4. Jul.	31. Jul.	646:38:00	83,5	592	509	18,9	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5
2	4. Jul.	31. Jul.	645:44:00	83,5	516	433	16,1	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5
3	4. Jul.	31. Jul.	644:35:00	83,5	475	392	14,6	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5
4	4. Jul.	31. Jul.	641:03:00	83,5	542	459	17,2	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5
5	4. Jul.	31. Jul.	641:34:00	83,5	230	147	5,5	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5
6	4. Jul.	31. Jul.	648:19:00	83,5	441	358	13,2	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5
7	4. Jul.	31. Jul.	648:56:00	83,5	631	548	20,2	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5
8	4. Jul.	31. Jul.	647:42:00	83,5	430	347	12,8	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5
9	4. Jul.	31. Jul.	648:03:00	83,5	621	538	19,9	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5
10	4. Jul.	31. Jul.	646:20:00	83,5	351	268	9,9	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5
11	4. Jul.	31. Jul.	643:01:00	83,5	312	229	8,5	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5
12	4. Jul.	31. Jul.	646:50:00	83,5	409	326	12,1	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5
13	4. Jul.	31. Jul.	646:54:00	83,5	954	871	32,3	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5
14	4. Jul.	31. Jul.	642:29:00	83,5	453	370	13,8	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5
15	4. Jul.	31. Jul.	642:08:00	83,5	343	260	9,7	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5
16	4. Jul.	31. Jul.	649:21:00	83,5	568	485	17,9	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5
17	4. Jul.	31. Jul.	648:37:00	83,5	353	270	10,0	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5
18	4. Jul.	31. Jul.	645:52:00	83,5	584	501	18,6	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5
19	4. Jul.	31. Jul.	647:17:00	83,5	126	43	1,6	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5
20	4. Jul.	31. Jul.	642:37:00	83,5	320	237	8,8	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5
21	4. Jul.	31. Jul.	649:07:00	83,5	607	524	19,4	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5
22	4. Jul.	31. Jul.	641:26:00	83,5	452	369	13,8	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5
23	4. Jul.	31. Jul.	640:57:00	83,5	530	447	16,7	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5
24	4. Jul.	31. Jul.	649:47:00	83,5	383	300	11,1	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5
25	4. Jul.	31. Jul.	650:11:00	83,5	445	362	13,3	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5
26	4. Jul.	31. Jul.	646:45:00	83,5	373	290	10,7	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5
27	4. Jul.	31. Jul.	646:53:00	83,5	274	191	7,1	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5
28	4. Jul.	31. Jul.	649:32:00	83,5	399	316	11,7	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5
29	4. Jul.	31. Jul.	649:52:00	83,5	495	412	15,2	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5
30	4. Jul.	31. Jul.	648:25:00	83,5	443	360	13,3	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5
31	4. Jul.	31. Jul.	647:34:00	83,5	410	327	12,1	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5
32	4. Jul.	31. Jul.	647:40:00	83,5	289	206	7,6	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5

													_			
33	4. Jul.	31. Jul.	647:44:00	83,5	607	524	19,4	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5
34	4. Jul.	31. Jul.	646:44:00	83,5	514	431	16,0	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5
35	4. Jul.	31. Jul.	648:31:00	83,5	330	247	9,1	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5
36	4. Jul.	31. Jul.	648:24:00	83,5	369	286	10,6	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5
37	4. Jul.	31. Jul.	648:05:00	83,5	597	514	19,0	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5
38	4. Jul.	31. Jul.	648:41:00	83,5	348	265	9,8	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5
39	4. Jul.	31. Jul.	649:38:00	83,5	396	313	11,5	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5
40	4. Jul.	31. Jul.	649:39:00	83,5	552	469	17,3	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5
41	4. Jul.	31. Jul.	642:30:00	83,5	270	187	7,0	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5
42	4. Jul.	31. Jul.	647:32:00	83,5	274	191	7,1	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5
43	4. Jul.	31. Jul.	654:01:00	83,5	564	481	17,6	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5
44	4. Jul.	31. Jul.	650:43:00	83,5	422	339	12,5	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5
45	4. Jul.	31. Jul.	650:11:00	83,5	331	248	9,1	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5
46	4. Jul.	31. Jul.	653:19:00	83,5	273	190	7,0	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5
47	4. Jul.	31. Jul.	651:48:00	83,5	149	66	2,4	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5
48	4. Jul.	31. Jul.	653:51:00	83,5	272	189	6,9	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5
49	4. Jul.	31. Jul.	650:46:00	83,5	539	456	16,8	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5
50	4. Jul.	31. Jul.	646:38:00	83,5	592	509	18,9	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5

Tab. A3.2.2: PMF-Präparation – Feldversuch Mais 2003 (PCR-Versuche)

Feldprob	е							Glyc	erolsus	pensio	n-Pr	obe				
Mess-	Exposition raum	onszeit-		Gewich	t PET	Niede schla		Prob	Vol ge:	samt	Cell e	LfU 1	LfU 2	GeneS can	Impe-	Rück- stell- probe
	Beginn	Ende	Dauer (h)	Beginn	Ende	ml	ml/d	ml	%	g/cm³	ml	ml	ml	ml	ml	ml
I	6. Jul.	11. Jul.	121:22:00	83,5	126	43	8,4	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5
IV	6. Jul.	11. Jul.	121:31:00	83,5	129	46	9,0	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5
I	11. Jul.	18. Jul.	161:14:00	83,5	271	188	27,9	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5
IV	11. Jul.	18. Jul.	161:35:00	83,5	288	205	30,4	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5
II	6. Jul.	18. Jul.	282:56:00	83,5	289	206	17,4	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5
Į	18. Jul.	25. Jul.	166:50:00	83,5	222	139	19,9	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5
IV	18. Jul.	25. Jul.	166:30:00	83,5	231	148	21,3	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5
Į	25. Jul.	31. Jul.	147:15:00	83,5	172	89	14,4	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5
П	18. Jul.	31. Jul.	313:50:00	83,5	329	246	18,8	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5
Ш	6. Jul.	31. Jul.	597:01:00	83,5	451	368	14,8	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5
IV	25. Jul.	31. Jul.	147:30:00	83,5	185	102	16,5	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5

 Tab. A3.2.3: PMF-Präparation – Feldversuch Mais 2003 (zusätzliche Standorte)

Feldprob	е							Glyc	erolsus	pensio	n-Pr	obe				
Mess-	Exposition raum	nszeit-		Gewich		Niede schla		Prob	Vol ge		Cell e	LfU 1			Impe-	Rück- stell- probe
	Beginn	Ende	Dauer (h)	Beginn	Ende	ml	ml/d	ml	%	g/cm³	ml	ml	ml	ml	ml	ml
51	6. Jul.	11. Jul.	124:16:00	83,5	130	47	9,0	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5
52	6. Jul.	11. Jul.	124:12:00	83,5	126	42	8,1	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5
53	6. Jul.	11. Jul.	121:52:00	83,5	121	38	7,4	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5
54	6. Jul.	11. Jul.	120:27:00	83,5	122	39	7,7	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5
51	11. Jul.	18. Jul.	159:58:00	83,5	272	189	28,3	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5
52	11. Jul.	18. Jul.	160:21:00	83,5	291	208	31,1	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5

53	11. Jul.	18. Jul.	160:50:00	83,5	284	201	29,9	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5
54	11. Jul.	18. Jul.	162:30:00	83,5	256	173	25,5	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5
51	18. Jul.	25. Jul.	167:05:00	83,5	193	110	15,7	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5
52	18. Jul.	25. Jul.	167:10:00	83,5	239	156	22,3	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5
53	18. Jul.	25. Jul.	167:25:00	83,5	212	129	18,4	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5
54	18. Jul.	25. Jul.	167:25:00	83,5	235	152	21,7	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5
51	25. Jul.	31. Jul.	144:10:00	83,5	175	92	15,2	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5
52	25. Jul.	31. Jul.	144:15:00	83,5	193	110	18,2	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5
53	25. Jul.	31. Jul.	143:55:00	83,5	173	90	14,9	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5
54	25. Jul.	31. Jul.	143:45:00	83,5	169	86	14,3	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5
55	6. Jul.	25. Jul.	451:04:00	83,5	323	240	12,7	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5
56	6. Jul.	25. Jul.	451:16:00	83,5	518	435	23,1	4	43%	1,11	0,5	1	1	0	0	1,5

A4 PMF – Bildanalytische Pollenanalyse

Die grau unterlegten Messwerte liegen unterhalb der Nachweisgrenze (NWG; zur Definition siehe Kapitel 2.5.2.3.2).

A4.1 Feldversuch Raps 2003

Tab. A4.1.1: Bildanalytische quantitative Pollenanalyse – Feldversuch Raps 2003

		Zählvo	Dollopo	azabl pro	PMF-Prob			Dollooflu	ss (Pollen / (m2 * d)\	
Mess-	Verdün-		Polieriai	izarii pro	FIVIF-FIUL		Anteil	Pollerillu	SS (PUIIEIT/ (iii- u))	
standort	nung	(μI)	Raps	Kiefer	Varia	Gesamt	Raps (%)	Raps	Kiefer	Varia	Gesamt
1	100%	20	800	41.000	72.600	428.400	0,19%	3.622	185.618	328.680	1.939.485
2	100%	20	10.400	55.800	58.400	310.000	3,35%	47.042	252.400	264.160	1.402.221
3	100%	20	33.800	83.600	98.400	606.600	5,57%	152.857	378.071	445.003	2.743.279
4	100%	20	7.000	89.800	66.400	585.200	1,20%	31.659	406.141	300.309	2.646.700
5	100%	20	2.000	68.600	223.600	967.800	0,21%	9.042	310.142	1.010.901	4.375.446
6	33%	40	2.400	105.600	226.800	1.167.000	0,21%	10.783	474.453	1.018.995	5.243.242
7	25%	40	1.600	114.400	223.200	1.501.600	0,11%	7.191	514.183	1.003.196	6.749.101
8	33%	40	3.000	180.600	172.800	1.588.800	0,19%	13.485	811.807	776.746	7.141.744
9	100%	40	1.900	40.400	40.800	470.700	0,40%	8.523	181.216	183.010	2.111.341
10	50%	40	<200	110.000	231.200	783.400	<0,03%	<897	493.298	1.036.823	3.513.180
11	100%	20	29.200	71.600	87.200	474.800	6,15%	130.730	320.557	390.399	2.125.706
12	100%	40	1.400	62.600	88.000	410.000	0,34%	6.261	279.971	393.570	1.833.677
13	50%	40	200	32.800	40.400	382.600	0,05%	905	148.413	182.801	1.731.178
14	25%	40	<400	120.800	208.000	1.837.200	<0,02%	<1.794	541.664	932.666	8.237.949
15	33%	20	25.200	67.800	87.000	541.800	4,65%	113.117	304.339	390.524	2.432.020
16	100%	20	16.000	45.600	68.200	368.000	4,35%	71.869	204.826	306.341	1.652.983
17	25%	40	3.200	160.000	492.000	2.744.800	0,12%	14.358	717.900	2.207.543	12.315.577
18	50%	40	1.000	92.800	205.200	731.000	0,14%	4.421	410.287	907.229	3.231.892
19	25%	40	400	110.400	456.000	1.930.800	0,02%	1.777	490.449	2.025.766	8.577.521
20	25%	40	800	154.400	356.000	1.627.200	0,05%	3.560	687.070	1.584.178	7.240.939
21	25%	40	10.000	153.600	356.800	2.899.600	0,34%	44.408	682.111	1.584.487	12.876.619
22	100%	40	200	30.600	134.600	486.600	0,04%	896	137.046	602.822	2.179.294
23	25%	40	3.600	152.000	299.200	1.845.200	0,20%	16.138	681.394	1.341.270	8.271.761
24	25%	40	3.200	62.400	114.400	625.600	0,51%	14.318	279.209	511.882	2.799.244
25	25%	40	21.200	52.800	100.000	486.000	4,36%	95.089	236.824	448.531	2.179.861
26	25%	40	2.400	44.000	108.000	463.200	0,52%	10.775	197.536	484.861	2.079.513
27	33%	20	23.400	62.400	125.400	584.400	4,00%	105.069	280.184	563.061	2.624.027
28	50%	40	5.000	96.000	207.600	652.600	0,77%	22.327	428.678	927.016	2.914.116
29	25%	40	20.400	125.600	303.200	1.730.800	1,18%	91.359	562.486	1.357.848	7.751.200
30	25%	40	2.400	163.200	348.800	1.925.600	0,12%	10.782	733.172	1.566.975	8.650.710
31	25%	40	3.600	148.800	337.600	1.436.400	0,25%	16.094	665.210	1.509.239	6.421.419
32	33%	40	1.800	94.800	651.600	1.116.600	0,16%	8.047	423.803	2.912.974	4.991.754
33	25%	40	3.200	222.400	259.200	1.830.400	0,17%	14.298	993.695	1.158.119	8.178.325
34	33%	40	3.600	211.200	308.400	1.149.000	0,31%	16.099	944.473	1.379.146	5.138.257
35	25%	40	800	170.400	363.200	2.155.200	0,04%	3.577	761.810	1.623.764	9.635.289
36	25%	40	<400	167.200	274.400	2.138.000	<0,02%	<1.789	747.597	1.226.917	9.559.580
37	33%	40	<300	107.400	322.800	1.116.900	<0,03%	<1.342	480.573	1.444.403	4.997.688
38	25%	40	4.800	160.800	451.200	1.693.600	0,28%	21.501	720.269	2.021.053	7.586.114
39	25%	40	<400	261.600	392.800	2.465.200	<0,02%	<1.794	1.173.533	1.762.093	11.058.841

40	25%	40	2.000	66.400	146.400	782.000	0,26%	8.972	297.854	656.715	3.507.863
41	25%	40	9.600	61.600	96.000	404.800	2,37%	42.910	275.341	429.104	1.809.387
42	33%	40	9.300	87.600	124.800	626.100	1,49%	41.567	391.538	557.807	2.798.421
43	25%	40	3.200	183.200	369.600	1.558.400	0,21%	14.328	820.299	1.654.925	6.977.910
44	33%	40	10.800	97.200	156.600	669.000	1,61%	48.196	433.767	698.847	2.985.496
45	25%	40	3.200	222.400	460.000	2.588.800	0,12%	14.280	992.488	2.052.808	11.552.845
46	25%	40	4.800	84.000	213.600	776.000	0,62%	21.662	379.090	963.971	3.502.068
47	25%	40	2.000	94.400	147.200	854.000	0,23%	9.027	426.078	664.393	3.854.564
48	25%	40	<400	49.600	220.000	985.200	<0,04%	<1.805	223.759	992.481	4.444.511
49	25%	40	11.600	72.800	179.200	837.200	1,39%	58.246	365.543	899.799	4.203.749
50	25%	40	400	89.600	228.000	1.102.800	0,04%	2.026	453.837	1.154.853	5.585.840

Tab. A4.1.2: Bildanalytische qualitative Pollenanalyse – Feldversuch Raps 2003 (Vorkommen von Pollen am Messstandort: Präsenz (1), Absenz (0))

	Famili Artnar		Ga	ittung		Pollei Ir.		amilie tnam		Gat	tungs	s-/Po Nr			nilier name		Gattu	ings-	Poll Nr.		-ami Artna		/ G	attui	ngs-/	Polle Nr.		Fam Artna		-/ G	attu	ngs-	Poll Nr.		amil Artna	ien-/ Gattu me	ings-/
1	Acer				7	•	В	etula				13	3	Fag	gus				19	,	Parth	eno	cissu	ıs		25		Pyru	s-T.				31		Salix		
2	Aescu	ılus			8	3	В	assi	са			14	ļ.	Fra	xinu	s exc	elsic	or	20	1	Picea	9				26		Que	rcus				32	5	Samb	oucus	
3	Alnus				g)	C	arpin	us			15	5	Jug	ıland	acea	ae		21	1	Pinus	s				27		Ranı	uncu	ılus-	Т.		33	7	Tarax	acum	
4	Apiace	eae			1	0	C,	ypera	acea	е		16	6	Lar	ix				22	ı	Plant	tagin	acea	ne .		28		Rhai	mna	ceae)		34	7	Гаха	ceae	
5	Artem	isia			1	1	E	rica-T	Г.			17	,	Ligi	ustru	m			23	1	Poac	eae				29		Rosa	acea	е				_			
6	Astera	acea	e		1	2	E	upato	oriun	า		18	3	Мо	race	ae			24	1	Prun	us-T				30		Rum	ex								
Pollen-N		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	Summe zahl Fam Gattung / /	
S1		0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	13	,
S2		0			0	0	0	1	1	0	0		0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0			0	0	0	1	0	1	0	11	
S3		0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	9	
S4		0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	12	
S5		0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	12	
S6		0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	1	0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	16	
S7		0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	11	
S8		1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	1	1	1	0	1	0	15	
S9		0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	10	
S10		1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	12	
S11		0	0	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	1	16	
S12		0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0	11	
S13		0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	9	
Pollen-N	dr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	Summe	(An-

																																			zahl Familie
Messstandor				_					_					_	_		_	_			+	_	<u>.</u>	_			_		_		_		<u> </u>		Gattung / Art)
S14	0	0	1	0	0	0	1	0		0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	8
S15	0	0	0	0	0	0	1	1		0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	7
S16	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	10
S17	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	12
S18	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	12
S19	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	15
S20	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	13
S21	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	13
S22	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	10
S23	0	0	1	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	1	14
S24	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	9
S25	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	9
S26	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	9
S27	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	8
S28	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	10
S29	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	16
S30	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	10
S31	1	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	14
S32	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	12
S33	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	12
S34	1	0	1	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	1	14
S35	1	0	1	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	14
S36	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	12
S37	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	11
S38	0	0	1	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	11
S39	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	10
	<u>ı. </u>	Į.	<u> </u>	<u> </u>	12	<u> </u>	'.	10	<u> </u>	<u> </u>	<u>, </u>	<u>, </u>	ı. <u> </u>	<u>, </u>	<u> </u>	10	<u>, </u>	<u> -</u>	<u>, </u>	ı. <u> </u>	1'-	<u> </u>	<u>, ' </u>	<u>, </u>	12	ı. <u> </u>	<u>, </u>	<u> -</u>	<u> </u>	<u> </u>	, .	<u>, </u>	''	<u> </u>	1. •
Pollen-Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	Summe (An

Messstandort																																			zahl Familie / Gattung / Art)
S40	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	10
S41	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	8
S42	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	8
S43	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	11
S44	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	10
S45	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	12
S46	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	9
S47	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	9
S48	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	8
S49	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	10
S50	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	11
Summe (Anzahl	18	3	17	6	1	1	50	44	7	15	2	1	49	16	15	1	1	7	1	49	48	1	50	6	2	47	7	1	3	11	45	1	22	10	

A4.2 Feldversuch Mais 2003

 Tab. A4.2.1: Bildanalytische quantitative Pollenanalyse – Feldversuch Mais 2003

		Zählvo-	Pollenar	zahl pro F	PMF-Probe)		Pollenflus	s (Pollen / (r	m² * d))	
Mess- standort	Verdün- nung	lumen (µI)	Mais	Poaceae	Varia	Gesamt	Anteil Mais (%)	Mais	Poaceae	Varia	Gesamt
1	100%	100	5.440	26.520	7.360				123.037	34.146	226.775
2	100%	50	4.240	17.920	15.600	41.520	10,21	19.699	83.254	72.476	192.897
3	100%	50	5.360	12.640	12.560			24.946	58.829	58.456	142.231
4	100%	50	5.280								
5	100%	100	1.520	7.360	7.640	16.520			34.416	35.725	77.248
6	100%	50	4.480	15.760	26.720	46.960	9,54	20.731	72.927	123.643	217.301
7	100%	20	13.600	23.800	12.000	222.800	6,10		110.027	55.476	1.029.998
8	100%	50	5.760	5.120	7.600			26.679	23.715	35.201	85.595
9	100%	20	28.200	8.000	12.400	85.400	33,02	130.545	37.034	57.403	395.340
10	100%	50	9.680	22.400	32.160	71.440	13,55	44.930	103.971	149.273	331.594
11	100%	50	3.680	10.160							
12	100%	50	17.840	17.600			38,25	82.742	81.628	51.945	216.315
13	100%	50	1.760	9.680				8.162	44.891		
14	100%	50	3.360	20.240	13.120	36.720	9,15	15.689	94.508		
15	100%	50	4.640								
16	100%	20	11.600	18.400				53.592			
17	100%	50	9.520	8.480	15.440			44.032			154.668
18	100%	50	2.960								
19	100%	50	2.320								
20	100%	50	2.640								
21	100%	50	49.280	7.360	9.200						
22	100%	50	1.920								
23	100%	50	3.040	8.960	15.760				41.938	73.766	129.932
24	100%	50	31.920	5.280	4.560	41.760	76,44	147.372	24.377	21.053	192.803
25	100%	20	99.800		6.400			460.486	36.913	29.530	526.928
26	100%	40	4.600	12.000	5.600	22.200	20,72	21.337	55.663	25.976	102.976
27	100%	20	53.200	4.000	3.200	60.400	88,08	246.721	18.550	14.840	280.112
28	100%	20	9.600	48.600	21.800	80.000	12,00	44.340	224.469	100.688	369.496
29	100%	20	50.000	5.200	17.000	72.200	69,25	230.817	24.005	78.478	333.299
30	100%	40	4.800	15.200	8.600	354.000	1,36	22.208	70.325	39.789	1.637.836
31	100%	20	10.400	7.200	7.600	25.200	41,27	48.180	33.356	35.209	116.745
32	100%	100	1.120	20.040	3.720	24.880	4,50	5.188	92.826	17.231	115.244
33	100%	50	30.960	19.440	8.880	59.280	52,23	143.392	90.037	41.128	274.557
34	100%	50	17.120	6.320	19.040	42.480	40,30	79.414	29.317	88.321	197.052
35	100%	50	6.640	6.400	9.760	22.800	29,12	30.716	29.606	45.149	105.471
36	100%	100	6.080	8.880	10.960					50.709	119.926
37	100%	20	4.800	206.000	12.200	223.000	2,15	22.219	953.581	56.474	1.032.275
38	100%	100	1.320	7.440	6.480	15.240	8,66	6.105			70.481
39	100%	100	1.080	9.960	6.960			4.987	45.995	32.141	83.124
40	100%	50	33.760								
41	100%	40	1.800	3.800	19.600	25.200	7,14	8.405	17.743	91.518	117.665
42	100%	50	33.360	2.640	3.200	39.200	85,10	154.556	12.231	14.825	181.612
43	100%	50	7.840	3.120							132.474

44	100%	40	3.600	22.600	15.600	41.800	8,61	16.597	104.193	71.921	192.711
45	100%	20	68.600	7.400	7.000	83.000	82,65	316.526	34.144	32.299	382.969
46	-	-	-	-	_	-	-	-	-	-	-
47	100%	50	9.040	4.000	20.320	33.360	27,10	41.511	18.368	93.309	153.188
48	100%	50	48.720	7.280	10.720	66.720	73,02	224.241	33.507	49.340	307.088
49	100%	50	2.800	18.400	46.160	67.360	4,16	12.847	84.423	211.792	309.062
50	100%	40	1.200	120.200	46.000	167.400	0,72	5.532	554.116	212.058	771.705

Tab. A4.2.2: Bildanalytische qualitative Pollenanalyse – Feldversuch Mais 2003 (Vorkommen von Pollen am Messstandort: Präsenz (1), Absenz (0))

Pollen	Familien-/ Gattungs-/										
Nr.	Artname										
1	Acer	10	Calluna vulgaris	19	Filipendula	28	Parthenocissus	37	Quercus	46	Taraxacum
2	Achillea-T.	11	Centaurea cyanus	20	Galium	29	Pastinaca sativa	38	Ranunculaceae	47	Tilia
3	Alnus	12	Chenopodiaceae	21	Helianthus-T.	30	Persicaria maculosa	39	Rosaceae	48	Trifolium pratense
4	Anthriscus-T.	13	Cichorium-T.	22	Heracleum	31	Phacelia	40	Rumex	49	Urticaceae
5	Apiaceae	14	Convolvulus	23	Impatiens	32	Picea	41	Salix	50	Z ea
6	Arctium	15	Cyperaceae	24	Linum usitatissimum	33	Pinus	42	Senecio-T.		
7	Artemisia	16	Dipsacaceae	25	Lythrum	34	Plantaginaceae	43	Serratula-T.		
8	Betula	17	Erica-T.	26	Moraceae	35	Poaceae	44	Sinapis-T.		
9	Brassica	18	Eupatorium	27	Origanum-T.	36	Pyrus-T.	45	Solanum-T.		

Pollen-Nr. Messstandort	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37
S1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
S2	0	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	1	0	0
S3	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
S4	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0
S5	0	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1
S6	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
S7	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	1	0	0
S8	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
S9	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0
S10	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1	1	0	1	0
S11	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0
S12	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0
S13	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
S14	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0
S15	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
S16	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
S17	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
S18	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0
S19	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0
S20	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	0	0
S21	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
S22	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
S23	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0
S24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
S25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0

Pollen-Nr. Messstandort	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	Summe (Anzahl Familie / Gattung / Art)
S1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	14
S2	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	16
S3	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	12
S4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	9
S5	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	14
S6	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	13
S7	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	10
S8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	10
S9	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	8
S10	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	14
S11	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	11
S12	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	12
S13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	10
S14	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	12
S15	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	12
S16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	9
S17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	9
S18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	11
S19	0	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	1	1	15
S20	0	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	1	1	18
S21	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	10
S22	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	13
S23	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	16
S24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	7
S25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	5

Pollen-Nr. Messstandort	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37
S26	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
S27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0
S28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0
S29	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0
S30	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0
S31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0
S32	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
S33	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0
S34	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
S35	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0
S36	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0
S37	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
S38	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
S39	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
S40	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0
S41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
S42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0
S43	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0
S44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
S45	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
S46	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	_	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S47	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1
S48	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
S49	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0
S50	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0
Summe (An- zahl Standor- te)		25	1	3	3	1	31	12	6	1	1	45	3	1	1	1	1	1	3	1	9	7	3	1	2	7	2	4	2	2	4	48	43	37	48	1	2

Pollen-Nr. Messstandort		39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	Summe (Anzahl Familie / Gattung / Art)
S26	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	12
S27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	6
S28	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	8
S29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	7
S30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	8
S31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	6
S32	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	9
S33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	10
S34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	9
S35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	9
S36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	12
S37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	12
S38	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	11
S39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	7
S40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	8
S41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	7
S42	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	7
S43	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	6
S44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	6
S45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	8
S46	-	-	-	-	_	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S47	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	13
S48	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	11
S49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	13
S50	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	14
Summe (An- zahl Standor- te)	1	2	16	2	1	5	3	1	5	15	4	41	49	

A5 PMF – Molekulargenetische Pollenanalyse

Die grau unterlegten Messwerte liegen unterhalb der Nachweisgrenze (NWG; zur Definition siehe Kapitel 2.5.2.3.2).

A5.1 Feldversuch Raps 2003

Tab. A5.1.1: Molekulargenetische Pollenanalyse – Feldversuch Raps 2003

						Soll- Genom-	PCR-Analys (positiv = 1			
	Proben-Nr.		Expositi-	Anzahl		Kopien in	LfU		GeneScan	
Mess- standort	LfU		onsdauer (d)			PCR Lö- sung	Messung 1	Messung 2	Messung 1	Messung 2
1	30028001	R1	27,6	800	428.400	10,0	0	0		
2	30028002	R2	27,6	10.400	310.000	130,0	1	1		
3	30028003	R3	27,6	33.800	606.600	422,5	1	1		0
4	30028004	R4	27,6	7.000	585.200	87,5	0	0		
5	30028005	R5	27,6	2.000	967.800	25,0	1	1		
6	30028006	R6	27,8	2.400	1.167.000	30,0	0	0		
7	30028007	R7	27,8	1.600	1.501.600	20,0	0	0	0	
8	30028008	R8	27,8	3.000	1.588.800	37,5	0	0	0	
9	30028009	R9	27,9	1.900	470.700	23,8	0	0	0	
10	30028010	R10	27,9	<200	783.400	<2,5	0	0	0	
11	30028011	R11	27,9	29.200	474.800	365,0	0	0	0	0
12	30028012	R12	27,9	1.400	410.000	17,5	0	0	0	
13	30028013	R13	27,6	200	382.600	2,5	0	0		
14	30028014	R14	27,9	<400	1.837.200	<5,0	0	0		
15	30028015	R15	27,8	25.200	541.800	315,0	0	0		
16	30028016	R16	27,8	16.000	368.000	200,0	0	0		
17	30028017	R17	27,9	3.200	2.744.800	40,0	0	0	0	
18	30028018	R18	28,3	1.000	731.000	12,5	0	0	0	
19	30028019	R19	28,1	400	1.930.800	5,0	0	0	0	
20	30028020	R20	28,1	800	1.627.200	10,0	0	0	0	
	30028021	R21	28,1		2.899.600		0	0	0	
22	30028022	R22	27,9	200	486.600	2,5	0	0		
23	30028023	R23	27,9	3.600	1.845.200	45,0	0	0	0	
24	30028024	R24	27,9	3.200	625.600	40,0	0	0	0	
25	30028025	R25	27,9	21.200			0	0	0	
26	30028026	R26	27,8	2.400	463.200	30,0	0	0	0	
	30028027	R27	27,8	23.400	584.400	292,5	0	0	0	
28	30028028	R28	28,0	5.000	652.600	62,5	0	0		
	30028029	R29	27,9	20.400	1.730.800			0		
30	30028030	R30	27,8		1.925.600		0	0	0	
	30028031	R31	28,0		1.436.400		0	0	0	
32	30028032	R32	28,0		1.116.600		1	1		
	30028033	R33	28,0	3.200	1.830.400	i e		0	0	
	30028034	R34	28,0		1.149.000		_	1		
-	30028035	R35	28,0		2.155.200		•	0		
	30028036	R36	28,0	<400	2.138.000			0	0	
	30028037	R37	27,9		1.116.900		_	1		

38	30028038	R38	27,9	4.800	1.693.600	60,0	0	0		
39	30028039	R39	27,9	<400	2.465.200	<5,0	1	1		
40	30028040	R40	27,9	2.000	782.000	25,0	0	0		
41	30028041	R41	28,0	9.600	404.800	120,0	0	0		
42	30028042	R42	28,0	9.300	626.100	116,3	0	0	0	
43	30028043	R43	27,9	3.200	1.558.400	40,0	0	0		
44	30028044	R44	28,0	10.800	669.000	135,0	0	0		
45	30028045	R45	28,0	3.200	2.588.800	40,0	1	1		
46	30028046	R46	27,7	4.800	776.000	60,0	0	0		
47	30028047	R47	27,7	2.000	854.000	25,0	0	0		
48	30028048	R48	27,7	<400	985.200	<5,0	0	0		
49	30028049	R49	24,9	11.600	837.200	145,0	0	0	0	
50	30028050	R50	24,7	400	1.102.800	5,0	0	0		

Tab. A5.1.2: Molekulargenetische Pollenanalyse – Feldversuch Raps 2003 (PCR-Versuche)

							PCR-Analys (positiv = 1 :			
	Proben-Nr.				Anzahl		LfU		GeneScan	
Mess- standort	LfU		onsdauer (d)			PCR Lö- sung	Messung 1	Messung 2	Messung 1	Messung 2
Ш	30024001	18III	2,3	45.920	132.000	287,0	0	0		
VI	30024002	18VI	2,3	53.760	151.840	336,0	0	0)	0
II	30024003	1911	9,3	85.920	229.760	537,0	1	1		0
V	30024004	19V	9,3	75.040	187.200	469.0	1	1		
Ш	30024005	19111	7,0	66.240	114.240	414,0	0	0)	0
VI	30024006	19VI	7,0	51.360	100.000	321,0	1	1		
Ш	30024007	20111	8,8	34.240	93.440	214,0	0	0)	
VI	30024008	20VI	8,8	62.827	135.040	392,7	0	0		0
I	30024009	211	22,9	182.400	585.600	1140,0	0	1		0
IV	30024010	21IV	22,9	178.933	633.867	1118,3	1	1		0
II	30024011	2111	13,6	123.600	510.000	772,5	0	0)	0
V	30024012	21V	13,6	81.200	441.200	507,5	0	0)	1
Ш	30024013	21111	4,8	3.600	310.400	22,5	1	1		
VI	30024014	21VI	4,8	133	324.933	0,8	1	1		

Tab. A5.1.3: Molekulargenetische Pollenanalyse – Feldversuch Raps 2003 (zusätzliche Standorte)

						Genom-	PCR-Analyse (positiv = 1 = ct<50)			
	Proben-Nr.						LfU		GeneScan	Π
Mess- standort			onsdauer (d)			PCR Lö- sung	Messung 1	Messuna 2	Messuna 1	Messuna 2
+		18-51	4,0					0	0	
52	30024016	18-52	4,0	1.280	135.520	8,0	0	0	0	
53	30024017	18-53	4,0	3.200	328.400	20,0	1	1		
54	30024018	18-54	4,0	3.600	357.200	22,5	1	1	0	
55	30024019	18-55	4,0	2.800	317.200	17,5	1	1	0	
56	30024020	18-56	4,0	3.200	352.800	20,0	1	1	0	
51	30024021	19-51	7,0	3.040	44.000	19,0	0	0	0	
52	30024022	19-52	7,0	4.640	54.400	29,0	1	1	0	
53	30024023	19-53	6,9	2.080	81.520	13,0	1	1	0	
54	30024024	19-54	7,0	880	89.120	5,5	1	1		
55	30024025	19-55	7,0	6.640	93.680	41,5	1	0	0	
56	30024026	19-56	7,0	1.040	94.640	6,5	0	0	0	
51	30024027	20-51	7,0	1.120	62.320	7,0	1	0	0	
52	30024028	20-52	7,0	3.440	60.320	21,5	1	1		
53	30024029	20-53	7,1	1.760	83.200	11,0	1	1		
54	30024030	20-54	7,1	1.760	84.800	11,0	0	0		
55	30024031	20-55	7,1	4.480	100.960	28,0	0	0		
56	30024032	20-56	7,1	3.680	99.680	23,0	0	0		

A5.2 Feldversuch Mais 2003

Tab. A5.2.1: Molekulargenetische Pollenanalyse – Feldversuch Mais 2003

						Soll- Genom-	PCR-Analys (positiv = 1			
	Proben-Nr.	Proben-Nr.				Kopien in	LfU		GeneScan	
Mess- standort		Ökologie Büro	onsdauer (d)			PCR Lö- sung	Massuna 1	Messung 2	Messung 1	Messuna 2
1	30038034		26,9			_	-			iviessurig 2
2	30038034		26,9					_	·	
3	30038036		26,9					_	_	
4	30038037		26,7					_		
- 5	30038037		26,7			,				
6	30038039		27,0				_	_	_	
7	30038040		27,0			•				
8	30038041		27,0				_			
9	30038042		27,0							
10	30038043		26,9			-				
11	30038044		26,8				_	_		
12	30038045		27,0						•	
13	30038046		27,0						0	
14	30038047		26,8			,				
15	30038047		26,8			-	_			
16	30038049		27,1	11.600						
17	30038050		27,0				_	_	_	
18	30038051		26,9							
19	30038051		27,0			-				
20	30038053		26,8			-				
21	30038054		27,0							0
22	30038055		26,7			-				
23	30038056		26,7	3.040		•				
24	30038057		27,1				-	_		
25	30038058		27,1			•		1		0
26	30038059		26,9				_	0		
27	30038060		27,0		60.400					1
28	30038061		27,1				_	_		
29	30038062		27,1			<i>'</i>				0
30	30038063		27,0			-				
31	30038064		27,0			<i>'</i>			0	
32	30038065		27,0			-			_	
33	30038066		27,0			•				
34	30038067		26,9			-				
35	30038068		27,0							
36	30038069		27,0							
37	30038070		27,0							
38	30038071		27,0							
39	30038072		27,1	1.080						
40	30038073		27,1			-				
41	30038074		26,8						0	

42	30038075	75	27,0	33.360	39.200	417,0	0	0	0	
43	30038076	76	27,3	7.840	28.880	98,0	0	0	0	
44	30038077	77	27,1	3.600	41.800	45,0	0	0		
45	30038078	78	27,1	68.600	83.000	857,5	1	1		0
46	-	-	-	-		ı	•	•	ı	ı
47	30038079	79	27,2	9.040	33.360	113,0	0	0		
48	30038080	80	27,2	48.720	66.720	609,0	0	0		0
49	30038081	81	27,2	2.800	67.360	35,0	0	0	0	
50	30038082	82	27,1	1.200	167.400	15,0	0	0	1	

Tab. A5.2.2: Molekulargenetische Pollenanalyse – Feldversuch Mais 2003 (PCR-Versuche)

							PCR-Analys (positiv = 1			
	Proben-Nr.						LfU		GeneScan	
Mess-		Ökologie	onsdauer			PCR Lö-				
standort	LfU	Büro	(d)	pollen	pollen	sung	Messung 1	Messung 2	Messung 1	Messung 2
I	30038001	1	5,1	40.000	48.040	500,0	1	1		
IV	30038002	2	5,1	11.880	18.320	148,5	1	1		
I	30038003	3	6,7	110.600	117.600	1382,5	1	1		1
IV	30038004	4	6,7	191.600	196.800	2395,0	1	1		1
П	30038005	5	11,8	138.000	142.133	1725,0	1	1		1
I	30038006	6	7,0	19.960	25.160	249,5	0	C		
IV	30038007	7	6,9	46.320	48.640	579,0	0	C		0
I	30038008	8	6,1	3.800	11.680	47,5	0	C		
II	30038009	9	13,1	23.960	31.000	299,5	1	1		
Ш	30038010	10	24,9	66.000	100.800	825,0	1	1		0
IV	30038011	11	6,1	4.640	7.240	58,0	1	1		

Tab. A5.2.3: Molekulargenetische Pollenanalyse – Feldversuch Mais 2003 (zusätzliche Standorte)

						Soll- Genom-	PCR-Analyse (positiv = 1 = ct<50)			
	Proben-Nr.						LfU		GeneScan	
Mess- standort	LfU	Okologie Büro	onsdauer (d)			PCR Lö- sung	Magauna 1	Magauna 2	Messung 1	Magaupa 2
						·		iviessurig z	iviessurig i	iviessurig z
51	30038012		5,2			,		0		
52	30038013	13	5,2	8.680	28.000	108,5	1	0	0	
53	30038014	14	5,1	2.920	24.560	36,5	0	0		
54	30038015	15	5,0	1.000	16.880	12,5	1	1		
51	30038016	16	6,7	17.120	32.720	214,0	0	1	0	
52	30038017	17	6,7	15.680	38.853	196,0	1	1		
53	30038018	18	6,7	7.000	37.280	87,5	1	1		
54	30038019	19	6,8	4.200	42.280	52,5	0	1	0	
51	30038020	20	7,0	6.720	32.320	84,0	0	0	0	
52	30038021	21	7,0	7.720	28.600	96,5	1	1	0	
53	30038022	22	7,0	3.160	17.880	39,5	1	0	0	
54	30038023	23	7,0	2.240	21.760	28,0	0	1	0	
51	30038024	24	6,0	960	15.400	12,0	0	1	0	
52	30038025	25	6,0	1.320	14.240	16,5	1	1	0	
53	30038026	26	6,0	1.120	17.200	14,0	1	0	0	
54	30038027	27	6,0	640	9.880	8,0	1	0	0	
55	30038028	28	18,8	6.320	22.080	79,0	1	1	0	
56	30038029	29	18,8	6.240	21.960	78,0	1	1	0	

A6 Datenaustauschprogramm (JTieX)

A6.1 XML-Schema

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<schema
  targetNamespace="http://www.add2soft.de/XML/PollenMonitoring/Schema"
  xmlns="http://www.w3.org/2001/XMLSchema"
  xmlns:po="http://www.add2soft.de/XML/PollenMonitoring/Schema"
  elementFormDefault="qualified"
  <annotation>
    <documentation xml:lang="DE">
           XML Schema für de Datenaustausch zwichen den Projektpartner
           Aldar Dugarjapov
       </documentation>
  </annotation>
  <element name="Kommentar" type="string"/>
  <element name="DatenPaket" type="po:DatenPaketTyp">
    <key name="KeyOfProbe">
      <selector xpath="po:Probe/po:Key"/>
      <field xpath="@LokalKey"/>
      <field xpath="@PartnerKey"/>
    </key>
    <key name="KeyOfStation">
      <selector xpath="po:Station/po:Key"/>
      <field xpath="@LokalKey"/>
      <field xpath="@PartnerKey"/>
    </key>
    <key name="KeyOfGeräteTyp">
      <selector xpath="po:GeräteTyp/po:Key"/>
      <field xpath="@LokalKey"/>
      <field xpath="@PartnerKey"/>
    </key>
    <key name="KeyOfMesswert">
      <selector xpath="po:Messwert/po:Key"/>
      <field xpath="@LokalKey"/>
      <field xpath="@PartnerKey"/>
    <key name="KeyOfPartner">
      <selector xpath="po:Partner/po:Key"/>
      <field xpath="."/>
    <keyref name="DataOwner" refer="po:KeyOfPartner">
      <selector xpath=".//po:Key"/>
```

Abb. A6.1.1: XML-Schema (1)

```
<field xpath="@PartnerKey"/>
  </keyref>
  <keyref name="MesswertProben" refer="po:Key0fProbe">
    <selector xpath="po:Messwert/po:ProbeKey"/>
    <field xpath="@LokalKey"/>
    <field xpath="@PartnerKey"/>
  </keyref>
  <keyref name="ProbeStation" refer="po:KeyOfStation">
    <selector xpath="po:Probe/po:Station"/>
    <field xpath="@LokalKey"/>
    <field xpath="@PartnerKey"/>
  </keyref>
  <keyref name="ProbeGeräteTyp" refer="po:KeyOfGeräteTyp">
    <selector xpath="po:Probe/po:GeräteTyp"/>
    <field xpath="@LokalKey"/>
    <field xpath="@PartnerKey"/>
  </keyref>
</element>
<complexType name="DatenPaketTyp">
    <sequence>
    <element name="Partner" type="po:Partner_xml_type"</pre>
     min0ccurs="0" max0ccurs="unbounded"/>
    <element name="Station" type="po:Station_xml_type"</pre>
     min0ccurs="0" max0ccurs="unbounded"/>
    <element name="Probe" type="po:Probe_xml_type"</pre>
     min0ccurs="0" max0ccurs="unbounded"/>
    <element name="Messwert" type="po:Messwert_xml_type"</pre>
     min0ccurs="0" max0ccurs="unbounded"/>
    <element name="GeräteTyp" type="po:GeräteTyp_xml_type"</pre>
     min0ccurs="0" max0ccurs="unbounded"/>
    <element ref="po:Kommentar" minOccurs="0"/>
  </sequence>
</complexType>
<complexType name="Partner_xml_type">
  <sequence>
    <element name="Key" type="int"/>
    <element name="Name" type="string"/>
    <element ref="po:Kommentar" min0ccurs="0"/>
  </sequence>
</complexType>
<complexType name="GeoPunkt_xml_type">
  <sequence>
    <element name="Länge" type="double"/>
    <element name="Breite" type="double"/>
```

Abb. A6.1.2: XML-Schema (2)

```
</sequence>
</complexType>
<complexType name="GeoRechteck_xml_type">
 <sequence>
    <element name="LinksOben" type="po:GeoPunkt_xml_type"/>
    <element name="RechtsUnten" type="po:GeoPunkt_xml_type"/>
  </sequence>
</complexType>
<complexType name="DoubleKey_xml_type">
 <attribute name="LokalKey" type="int"/>
  <attribute name="PartnerKey" type="int"/>
</complexType>
<complexType name="Station_xml_type">
 <sequence>
   <element name="Key" type="po:DoubleKey_xml_type"/>
   <element name="Position" type="po:GeoPunkt_xml_type"</pre>
     minOccurs="0"/>
   <element name="Name" type="string" minOccurs="0"/>
    <element name="Code" type="string" min0ccurs="0"/>
    <element ref="po:Kommentar" minOccurs="0"/>
  </sequence>
</complexType>
<complexType name="GeräteTyp_xml_type">
  <sequence>
    <element name="Key" type="po:DoubleKey_xml_type"/>
    <element name="Bezeichnung" type="string"/>
    <element ref="po:Kommentar" minOccurs="0"/>
  </sequence>
</complexType>
<complexType name="Probe_xml_type">
  <sequence>
    <element name="Key" type="po:DoubleKey_xml_type"/>
    <element name="ExpoBeginn" type="date"/>
   <element name="ExpoDauer" type="duration" min0ccurs="0"/>
   <element name="ProbeTyp" type="string" minOccurs="0"/>
   <element name="Station" type="po:DoubleKey_xml_type"</pre>
     min0ccurs="0"/>
    <element name="GeräteTyp" type="po:DoubleKey_xml_type"</pre>
     min0ccurs="0"/>
    <element ref="po:Kommentar" minOccurs="0"/>
  </sequence>
</complexType>
<complexType name="MesswerteParam_xml_type">
  <sequence>
```

Abb. A6.1.3: XML-Schema (3)

```
<element name="ParamName" type="string"/>
      <choice>
        <element name="FloatValue" type="float"/>
        <element name="DoubleValue" type="double"/>
        <element name="IntValue" type="int"/>
        <element name="StringValue" type="string"/>
        <element name="DateValue" type="date"/>
        <element name="DateTimeValue" type="dateTime"/>
        <element name="BoolValue" type="boolean"/>
        <element name="ByteValue" type="byte"/>
        <element name="DecimalValue" type="decimal"/>
      </choice>
      <element name="ParamUnit" type="string"/>
    </sequence>
  </complexType>
  <complexType name="Messwert_xml_type">
    <sequence>
      <element name="Key" type="po:DoubleKey_xml_type"/>
      <element name="MesswertTyp" type="string"/>
      <element name="Value" type="po:MesswerteParam_xml_type"</pre>
        max0ccurs="unbounded"/>
      <element name="BezugsFläche" type="po:GeoRechteck_xml_type"</pre>
        min0ccurs="0" max0ccurs="unbounded"/>
      <element name="ProbeKey" type="po:DoubleKey_xml_type"</pre>
        min0ccurs="0" max0ccurs="unbounded"/>
      <element ref="po:Kommentar" min0ccurs="0"/>
    </sequence>
  </complexType>
</schema>
```

Abb. A6.1.4: XML-Schema (4)

A6.2 Beispiel-Datenpaket

Abb. A6.2.1: Datenpaket (1)

```
<Key>2</Key>
  <Name>TUM</Name>
</Partner>
<Partner>
  <Key>3</Key>
  <Name>Ökologie Büro Bremen</Name>
</Partner>
<Partner>
  <Key>4</Key>
  <Name>DWD Freiburg</Name>
</Partner>
<Station>
  <Key LokalKey="1049" PartnerKey="2"/>
  <Position>
   <Länge>130.2</Länge>
    <Breite>12.09</Breite>
  </Position>
  <Name>Experimentale Station</Name>
  <Code>TUM: 12</Code>
</Station>
  <Key LokalKey="10012" PartnerKey="4"/>
  <ExpoBeginn>2003-05-01</ExpoBeginn>
  <ExpoDauer>P2D</ExpoDauer>
  <ProbeTyp>HaftFolie</ProbeTyp>
  <Station LokalKey="1049" PartnerKey="2"/>
  <GeräteTyp LokalKey="105" PartnerKey="3"/>
</Probe>
<Probe>
  <Key LokalKey="10013" PartnerKey="4"/>
  <ExpoBeginn>2003-05-03</ExpoBeginn>
  <ExpoDauer>P2D</ExpoDauer>
  <ProbeTyp>HaftFolie</ProbeTyp>
  <Station LokalKey="1049" PartnerKey="2"/>
  <GeräteTyp LokalKey="105" PartnerKey="3"/>
</Probe>
<Messwert>
  <Key LokalKey="1005" PartnerKey="1"/>
  <MesswertTyp>WetterDaten</MesswertTyp>
  <Value>
    <ParamName>Windstärke</ParamName>
    <IntValue>120</IntValue>
    <ParamUnit>km/h</ParamUnit>
  </Value>
```

Abb. A6.2.2: Datenpaket (2)

```
<Value>
      <ParamName>Windrichtung</ParamName>
      <FloatValue>12.8</FloatValue>
     <ParamUnit>Grad</ParamUnit>
   </Value>
   <BezugsFläche>
      <LinksOben>
        <Länge>120</Länge>
        <Breite>11.3</Breite>
      </LinksOben>
      <RechtsUnten>
        <Länge>130</Länge>
        <Breite>98.2</Breite>
      </RechtsUnten>
    </BezugsFläche>
 </Messwert>
 <Messwert>
   <Key LokalKey="1" PartnerKey="3"/>
   <MesswertTyp>Konzentration von Partikel</MesswertTyp>
   <Value>
      <ParamName>Russ</ParamName>
      <FloatValue>12.3</FloatValue>
      <ParamUnit>Partikel/m^3</ParamUnit>
   </Value>
      <ParamName>BirkenPollen</ParamName>
      <FloatValue>210.23</FloatValue>
     <ParamUnit>Partikel/m^3</ParamUnit>
   </Value>
   <Value>
     <ParamName>ReifenAbrieb</ParamName>
     <FloatValue>177654.2</FloatValue>
     <ParamUnit>Partikel/m^3</ParamUnit>
   <ProbeKey LokalKey="10012" PartnerKey="4"/>
   <ProbeKey LokalKey="10013" PartnerKey="4"/>
 </Messwert>
 <GeräteTyp>
   <Key LokalKey="105" PartnerKey="3"/>
    <Bezeichnung>PollenFalle</Bezeichnung>
  </GeräteTyp>
</DatenPaket>
```

Abb. A6.2.3: Datenpaket (3)

```
<complexType name="MesswerteParam_xml_type">
  <sequence>
    <element name="ParamName" type="string"/>
    <choice>
      <element name="FloatValue" type="float"/>
      <element name="DoubleValue" type="double"/>
      <element name="IntValue" type="int"/>
      <element name="StringValue" type="string"/>
      <element name="DateValue" type="date"/>
      <element name="DateTimeValue" type="dateTime"/>
      <element name="BoolValue" type="boolean"/>
      <element name="ByteValue" type="byte"/>
      <element name="DecimalValue" type="decimal"/>
    </choice>
    <element name="ParamUnit" type="string"/>
  </sequence>
</complexType>
<complexType name="Messwert_xml_type">
  <sequence>
    <element name="Key" type="po:DoubleKey_xml_type"/>
    <element name="MesswertTyp" type="string"/>
    <element name="Value" type="po:MesswerteParam_xml_type"</pre>
      maxOccurs="unbounded"/>
    <element name="BezugsFläche" type="po:GeoRechteck_xml_type"</pre>
      minOccurs="0" maxOccurs="unbounded"/>
    <element name="ProbeKey" type="po:DoubleKey_xml_type" min0ccurs="0"</pre>
      maxOccurs="unbounded"/>
    <element ref="po:Kommentar" minOccurs="0"/>
  </sequence>
</complexType>
```

Abb. A6.2.4: XML-Schema: Messwerte

Abb. A6.2.5: XML-Schema: Datentyp des Datenpakets

```
<element name="Kommentar" type="string"/>
<element name="DatenPaket" type="po:DatenPaketTyp">
 <key name="Key0fProbe">
   <selector xpath="po:Probe/po:Key"/>
   <field xpath="@LokalKey"/>
   <field xpath="@PartnerKey"/>
 </key>
 <key name="KeyOfStation">
    <selector xpath="po:Station/po:Key"/>
   <field xpath="@LokalKey"/>
    <field xpath="@PartnerKey"/>
 </key>
 <key name="KeyOfGeräteTyp">
    <selector xpath="po:GeräteTyp/po:Key"/>
   <field xpath="@LokalKey"/>
   <field xpath="@PartnerKey"/>
 </key>
 <key name="KeyOfMesswert">
    <selector xpath="po:Messwert/po:Key"/>
   <field xpath="@LokalKey"/>
    <field xpath="@PartnerKey"/>
 </key>
 <key name="KeyOfPartner">
    <selector xpath="po:Partner/po:Key"/>
    <field xpath="."/>
 </key>
 <keyref name="DataOwner" refer="po:KeyOfPartner">
    <selector xpath=".//po:Key"/>
    <field xpath="@PartnerKey"/>
 </keyref>
 <keyref name="MesswertProben" refer="po:KeyOfProbe">
    <selector xpath="po:Messwert/po:ProbeKey"/>
    <field xpath="@LokalKey"/>
    <field xpath="@PartnerKey"/>
 </keyref>
 <keyref name="ProbeStation" refer="po:KeyOfStation">
    <selector xpath="po:Probe/po:Station"/>
   <field xpath="@LokalKey"/>
    <field xpath="@PartnerKey"/>
 </keyref>
 <keyref name="ProbeGeräteTyp" refer="po:KeyOfGeräteTyp">
   <selector xpath="po:Probe/po:GeräteTyp"/>
   <field xpath="@LokalKey"/>
    <field xpath="@PartnerKey"/>
 </keyref>
</element>
```

Abb. A6.2.6: XML-Schema: Die Elemente des Datenpakets mit den Integritätsbedingungen

```
<Partner>
  <Key>1</Key>
  <Name>DWD Datenservice</Name>
</Partner>
  <Key LokalKey="1005" PartnerKey="1"/>
  <MesswertTyp>WetterDaten</MesswertTyp>
    <ParamName>Windstärke
    <IntValue>120</IntValue>
    <ParamUnit>km/h</ParamUnit>
  </Value>
  <Value>
    <ParamName>Windrichtung</ParamName>
    <FloatValue>12.8</FloatValue>
    <ParamUnit>Grad</ParamUnit>
  </Value>
  <BezugaFläche>
    <Links0ben>
     <Länge>120</Länge>
     <Breite>11.3</Breite>
    </LinksOben>
    <RechtsUnten>
     <Länge>130</Länge>
      <Breite>98.2</Breite>
    </RechtsUnten>
  </BezugsFläche>
</Messwert>
```

Abb. A6.2.7: Integration von Wetterdaten

A7 Pollendepositionsindex (PDI)

Tab. A7.1: Übersicht PDI-Formeln

					Anzahl der Windrichtungs-	Gewichtung der Windric	htungssektoren
PDI Formel- Nr.	Ausbrei- tungs- funktion ²	Fläche der Felder	Entfernung der Felder	Wind- richtung	sektoren	Häufigkeitsverteilung der Windrichtung beru-	Durchschnittliche
1	-	Х	-	-	8	-	-
2	a, b, c	Х	Х	-	8	-	-
3	a, c	Х	Х	Х	8	24h-Werte	-
4	а	Х	Х	Х	8	Tag-Werte	-
5	а	Х	Х	Х	8	24h-Werte	24h-Werte
6	а	Х	Х	Х	8	Tag-Werte	Tag-Werte
7	а	х	X	Х	8	24h-Werte (gewichtet durch wöchentliche Pollendeposition)	24h-Werte (gewichtet durch wöchentliche Pollendeposition)
8	а	Х	Х	Х	8	Tag-Werte (gewichtet durch wöchentliche Pollendeposition)	Tag-Werte (gewichtet durch wöchentliche Pollendeposition)
9	a	X	X	X	8	Tag-Werte (nur Woche mit max. Pollendeposition)	
10	а	Х	Х	-	1	-	-
11	а	Х	Х	-	2	Tag-Werte	Tag-Werte
12	a, c	X	X	Х	2	Tag-Werte (gewichtet durch wöchentliche Pollendeposition)	Tag-Werte (gewichtet durch wöchentliche Pollendeposition)
13	а	Х	Х	-	3	-	-
14	а	Х	Х	Х	3	Tag-Werte	Tag-Werte
15	-	Х	-	-	1	-	-
16	-	Х	-	-	2	-	-
17	-	Х	-	-	n	-	-
18	-	Х	-	-	2	Tag-Werte	-
19	-	Х	-	-	n	Tag-Werte	-
20	a, b, c, d	Х	Х	-	2	-	-
21	a, b, c, d	Х	Х	-	n	-	-
22	С	Х	Х	Х	2	Tag-Werte	-
23	С	Х	Х	Х	n	Tag-Werte	-

 $^{^2 \} Ausbreitungsfunktionen \ (x = Entfernung \ zwischen \ Pollensammler \ und \ Feld): \ a) \ 1/log \ x, \ b) \ x^{-1}, \ c) \ x^{-2}, \ d) \ x^{-0.5}$

A8 GIS-Daten

A8.1 Externe GIS-Daten

Tab. A8.1.1: Übersicht externe GIS-Vektordaten

Nr.	Thema	Quelle	Stand	Тур	Format	Projektion	Auflösung / Maßstab
1	Flächennutzung	PbS	1999 bzw. 2000	Polygon	AV Shape	GK (12°E)	1:25.000
2	Verwaltungsgrenzen	PbS	Nov. 2000	Polygon	AV Shape	GK (12°E)	1 :25.000
3	Ökologische Raumklassen (UBA PNV IX, 21 Klassen)	UBA	Sept. 2001	Polygon	AV Shape	GK (9°E)	2 x 2 km
4	Ökologische Raumklassen (UBA PNV IX, 73 Klassen)	UBA	Sept. 2001	Polygon	AV Shape	GK (9°E)	2 x 2 km
5	Naturräumliche Haupteinheiten (Bayern)	LfU	März 2001	Polygon	AV Shape	GK (12°E)	-
6	Naturräumliche Gliederung von Deutschland	BfN	2004	Polygon	AI Coverage	GK (9°E)	-

Tab. A8.1.2: Übersicht externe GIS-Rasterdaten

Nr.	Thema	Quelle	Erhebungszeit-	Format	Projektion	Auflösung / Maßstab
			raum			
7	Orthofoto	BLVA / LfU	11.9.1999 (SO), 13.9.1999 (SW), 5.5. 2000 (N)	MrSID	GK (12°E)	1:15.000
8	Monatsmittelwert (April, Mai, Juli, August): Globalstrahlung, Sonnenscheindauer	DWD / PbS	1981-1994	AI Raster	GK (9°E)	1 x 1 km
9	Jahresmittelwert (10 m, 30 m, 50 m über Grund): Windgeschwindigkeit	DWD / PbS	1980-1989	AI Raster	GK (9°E)	200 x 200 m
10	LANDSAT-7	EUROMAP / GAF	01.04.2003	TIF	UTM, Zone 32, WGS84	25 x 25 m, 50 x 50 m (Band: 6L, 6H), 12,5 x 12,5 m (Band: 8)
11	IKONOS	EUROMAP / GAF	10.06.2003	TIF	UTM, Zone 32, WGS84	4 x 4 m (MS), 1 x 1 m (PAN)
12	CORINE Land Cover 2000	DFD / DLR	2000	AI Raster	UTM, Zone 32, WGS84	100 x 100 m
13	DGM (SRTM Format 3 arc second)	NASA/USGS	2000	AI Raster	UTM, Zone 32, WGS84	~90 x 90 m

A8.2 Erzeugte GIS-Daten

Tab. A8.2.1: Übersicht erzeugte GIS-Vektordaten

Nr.	Thema	Quelle / Daten- grundlage	Тур	Ursprüngl. Format	Format	Projektion	Auflösung / Maßstab
14	Agrarmeteorologisches Messnetz Bayern (LfL)	LfL	Punkt	-	AV Shape	GK (12°E)	-
15	AE-, EB-, FF-, MI-, KL-, RR-, SO-, SY-, TU-Datenkollektiv (DWD)	DWD	Punkt	-	AV Shape	GK (12°E)	-
16	DGM 25 ³	BLVA	Punkt	ASCII	AV Shape	GK (12°E)	50 x 50 m (1:25.000)
17	DGM 25 (TIN)	DGM 25	Polygon	AV Shape	AI TIN	GK (12°E)	-
18	Grenzen Untersuchungsgebiet	-	Polygon	-	AV Shape	GK (12°E)	-
19	Standorte der Rapspollensammler	GPS	Punkt	-	AV Shape	GK (12°E)	-
20	Standorte der Maispollensammler	-	Punkt	-	AV Shape	GK (12°E)	-
21	Kartierte Raps- und Maisfelder	Flurkarte 98 / Orthofoto	Polygon	-	AV Shape	GK (12°E)	1:5.000
22	Kartierte Raps- und Maisfelder	Flurkarte 98 / Orthofoto	Polygon	-	AV Shape	UTM, Zone 32, WGS84	1:5.000
23	Pufferkreise (100 bis 2000 m) um die Rapspollensammler	Standorte der Rapspollen- sammler	Polygon	-	AV Shape	GK (12°E)	-

_

 $^{^3}$ Erhebung in Bayern zwischen 1985 – 1992 (http://www.geodaten.bayern.de/)

24	Pufferkreise (100 bis 2000 m) um die	Standorte der	Polygon	-	AV Shape	GK (12°E)	-
	Maispollensammler	Maispollen-					
		sammler					

Tab. A8.2.2: Übersicht erzeugte GIS-Rasterdaten

Nr.	Thema	Quelle / Datengrundlage	Ursprüngl. Format	Format	Projektion	Auflösung / Maßstab
25	Monatsmittelwert für April, Mai, Juli, August (Durchschnittswert: 1961 - 1990): Temperatur, Niederschlag, Globalstrahlung, Sonnenscheindauer	DWD	ASCII	AI Raster	GK (9°E)	1 x 1 km
26	Flurkarte 98	BLVA	Analog	TIF	GK (12°E)	1:5.000
27	DGM 25	DGM 25 (TIN)	AI TIN	AI Raster	GK (12°E)	25 x 25 m
28	Naturräumliche Haupteinheiten	Naturräumliche Haupteinheiten	AV Shape	AI Raster	GK (12°E)	10 x 10 m
29	Landwirtschaftliche Nutzfläche	Flächennutzung	AV Shape	AI Raster	GK (12°E)	10 x 10 m
30	Entfernung zum nächsten Rapsfeld	Kartierte Raps- und Maisfelder	AV Shape	AI Raster	GK (12°E)	10 x 10 m
31	Entfernung zum nächsten Maisfeld (je naturräumliche Haupteinheit)	Kartierte Raps- und Maisfelder	AV Shape	AI Raster	GK (12°E)	10 x 10 m
32	Untersuchungsgebiet	Grenzen Untersuchungsgebiet	AV Shape	AI Raster	GK (12°E)	5 x 5 m
33	Standorte der Rapspollensammler	Standorte der Rapspollensammler	AV Shape	AI Raster	GK (12°E)	5 x 5 m
34	Standorte der Maispollensammler	Standorte der Maispollensammler	AV Shape	AI Raster	GK (12°E)	5 x 5 m
35	Pufferkreise (100 bis 2000 m) um die Rapspollensammler	Pufferkreise um die Rapspollensammler	AV Shape	AI Raster	GK (12°E)	5 x 5 m
36	Pufferkreise (100 bis 2000 m) um die Maispollensammler	Pufferkreise um die Maispollensammler	AV Shape	AI Raster	GK (12°E)	5 x 5 m
37	Entfernung der Rapsfelder zum Rapspollensammler	Kartierte Rapsfelder, Standorte der Rapspollensammler	AI Raster	AI Raster	GK (12°E)	5 x 5 m

38	Entfernung der Maisfelder zum Maispollensammler	Kartierte Maisfelder, Standorte der Maispollensammler	AI Raster	AI Raster	GK (12°E)	5 x 5 m
39	Häufigkeitsverteilung der Windrichtung um die 50 Pollensammlerstandorte (Rapsversuch)	Standorte der Rapspollensammler	AI Raster	AI Raster	GK (12°E)	5 x 5 m
40	Häufigkeitsverteilung der Windrichtung für die 50 Pollensammlerstandorte (Maisversuch)	Standorte der Maispollensammler	AI Raster	AI Raster	GK (12°E)	5 x 5 m
41	PDI-Berechnung für Raps; jeweils 20 Pufferkreise (100 bis 2000 m)	Entfernung zum nächsten Rapsfeld, Winddaten	AI Raster	AI Raster	GK (12°E)	5 x 5 m
42	PDI-Berechnung für Mais; jeweils 20 Pufferkreise (100 bis 2000 m)	Entfernung zum nächsten Maisfeld, Winddaten	AI Raster	AI Raster	GK (12°E)	5 x 5 m
43	Reliefenergie	DGM (SRTM)	AI Raster	AI Raster	UTM, Zone 32, WGS84	~90 x 90 m

A9 Meteorologische Messstationen

Tab. A9.1: Übersicht meteorologischer Messstationen im Untersuchungsgebiet und der näheren Umgebung im Jahr 2003

Messnetz-Betreiber	Anzahl der Mes	sstationen in 2003 im	Messgrößen	Zeitliche Auflösung	
	Untersuchungs- gebiet (USG)	15km-Umkreis um USG			
LfL (Agrarmeteorologisches Messnetz Bayern)	3	3	Lufttemperatur, Bodentemperatur, Luftfeuchte, Niederschlag, Globalstrahlung, Blattnässe, Windgeschwindigkeit	Stunden-, Tagesmittel (- summe)	
DWD (AE-Kollektiv)	0	1	Geopotentielle Höhe, Lufttemperatur, Luftfeuchte, Wind	4 x täglich	
DWD (EB-Kollektiv)	1	2	Erdbodentemperatur in verschiedenen Tiefen	3 x täglich	
DWD (FF-Kollektiv)	0	3	Windgeschwindigkeit, Windrichtung	Stundenmittel	
DWD (KL-Kollektiv)	2	2	Lufttemperatur, Luftfeuchte, Wind, Niederschlag, Bedeckungsgrad Wolken	3 x täglich	
DWD (MI-Kollektiv)	0	2	Automatische Erfassung nahezu aller Messgrößen, u.a. Lufttemperatur, -feuchte, -druck, Windrichtung, - geschwindigkeit, Sonnenscheindauer, Globalstrahlung	Alle 10 Minuten (Übergabe der Daten an FF-, SO- und TU-Kollektiv)	
DWD (RR-Kollektiv)	3	15	Niederschlag	Tagessumme	

DWD (SO-Kollektiv)	0	3	Sonnenscheindauer	Stunden-, Tagessumme
DWD (SY-Kollektiv)	(1) ⁴	2	Lufttemperatur, Luftfeuchte, Luftdruck, Wind, Sichtweite, Wolken	stündlich
DWD (TU-Kollektiv)	2	1	Lufttemperatur, Luftfeuchte	Stundenmittel
LMU – Meteorologisches Institut	(1) ⁵	1	Lufttemperatur, Bodentemperatur, Luftdruck, Luftfeuchte, Niederschlag, Globalstrahlung, Sonnenscheindauer, Windgeschwindigkeit, Windrichtung	Stundenmittel
LMU – Geophysik	(1) ⁶	0	?	?
Bundeswehr – (Militär-) Flugplatz FFB	1	0	Lufttemperatur, Luftfeuchte, Luftdruck, Niederschlag, Windgeschwindigkeit, Windrichtung	Stundenmittel
Wölfle-Anemometer	(2)7	0	Windgeschwindigkeit, Windrichtung	Stundenmittel

Station Fürstenfeldbruck: seit 1999 liegen nur für wenige Tagen (1,5 – 6,5) pro Monat Daten vor
 Kein kontinuierlicher Betrieb der Messstelle Maisach
 Wetterstation wurde zu Testzwecken aufgestellt, nicht in Betrieb
 Kein kontinuierlicher Betrieb wegen technischer Probleme

A10 Meteorologische Messwerte

Tab. A10.1: Mittelwerte meteorologischer Messgrößen (Basis: Stundenwerte) entsprechend der Exposition der Pollensammler während des Rapsversuchs (Messstationen im Untersuchungsgebiet)

	Expositions-	Dürabuch	Puch	Roggenstein	FFB
	zeitraum	(LfL 4)	(LfL 5)	(LfL 6)	(BW)
Mittelwert	17. Woche	14,6	14,7	14,3	15,0
Lufttemperatur	18. Woche	17,7	17,6	17,3	18,0
(°C)	19. Woche	10,9	10,8	10,8	11,6
	20. Woche	12,3	12,3	12,4	13,3
	1720. Woche	13,9	13,9	13,7	14,5
Mittelwert	17. Woche	66,3	64,5	64,8	60,3
Luftfeuchte	18. Woche	65,1	63,7	64,7	63,7
(%)	19. Woche	88,1	88,0	85,9	83,5
	20. Woche	82,5	81,1	78,8	76,0
	1720. Woche	75,4	74,3	73,5	70,8
Mittelwert der	17. Woche	4799	4795	4535	-
täglichen Glo-	ichen Glo- 18. Woche	5996	6196	5785	-
balstrahlungs- summe	19. Woche	3702	3817	3502	-
(Wh/m²)	20. Woche	4581	4786	4481	-
	1720. Woche	4775	4905	4582	-
Nieder-	17. Woche	2,9	3,6	3,7	4,1
schlagssumme	18. Woche	25,3	25,3	23,0	25,7
(mm)	19. Woche	27,8	35,3	28,8	30,5
	20. Woche	19,2	23,2	20,2	28,1
	Mittelwert 17 20. Woche	18,8	21,9	18,9	22,1

Tab. A10.2: Mittelwerte meteorologischer Messgrößen (Basis: Stundenwerte) entsprechend der Exposition der Pollensammler während des Maisversuchs (Messstationen im Untersuchungsgebiet)

	Expositions-	Dürabuch	Puch	Roggenstein	FFB
	zeitraum	(LfL 4)	(LfL 5)	(LfL 6)	(BW)
Mittelwert	27. Woche	17,5	17,3	17,8	18,6
Lufttemperatur	28. Woche	19,7	19,5	19,4	20,5
(°C)	29. Woche	20,8	20,6	20,4	21,4
	30. Woche	19,5	19,5	19,3	20,3
	2730. Woche	19,4	19,2	19,2	20,2
Mittelwert	27. Woche	71,8	72,3	69,5	66,9
Luftfeuchte	28. Woche	66,9	67,6	67,9	63,0
(%)	29. Woche	. Woche 71,8 72,3 69,5 . Woche 66,9 67,6 67,9 . Woche 68,0 68,5 70,5 . Woche 70,3 69,8 73,030. Woche 69,2 69,6 70,1 . Woche - 6501 6008 . Woche - 6146 5964	67,6		
	30. Woche	70,3	69,8	73,0	68,5
	2730. Woche	69,2	0,2 69,6 70	70,1	66,4
Mittelwert der	27. Woche	-	6501	6008	-
täglichen Glo-	28. Woche	-	6146	5964	-
balstrahlungs- summe	29. Woche	-	6098	5947	-
(Wh/m²)	30. Woche	-	5470	5179	-
	2730. Woche	-	6076	5795	-
Nieder-	27. Woche	3,0	2,5	2,4	2,9
schlagssumme	28. Woche	17,9	24,1	20,0	19,5
(mm)	29. Woche	20,0	25,3	31,2	25,3
	30. Woche	21,7	18,8	(3,6)	17,2
	Mittelwert 27 30. Woche	15,7	17,7	(14,3)	16,2

Tab. A10.3: Mittelwert der Windgeschwindigkeit und Anteil der Windrichtung

						PS				
	17. W	/oche	18. V	/oche	19. W	/oche	20. V	/oche	Mitte	lwort
	25.4.	2.5.	2.5.	-9.5.	9.5	16.5.	16.5.	-23.5.	Milite	IW CIT
	v [m/s]	[%]	v [m/s]	[%]	v [m/s]	[%]	v [m/s]	[%]	v [m/s]	[%]
N	2,6	4,2	3,1	16,1	2,2	7,3	-	-	2,79	7%
NO	2,0	1,2	3,0	13,1	2,0	9,1	3,6	5,9	2,78	7%
0	1,9	7,2	2,7	8,3	2,2	10,4	2,0	2,4	2,26	7%
SO	2,2	10,2	2,1	6,0	1,7	8,5	1,5	2,4	1,96	7%
S	2,2	22,8	2,3	18,5	2,3	12,2	2,3	12,4	2,27	16%
SW	4,3	12,0	4,0	5,4	3,1	27,4	4,2	40,6	3,86	21%
W	5,6	38,3	3,8	28,0	4,0	18,3	5,5	33,5	4,90	30%
NW	3,3	4,2	2,6	4,8	3,3	6,7	2,8	2,9	3,04	5%
						AIS				
	27. W	/oche	28. V	Voche	29. W	/oche	30. Woche		Mittelw ert	
	4.7	11.7.	11.7.	-18.7.	18.725.7.		25.731.7.		Will telw ert	
	v [m/s]	[%]	v [m/s]	[%]	v [m/s]	[%]	v [m/s]	[%]	v [m/s]	[%]
N	2,4	14,6	3,1	16,6	1,8	7,7	1,3	2,8	2,5	11%
NO	1,8	5,3	3,6	11,0	1,9	7,7	2,0	3,4	2,6	7%
0	1,3	1,8	2,8	22,7	2,6	18,5	2,0	2,8	2,6	12%
SO	1,8	2,3	1,9	6,1	2,0	10,1	1,9	7,6	1,9	6%
S	1,3	14,6	1,9	16,0	2,4	18,5	1,9	30,3	1,9	19%
SW	2,6	14,0	1,8	6,1	3,0	14,3	2,6	15,2	2,6	12%
W	3,9	27,5	2,6	11,7	3,6	17,9	3,2	21,4	3,5	20%
NW	3,3	19,9	2,9	9,8	3,0	5,4	2,9	16,6	3,1	13%

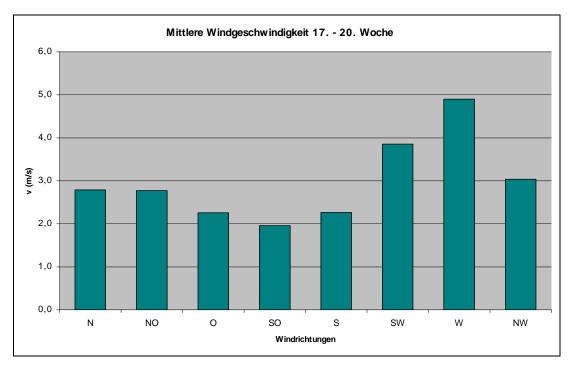


Abb. A10.4: Mittlere Windgeschwindigkeit während des Rapspollenfluges

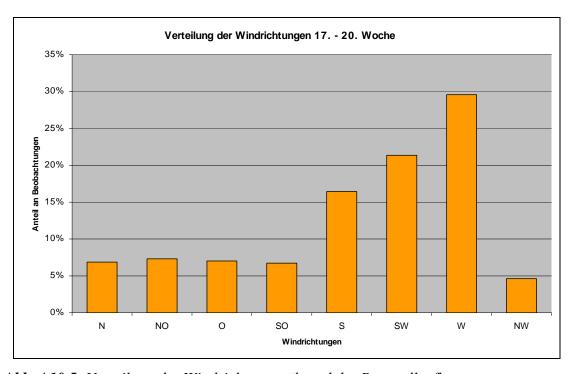


Abb. A10.5: Verteilung der Windrichtung während des Rapspollenfluges

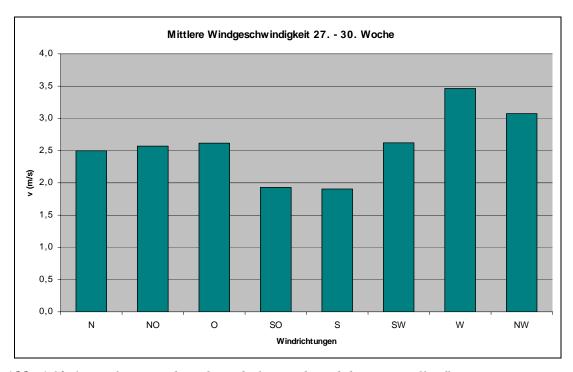


Abb. A10.6: Mittlere Windgeschwindigkeit während des Maispollenfluges

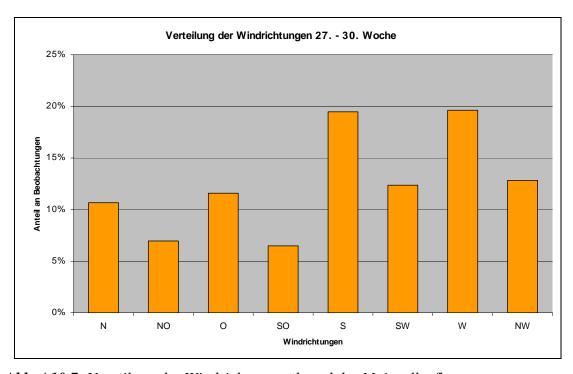


Abb. A10.7: Verteilung der Windrichtung während des Maispollenfluges

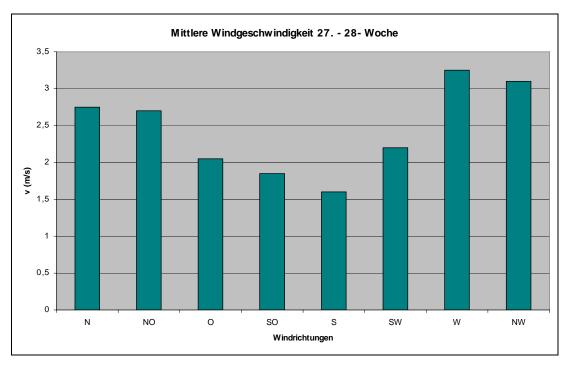


Abb. A10.8: Mittlere Windgeschwindigkeit während des Maispollenfluges (27. – 28. Woche)

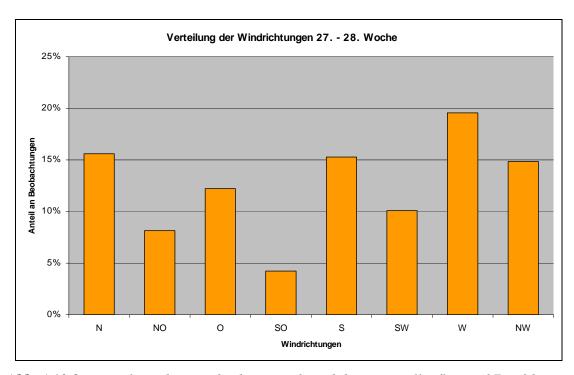


Abb. A10.9: Verteilung der Windrichtung während des Maispollenfluges (27. – 28. Woche)

A11 Literaturrecherche Impetus Bioscience

- Aylor, D.E. (2002): Settling speed of corn (Zea mays) pollen. Aerosol science 33, 1601-1607
- Eady, C., Twell, D., Lindsay, K. (1995): Pollen viability and transgene expression following storage in honey. Transgenic Research 4, 226-231
- Eastham, K., Sweet, J. (2002): Genetically modified organisms (GMOs). The significance of gene flow through pollen transfer. Environmental issue report 28, EEA, Copenhagen
- Emberlin, J. (1999): A report on the dispersal of Maize pollen. Research paper. National Pollen Research Unit, University College Worcester, 21 pp
- Garland, J.A., Nicholson, K.W. (1991): A review of methods for sampling large airborne particles and associated radioactivity. J. Aerosol Sci. (22) 4, 479-499
- Halfhill, M.D., Millwood, R.J., Raymer, P.L., Stewart, C.N. (2002): Bt-transgenic oilseed rape hybridization with its weedy relative, Brassica rapa. Environ. Biosafety Res. 1, 19-28
- Hellebrand, M., Nagy, M., Mörsel, T. (1998): Determination of DNA traces in rapeseed oil. Eur Food Res. Technol. 206, 237-242
- Hudson, L.C., Chamberlain, D., Stewart JR, C.N. (2001): GFP-tagged pollen to monitor pollen flow of transgenic plants. Molecular Ecology Notes 1, 321-324
- Huecas, S., Villalna, M., Rodriguez, R. (2001): Ole e 9, a major olive pollen allergen is a 1,3-ß-glucanase. J. Biol. Chem. 276, 27959-27966
- Ingram, J. (2000): Report on the separation distances required to ensure cross-pollination in below specified limits in non-seed crops of sugar beet, maize and oilseed rape. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, Cambridge UK
- Lavigne, C., Klein, E.K., Couvert, D. (2002): Using seed purity data to estimate an average pollen mediated gene flow from crops to wild relatives. Theor. Appl. Genet. 104, 139-145
- Napier, R. (Chair), (2001): Transgenic Brassica Crops Experts group on gene technology. Dept. of Primary Industries, Water and Environment, Tasmania
- Park, S.K., Howden, R., Twell, D. (1998): The Arabidopsis thaliana gametophytic mutation Gemini pollen 1 disrupts microspore polarity, division asymmetry and pollen cell fate. Development 125, 3789-3799
- Petersen, G., Johansen, B., Seberg, O. (1996): PCR and sequencing from a single pollen grain. Plant Mol. Biol. 31, 189-191
- Saeglitz, C., Pohl, M., Bartsch, D. (2000): Monitoring gene escape from transgeneic sugar beet using cytoplasmic male sterile bait plants. Molecular Ecology 9, 2035-2040
- Scheffler, J.A., Parkinson, R., Dale, P.J. (1993): Frequency and distance of pollen dispersal from transgenic oilseed rape (Brassica napus). Transgenic Res. 2, 356-364
- Waiblinger, H.U., Wurz, A, Freyer, R., Pietsch, K. (1999): Spezifischer Nachweis von gentechnisch verändertem Raps in Honig. Dt. Lebensmittel-Rundschau 95, Heft 2, 44-48

- Williams, R.H., Ward, E., McCartney, H.A. (2001): Methods for integrated air sampling and DNA analysis for detection of airborne fungal spores. Applied and Environ. Microb., 2453-2459
- Zhou, J., Bruns, M.A., Tiedje, J.M. (1996): DNA recovery from soils of diverse composition. Applied and Environ. Microb., 316-322
- Zhou, G., Whong, W.Z., Ong, T., Chen, B. (2000): Development of a fungus-specific PCR assay for detecting low-level fungi in an indoor environment. Mol. and Cell. Probes 14, 339-348

A12 Potenzielle Gebiete für ein GVP-Pollen-Monitoring in Deutschland

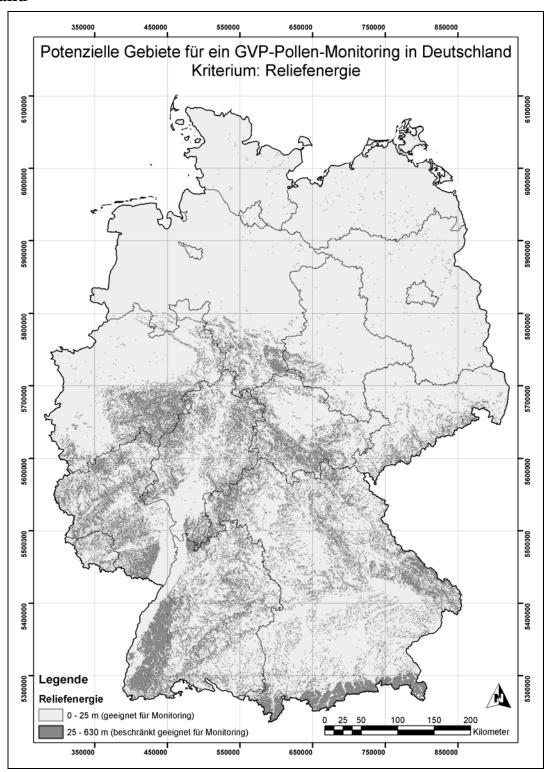


Abb. A12.1: Potenzielle Gebiete für ein GVP-Pollen-Monitoring in Deutschland nach der im Projekt beschriebenen Methodik: Kriterium Reliefenergie (Quelle: NASA/USGS)

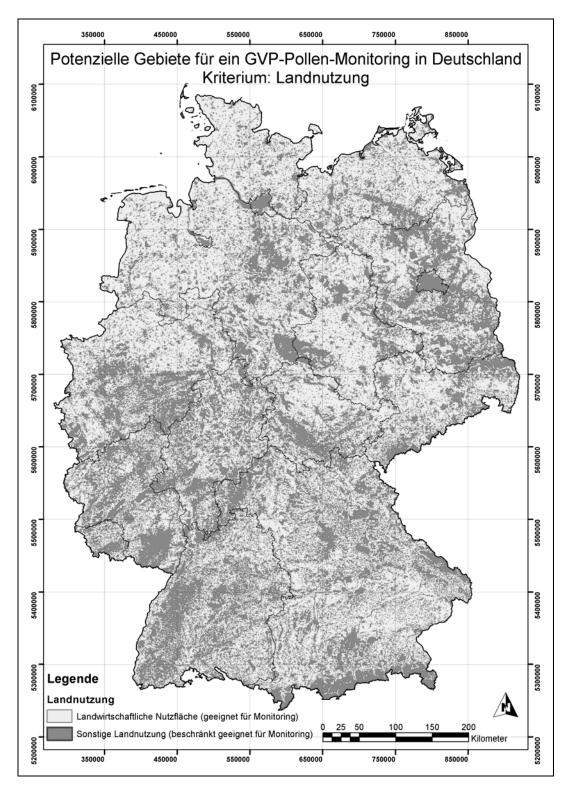


Abb. A12.2: Potenzielle Gebiete für ein GVP-Pollen-Monitoring in Deutschland nach der im Projekt beschriebenen Methodik: Kriterium Landnutzung (Quelle: DFD/DLR)

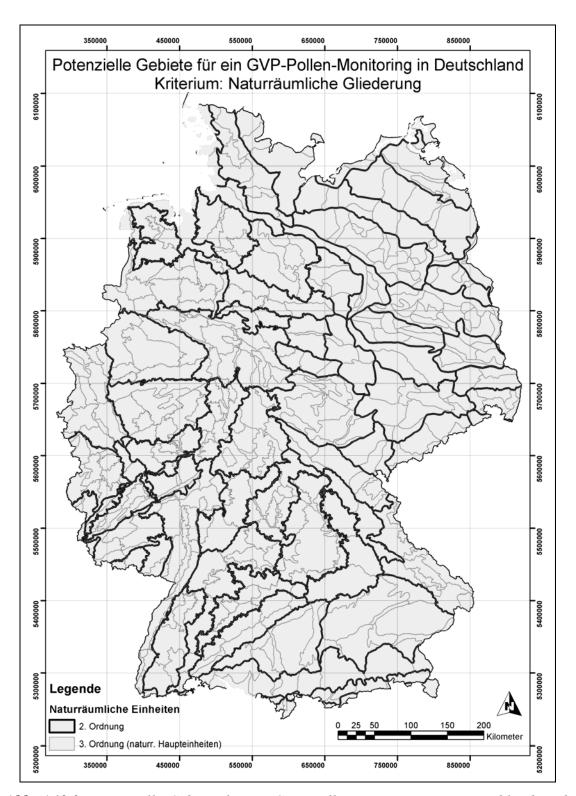


Abb. A12.3: Potenzielle Gebiete für ein GVP-Pollen-Monitoring in Deutschland nach der im Projekt beschriebenen Methodik: Kriterium Naturräumliche Gliederung (Quelle: LANIS-Bund, BfN, 2004)