



Bundesprogramm Ökologischer Landbau und andere Formen nachhaltiger Landwirtschaft

# Schlussbericht zum Thema

Entwicklung eines computergestützten Entscheidungshilfemodells zur Prävention von Erbsenwicklerschäden in Körnerleguminosen

FKZ: 2812OE012; 2812OE033; 2812OE034

Projektnehmer: Universität Kassel; Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau Sachsen-Anhalt; Zentralstelle der Länder für EDV-gestützte Entscheidungshilfen und Programme im Pflanzenschutz

Gefördert durch das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft auf Grund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages im Rahmen des Bundesprogramms Ökologischer Landbau und andere Formen nachhaltiger Landwirtschaft. Das Bundesprogramm Ökologischer Landbau und andere Formen nachhaltiger Landwirtschaft (BÖLN) hat sich zum Ziel gesetzt, die Rahmenbedingungen für die ökologische und nachhaltige Land- und Lebensmittelwirtschaft in Deutschland zu verbessern. Es wird vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) finanziert und in der BÖLN-Geschäftsstelle in der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) in Bonn in die Praxis umgesetzt. Das Programm untergliedert sich in zwei ineinandergreifende Aktionsfelder, den Forschungs- und den Informationsbereich.

Detaillierte Informationen und aktuelle Entwicklungen finden Sie unter

#### www.bundesprogramm.de

#### Wenn Sie weitere Fragen haben, wenden Sie sich bitte an:

Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung Geschäftsstelle Bundesprogramm Ökologischer Landbau und andere Formen nachhaltiger Landwirtschaft Deichmanns Aue 29 53179 Bonn

Tel: 0228-6845-3280 E-Mail: boeln@ble.de

#### Gefördert durch:



BÖLN

Bundesprogramm Ökologischer Landbau und andere Formen nachhaltiger Landwirtschaft

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

## "Entwicklung eines computergestützten Entscheidungshilfesystems zur Prävention von Erbsenwicklerschäden an Erbsen" CYDNIGPRO

# Development of a computerized decision support system to prevent pea moth damage in field peas

Förderkennzeichen: 120E012, 120E033, 120E034

#### **Koordination des Verbundvorhabens**

Universität Kassel, Fachbereich Ökologische Agrarwissenschaften, Fachgebiet Ökologischer Pflanzenschutz, Nordbahnhofstr. 1a, 37213 Witzenhausen

Tel.: +49 5542 981561 Fax: +49 5542 981561

http://www.uni-kassel.de/fb11agrar/fachgebiete-einrichtungen/oekologischer-pflanzenschutz/startseite.html

#### Autoren

Saucke, H.; Riemer, N.; Müller, U.; Clemenz, C.; Schwabe, K.; Schieler, M.; Racca, P.; Kleinhenz, B.

Die inhaltliche Verantwortung für den vorliegenden Abschlussbericht inkl. aller erarbeiteten Ergebnisse und der daraus abgeleiteten Schlussfolgerungen liegt beim Autor / der Autorin / dem Autorenteam. Bis zum formellen Abschluss des Projektes in der Geschäftsstelle Bundesprogramm Ökologischer Landbau und andere Formen nachhaltiger Landwirtschaft können sich noch Änderungen ergeben.



#### **Schlussbericht**

# "Entwicklung eines computergestützten Entscheidungshilfesystems zur Prävention von Erbsenwicklerschäden an Erbsen "CYDNIGPRO"

Development of a computerized decision support system to prevent pea moth damage in field peas

Förderkennzeichen: 120E012, 120E033, 120E034

Projektlaufzeit und Berichtszeitraum

10.06.2015 - 31.12.2019

#### **Kooperationspartner:**

Partner	FKZ			
Universität Kassel, Fachgebiet Ökologischer Pflanzenschutz, Witzenhausen	12OE012			
Zentralstelle der Länder für EDV-gestützte Entscheidungshilfen und Programme im Pflanzenschutz (ZEPP), Bad Kreuznach	12OE034			
ISIP – Informationssystem Integrierte Pflanzenproduktion, Bad Kreuznach				
Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau Sachsen-Anhalt, Bernburg (LLG)	12OE033			
Vereinigung ökologischer Landbau, Dresden (Gäa e.V.)	12OE012			

Gefördert durch das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages im Rahmen des Bundesprogramms Ökologischer Landbau und andere Formen nachhaltiger Landwirtschaft.

#### 1 Kurzfassung

Das Verbundprojekt mit den fünf Partnern Universität Kassel (Hessen), LLG (Sachsen-Anhalt), Gäa e.V. (Sachsen) und der ZEPP zusammen mit ISIP e.V. (Reinland-Pfalz), zielte auf die Entwicklung eines wetterbasierten Entscheidungshilfesystems (EHS) zur integrierten Prävention von Fraßschäden durch Erbsenwickler (Cydia nigricana) in Körner- und Gemüseerbsen (Pisum sativum) ab. Den Untersuchungsgegenstand bildete die Gewinnung empirischer, georeferenzierter Basisdaten zur phänologischen Entwicklung von Erbsenwickler und Erbse, sowie die Analyse des räumlich-zeitlichen Befallsgeschehens in drei Modellregionen von ca. 30 km Durchmesser in Hessen, Sachsen und Sachsen-Anhalt in den Jahren 2015-2019. Zunächst wurde allen Praxisflächen einer Modellregion mit Winterkörner-, Sommerkörner- und Gemüseerbsen der Saatzeitpunkt und schlaggenau interpolierte Wetterdaten zugeordnet. Über die gesamte Vegetationsperiode wurden dann Erbsen-BBCH-Stadien, Kulturform, Pheromonfallenfänge und prozentualer Kornbefall differenziert nach Larvenstadium, aufgenommen. Ergänzend wurden Klimakammer-Versuche zur temperaturabhängigen "Populationsdynamik Erbsenwickler" mit eingewinterten Erbsenwicklerkokons bei variierten Temperatur- und Lichtregimen durchgeführt. Die Eckdaten umfassten Entwicklungsnullpunkt, tägliche Entwicklungsrate, Falterschlupf, Eiablage, L1-Larvenschlupf und Larvenentwicklung. Weiterhin konnten unter kontrollierten Klimabedingungen ein univoltiner Flugverlauf abgesichert und Herkunftsunterschiede sowohl nach Region als auch nach Erbsenkulturform (Winterkörner-, Sommerkörnererbse) ausgeschlossen werden, was für generalisierbare Befallsprognosen entscheidend ist.

Auf Grundlage dieser Daten wurde das modular aufgebaute EHS "CYDNIGPRO" (<u>Cydia nigricana-Prog</u>nose) entwickelt. Dessen zwei Sub-Modelle "Entwicklung" und "Migration" zielen auf zwei Schwachstellen im Lebenszyklus des Zielschädlings ab: Das "**Sub-Modell Entwicklung**" setzt an der zeitlichen Synchronisation des Schädlings mit seiner Wirtspflanze an. Die prognoserelevanten Entwicklungsstadien sind *Blüte* als Voraussetzung für die Fernorientierung der Falter und *Hülsenbildung* für den Samenfraß der Larven. Mit den auf der Internetplattform isip.de hinterlegten phänologischen Basisdaten, konnten schlaggenaue <u>Sim</u>ulationen der <u>Ontog</u>enese (SIMONTO) Erbse getrennt für Körner- und Gemüseerbsen etabliert werden, wobei bei Gemüseerbsen zusätzlich zwischen Früh- und Spätsaaten zu differenzieren war. Aufgrund der zu geringen Anzahl von Wintererbsenschlägen, die zudem auf die Modellregion Hessen beschränkt waren, konnte für Winterkörnererbsen noch kein Modell erstellt werden.

Über die Eingabe der geographischen Koordinaten, des Aussaatdatums und der Kulturform berechnete der ISIP-Output in ersten Anwendungen bereits > 78% korrekte BBCH-Stadienverläufe. Die darauf aufbauende Befallsprognose koppelt die schlagspezifischen Daten zur Pflanzenphänologie mit den hinterlegten Daten zur Populationsdyamik des Erbsenwicklers und ermöglicht nun wetterbasierte Vorhersagen zum Flugbeginn und Larvenauftreten, die im ISIP-

Output "Befallsprognose" einen dreitägigen Vorhersagezeitraum haben. Anwender können damit Wahrscheinlichkeiten einschätzen, ob und ab wann Befallsflug und Larvenfraß einsetzen und in welchem Zeitfenster schlagspezifisch optimierte Insektizidmaßnahmen sinnvoll wären.

Der zweite Ansatzpunkt nutzt mit dem "Sub-Modell Migration" die schlaggenaue Kokon-Überwinterung im Boden von Erbsen-Vorjahresflächen. Die im Folgejahr schlüpfenden Falter sind dadurch gezwungen, aktuelle Erbsenschläge über unterschiedlich weite Strecken anzufliegen. Als Basisdaten für die räumliche Befallsprognose wurden der jeweilige Flächenabstand zur nächstgelegenen Vorjahresfläche (MD) als "Geberfläche" und korrespondierende Befallswerte der aktuellen "Empfängerfläche" erarbeitet. Die Auswertung der MD-Befallskorrelationen ergaben insgesamt, dass Starkbefall durchgehend mit geringen MDs < 500 assoziiert war. Der Befall nahm über allen Modellregionen und Kulturformen exponentiell ab, je weiter die Vorjahresflächen entfernt lagen. Insgesamt lag der Median aller Flächenabstände des Projektzeitraums zwischen 204 und 611 m. Die maximal realisierten Entfernungen zum Vorjahresschlag waren für das Anbaumosaik Hessen 3,9 km, bzw. in Sachsen 4,8 km und in Sachsen-Anhalt 6,1 km. Um die empirischen Distanz-Befallskorrelationen anhand von Risikokarten zu visualisieren, wurden als Näherung Pufferzonen mit drei gestuften Radien von 1000 m, 1500 m und 2000 m (ab dem Vorjahresschlag) gebildet. Die Zuteilung eines Wichtungsfaktors je Pufferzone kategorisierte den kontinuierlichen Befallsrückgang in drei von innen nach außen abnehmenden Risikozonen, die in den Kartenausschnitten als rot, orange und gelbe Risikobereiche angezeigt werden. Diese Entscheidungshilfe soll es integriert und ökologisch wirtschaftenden Anwendern ermöglichen, noch vor der Aussaat lokale Befallsgradienten und Schwachbefallslagen besser einzuschätzen, um gegebenenfalls bereits über die Flächenwahl Insektizidmaßnahmen einzusparen, bzw. im Idealfall ganz umgehen zu können. Diese dreistufigen Distanzbereiche gelten hauptsächlich für die Modellregionen mit ausreifenden Körnererbsen (Sommer- und Wintererbse), Gemüseerbsenvermehrungen (Sachsen-Anhalt) als Anbauschwerpunkt. In Sachsen, mit vorwiegendem Anbau von Gemüseerbsen für die Humanernährung, wurde den Risikokarten aufgrund der abweichenden Rahmenbedingungen bezüglich Grünernte, Befallsdruck und Qualitätstoleranz lediglich eine innere 500 m Pufferzone für frühe Saattermine zugeteilt.

Für erste prototypische Anwendungen des räumlichen Planungstools sind als Übergangslösung noch händische Eingaben der Vorjahresschläge und der aktuell geplanten Flächen vorgesehen. In einer weiteren Ausbaustufe für die nächsten Jahre ist geplant, die Lage der Erbsenvorjahresschläge durch satellitenbasierte Fernerkundung automatisiert bereitzustellen. Die erarbeiteten EHSTeilmodule "CYDNIGPRO" stehen demnächst nach Abschluss der Implementierung auf der Internetplattform isip.de für ausgewählte Berater zur Verfügung. Nach einer Überprüfungsphase kann das EHS dann deutschlandweit von allen Beratern und Landwirten genutzt werden.

#### 2 Abstract

# Development of a computerized decision support system to prevent pea moth damage in field peas

The joint project aimed to develop a weather-based Decision Support System (DSS) which facilitates the integrated prevention of pea moth (Cydia nigricana) damage in grain and vegetable peas (Pisum sativum) at farm planning level. Between 2015 and 2019, five collaborative project partners (University Kassel, Gäa e. V., LLG and ZEPP together with ISIP e. V.) gathered and analysed data concerning the phenological development of the target pest and its host of all grainand vegetable pea sites within three distinct model regions of about 30 km diameter. The regions were located in Hesse, Saxony and Saxony-Anhalt. The positions of all pea fields within a model region, obtained from GIS-based data sets, were allocated to site-specific, interpolated climatic data. Throughout the entire cropping season pea development, sowing date, development stage (BBCH), cultivar (winter-, spring- or vegetable peas), pheromone trap catches, pod infestation, seed damage and respective larval stages within pods were investigated. Supplementary, climate chamber experiments with field collected pea moth cocoons were performed. Temperature dependent post diapause development at varied temperature- and light regimes was assessed in order to determine the minimum development threshold and the daily development rate until moth emergence. Likewise, the development of eggs until the hatch of the first instars larva and larval development, as key parameters for modeling the "population dynamics in pea moth" were investigated. Further field experiments ensured an univoltine flight period under current conditions. On this basis, the modulary structure of the crop protection DSS "CYDNIGPRO" (Cydia nigricana-Prognosis) was developed including two Sub-Models - "development" and "migration":

The first **"Sub-Model development"** addresses the phenological synchronization of the pest and its host plant. Most relevant predictors for coincidence in time are here (i) the flowering stage, as the precondition for long range orientation of adult moths and (ii) the pod setting stage for larval seed damage. For the calculation, temperature at the sites, sowing date, cultivar and the phenological development of host and pest are the input data. The validation revealed an ISIP-output accuracy of > 78% as correctly calculated BBCH-development stages. The foregoing infestation forecast coupled these site-specific phenological host plant data with the compiled pest population development data. It allows weather-based predictions for commencing pea moth flight and first incidence of larval instars. The resulting ISIP output "infestation forecast" has a prediction period of three days. Based on probabilities for the starting point of pea moth flight and larval attack, users can estimate appropriate time frames for insecticidal control measures. The pea development Sub Model is already available at the internet platform "isip.de", enabling the performance of site-specific <u>sim</u>ulations of the pea <u>ontog</u>enesis (SIMONTO) for grain- and for vegetable peas separately, distinguishing between an early and late sowing category for vegetable

peas. Due to the sparse number of winter pea sites, restricted to the model region Hesse, a SIMONTO winter pea couldn't be established yet.

The second "Sub-Model migration" is based on the site-specific hibernation of pea moth cocoons in the soil of pea fields of the previous year. Hatching moths are forced to overcome variable distances to actual pea fields by flight. In order to predict spatial infestation risks, the seed damage of each actual pea site as the "receiver crop" was correlated with the shortest distance to the next located previous pea crop as the "donor site" ("minimal distance" (MD)). The analysis of such MD-damage relationships revealed severe damage levels to be consistently associated with low MDs below 500 m and an exponential decline of seed damage when distances to previous pea fields increased further in all model regions and all pea cultivars. Overall, the median of all cropping distances of the entire project period ranged between 204 and 611 m. The maximum MDs observed were for Hesse 3.9 km, Saxony 4.8 km and in Sachsen-Anhalt 6.1 km, respectively. In order to visualize such empirical MD-crop damage relationships in a first approximation, risk maps with three buffer zones around each previous pea field were compiled in a radius of 1000 m, 1500 m and 2000 m. By assigning a weighing factor to each of these buffer zones, the continuous decline of insect damage was transformed into a categorised risk display with a red color zone in the center, followed by the orange and yellow risk buffer categories towards the periphery. This spatial decision tool is applicable for the integrated and the organic sector. It enables users to consider infestation gradients and low risk areas before sowing and as appropriate, to respond with the choice of site to reduce and ideally to avoid insecticidal control measures. These three-stage distance zones are mainly valid for the model regions with maturing grain peas (spring- and winter grain peas) as well as seed propagation for grain- and vegetable peas (Saxony-Anhalt). In Saxony, with predominant vegetable pea production for human consumption and thus, a deviating framework of green harvesting, infestation pressure and quality tolerance level, risk maps comprise the first inner buffer zone with 500 m. As an interim solution, prototypic test runs intend manually processed field positions for the previous and actual pea crop. A further expanded stage envisages the provision of automated satellite-based data to locate previous pea crops within the next years. Within the nearing implementation, the developed DSS sub-modules "CYDNIGPRO" will be first available for selected extensionists at the internet platform isip.de. After a cross checking-phase the DSS can be used Germany-wide by advisors and farmers.

#### 3 Danksagung

Die Verbundpartner bedanken sich bei allen Betriebsleitern in den Modellregionen. Durch deren Bereitschaft ihre Praxisflächen für umfängliche Probennahmen über vier Anbaujahre zur Verfügung zu stellen und in zahlreichen Interviews und Ortsterminen aktiv mitzuwirken, ist die Realisierung des Vorhabens erst möglich geworden. Auch den für Flächeninformationen zuständigen Sachbearbeitern der Bundesländer Hessen, Sachsen und Sachsen-Anhalt sei für die technische Unterstützung bei der Bereitstellung der Flächendaten gedankt.

Besonderer Dank gilt dem BMEL für die Bereitstellung der Fördermittel sowie der BLE für die konstruktive Unterstützung bei der fachlich-, administrativen Betreuung durch Hubert Ostbomke, Judith Braun und Lea Wünn.

# Inhalt

1	Kurzfassung	I
2		
3	Danksagung	V
4	Einführung	1
	4.1 Gegenstand des Vorhabens	1
	4.2 Ziele und Aufgabenstellungen des Projektes	1
	4.3 Planung und Ablauf des Projektes	1
5	Wissenschaftlicher und technischer Stand	2
	5.1.1 Beurteilung von Risikofaktoren	3
6		
	6.1 Allgemeiner modularer Aufbau des EHS	
	6.2 Modellregionen	
	6.2.1 Klimatische Rahmenbedingungen in den Modellregionen	10
	6.2.2 Schlagbezogene Wetterdaten	12
	6.2.3 Bonitur-App-Georeferenzierung	
	6.2.4 Praktikerbefragungen zu Insektizid- und Kulturführungsmßnahmen	
	6.3 Basisdaten Erbsenwickler-Entwicklung in Labor und Feld	
	6.3.1 Hälterung von Erbsenwicklerherkünften für Laborversuche	
	6.3.2 Falterschlupf in Klimakammern	
	6.3.3 Falterschlupf nach Modellregion	
	6.3.4 Falterschlupf nach Früh- und Spätbefall im Vorjahr	
	6.3.5 Pheromonfallen-Monitoring auf Praxisschlägen	
	6.3.5.1 Vorjahresflächen (Geberflächen)	
	6.3.5.2 Aktuelle Erbsenflächen (Empfängerflächen)	
	6.3.5.3 Überprüfung univoltiner versus bivoltiner Wickerflug	
	6.3.5.4 Larvalentwicklung und Befallserhebung auf Praxisschlägen	17
	6.3.6 Modellierung Sub-Modell "Erbsenwickler-Entwicklung"	
	6.3.6.1 Parameterberechnung für den Falterschlupf	
	6.3.6.2 Modul 3: "Populationsdynamik Erbsenwickler"	18
	6.3.6.3 Modellanpassung	
	6.3.6.4 Diskriminanzfunktionen durch binäre logistische Regression	
	6.3.6.5 Validierung	
	6.4 Basisdaten Erbsen-Entwicklung	
	6.4.1 BBCH-Index	
	6.4.2 Modellierung Erbsen-Entwicklung	
	6.4.3 Validierung	
	6.5 Basisdaten Räumliche Befallsanalyse MD und CAI	
	6.5.1 Bodenbearbeitung	25
	6.5.2 Flugbedingungen und "Wanderleistung"	25
	6.5.3 Modellierung Sub-Modell "Migration" als Risikokarte"	
_	6.6 Programme für Analysen	
/	Ergebnisse	
	7.1 Basisdaten Erbsenwickler-Entwicklung	
	7.1.1 Falterschlupf Temperatursummen	
	7.1.2 Entwicklungsnullpunkt	
	7.1.2.1 Falterschlupf nach Modellregion	
	7.1.2.2 Falterschlupf nach Früh- und Spätbefall im Vorjahr	
	7.1.2.3 Oberpruring univoluner vs. bivoluner wickering	
	7.1.4 Modellierung Erbsenwickler-Entwicklung	
	7.1.4.1 Parameterberechnung	
	7.1.4.2 Modellanpassung	
	7.11.112 Ploucilaripassarily	رر

	7.1.4.3 Diskriminanzfunktionen durch binäre logistische Regression	. 34
	7.1.5 Validierung	
	7.2 Baisdaten Erbsen-Entwicklung	
	7.2.1 Modellierung Erbsen-Entwicklung	
	7.2.2 Validierung	
	7.2.3 ISIP Output SIMONTO Erbse	
	7.3 ISIP Output Befallsprognose	
	7.4 Basisdaten Räumliche Befallsanalyse MD und CAI	
	7.4.1 MD-Befallskorrelationen	
	7.4.2 Wanderleistung	
	7.5 Modellierungen im Sub-Modell "Migration"	
	7.5.1 Modul "Risikokarte"	
	7.5.1.1 ISIP Output mit Zwischenlösung	
8	Diskussion	
	8.1 Basisdaten Erbsenwickler-Entwicklung	
	8.1.1 Falterschlupf Entwicklungsnullpunkt	.51
	8.1.1.1 Falterschlupf nach Modellregion	
	8.1.1.2 Falterschlupf nach Früh- und Spätbefall im Vorjahr	
	8.1.1.3 Überprüfung univoltiner versus bivoltiner Wickerflug	
	8.1.2 Pheromonfallen-Monitoring	
	8.2 Sub-Modell Erbsenwickler-Entwicklung	
	8.2.1 Modellierung Erbsenwickler-Entwicklung (Modul 3)	. 54
	8.2.2 Validierung	.54
	8.3 Basisdaten Erbsen-Entwicklung	. 55
	8.3.1 Modellierung Erbsen-Entwicklung	. 55
	8.3.2 ISIP Output Befallsprognose	.56
	8.4 Basisdaten Räumliche Befallsanalyse MD	. 56
	8.4.1 MD-Befallskorrelationen	. 56
	8.4.1.1 Flugbedingungen & Wanderleistung	. 58
	8.5 Sub-Modell "Migration" (TM 1, TM 4)	. 58
	8.5.1 Räumliche und zeitliche Befallsanalyse	. 58
	8.5.2 Modul "Risikokarte"	. 59
	8.6 Mögliche zukünftige Untersuchungen	. 59
9	Verwertung	.61
1(		
1:		.61
	Öffentlichkeitsarbeit	
12	2 Literaturverzeichnis	
13	3 Anhang	.67
	13.1 Anbaudichte (CAI)-Befallskorrelationen	.67
	·	

#### Abkürzungsverzeichnis

BL = Blattläuse

BRK = Blattrandkäfer

CAI = Continuous Abundance Index

EK = Erbsenkäfer

EW = Erbsenwickler

GE = Gemüseerbsen (Grünernte für Tiefkühlware)

GEv = Gemüseerbsen (Vermehrung)

GT = Gradtage oder Tagesgrade

HE = Hessen

MD = Minimal distance = Abstand zur nächstgelegenen Vorjahresfläche

SE = Sommerkörnererbsen

SN = Sachsen

ST = Sachsen-Anhalt

TM = Teilmodul

WE = Winterkörnererbsen

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Übersicht zur Lage der Modellregionen6
Abbildung 2: Boniturgebiet Hessen 2016 – 2018. 2019 wurde das Boniturgebiet auf die blau gekennzeichnete Kernregion beschränkt, daher sind 2019 nur Schläge in diesem Gebied dargestellt. Die Schläge sind nach Kulturfom klassifiziert. SE = Sommerkörnererbsen, WE = Winterkörnererbsen
Abbildung 3: Boniturgebiet Sachsen 2016 - 2018. 2019 wurde das Boniturgebiet auf die blau gekennzeichnete Kernregion beschränkt, daher sind 2019 nur Schläge in diesem Gebief dargestellt. Die Schläge sind nach Kulturform klassifiziert. SE = Sommerkörnererbsen, GE = Gemüseerbsen (Grünernte für Tiefkühlware)
Abbildung 4: Boniturgebiet Sachsen-Anhalt 2016 - 2018. 2019 wurde das Boniturgebiet auf die blau gekennzeichnete Kernregion beschränkt, daher sind 2019 nur Schläge in diesem Gebied dargestellt. Die Schläge sind nach Kulturform klassifiziert. E = Erbsen, SE = Sommerkörnererbsen, GEv = Gemüseerbsen (Vermehrung)
Abbildung 5: Temperatur und Niederschlag der Modellregion Hessen, Wetterstation Eschwege (oben), Sachsen, Wetterstation Oschatz (Mitte) und Sachsen-Anhalt, Wetterstation Quedlinburg (unten), 2016-2019
Abbildung 6: Schema der Skriptberechnung der Risikokarte25
Abbildung 7: An die Entwicklungsrate (1/Tage) angepasstes nichtlineares Brière-2 Model (durchgehende Linie)27
Abbildung 8: BBCH von einem ausgewählten Sommer- und Wintererbsenschlag in der Region Nordhessen im Jahr 2018 in Abhängigkeit vom Datum. SE = Sommerkörnererbsenschlag, WE = Winterkörnererbsenschlag
Abbildung 9: Durchschnittlicher Ausbohrtermin von Erbsenwickler-L5 in Gradtagen, aus wöchentlich gesammelten Erbsenhülsen nach dem Kriterium Hülsen mit Ausbohrloch ja/nein,aus einem sich in der Modelregion Hessen befindlichen Sommer- und Wintererbsenschla. Beide Schläge lagen räumlich nahe bei einander). SE = Sommerkörnererbsen, WE = Winterkörnererbsen
Abbildung 10: Blütezeitpunkte (BBCH 60 in Jahrestagen) aller beprobten Erbsenschläge getrennt nach Gemüse-, Sommerkörner- und Winterkörnererbsen in den Jahren 2016 bis 2019 in den Regionen Hessen und Sachsen-Anhalt. Die vertikale rote Linie kennzeichnet das Erscheinungsdatum des ersten Wicklers in der Pheromonfalle in einem Erbsenschlag. SE = Sommerkörnererbsen, WE = Winterkörnererbsen, GE = Gemüseerbsen (Grünernte für Tiefkühlware), GEv = Gemüseerbsen (Vermehrung)
Abbildung 11: Populationsverteilung der einzelnen Stadien in Abhängigkeit von der Temperataursumme ab dem 1. Januar mit einer Basistemperatur von 8,135°C)34
Abbildung 12: Prognose der ersten gefangenen <b>F</b> alter im <b>F</b> eld (FF) als Populationsdichteverteilung, blauer Pfeil markiert die Stelle an der die FF-Funktion der Schwellenwert überschreitet, der Cut-off-Wert liegt bei 0,4 (gestrichelte Linie)
Abbildung 13: Prognose der Zunahme um >7 Falter als Populationsdichteverteilung, blauer Pfeil markiert die Stelle an der die Delta_A-Funktion den Schwellenwert überschreitet, sowie die Dauer der Überschreitung, der Cut-off-Wert liegt bei 0,4 (gestrichelte Linie)

Abbildung 14: Prognose des Auftretens des Larvenstadiums 1 als Populationsdichteverteilung, blauer Pfeil markiert die Stelle an der die L1-Funktion (graue Linie) den Schwellenwert überschreitet, sowie die Dauer der Überschreitung, der Cut-off-Wert liegt bei 0,3 (gestrichelte Linie)
Abbildung 15: Trefferquoten der Validierung unterteilt nach den Kulturformen (Sommerkörnererbse (n = 240 Schläge), Gemüseerbse (n = 184 Schläge) und Winterkörnererbse (n = 15 Schläge) und der Variablen FF, Delta_A und L139
Abbildung 16: Ergebnis der Gompertz-Regression der drei Modelle, eins für Sommerkörnererbsen, eins für Gemüseerbsen-Frühsaat und eins für Gemüseerbsen-Spätsaat
Abbildung 17: ISIP Output für das Sub-Modell "Entwicklung Erbse" STE429, 201842
Abbildung 18: Exemplarischer ISIP Output des Erbsenwickler-Entwicklungsmodells der schlagspezifischen Berechnung für 2 Praxisschläge in Rheinland-Pfalz (RPE506=Sommerkörnererbsen) und Sachsen-Anhalt STE514 Gemüseerbsen, frühe Saat) (blau = Flugbeginn wahrscheinlich, gelb = Auftreten 1. Larvenstadiums wahrscheinlich, rot = Überschreitung des Schwellenwertes des 1. Larvenstadiums wahrscheinlich)
Abbildung 19: Durchschnittliche Abstände aktueller Erbsenschläge von den nächstgelegenen Vorjahresschlägen (MD in m) (Habitatstruktur Erbsenwickler) in den Modellregionen in Hessen, Sachsen und Sachsen-Anhalt in den Jahren 2016-2019. 2019 Erfolgten die Bonituren nur in der Kernregion
Abbildung 20: Abhängigkeit des Erbsenwicklerbefalls (Befallene Körner in %) von der Distanz zu den am nächsten gelegenen Vorjahresschlag44
Abbildung 21: Beziehung zwischen der Distanz zur nächstgelegenen Vorjahresfläche (m) und dem Anteil befallener Körner (%) getrennt nach Jahr und Erbsenkulturform in Hessen45
Abbildung 22: Beziehung zwischen der Distanz zur nächstgelegenen Vorjahresfläche (km) und dem Anteil befallener Körner (%) getrennt nach Jahr und Erbsenart in Sachsen45
Abbildung 23: Beziehung zwischen der Distanz zur nächstgelegenen Vorjahresfläche (km) und dem Anteil befallener Körner (%) getrennt nach Jahr und Erbsenart in Sachsen-Anhalt46
Abbildung 24: Zeitdifferenz (in Tagen) der ersten gefangenen Männchen in Pheromonfallen der Vorjahresschlägen und der aktuellen Erbsenschlägen in der Modellregion Hessen. 2017 und 2018 wurden die Fallen täglich kontrolliert, 2019 alle zwei Tage (Flächenpaare: Wintererbsen = 7, Sommererbsen = 22)
Abbildung 25: Zeitdifferenz (in Tagen) der ersten gefangenen Männchen in Pheromonfallen der Vorjahresschlägen und der aktuellen Erbsenschlägen in den Modellregionen Sachsen, Sachsen-Anhalt und zusätzlich Rheinland-Pfalz, die Pheromonfallen wurden alle 3 – 4 Tage kontrolliert (Flächenpaare:RP = 5; SN = 6; ST = 13)
Abbildung 26: Risikokarte mit Pufferzonen und sich überlagernden Risikoklassen (die weißen Flächen stellen exemplarisch zwei Vorjahresflächen dar)49
Abbildung 27: Befallsrisikoabfrage anhand der Risikokarte mit 2000m Durchmesser, basierend auf der Riskokonstellation aus

Abbildung 28: ISIP-Maske zum Anlegen eines geplanten Schlages, sowie der Vorjahressc in der Umgebung.	_
Abbildung 29: ISIP-Output mit dem Befallsrisiko für den geplanten Schlag	
Abbildung 30: Erbsenwicklerbefall (befallene Körner (%)) aller beprobten Wintererbsenflä in der Modellregion in Hessen 2017-2019 in Abhängigkeit vom Anteil	
Vorjahreserbsenschlägen im Umkreis von 500 Metern (CAI 0,5)	
Abbildung 31: Erbsenwicklerbefall (befallene Körner (%)) aller bepro	
Sommererbsenflächen in der Modellregion in Sachsen-Anhalt 2016-2019 in Abhängigkeit	
Anteil an Vorjahreserbsenschlägen im Umkreis von 500 Metern (CAI 0,5)	68

### **Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1: Anzahl der Erbsenschläge innerhalb der ausgewählten Boniturgebiete in Hessen, Sachsen und Sachsen-Anhalt in den Jahren 2016-2019 (2019: verkleinertes Boniturgebiet), eingeteilt nach Insektizidbehandlung und Zielorganismen (BL = Blattläuse als Virusvektoren bezüglich Nanovirus (pea necrotic yellow dwarf virus (PNYDV)), bzw. gleichzeitig gegen mögliche Saugschäden, BRK = Blattrandkäfer, EK = Erbsenkäfer, EW=Erbsenwickler, SE = Sommerkörnererbsen, WE = Winterkörnererbsen, GE = Gemüseerbsen (Grünernte für Tiefkühlware), GEv = Gemüseerbsen (Vermehrung)
Tabelle 2: Temperatur- und Niederschlagsdaten der Modellregionen, die vieljährigen Mittel beziehen sich auf die Jahre 1981 – 2010 (Quelle: DWD)10
Tabelle 3: Überblick über Klimakammerversuche zu Schlupfbeginn und Verlauf des Erbsenwicklers in Abhängigkeit vom Lichtregime, der Temperatur, der Herkunft und Kokonbildungszeitpunkt14
Tabelle 4: Parameter des Brière-2 (Brière et al.; 1999) Modells, angepasst an die Entwicklungsrate (1/Tage) von C. nigricana mit $T_{min}$ als Entwicklungsnullpunkt, $T_{max}$ als obere Entwicklungsgrenze und $b_1$ und $b_2$ als Parameter der Kurvenform
Tabelle 5: Durchschnittliche Entwicklungszeit von Larvenherkünften aus Sachsen und Sachsen- Anhalt in Tagen nach einheitlicher Überwinterung in einer Klimakammer bei durchgehend 18°C und einem Lichtregime von 16/8 L/D bis zum Falterschlupf; n=Anzahl geschlüpfter Falter28
Tabelle 6 Durchschnittliche Entwicklungszeit bis zum Schlupf von Erbsenwicklerfaltern aus, and drei verschiedenen Zeitpunkten gesammelten und künstlich überwinterten Erbsenwicklerlarven, in einer Klimakammer mit einer Temperatur von 18°C und einem Lichtregime von 16/8 L/D. n=Anzahl geschlüpfter Falter
Tabelle 7: Durchschnittliche Entwicklungszeit bis zum Schlupf von Erbsenwicklerfaltern, aus einem Sommerkörner- und Winterkörnererbsenschlag gesammelten und künstlich überwinterten Erbsenwicklerlarven, in einer Klimakammer mit einer Temperatur von 18°C und einem Lichtregime von 16/8 L/D n=Anzahl geschlüpfter Individuen
Tabelle 8: Klimakammerversuch zur Überprüfung des Auftretens einer zweiten Generation bei C. nigricana. Im Gewächshaus gezogene Erbsenhülsen wurden mit in Klimakammern gezogenen L1 Larven infiziert und bei 16/8 L/D und 20°C inkubiert31
Tabelle 9: Deskriptive Statistik der Entwicklungsstadien in Temperatursummen ab dem 1. Januar (Basistemperatur 8,135°C) bzw. ab Start in der Klimakammer; F = Freiland, K = Klimakammer
Tabelle 10: Modellgüte der FF-Funktion35
Tabelle 11: Modellgüte der Variable Delta_A36
Tabelle 12: Modellgüte der Variable L137
Tabelle 13: Klassifikationstabelle des Validierungsdatensatzes (Variable FF)37
Tabelle 14: Klassifikationstabelle des Validierungdatensatzes (Variable Delta, A)

Tabelle 15: Klassifikationstabelle des Validierungsdatensatzes (Variable L1)
Tabelle 16: Praxisvalidierung Abweichung in Tagen zwischen dem Modell und des bonitierter Entwicklungs-Stadiums41
Tabelle 17: Validierung anhand einer linearen Regression zwischen den berechneten und der bonitierten Entwicklungsstadien, Signifikanz für y-Achsenabschnitt und Steigung: $*P \le 0.05$ $**P \le 0.01$ ; $***P \le 0.001$ ; n.s. = not significant (P > 0.05); die Spalte P zeigt die Signifikanz der Varianzanalyse der einzelnen Modelle

#### 4 Einführung

#### **4.1 Gegenstand des Vorhabens**

Im Zuge der Agrarfördermaßnahmen für Eiweißpflanzen war auch mit zunehmenden Erbsenwicklerschäden in Anbauregionen mit Gemüse- und Körnererbsenschwerpunkt zu rechnen. Sowohl im ökologischen Landbau als auch im integrierten Pflanzenschutz sind ursachenbetonte Herangehensweisen, die Pflanzenbau synergistisch mit präventivem Pflanzenschutz verbinden (Zehnder et al. 2007) von hohem Stellenwert.

Wetterbasierte Prognosemodelle im Pflanzenschutz ermöglichen schlagspezifische Einschätzungen der Schadenswahrscheinlichkeit und eine bessere zeitliche Terminierung von Regulierungsmaßnahmen. Als integrierter Baustein sind Entscheidungshilfesysteme im Pflanzenschutz für die Erreichung der im BÖLN (https://www.bundesprogramm.de/) und NAP (http://www.nap-pflanzenschutz.de/) formulierten Nachhaltigkeitsziele besonders relevant. Weiterhin weist der Untersuchungsgegenstand über die Einbindung der Praxis enge Verflechtungen mit der Eiweißpflanzenstrategie (www.ble.de/eiweisspflanzenstrategie) auf. Vor diesem Hintergrund strebt das Vorhaben die gezielte Anwendung einer räumlich-zeitlichen Koinzidenzvermeidungs-Strategie (Teetes 1981; Pedigo 2009) an.

#### 4.2 Ziele und Aufgabenstellungen des Projektes

Das Projekt zur EHS-Entwicklung verfolgte den Ansatz einer verbesserten präventiven Anbauplanung in Erbsen und soll zur Reduzierung von Direktbekämpfungsmaßnahmen beitragen. Den Untersuchungsgegenstand bildete die Gewinnung von Basisdaten aus mehrortigen Anbauzyklen über vier Jahre zur Ontogenese von Erbsenwickler und Erbse und zum räumlich- zeitlichen Befallsgeschehen. Auf dieser Grundlage wurden Risikoberechnungen für a) wetterbasierte kritische Befallszeitfenster und b) anhand von Schlagdistanz-Befallskorrelationen, die Identifizierung von Schwachbefallslagen mittels Risikokarten durchgeführt. Für beide Aspekte waren computergestützte Entscheidungshilfen zu entwickeln. Eine erste prototypische Anwendung des computergestützten EHS für einen eingegrenzten Anwenderkreis war über das isip Portal (www.isip.de) zur Verfügung zu stellen.

#### 4.3 Planung und Ablauf des Projektes

Die mehrortigen Erhebungen wurden gemäß der Vorhabensbeschreibung durchgeführt. Eine detaillierte Beschreibung der Methoden, Arbeitsgänge und Auswertungsverfahren befinden sich im Kapitel 6, Material und Methoden.

#### 5 Wissenschaftlicher und technischer Stand

Für **Gemüseerbsen** gilt gegenüber Erbsenwicklerbefall (*Cydia nigricana*) praktische Nulltoleranz, d. h. schon Partien mit 0.5 % angefressenen Erbsen bedeuten die Aberkennung und damit einen Totalausfall. Als besonders konfliktträchtig erwiesen sich gemischte Anbaulagen mit gleichzeitigem Anbau unbehandelter und ausreifender Sommerkörnererbsen (=Eiweißfuttererbsen), da Erbsenwicklerlarven dort die Entwicklung erfolgreich abschließen können und sich der Befallsdruck für benachbarte Gemüseerbsen im Folgejahr erhöht. Allein in der Kampagneplanung 2000-2003 entstanden der Biopolis GmbH, Groß Munzel (Hannover) für Gemüseerbsen kontinuierlich steigende Flächenaberkennungen (=Totalausfall) von 2 % auf 20 % (Saucke et al. 2004). Auch in der sächsischen Gemüseerbsenanbauregion Lommatzsch, mit gegenwärtig jährlich ca. 800 ha Öko-Gemüseerbsen, erzeugt der gegenwärtige Körnererbsenanbau einen Wicklerbefallsdruck, der die Beschränkung auf die frühestmögliche Saatstaffel erzwingt. Mit dieser **Frühsaatstrategie** für frühsaatgeeignete Gemüseerbsen werden Erbsenwicklerprobleme in grüngeernteten Bio-Gemüseerbsen umgangen. Allerdings wird nur ein Teil des möglichen Ertragspotenzials ausgeschöpft, da kalte Bodenverhältnisse und ungebeiztes Saatgut Fußkrankheiten fördern (Köhler, 2009; pers. Mitt. Schmidtgen 2009, FRoSTA AG, Mucha 2009, Öko-Bauernhöfe Sachsen GmbH). Nächstspätere Saatstaffeln waren erfahrungsgemäß bereits stärker von Wicklerfraßschäden betroffen. Auch in der bundesweit wichtigsten Erbsenvermehrungsregion Sachsen-Anhalt (integrierte Sommerkörner- und auch Gemüseerbsenvermehrung) wird Erbsenwicklerbefall in z-Saatgut praktisch nicht toleriert, sodass Insektizidmaßnahmen gegen Erbsenwicklerbefall die Regel sind.

Hinsichtlich Wicklerbefall sind zwar nutzbare **Sortenunterschiede** bekannt. Diese sind aber im Wesentlichen Scheinresistenzen, die auf asynchronen Blüh- und Abreifezeitfenster beruhen (Nicolaisen 1928a; Wright et al. 1951b). Bisher erzielt obige Frühsaatstrategie in Biogemüseerbsen für sich allein und zuverlässig die geforderten Wirkungsgrade. Für spätere Saatstaffeln bei ökologischen Bewirtschaftung hat sich keine Direktbekämpfungsmaßahme als hinreichend wirksam erwiesen, namentlich a) Granulosevirus des naheverwandten Apfelwicklers (DBU AZ58595, <a href="https://www.dbu.de/projekt\_18595/01\_db\_2848.html">https://www.dbu.de/projekt\_18595/01\_db\_2848.html</a>), b) Trichogramma-Parasitoide (https://orgprints.org/5929/) c) Pheromon zur Paarungsstörung (Saucke et al. 2014) und d) gesplittete Aufwandmengen von Pyrethrinen (<a href="https://orgprints.org/17315/">https://orgprints.org/5929/</a>) c) Pheromon zur Paarungsstörung (Saucke et al. 2014) und d) gesplittete Aufwandmengen von Pyrethrinen (<a href="https://orgprints.org/17315/">https://orgprints.org/17315/</a>). Für integrierte Gemüseerbsen sind Wirkstoffoptionen (Fungizidbeizen und Insektizide) verfügbar. Die Mittelwahl bei Insektiziden gegenüber Wicklerbefall ist aber auf wenige Pyrethroide beschränkt.

#### **5.1.1 Beurteilung von Risikofaktoren**

Die EHS-Entwicklung analysierte im ersten Schritt zunächst das Anbausystem auf befallsverstärkende Risikofaktoren, die im Lebenszyklus der Schaderreger begründet sind.

Beim Erbsenwickler erfolgt eine schlaggenaue Überwinterung im Boden von Erbsenvorjahresflächen. Die im Frühjahr schlüpfenden Falter müssen als "Fruchtfolge-Folger" zu aktuellen Erbsenschlägen migrieren (Fröhlich und Sarwar 1977). Insbesondere Duftstoffe blühender Erbsenbestände sind bei der Fernanlockung beider Geschlechter attraktiv (Thöming und Knudsen 2014). Vor diesem Hintergrund wird das Befallsrisiko von mehreren Schlüsselfaktoren bestimmt:

Geringe Schlagdistanzen zwischen Vorjahres- und aktuellen Erbsenschlägen fördern Primärbefall, was gleichbedeutend auch als **Anbaudichte** (=Fruchtfolgeanteil) quantifiziert werden kann (Huusela-Veistola & Jauhiainen, 2006; Thöming et al. (2009). Ein witterungsbedingter früher Beginn des Wicklerfluges kann befallsverstärkend wirken, wobei die schlagspezifische Temperatursummen den Synchronisationsgrad von Schädling und Wirtspflanze mitbestimmen und die lokalen Witterungsverhältnisse (Lufttemperatur, rel. Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit, Niederschlag, evtl. Luftdruck) bedeutsam sind. Der **Saattermin** bildet den Anfangspunkt für temperaturabhängige(n) Blühbeginn, **Hülsenbildung und Ernte** und die zeitliche Koinzidenz von Pflanzen-Schädlingsentwicklung und ist damit für den resultierenden Befall mitverantwortlich (Schultz & Saucke 2005). Schließlich kann nach dem Erntetermin der Zeitpunkt und die Art der Bodenbearbeitung (reduziert versus Pflug) eine Rolle spielen. Nach beendetem Samenfraß graben sich die Larven im Boden ein und überwintern zunächst in einem Raupenkokon. Dieser wird im Frühjahr verlassen und die Larven verspinnen sich in flacheren Bodenschichten erneut einem Puppenkokon (Nicolaisen 1928). Diese zweistufige Überwinterung unterschiedlichen Bodenschichten war für die hier besprochenen Prognosezwecke nicht direkt nutzbar, weshalb in diesem Bericht vereinfachend von "Kokonüberwinterung" gesprochen wird. Schließlich und sofern in Anbauregionen flächige Waldanteile Migrationsbarrieren darstellen können, wären auch solche Faktoren im Anbaumosaik als Risikofaktor zu berücksichtigen.

#### 6 Material und Methoden

#### 6.1 Allgemeiner modularer Aufbau des EHS

Das für den Erbsenwickler zu erstellende **EHS** besteht aus zwei **Sub-Modellen**, als *Sub-Modell a) Migration* und *Sub-Modell b) Entwicklung*, die beide wiederum modular aufgebaut sind.

Im Endbericht wird zuerst auf das *Sub-Modell b) "Entwicklung*" eingegangen. Die Abfolge orientiert sich am Lebenszyklus des Zielschädlings und steigt ab der **Kokon**überwinterung im Larvenstadium ein, gefolgt von der Verpuppung im Boden über **Falterschlupf, Falterflug** und **Eiablage** bis zum Schlupf des befallsrelevanten **L1-Stadiums**. Es schließt das Entwicklungsmodell zu Erbsen mit Blühzeitpunkten und einsetzender Hülsenbildung an. Dann folgt das *Sub-Modell a) Migration*. Dieses beurteilt Faktoren, die die räumliche Ausbreitung fliegender Falter im Anbaumosaik bestimmen, insbesondere **Flächenabstände**, bzw. Anbaudichten und potenziell geeignete Wetterbedingungen für den Falterflug. Die Nummerierung der Haupt- und Teilmodule entspricht der Nummerierung der untenstehenden ursprünglichen Reihung (TM 1-10) wie folgt:

Das Sub-Modell a) "Migration" umfasst vier Teilmodule (TM) und besteht aus dem

- Modul 1: DISTANZ: mit Abstandsberechnung von dies- und vorjährigen Feldern, Erfassung von Flugbarrieren (landschaftliche Strukturen) und quantifiziert das resultierende räumliche Befallsrisiko.
- *Modul 2: BOBEARB* Berechnung eines Faktors für die Reduktion der überwinternden Erbsenwickler durch verschiedene praxisübliche Bodenbearbeitungsverfahren;
- Modul 3: FLUGBED erfasst tageszeitlich fluggünstige Perioden auf der Basis meteorologischer Parameter;
- Modul 4: FELDGEO Berechnung des Immigrationsverhaltens in Abhängigkeit der Lage der Vorjahresfelder und der vorjährigen Befallsstärke.

Das Sub – Modell b) "Erbsenwickler - **Entwicklung**" umfasst sieben weitere TM und simuliert das Erscheinen von *C. nigricana* auf den Erbsenschlägen, den Flugbeginn und –verlauf, sowie die Ei- und die Larvalentwicklung;

- Modul 5: SCHLUPF Temperatursummen-Modell zur Bestimmung des Schlupfverlaufes der Falter auf vorjährigen Erbsenfeldern und
- Modul 6: FLUGVER Berechnet die Flugaktivität unter Einbeziehung von Modul 3.
- Modul 7 EIABLAG und

- Modul 8: EISCHL berechnen den Eiablagezeitpunkt, bzw. Eischlupf und
- *Modul 9: PHAENO* simuliert die wetter- und sortenbedingte Pflanzenentwicklung (Blühbeginn, Blühmitte, Blühende, Hülsenbildung).
- Modul 10: REGUL fasst die Teilmodule 5: SCHLUPF, 6: FLUGVER, 7/8; EIABLAG/EISCHL und 9; PHAENO zu einem Entscheidungsmodul zusammen und dient damit der Abschätzung der Regulationsnotwendigkeit bzw. der Planung optimaler Zeitfenster für Direktbekämpfungsmaßnahmen.

Bei Erfüllung der notwendigen biologischen und praktischen Grundvoraussetzungen können die beschriebenen Sub – Modelle mit ihren Teilmodulen in ein komplexes Entscheidungshilfesystem (Arbeitstitel: <u>Cyd</u>ia <u>nig</u>ricana <u>Prog</u>nose "**CYDNIGPRO**") integriert werden.

#### **6.2 Modellregionen**

In den Jahren 2016 – 2019 wurden in drei Modellregionen (Abbildung 1) in Hessen, Sachsen Sachsen-Anhalt Felderhebungen zeitlichund empirische zum und räumlichen Befallsgeschehen durchgeführt. Die Erbsenschläge innerhalb der drei Modellregionen sind in den Abbildung 2 - Abbildung 4 dargestellt. Die Modellregion in Hessen befindet sich im Nordosten des Bundeslandes und liegt zwischen Witzenhausen und Eschwege. Die Region in Sachsen liegt in der Lommatzscher Pflege zwischen Riesa, Großenhain und Lommatzsch. In Sachsen-Anhalt befindet sich die Untersuchungsregion zwischen Gröningen, Blankenburg und Falkenstein rund um Quedlinburg. Jede Modellregion hat einen Durchmesser von ca. 25 -30 km. Aufgrund der unerwartet hohen Flächenanzahl in allen Projektjahren wurde die Durchführung der Bonituren im Jahr 2019 auf Kerngebiete mit einem Durchmesser von ca. 10 km innerhalb der Modellregionen beschränkt. Die geographischen Daten der Erbsenschläge konnten anonymisiert über die InVeKoS-Daten (Integriertes Verwaltungs- und Kontrollsystem) der Bundesländer und über Auskünfte der Landwirte bezogen werden.



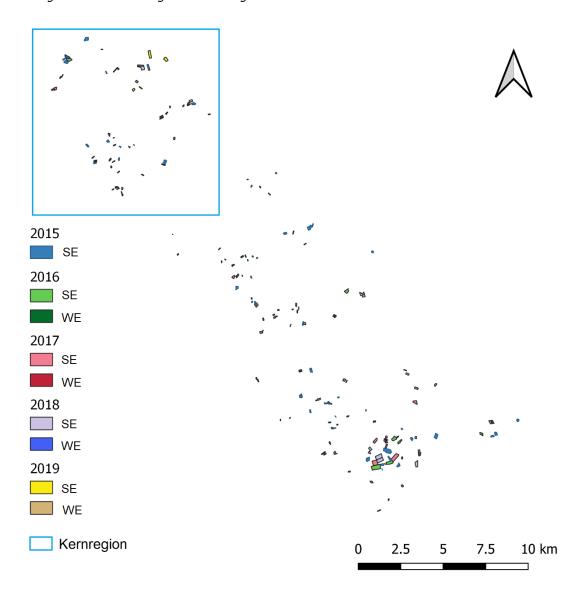


Abbildung 2: Boniturgebiet Hessen 2016 – 2018. 2019 wurde das Boniturgebiet auf die blau gekennzeichnete Kernregion beschränkt, daher sind 2019 nur Schläge in diesem Gebiet dargestellt. Die Schläge sind nach Kulturfom klassifiziert. SE = Sommerkörnererbsen, WE = Winterkörnererbsen

Die Größe der Schläge in Hessen (Abbildung 2) unterscheidet sich mit durchschnittlich 1,37 ha von den anderen beiden Modellregionen (Abbildung 3 und Abbildung 4). In Sachsen waren die Erbsenschläge im Schnitt 11,98 ha und in Sachsen-Anhalt 21,51 ha groß. In der Modellregion Hessen wurden Erbsen zum Großteil zu Futterzwecken anbaut und nur wenige Schläge mit Insektiziden behandelt (Tabelle 1).

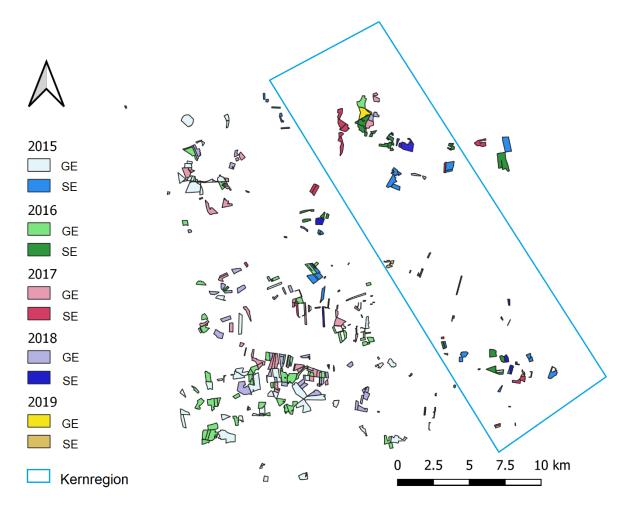


Abbildung 3: Boniturgebiet Sachsen 2016 - 2018. 2019 wurde das Boniturgebiet auf die blau gekennzeichnete Kernregion beschränkt, daher sind 2019 nur Schläge in diesem Gebiet dargestellt. Die Schläge sind nach Kulturform klassifiziert. SE = Sommerkörnererbsen, GE = Gemüseerbsen (Grünernte für Tiefkühlware)

In Sachsen wurde ab 2017 das Modellgebiet im Südwesten etwas verkleinert, da die hohe Anzahl der Schläge im Gebiet zeitlich nicht mehr bearbeitet werden konnte. In dieser Modellregion waren nur wenige Körnererbsenschläge vorhanden. Hauptsächlich wurden hier Gemüseerbsen (Tiefkühlware) für die Lebensmittelproduktion angebaut. Auf etwa der Hälfte der integrierten Flächen wurden Insektizidmaßnahmen durchgeführt (Tabelle 1).

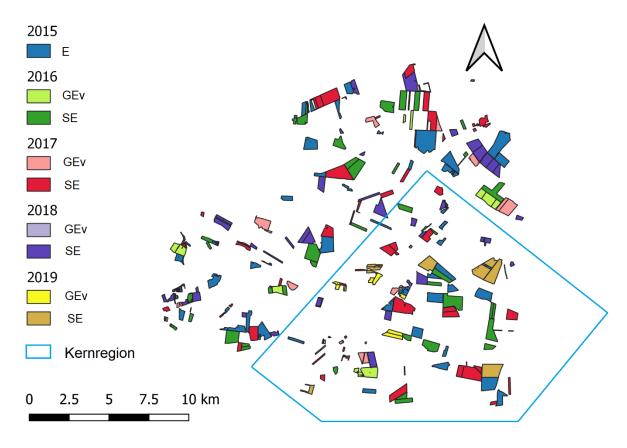


Abbildung 4: Boniturgebiet Sachsen-Anhalt 2016 - 2018. 2019 wurde das Boniturgebiet auf die blau gekennzeichnete Kernregion beschränkt, daher sind 2019 nur Schläge in diesem Gebiet dargestellt. Die Schläge sind nach Kulturform klassifiziert. E = Erbsen, SE = Sommerkörnererbsen, GEv = Gemüseerbsen (Vermehrung)

In der Modellregion in Sachsen-Anhalt (Abbildung 4) dominierte der Anbau von Futtererbsen (2016: 67 %, 2017: 67 %, 57 %, 2018: 57 %, 2019: 16 % (Kernregion)). Gemüseerbsen wurden als Saatgutvermehrungen geringfügig weniger angebaut (2016: 33 %, 2017: 33 %, 2018: 43 %, 2019: 84 % (Kernregion)). Zusätzlich wurden in Rheinhessen, Rheinland-Pfalz 11 Erbsenschläge mit einbezogen (Tabelle 1). In Tabelle 1 sind die Anzahl der Erbsenschläge nach Bundesländern und Jahren, sowie die Insektizidbehandlungen mit Zielorganismus aufgelistet. In allen Jahren wurden in Hessen auf ca. 13 %, in Sachsen auf ca. 43 %, in Sachsen-Anhalt auf ca. 90 % der Schläge und in Rheinland-Pfalz auf allen 11 Flächen Insektizidbehandlungen durchgeführt (Tabelle 1).

Tabelle 1: Anzahl der Erbsenschläge innerhalb der ausgewählten Boniturgebiete in Hessen, Sachsen und Sachsen-Anhalt in den Jahren 2016-2019 (2019: verkleinertes Boniturgebiet), eingeteilt nach Insektizidbehandlung und Zielorganismen (BL = Blattläuse als Virusvektoren bezüglich Nanovirus (pea necrotic yellow dwarf virus (PNYDV)), bzw. gleichzeitig gegen mögliche Saugschäden, BRK = Blattrandkäfer, EK = Erbsenkäfer, EW=Erbsenwickler, SE = Sommerkörnererbsen, WE = Winterkörnererbsen, GE = Gemüseerbsen (Grünernte für Tiefkühlware), GEv = Gemüseerbsen (Vermehrung).

Region	Jahr	Kultur	Schläge ohne Insektizid	Schläge mit Insektizid	Zielorganismen der Bekämpfungsmaß- nahme	Schläge gesamt
Hessen	2016	SE	39	2	BL+BRK	41
		WE	8	0	-	8
	2017	SE	44	6	BL+BRK	50
		WE	11	0	-	11
	2018	SE	28	11	BL+EW+BRK+EK	39
		WE	5	0		5
	2019	SE	12	0	-	11
		WE	6	0	-	6
Sachsen	2016	SE	16	12	BL+EW+EK+BRK	28
		GE	23	34	BL+EW+EK+BRK	57
	2017	SE	16	6	BL+EW+EK+BRK	22
		GE	24	17	BL+EW+EK+BRK	41
	2018	SE	10	2	BL+EW+EK+BRK	12
		GE	33	24	BL+EW+EK+BRK	57
	2019	SE	5	4	BL+EW+EK	9
		GE	2	0	-	2
Sachsen-	2016	SE	2	40	BL+EW+EK+BRK	42
Anhalt		GEv	0	18	BL+EW+EK+BRK	18
	2017	SE	5	39	BL+EW+EK+BRK	44
		GEv	0	21	BL+EW+EK+BRK	21
	2018	SE	7	21	BL+EW+EK+BRK	28
		GEv	0	21	BL+EW+EK+BRK	21
	2019	SE	0	4	BL+EW+EK+BRK	4
		GEv	0	15	BL+EW+EK+BRK	15
Rheinlan	2017	SE		4	BL + EW	4
d-Pfalz	2018	SE		4	BL + EW	
	2019	SE		3	BL + EW	3

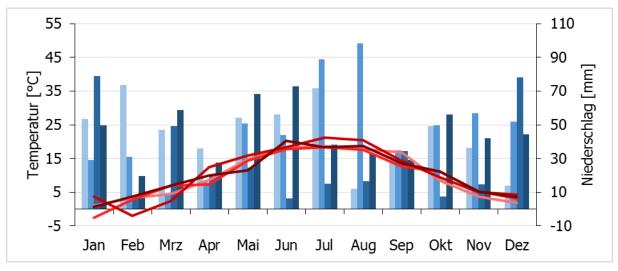
#### **6.2.1** Klimatische Rahmenbedingungen in den Modellregionen

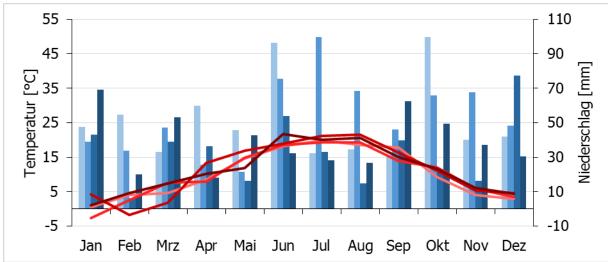
Im Vergleich zum vieljährigen Mittel (Tabelle 2) waren die Temperaturen 2016 leicht erhöht, der Niederschlag lag in Sachsen-Anhalt und Hessen unter dem Mittel (DWD 2019). Im Versuchsjahr 2017 waren die Temperaturen auch etwas über dem Durchschnitt, jedoch waren die Niederschläge, außer in Eschwege, HE, etwas höher als das vieljährige Mittel. Das Jahr 2018 weist im Gegensatz zu den anderen beiden Jahren extremere Werte auf, die Temperatur lag bis zu 1,9°C über dem vieljährigen Mittel. Die Jahresmitteltemperaturen 2019 waren ähnlich wie in 2018 und somit auch wesentlich höher im Vergleich zum vieljährigen Mittel.

In den Jahren 2016-2019 lag der Niederschlag in Eschwege und Quedlinburg etwas unterhalb des vieljährigen Mittels. 2018 war ein Niederschlagdefizit von ca. 180 mm vom langjährigen Mittel zu verzeichnen, in Eschwege sogar -304 mm. Im folgenden Jahr 2019 fehlten im Schnitt 116 mm bis zum vieljährigen Mittel. Im folgenden Abschnitt sind Klimadiagramme pro Modellregion dargestellt (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). An d en Daten des Jahres 2018 ist erkennbar, dass im Februar und März besonders niedrige Temperaturen und wenig Niederschläge im März vorherrschten, weshalb die Kulturen vergleichsweise später ausgesät wurden.

Tabelle 2: Temperatur- und Niederschlagsdaten der Modellregionen, die vieljährigen Mittel beziehen sich auf die Jahre 1981 – 2010 (Quelle: DWD).

	Eschwege, HE	Oschatz, SN	Quedlinburg, ST	
Temperatur				
Vieljähriges Mittel	9,2°C	9,4°C	9,3°C	
(1981 – 2010)	9,2 C	9, <del>1</del> C	<i>3,3 C</i>	
Jahresmittel 2016	9,8°C	10,2°C	10,5°C	
Jahresmittel 2017	9,6°C	10,2°C	10,5°C	
Jahresmittel 2018	10,5°C	11,1°C	11,2°C	
Jahresmittel 2019	10,3°C	11,2°C	11,3°C	
Niederschlag				
Vieljähriges Mittel	655 mm	578 mm	E20 mm	
(1981 – 2010)	וווווו ככס	5/6 111111	538 mm	
Jahressumme 2016	532 mm	617 mm	414 mm	
Jahressumme 2017	560 mm	638 mm	584 mm	
Jahressumme 2018	351 mm	399 mm	293 mm	
Jahressumme 2019	539 mm	469 mm	412 mm	





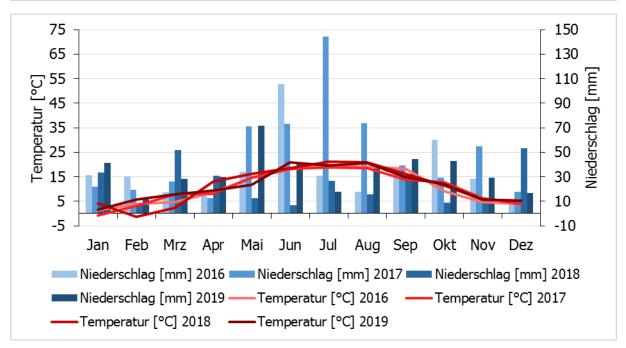


Abbildung 5: Temperatur und Niederschlag der Modellregion Hessen, Wetterstation Eschwege (oben), Sachsen, Wetterstation Oschatz (Mitte) und Sachsen-Anhalt, Wetterstation Quedlinburg (unten), 2016-2019

#### **6.2.2 Schlagbezogene Wetterdaten**

Die schlaggenauen Wetterdaten konnten über www.isip.de abgerufen werden. Hier gibt es eine interne Schnittstelle, um die Daten der Wetterstationen des DWD, bzw. der Bundesländer, oder interpolierte Wetterdaten, die deutschlandweit für 1 km² große Raster berechnet werden (Zeuner 2007), abzurufen. Zusätzlich wurden in Vorjahresschlägen und Halbfreilandversuchen in ca. 10 cm Bodentiefe Tinytag® Datenlogger (www.geminidataloggers.com/de) verwendet, um punktgenaue Bodentemperaturdaten zu generieren. Die Tinytag® Datenlogger wurden auch zur Temperaturerfassung in den Klimaschrankversuchen genutzt.

#### 6.2.3 Bonitur-App-Georeferenzierung

Zur Gewinnung der Basisdatensätze für die Verwertung in den entsprechenden Submodulen wurden alle Erbsenschläge in allen Modellregionen beprobt (Tabelle 1). Als Datenbasis dienten die anonymisierten, räumlichen InVeKoS-Daten (Integriertes Verwaltungs- und Kontrollsystems) der Bundesländer Hessen, Sachsen und Sachsen-Anhalt der Jahre 2015-2019. Anhand dieser Daten konnte die Lage der Erbsenschläge in den Kategorien ökologisch und integriert bewirtschaftet genau ermittelt werden, sowie die sogenannten Shapefiles für georeferenzierte Berechnungen herangezogen werden. Da einige Landwirte keine Förderung beantragen und diese Schlagdaten InVeKoS somit nicht zur Verfügung stehen, wurde zusätzlich gezielt nach Körnerleguminosen anbauenden Landwirten in den jeweiligen Regionen gesucht, sodass möglichst alle Erbsenschläge einer Modellregion erfasst werden konnten.

Anhand der BoniturApp des Projektes "Demonstrationsbetriebe integrierter Pflanzenschutz" (FKZ: 2810MD002) wurden alle erhobenen Felddaten (Pheromonfallen-Monitoring, Entnahmestellen für Pflückproben und Befallserhebungen, BBCH-Stadien) direkt georeferenziert und digital per Smartphone an die jeweiligen Projektpartner zur weiteren Auswertung erfasst und übertragen. Später wurden die Daten mit dem Collector for ArcGIS von Esri aufgenommen. Diese App übermittelt die Daten ebenfalls digital. Die Bonitur-App wurde auch für die projektinterne Übermittlung der Labordaten genutzt.

#### 6.2.4 Praktikerbefragungen zu Insektizid- und Kulturführungsmßnahmen

Um zusätzliche Kulturführungsinformationen zu ermitteln, wurden die Betriebsleiter bezüglich des schlaggenauen Aussaatdatums, der Kulturform und Sorte (Winter-, Sommer-, Gemüse- und Vermehrungserbsen) und der Bodenbearbeitung in der Kategorie "gepflügt", bzw. "reduziert" befragt.

Um mögliche Einflüsse von Insektizidbehandlungen auf Pheromonfallenfänge und Larvenbefall berücksichtigen zu können, wurden alle Betriebsleiter in allen Untersuchungsjahren auch bezüglich des Wirkstoffes, des Anwendungszeitpunktes und dem jeweiligen Zielschädling befragt (Tabelle 1).

#### 6.3 Basisdaten Erbsenwickler-Entwicklung in Labor und Feld

Im Folgenden werden die Methoden zur Erfassung der Ontogenese-Parameter und darauf aufbauende Weiterverrechnung für das Sub-Modell Entwicklung für Erbsenwickler- und Erbsen beschrieben (TM 5-8):

#### 6.3.1 Hälterung von Erbsenwicklerherkünften für Laborversuche

Zur Absicherung der Felddaten zum Auftreten von Erbsenwicklern in Pheromonfallen wurde der Zusammenhang zwischen Temperatur, Photoperiode und der Entwicklung des Erbsenwicklers auch unter kontrollierten Bedingungen in Klimakammern untersucht.

Die Larven entstammten Massenhülsenpflückungen des Vorjahres vorwiegend aus der Modellregion Hessen, Sachsen und Sachsen-Anhalt. Die in den Monaten Juni-August entnommenen Hülsen wurden ungeöffnet auf Drahtgeflecht geschichtet. Unter dem Drahtgeflecht waren sandgefüllte Schalen platziert und die fertig entwickelten, herabfallenden Larven wurden im Sand unter Freilandbedingungen an einem regengeschützten Platz gehältert. Die später im Oktober abgesiebten Larvenkokons wurden portionsweise in frischen, befeuchteten Sand überführt und bei 4±0,5°C in einer Kühlkammer bei absoluter Dunkelheit überwintert. Im März des darauffolgenden Jahres wurden die überwinterten Kokons auf Klimakammern verteilt. Daten zur Temperatur- und Luftfeuchte wurden mit Hilfe von Tinytag®-Datenloggern aufgezeichnet.

#### 6.3.2 Falterschlupf in Klimakammern

Zur Untersuchung der Abhängigkeit zwischen Temperatur bzw. Photoperiode und dem Falterschlupf wurden in 12 Klimakammern Versuche durchgeführt. Hierfür wurden fünf verschiedene Lichtregime von permanent dunkel über Kurztag bis Langtag mit konstanter Temperatur (20°C) und sieben verschiedene Temperaturen mit gleicher Photoperiode (16/8 L/D) auf den Schlupfverlauf überprüft (Tabelle 3). Temperatur- und Luftfeuchte in den Klimakammern wurde mit Hilfe von Tinytag®-Datenloggern aufgezeichnet und geschlüpfte Erbsenwickler wurden täglich gezählt. Für diese variierten Umweltregime wurden nur Wickler aus der Region Nordhessen verwendet.

Tabelle 3: Überblick über Klimakammerversuche zu Schlupfbeginn und Verlauf des Erbsenwicklers in Abhängigkeit vom Lichtregime, der Temperatur, der Herkunft und Kokonbildungszeitpunkt.

Versuch	Temperatur	Lichtregime	Herkunft	Sammlung	Schlag
	(°C)	(L/D)			
Lichtregime	20	18/6	Hessen	BBCH 71-99	Alle
	20	16/8	Hessen	BBCH 71-99	Alle
	20	12/12	Hessen	BBCH 71-99	Alle
	20	9/12	Hessen	BBCH 71-99	Alle
	20	0/24	Hessen	BBCH 71-99	Alle
Temperatur	12	16/8	Hessen	BBCH 71-99	Alle
	16	16/8	Hessen	BBCH 71-99	Alle
	18	16/8	Hessen	BBCH 71-99	Alle
	20	16/8	Hessen	BBCH 71-99	Alle
	22	16/8	Hessen	BBCH 71-99	Alle
	24	16/8	Hessen	BBCH 71-99	Alle
	28	16/8	Hessen	BBCH 71-99	Alle
	32	16/8	Hessen	BBCH 71-99	Alle
Herkunft	18	16/8	Hessen	BBCH 71-99	Alle
	18	16/8	Sachsen	BBCH 71-99	Alle
	18	16/8	Sachsen-	BBCH 71-99	Alle
			Anhalt		
Kokonbildung	18	16/8	Hessen	21.06.2018	NEB
Versuch 1	18	16/8	Hessen	28.06.2018	NEB
	18	16/8	Hessen	04.07.2018	NEB
Kokonbildung	18	16/8	Hessen	BBCH 71-99	HEE427-WE
Versuch 2	18	16/8	Hessen	BBCH 71-99	HEE426-SE

#### 6.3.3 Falterschlupf nach Modellregion

Um den möglichen Einfluss des Faktors Herkunft auf den Schlupfverlauf abzuprüfen, wurden entsprechend Pkt. 6.3.1 überwinterte und gehälterte Wickler aus Hessen, Sachsen und Sachsen-Anhalt bei einer Temperatur von 18°C und einem Lichtregime von 16/8 L/D angesetzt. Die Kontrolle nach geschlüpften Wicklern erfolgte täglich.

#### 6.3.4 Falterschlupf nach Früh- und Spätbefall im Vorjahr

Der Erbsenwicklerflug erstreckt sich generell über einen mehr als achtwöchigen Zeitraum und findet deshalb "stark verzettelt" statt, oft mit prägnant mehrgipfeligem Flugverlauf (Nicolaisen

(1928b; Wall et al. 1996; Lewis et al. 1975b). Grundsätzlich kann dies an einer weiten Variabilität innerhalb einer Gesamtpopulation liegen, oder "verzettelter Schlupf" setzt sich aus phänologisch unterschiedlichen Teilpopulationen zusammen.

**Kokonbildung Versuch 1:** Ziel des ersten Versuchs war es festzustellen, ob allein der **Zeitpunkt** der Kokonbildung im Vorjahr den Schlupftermin im Folgejahr beeinflusst. Dazu wurden zu Anfang, Mitte und Ende der Befallssaison am 21.06.2018, 27.06.2018 und 04.07.2018 befallene Sommererbsenhülsen auf dem Versuchsbetrieb Neu Eichenberg gesammelt. Aus den 300 gesammelten Hülsen je Termin wurden die jeweils am weitesten entwickelten L5 Larven (Larven mit dem je frühesten, mittleren und späten Kokonbildungstermin) entnommen und entsprechend Pkt. 6.3.1 bis zum Falterschlupf im Folgejahr gehältert (6.3.2).

**Kokonbildung Versuch 2:** Ziel war es festzustellen, ob phänologische Unterschiede der **Kulturformen** (Winter-, Sommerkörnererbsen) den Schlupfverlauf im Folgejahr (mit-) beeinflussen. Zeitgleich wurden auf einem Winter- und einem räumlich nahe gelegenen Sommererbsenschlag in der Modellregion Hessen wöchentlich ab BBCH 71 bis zur Ernte 100 Erbsenhülsen gesammelt, geöffnet und die Dominanzstruktur der L1-L5 Stadien auf den jeweiligen Schlägen erfasst. Danach wurden die Hülsen mit Larvenbesatz entsprechend Pkt. 6.3.1 gehältert und ab März des Folgejahres in einer Klimakammer bei einer Temperatur von 18°C und einer Tageslichtlänge von 16 h zum Schlüpfen gebracht (6.3.2).

#### 6.3.5 Pheromonfallen-Monitoring auf Praxisschlägen

Zur Überwachung der Flugaktivität der männlichen Falter auf Praxisflächen wurde je eine transparente Delta-Pheromonfalle (Tripheron® Trifolio-M GmbH Lahnau, Deutschland) aufgestellt. Die Leimböden wurden bedarfsweise, die Pheromondispenser ein Mal pro Saison, gewechselt. Auf die Verwendung aufwändiger Schlupfzelte wurde verzichtet. Solche Photoeklektoren haben zwar den Vorteil die Anzahl schlüpfender Tiere je m² zu erfassen, womit flächenbezogen auf ha extrapoliert werden könnte. Allerdings versagt die Methode bei geringer Individuendichte, bzw. wird eine Vielzahl solcher Schlupfzelte zum Erreichen einer Mindestfläche nötig. Weiterhin verfälschen Photoeklektoren die Bodentemperatur und damit Schlupfzeitpunkte und schließlich hätte die erforderliche Präsenzzeit auf Praxisflächen die kooperierenden Betriebe bei der Bestandespflege überfordert (Striegel, bzw. Herbizid, Fungizid-Maßnahmen).

Weitere Methoden als sog. "Markierungs-, Freilassungs- und Wiederfangexperimente" setzen sehr hohe Individuenzahlen voraus, wofür im Vorfeld aufwändige Vorversuche bei unsicherem Ausgang (Schumacher et al. 1997) erforderlich gewesen wären. Somit fiel die Entscheidung,

trotz der methodischen Vorbehalte, für Pheromonfallen, die hier als indirekten Indikator für schlaggenauen Falterschlupf und Faltermigration genutzt wurden (6.3.5.1, 6.3.5.2, 6.5.2).

#### 6.3.5.1 Vorjahresflächen (Geberflächen)

Für den Untersuchungsschwerpunkt "Migration" in 2019 wurden rechtzeitig vor dem Beginn der Flugsaison auf ausgewählten Flächenpaaren (FP) bestehend aus nächstgelegenem Vorjahresschlag mit überwiegend Winterweizen als Nachfrucht und aktuellem Erbsenschlag, Fallenfänge jeweils dreimal wöchentlich erfasst (37 FP in HE, 18 in SN, 28 in ST und 6 in RP). In 2019 wurden die Flächenpaare der verkleinerten hessischen Modellregion täglich kontrolliert, um für TM 3 (vgl. 6.5.2) indirekt Zeitdifferenzen zwischen Schlupf erster Falter aus Geberflächen und Eintreffenden erster Falter auf Empfängerflächen abprüfen zu können. In der Modellregion Hessen wurden einige Vorjahresflächen bereits in 2017 und 2018 auf schlüpfende Falter überwacht. Die Daten des Vorjahresflächen-Monitorings wurden auch für die Temperatursummenvergleiche (Falterschlupf aus eingegrabenen Kokons im Feld (6.3.5.3) versus Klimakammer (6.3.2) und zur Beurteilung der Anzahl schlüpfender Falter in Abhängigkeit von der Kulturform (6.3.4) genutzt.

#### 6.3.5.2 Aktuelle Erbsenflächen (Empfängerflächen)

Die Vorgehensweise zum Flugmonitoring auf aktuellen Erbsenflächen erfolgte wie auf den Vorjahresflächen. In der Regel wurden die Fallenfänge einmal wöchentlich zusammen mit den BBCH-Stadien der Erbse erfasst.

#### 6.3.5.3 Überprüfung univoltiner versus bivoltiner Wickerflug

**Feldbedingungen:** Zur Überprüfung der möglichen Mitwirkung einer zweiten Erbsenwicklergeneration an den meist mehrgipfeligen Flugverläufen wurden 2017 auf dem universitären Versuchsbetrieb Neu Eichenberg angebaute Gemüseerbsen wöchentlich Hülsenpflückproben entnommen und laufend auf Erbsenwicklerlarven im L5-Stadium kontrolliert. Nach dem ersten L5-Larvenfund als Indikator des fühestmöglichen Eiablagezeitpunkts der Saison, wurden an diesem Tag weitere Hülsen gepflückt und geöffnet, bis insgesamt 200 L5-Larven zur Verfügung standen. Auf Grund des naturgemäß geringen Befallsniveaus in frühen Gemüseerbsen mussten hierfür mehrere tausend Hülsen geöffnet werden. Zeitgleich wurden als Schlupfeklektoren vier PE-Rrohrabschnitte (24,5 cm Durchmesser, 35 cm Länge) in Ackerboden eingesetzt. Um das Eindringen von Mäusen, Ameisen u.a. Räubern zu verhindern, wurde der Rohrboden mit Metalldraht (Feldmäuse) und zusätzlich Gaze (Ameisen) abgedichtet. Das obere Ende war mit einer abnehmbaren Kulturschutznetzhaube (Rantai-K®, Schachtrupp) verschlossen. Die gesammelten Hülsen mit

L5-Larvenbesatz wurden ab dem 23.06.2017 analog Pkt. 6.3.1 innerhalb der Pe-Eklektoren auf Drahteinsätze geschichtet, sodass die Larven ihre Entwicklung im selbstgewählten Bodenhorizont selbstständig fortsetzen konnten. Die Pe-Eklektoren wurden in derselben Saison und auch in der Saison des Folgejahres zwei Mal die Woche auf Falterschlupf kontrolliert.

Laborbedingungen: 2017/2018 und 2018/2019 wurden Laborversuche zur Larvalentwicklung durchgeführt, um das Auftreten bivoltiner Tiere abzuprüfen. 2017 bzw. 2018 wurden in 30 Töpfe mit Gemüseerbsen der Sorte 'Avola' im Gewächshaus vorgezogen. Zeitgleich wurden 300 künstlich überwinterte Kokons aus dem Jahr 2017 bzw. 2018 in einer Klimakammer mit einer Temperatur von 20°C bis zum Schlüpfen gehältert. Die Falter-Hälterung, Verpaarung und Gewinnung von ca. 100 Eiern synchronen Alters je Termin erfolgte in Netzkäfigen bei konstant 20°C. Als Nahrungsquelle wurde 5 %iges Honigwasser und Wasser auf Wattepads angeboten. Täglich wurden eingehängte Wachspapierstreifen auf abgelegte Eier kontrolliert und ausgetauscht. Belegte Wachspapierstreifen wurden in Petrischalen übertragen und der L1-Schulpf täglich kontrolliert. Am Schlupftag wurden im Gewächshaus einheitlich entwickelte, junge Gemüseerbsenhülsen (Tendrometerwert ca. 110) geerntet. Je eine Erbsenhülse wurde in ein ca. 10 cm hohes und 2 cm breites und mit Gaze beidseitig verschließbares transparentes Pe-Rohr platziert und auf jede Erbsenhülse eine frisch geschlüpfte L1 Larve mit einem Pinsel übertragen. Die Larvenentwicklung wurde täglich kontrolliert. Sich ausbohrende L5-Larven wurden noch am selben Tag zur Kokonbildung in ein separates, sandgefülltes Pe-Rohr übertragen und zur weiteren Hälterung in eine Klimakammer mit 20°C und einer Tageslichtlänge von 16 Stunden überführt. Ab der Kokonbildung wurde täglich auf Falterschlupf ohne Diapausephase und nach Einwinterung nach Diapause kontrolliert.

**Ei-Entwicklung bis L1-Schlupf:** Die kontrollierten Umweltbedingungen der Klimakammern (6.3.2) wurden gleichzeitig zur weiteren Hälterung schlüpfender und verpaarter adulter Falter bis zur Eiablage und für die Entwicklung abgelegter Eier bis zum Schlupf des L1 Stadiums genutzt (Falterhälterung siehe Punkt 6.3.5.3, Laborbedingungen). Der L1-Schlupf wurde bei verschiedenen Temperaturen (12°C, 16°C, 20°C, 22°C, 24°C) täglich kontrolliert. Verglichen wurde die durchschnittliche Entwicklungszeit in Tagen aller geschlüpften Tiere pro überprüfte Variante.

#### 6.3.5.4 Larvalentwicklung und Befallserhebung auf Praxisschlägen

Je Schlag wurden wöchentlich 100 Hülsen von Zählstellen à ca. 10 m x 10 m in ca. 20 m Entfernung vom Feldrand entnommen und anschließend auf Larvenbesatz im Labor untersucht. Neben dem prozentualen Hülsenbefall wurde für die letzte Hülsenpflückprobe vor

dem Erntetermin eine Samenbonitur durchgeführt. Es wurde der prozentuale Anteil befallener Körner bestimmt.

#### 6.3.6 Modellierung Sub-Modell "Erbsenwickler-Entwicklung"

In diesen Teil fließen die Teilmodule 5: SCHLUPF, 6: FLUGVER, 7/8; EIABLAG/EISCHL und 9; PHAENO in dem Teilmodul 10: REGUL zusammen. Hier wurden die einzelnen Entwicklungsstadien des Erbsenwicklers modelliert. Da nur das 1. Larvenstadium mit Insektiziden bekämpft werden kann, ist es wichtig das genaue Auftreten des 1. Larvenstadiums zu prognostizieren.

#### 6.3.6.1 Parameterberechnung für den Falterschlupf

In dieses Teilmodul flossen Daten der Klimakammerdurchläufe aus den Jahren 2017 - 2019 (Pkt. 6.3.2) und Freilanddaten des Monitorings (Pkt. 6.3.5.1) aus den Jahren 2016 – 2019 ein.

Um die Temperaturabhängigkeit des Schlupfverlaufs zu beschreiben, wurde die durchschnittliche Entwicklungsrate (1/Tage) pro getesteter Temperatur ( $12\pm0.5$  °C;  $16\pm0.5$  °C;  $18\pm0.5$ , °C;  $20\pm0.5$  °C;  $24\pm0.5$  °C;  $28\pm0.5$  °C;  $32\pm0.5$  °C) mit der jeweiligen Temperatur in Beziehung gesetzt. Zur Beschreibung des Zusammenhangs wurde das nicht lineare Modell Brière-2 (Brière et al. (1999)) mit folgender Gleichung angepasst:

$$rT = b_1 \cdot T \cdot (T - T_{min}) \cdot (T_{max} - T)^{\frac{1}{b_2}}$$

Der Entwicklungsnullpunkt, die obere Entwicklungsgrenze, sowie die optimale Entwicklungstemperatur wurden anschließend mit Hilfe des angepassten Modells berechnet.

#### 6.3.6.2 Modul 3: "Populationsdynamik Erbsenwickler"

**Temperatursummen-Berechnungen:** Um die physiologisch wirksame Temperatursumme zu berechnen, wird zunächst von den stündlichen Temperaturen die Basistemperatur subtrahiert und ein Mittelwert über den Tag gebildet. Im Anschluss werden die täglichen Gradtage bis zu einem bestimmten Zeitpunkt t summiert.

$$\sum GT = GT_1 + GT_2 + \dots + GT_t$$

Wobei:

 $\Sigma GT$  = Temperatursumme zum Zeitpunkt t

GT<sub>1...t</sub> = Gradtag am Tag 1 bis Zeitpunkt t

$$GT = \frac{\sum (T_h - T_{base})}{24}$$

Wobei:

GT = Gradtag

T<sub>h</sub> = stündliche Temperatur

 $T_{base}$  = Basistemperatur (wenn  $T_h - T_{base} < 0$ ; dann 0)

**Kumuliertes Auftreten:** Das Auftreten eines Stadiums kann über die Zeit kumuliert dargestellt werden. Dazu wird das Auftreten an einem Zeitpunkt in Prozent im Verhältnis zur Gesamtheit berechnet. Dies wurde danach aufsummiert. Somit kann zu einem bestimmten Zeitpunkt, auch in GT, das prozentuale Auftreten eines Stadiums dargestellt werden.

#### 6.3.6.3 Modellanpassung

Für die Berechnung der Populationsdynamik wurde das Modellverfahren von Irvine (2011), Kemp und Onsager (1986) und Dennis et al. (1986) an den Erbsenwickler angepasst. Die Modellparameter basieren auf Temperatursummen, die Temperaturdaten wurden entweder von Wetterstationen bezogen und nach Zeuner (2007) interpoliert oder von den Tinytags aus dem Klimaschrank übermittelt. Anhand der Modellgleichungen (Irvine 2011; Kemp und Onsager 1986; Dennis et al. 1986) wurde das Auftreten der verschiedenen Entwicklungsstadien einer Kohorte proportional zueinander anhand einer logistischen Wahrscheinlichkeits-dichteverteilung zu einem bestimmten Zeitpunkt wie folgt berechnet:

$$Log_{\ddot{U}} = \frac{1}{1 + exn^{(-(ST\ddot{U}_{GT} - \Sigma GT / \sqrt{(\Sigma GT * ParH_{\ddot{U}})))}}}$$

Wobei:

 $Log\_\ddot{U} = logistische Wahrscheinlichkeitsdichteverteilung der Kokon-Entwicklung$ 

STÜ\_GT = Parameter der benötigten Temperatursumme für die Kokon-Entwicklung

ParH  $\ddot{U}$  = Formparameter

 $\Sigma$ GT = Temperatursumme (Basis 8,135°C) ab 1. Januar zum Zeitpunkt (t)

Für alle anderen Stadien wurde folgende Funktion verwendet:

$$Log ST (n) = 1 - \left[1 + exp^{\left(-\left(ST(n) - \Sigma GT / \sqrt{\left(\Sigma GT * ParH \_ ST(n)\right)\right)}\right)}\right]$$

Wobei:

Log\_ST(n) = logistische Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion der Entwicklung des Stadiums (n)

ST(n) = Parameter der benötigten Temperatursumme für die Entwicklung des Stadiums (n)

ParH ST: Formparameter

 $\Sigma$ GT = Temperatursumme (Basis 8,135°C) ab 1. Januar zum Zeitpunkt Die Populationsverteilung der einzelnen Stadien (n) wird wie folgt berechnet:

$$Pop\_ST(n) = Log\_ST(n+1) - Log\_ST(n)$$

Das Modell berechnet zu jedem Zeitpunkt (z. B. Datum, Temperatursumme) die Proportion von jedem einzelnen Stadium des Schädlings. Das Stadium Falter Erstauftreten basiert auf einer Funktion, die sich aus der Überwinterungsfunktion ableitet. Schlussendlich kann berechnet werden, wie viel Prozent z. B. des 1. Larvenstadiums an einem bestimmten Zeitpunkt vorhanden sind, um dann eine Insektizidmaßnahme termingerecht und effizient durchführen zu können. Somit werden in diesem Modul die **Teilmodule 5: Schlupf, 6: Flugver, 7 bzw. 8: Eiablag bzw. Eischl** und **9: Phäno** vereint.

### 6.3.6.4 Diskriminanzfunktionen durch binäre logistische Regression

Zusätzlich zur Populationsverteilung wurden bei der Modellierung des Teils "Entwicklung Erbsenwickler" Diskriminanzfunktionen bestimmt, um für das EHS entscheidende Outputs zu generieren:

- 1. Erstauftreten der Falter im Feld (FF) klassifiziert in einfache binäre Variablen (1 = Erstauftreten, 0 = später als Erstauftreten pro Schlag)
- 2. zwischen Monitoringdaten Anstieg/Abnahme der gefangenen Falter (Delta\_A) basierend auf einem Schwellenwert (Cut off-Wert), der durch die Daten erlangt wurde
- 3. beim Monitoring der Hülsen wurde die Präsenz (Klasse 1) oder Absenz (Klasse 0) des Larvenstadiums 1 (L1) ermittelt.

Die FF Daten wurden als unabhängige Variable in der binären logistischen Diskriminanzfunktion, in Abhängigkeit der Proportion der Überwinterungspopulation (Stadium 0) und der Proportion der Flugaktivität der Adulten (Stadium 1) genutzt. Aus dem Datensatz von 4258 Beobachtungen über vier Jahre auf 440 Schlägen wurden 2257 Beobachtungen genutzt um die Funktion zu erstellen. Diese Diskriminanzfunktion trennt zwischen dem Erstauftreten der Falter bzw. nicht Erstauftreten in einem Erbsenschlag.

$$FF-Funktion = \frac{1}{1+exp^{(-Intercept+ST0*Logit_{ST0}+ST1*Logit_{ST1})}}$$

Die Delta\_A Funktion wurde berechnet, um eine Empfehlung herauszugeben, ab wann ein nennenswerter Falterflug stattfindet (Zunahme > 7 Falter pro Bonitur) bzw. ab wann es sinnvoll ist eine Pheromonfalle aufzustellen. Die Delta\_A-Funtkion ist eine Korrelation durch eine binäre logistische Diskriminanzfunktion in Abhängigkeit von Proportion der

Überwinterungspopulaton (Stadium 0) und der Proportion der Adulten (Stadium 1). Für die Berechnung wurden die Daten in 0 ( $\leq$  7 Falter) und 1 (> 7 Falter) umgewandelt. Die Delta\_A-Funktion wurde folgendermaßen berechnet:

$$Delta_A - Funktion = \frac{1}{1 + exp^{(-Intercept + ST0*Logit_{ST0} + ST1*Logit_{ST1})}}$$

Für das 1. Larvenstadium wurde dieselbe Vorgehensweise wie bei den Adulten angewandt. Diese Funktion dient dazu einen Grenzwert herauszufinden ab wann die erste Insektizidbehandlung sinnvoll ist. Die L1\_Funktion wurde wie folgt berechnet:

$$L1 - Funktion = \frac{1}{1 + exp^{(-Intercept + ST_1 * Logit_{ST_1} + ST_2 * Logit_{ST_2})}}$$

## 6.3.6.5 Validierung

Bei der Validierung wurde generell verglichen, ob das Modell mit den Monitoringdaten übereinstimmt. Hierfür wurden bei der FF Funktion und der Delta\_A Funktion je 2000, bei der L1 Funktion 700 transformierten Monitoringdaten mit den CYDNIGPRO Modellergebnissen korreliert. Diese werden durch eine binäre logistische Funktion miteinander verglichen. Das Ergebnis besteht aus der Anzahl falsch negativer (Unterschätzung), falsch positiver (Überschätzung), korrekt negativer und korrekt positiver Fälle, sowie die Gesamtzahl korrekt und nicht korrekt vorhergesagter Fälle. "Cut-off"-Werte stellen die Grenze zwischen den mehr korrekt vorhergesagten Fällen im Vergleich zu nicht korrekt vorhergesagten Fällen dar. Der "Cut-off"-Wert liegt normalerweise bei 0,5, kann aber händisch angepasst werden. Die Schätzung der "Cut-off"-Werte wird so gewählt, dass die Quote von falsch Positiven und falsch Negativen minimiert wird.

## 6.4 Basisdaten Erbsen-Entwicklung

Für das Sub-Modell zur temperaturabhängigen Entwicklung Erbse (Modul 9 *PHAENO*) wurden über die gesamte Vegetationsperiode das Entwicklungsstadium des Bestandes aller Praxisflächen entsprechend der BBCH-Skala von Meier (2001) zu jedem Ortstermin schlaggenau erfasst. Das Kriterium bildete mindestens 50 % der Pflanzen im selben BBCH-Stadium. Zusätzlich wurden Kulturform und Sorte aus den Praktikerbefragungen zugeordnet, um möglichen Entwicklungsunterschieden, insbesondere zwischen Körner- und Gemüseerbsen nachgehen zu können. In das Modell konnten nicht alle Daten einfließen, da manche Schläge zu spät gefunden wurden und somit nicht die ganze Vegetationsperiode aufgenommen wurde.

#### 6.4.1 BBCH-Index

Da BBCH-Stadien nicht in kontinuierlich durchnummerierte Makro- und Mikrostadien unterteilt sind (Meier, 2001) und die Makrostadien 2 und 4 bei der Entwicklung der Erbse nicht vorhanden sind, wurden die BBCH-Stadien in fortlaufende Index-Stadien umcodiert. Dies ist vor allem bei der Validierung wichtig, da sonst große Abweichungen entstehen können. Wenn z. B. BBCH 39 und das darauffolgende BBCH 51 miteinander verglichen würden, wäre das in Zahlen ein Unterschied von 12, in Makroentwicklungsstadien aber nur von 1.

# **6.4.2 Modellierung Erbsen-Entwicklung**

Es wurden drei Ontogenesemodelle für Erbsen als "SIMONTO-Erbse" (SIMulation ONTOgenese) entwickelt. Diese wurden separat für Körnererbsen und Gemüseerbsen erstellt. Für Gemüseerbsen wiederum je ein Modell für die Kategorie frühe (bis 15.04.) und für spätere Aussaaten. In die Berechnung fließen die schlagspezifischen Ontogenesedaten in Form von BBCH-Stadien bzw. die entsprechenden BBCH-Indices, die interpolierten, stündlichen Temperaturdaten, sowie die Tageslichtlänge ein. Die Ergebnisausgabe erfolgt in BBCH-Stadien. Aufgrund der geringen Anzahl von Winterkörnererbsenschlägen, die zudem auf die Modellregion Hessen beschränkt waren, konnte für Winterkörnererbsen noch kein Modell erstellt werden. Zunächst wurden die 415 Datensätze in 225 Sommerkörnererbsen-Datensätze, 141 Gemüseerbsen (frühe Aussaat) und 49 Gemüseerbsen (späte Aussaat) aufgeteilt. Diese Datensätze wurden wiederum in Entwicklungs-(70%)und Validierungsdatensätze (30%) aufgeteilt.

Im nächsten Schritt wird die tägliche Entwicklungsrate in Abhängigkeit von Temperatur und Photoperiode berechnet:

[1] 
$$DR_d = DR(T) * DR(P)$$

wobei:

DR<sub>d</sub> = Tägliche Entwicklungsrate

DR(T) = tägliche Entwicklungsrate in Abhängigkeit von der Temperatur

DR(P) = tägliche Entwicklungsrate in Abhängigkeit von der relativen Photoperiode.

Für die Berechnung der Entwicklungsrate wurde eine Funktion entwickelt in die die Lufttemperatur und die relative Photoperiode einfließt (Funktion 2, Racca, 2017, unpublished). Diese Funktion beschreibt die relative Pflanzenentwicklungsrate in Abhängigkeit von der Lufttemperatur und der relativen Photoperiode (Funktion 1). Die Daten für die Parametrisierung der Funktion wurden der Literatur entnommen (Berry, 1975; Berry and

Björkman, 1980; Geiger, 1994; Dawson, 2015). Die Entwicklungsrate in Abhängigkeit von der Lufttemperatur und der rel. Photoperiode basieren auf einer Beta-Hau Funktion (Hau, 1988):

[2] 
$$DR(T,P) = DR_{opt} \left[ \frac{(Y-Y_{min})}{(Y-Y_{min})^{n(Yopt-Ymin)/(Ymax-Yopt)}} \right] \left[ \left( Y_{max} - Y/(Y_{max} - Y_{opt}) \right) \right]^{n}$$

wobei:

DR(T, P) =tägliche Entwicklungsrate in Abh. der Lufttemperatur (DR(T)) bzw. der rel. Photoperiode (DR(P))

 $DR_{opt}$  = Optimale Entwicklungsrate

Y = Lufttemperatur oder rel. Photoperiode

 $Y_{min}$  = Minimale Lufttemperatur oder rel. Photoperiode für Erbsen

Y<sub>opt</sub> = Optimale Lufttemperatur oder rel. Photoperiode für Erbsen

 $Y_{max}$  = Maximale Lufttemperatur oder rel. Photoperiode für Erbsen

Die tägliche Entwicklungsrate wird ab Aussaat täglich addiert.

[3] 
$$BBCH x = (f) \sum DR_d$$

Wobei:

BBCH x = Entwicklungsstadium des Bestandes als BBCH-Index (vgl. 6.4.1)

 $\Sigma$  DR<sub>d</sub> = kumulierte tägliche Entwicklungsrate ab Aussaat bis BBCH-Index x.

### **Gompertz Regression**

Anhand einer Gompertz-Regression (Gompertz, 1825) wurden die Modellfunktion an die Daten angepasst und somit die drei Modelle erstellt. Die abhängige Variable ist das Entwicklungsstadium (Index), die unabhängige Variable die kumulierte tägliche Entwicklungsrate ab Aussaat. Als maximaler Index wurde 57 bzw. 48 für Sommerkörner- bzw. Gemüseerbsen eingesetzt. Da die Gemüseerbse außer zur Vermehrung grün geerntet wird, hört das Modell nach der Fruchtentwicklung auf. Die Modellkurve wird an die Eingangsdaten mit der folgenden Funktion angepasst:

$$berechneter\ Index\ = \left[\exp\left(-\exp\left(-(-a+b*\sum DR_d)\right)\right)\right]*Index_{max}$$

wobei:

a = y-Achsenabschnitt

b = Steigung

Σ DR<sub>d</sub> = kumulierte tägliche Entwicklungsrate ab Aussaat bis Zeitpunkt x

 $Index_{max} = 57$  bzw. 48 für Sommerkörner- bzw. Gemüseerbsen

Nach dieser Berechnung werden die berechneten Index Stadien wieder in BBCH-Stadien umcodiert.

## 6.4.3 Validierung

Es wurde eine Praxisvalidierung und eine logistische Regression durchgeführt, um die berechneten und die bonitierten Entwicklungsstadien (Index) miteinander zu vergleichen und somit die Modellgüte bestimmen zu können. Zur Validierung wurden die berechneten und die bonitierten Index-Stadien miteinander verglichen. Bei der Praxisvalidierung wurde die Abweichung in Tagen analysiert. Plus oder minus sieben Tage galten noch als korrekte Vorhersage. Wenn das Modell mehr als acht Tage zu früh war, wurde als Überschätzung eingestuft. Entsprechend wurde es als Unterschätzung eingestuft, wenn das Modell mehr als acht Tage zu spät war. Zusätzlich wurde eine lineare Regression durchgeführt, die die Übereinstimmung der bonitierten und berechneten Entwicklungsstadien (Index) überprüft.

# 6.5 Basisdaten Räumliche Befallsanalyse MD und CAI

In das Modell Migration können prinzipiell mehrere Teilmodule integriert werden. In dieser Ausbaustufe wurde prioritär **TM DISTANZ** bearbeitet, wie folgt:

Um potentielle risikobehaftete Anbaulagen für den Erbsenwickler abschätzen zu können, wurde der aktuelle Befall aller erfassten Schläge der drei Modellregionen in Beziehung gesetzt. Zum einen mit a) der Distanz zur nächstgelegenen Vorjahresfläche (*Minimum Distance = MD*) und zum anderen mit b) dem *Continuous Abundance Index (CAI)* um eine Fläche als Vorjahresflächen-Anteil in Prozent in gestuften Radien (0,5 km, 1 km, 2 km und 4 km) (Huusela-Veistola und Jauhiainen 2006; Thöming et al. 2011). Die Auswertung erfolgte für jedes Jahr und jede Kulturform (Gemüse-, Körner und Wintererbsen) separat.

## 6.5.1 Bodenbearbeitung

Um Effekte der Bodenbearbeitung (TM 2) als möglichen Mortalitätsfaktor auf die Überwinterungsrate des Erbsenwicklers zu berücksichtigen, sollten Pheromonfallenfänge in Wintergetreideflächen mit gepflügter, bzw. ungepflügter Erbsenvorfrucht verglichen werden. Da jedoch alle beprobten Vorjahresschläge 2017-2019 gepflügt waren, blieb dieser Modulbaustein offen.

# 6.5.2 Flugbedingungen und "Wanderleistung"

Anhand der Daten des Geber- und Empfängerflächen-Monitorings (vgl. 6.3.5.1 und 6.3.5.2) wurde geprüft, ob Zeitdifferenzen zwischen dem Erstauftreten an aktuellen Erbsenschlägen (erster Falter in Pheromonfalle = Einflug), bzw. an nächstgelegenen Vorjahresflächen (erster Falter in Pheromonfalle = Abflug) bestehen. Diese Information wäre als Zeitbedarf zur Distanzüberbrückung für die Ausgestaltung des TM3 nutzbar.

# 6.5.3 Modellierung Sub-Modell "Migration" als Risikokarte"

Zunächst wurde ein Python-Skript für ArcGIS geschrieben, um die Anwendung so universell wie möglich zu halten und flexibel abändern zu können. Im folgenden Flussdiagramm ist die generelle Herangehensweise dargestellt (Abbildung 6).



Abbildung 6: Schema der Skriptberechnung der Risikokarte.

Der erste Schritt ist die Erstellung von Pufferzonen um die Vorjahresschläge anhand der Befalls-Distanz Daten. Den Pufferzonen werden Risikoklassen zugeteilt. Im nächsten Schritt werden überlappende Pufferzonen miteinander vereint. Wenn sich zwei Pufferzonen überlappen, werden diese Überlappungsbereiche in die nächst höhere Risikoklasse eingestuft, da das Befallsrisiko von mehreren Seiten kommen kann. Daraus entsteht eine flächendeckende Risikokarte mit Pufferzonen und den zugehörigen Risikoklassen. Dieser Teil ist für den Anwender nicht sichtbar.

Im nächsten Teil wurde eine Anwenderabfrage entwickelt. Um Befallsrisiken einschätzen zu können und Vorjahresflächen-Befallsdruck räumlich zu entgehen, kann der Anwender die Koordinaten geplanter Schlagpositionen eingeben. Das EHS gibt einen kreisförmigen Kartenausschnitt aus, in dem die entsprechenden Risikozonen zur Abschätzung befallspräventiver Schlagentfernungen enthalten sind.

# **6.6 Programme für Analysen**

Alle statistischen Analysen wurden mit dem Programm R Version 3.4.3 oder XLSTAT 19.02 durchgeführt. Die Verrechnung geographischer Daten erfolgte mit ArcGIS Desktop 10.6.1., ArcGIS Pro 2.4.1. bzw. Quantum GIS Version 2.18. Python Skripte wurden mit der Software PyCharm 2017.3.3 geschrieben.

# 7 Ergebnisse

Im Folgenden werden die beiden grundlegenden Onotogenesemodelle für den Zielschädling Erbsenwickler und die Wirtpflanze Erbse vorgestellt. Die darauf aufbauenden Datenanalysen münden in die zwei Sub-Modelle das Sub-Modell Entwicklung und Sub-Modell Migration (vgl. 6.1), des EHS.

# 7.1 Basisdaten Erbsenwickler-Entwicklung

# 7.1.1 Falterschlupf Temperatursummen

Die getesteten kontrollierten Umwelten der Klimakammern (Tabelle 3) ergaben, dass die durchschnittliche Entwicklungszeit in Tagen der eingewinterten Kokons bis zum Schlupf nur durch das Temperaturregime signifikant beeinflusst war ( $F_{(6,164)}=62,54$ ; p<0,0001). Die getesteten Langtags- bzw. Kurztagsbedingungen zeigten dabei keinen signifikanten Effekt auf die Entwicklungszeit ( $\chi^2 = 2,6762$ ; df=4; p=0,6134).

## 7.1.2 Entwicklungsnullpunkt

Da der Einfluss der Photoperiode ausgeschlossen werden konnte, wurde für die Berechnung der Entwicklungsrate (1/Tage) nur die Temperatur verwendet (Abbildung 7).

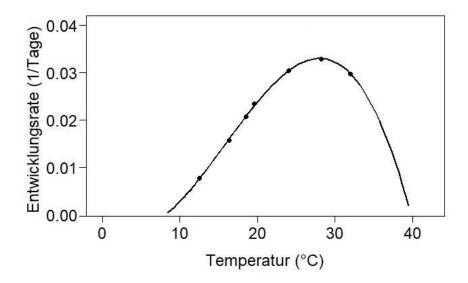


Abbildung 7: An die Entwicklungsrate (1/Tage) angepasstes nichtlineares Brière-2 Modell (durchgehende Linie).

Der mit Hilfe des angepassten Brière-2 Models (Brière et al.; 1999) bestimmte Entwicklungsnullpunkt betrug 8,135°C, die obere Entwicklungsgrenze 39,80°C (Tabelle 4) und die optimale Temperatur mit maximaler Entwicklungsrate lag bei 29,17°C (Abbildung 7).

Tabelle 4: Parameter des Brière-2 (Brière et al.; 1999) Modells, angepasst an die Entwicklungsrate (1/Tage) von C. nigricana mit  $T_{min}$  als Entwicklungsnullpunkt,  $T_{max}$  als obere Entwicklungsgrenze und  $b_1$  und  $b_2$  als Parameter der Kurvenform.

Parameter		
Name	Wert	Signifikanz
T <sub>min</sub>	8.135	<0.001
$T_{max}$	39.800	< 0.001
b <sub>1</sub>	0.000005	0.1060
<b>b</b> <sub>2</sub>	0.982	<0.001

### 7.1.2.1 Falterschlupf nach Modellregion

Zwischen den Larvenherkünften aus Hessen und Sachsen gab es bei einheitlichen Überwinterungsbedingungen keine signifikanten Zeitunterschiede bis zum Schlupf der Falter (Tabelle 5). Larvenherkünfte aus Sachsen-Anhalt konnten, aufgrund einer sehr geringen Anzahl geschlüpfter Wickler nicht in die Auswertung einbezogen werden.

Tabelle 5: Durchschnittliche Entwicklungszeit von Larvenherkünften aus Sachsen und Sachsen-Anhalt in Tagen nach einheitlicher Überwinterung in einer Klimakammer bei durchgehend 18° C und einem Lichtregime von 16/8 L/D bis zum Falterschlupf; n=Anzahl geschlüpfter Falter.

Versuch	Herkunft	Sammlung	N	Median±SE*
Herkunft	Hessen	BBCH 71-99	48	46±1,5 <sup>A</sup>
	Sachsen	BBCH 71-99	120	48±0,9 <sup>A</sup>

<sup>\*</sup>Dunns-test mit Bonferroni Korrektur nach Kruskal-Wallis Test (P < 0.001). Ungleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede.

### 7.1.2.2 Falterschlupf nach Früh- und Spätbefall im Vorjahr

**Kokonbildung Versuch 1:** Während es keinen signifikanten Unterschied im durchschnittlichen Schlupfzeitpunkt der Falter zwischen den beiden späteren Zeitpunkten der Kokonbildung gab, fand der Schlupf der sich am 21.06.2018 in die Erde gebohrten Larven geringfügig, aber signifikant später statt (Tabelle 6).

Tabelle 6 Durchschnittliche Entwicklungszeit bis zum Schlupf von Erbsenwicklerfaltern aus, an drei verschiedenen Zeitpunkten gesammelten und künstlich überwinterten Erbsenwicklerlarven, in einer Klimakammer mit einer Temperatur von 18° C und einem Lichtregime von 16/8 L/D. n=Anzahl geschlüpfter Falter

Versuch	Sammlung	n	Entwicklungszeit (Tage)
			Median±se*
Kokonbildung	21.06.2018	57	47±1,4 <sup>A</sup>
Versuch 1	28.06.2018	58	44±1,1 <sup>B</sup>
	04.07.2018	31	45±2,2 <sup>B</sup>

<sup>\*</sup>Dunns-test mit Bonferroni Korrektur nach Kruskal-Wallis Test (P < 0.001). Ungleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede.

**Kokonbildung Versuch 2:** Im Vergleich zu den Sommerkörnererbsen hatten die Winterkörnererbsen einen Wachstumsvorsprung. Die Blüte (BBCH 60) wurde beispielsweise 206 Gradtage (ca. 5 Tage) früher erreicht (Abbildung 8). Entsprechend waren in den Hülsen der Wintererbsen im Median 141 Gradtage (ca. 7 Tage) früher Ausbohrlöcher vorhanden (Abbildung 9), was auf einen früheren Kokonbildungszeitpunkt hinweist. Die frühere Kokonbildung hatte jedoch keinen signifikanten Einfluss auf den durchschnittlichen Schlupfzeitpunkt der Falter in den Klimakammern im Folgejahr ( $F_{(1,44)}$ =0.718, p=0,402) (Tabelle 7).

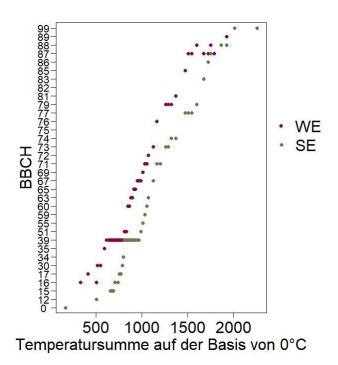


Abbildung 8: BBCH von einem ausgewählten Sommer- und Wintererbsenschlag in der Region Nordhessen im Jahr 2018 in Abhängigkeit vom Datum. SE = Sommerkörnererbsenschlag, WE = Winterkörnererbsenschlag

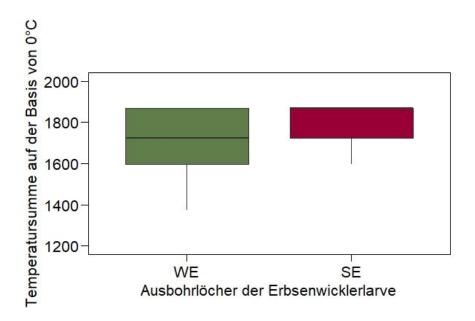


Abbildung 9: Durchschnittlicher Ausbohrtermin von Erbsenwickler-L5 in Gradtagen, aus wöchentlich gesammelten Erbsenhülsen nach dem Kriterium Hülsen mit Ausbohrloch ja/nein, aus einem sich in der Modelregion Hessen befindlichen Sommer- und Wintererbsenschla. Beide Schläge lagen räumlich nahe bei einander). SE = Sommerkörnererbsen, WE = Winterkörnererbsen

Tabelle 7: Durchschnittliche Entwicklungszeit bis zum Schlupf von Erbsenwicklerfaltern, aus einem Sommerkörnerund Winterkörnererbsenschlag gesammelten und künstlich überwinterten Erbsenwicklerlarven, in einer Klimakammer mit einer Temperatur von 18°C und einem Lichtregime von 16/8 L/D n=Anzahl geschlüpfter Individuen.

Versuch	Schlag	Sammlung	N	Median±SE*
Kokonbildung	Sommererbsen	BBCH 71-99	19	46±3,2 <sup>A</sup>
Versuch 2	Wintererbsen	BBCH 71-99	27	44±3,0 <sup>A</sup>

<sup>\*</sup>ANOVA nach Wurzeltransformation (P < 0.001). Ungleiche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede.

## 7.1.2.3 Überprüfung univoltiner vs. bivoltiner Wickerflug

**Feldbedingungen:** Von im Freiland eingegrabenen Wicklerkokons der frühesten, mittleren und späten Larvenkohorten (6.3.5.3) schlüpften weder in 2017 noch in 2019 Wickler ohne Diapause im gleichen Jahr. Von den im Jahr 2017 verpuppten Wicklern (n=200) schlüpften im Folgejahr insgesamt 22 Wickler im Zeitraum vom 11.05.2018-18.06.2018.

**Laborbedingungen**: Die Hälterung von Erbsenwicklern ab dem L1-Stadium in Klimakammern ergab einen Anteil von 0,7 bis 1,53 % schlüpfender Falter, die noch im selben Jahr ohne Diapause schlüpften (Tabelle 8).

Tabelle 8: Klimakammerversuch zur Überprüfung des Auftretens einer zweiten Generation bei C. nigricana. Im Gewächshaus gezogene Erbsenhülsen wurden mit in Klimakammern gezogenen L1 Larven infiziert und bei 16/8 L/D und 20°C inkubiert.

Jahr	Anzahl befallener Hülsen	Insgesamt verpuppt	Adulte geschlüpft ohne Diapause	Adulte geschlüpft mit Diapause	Anteil geschlüpft ohne Diapause (%)
2017	50	35	2	2	0,70
2018	75	51	3	31	1,53

### 7.1.3 Pheromonfallen-Monitoring

In den Modellegionen war von phänologischen Unterschieden zwischen den Kulturformen Gemüse- und Sommerkörnererbsen im Blühverlauf auszugehen, allerdings wurden diese auch für Winterkörnererbsen für das Befallsergebnis offensichtlicher als ursprünglich erwartet, sodass Winterkörnererbsen als 2. "Futtererbsen-Kategorie" zu betrachten sind.

In Nordhessen zeigten Wintererbsen erste offene Blüten im Bestand (BBCH 60) deutlich früher als die Sommererbsenschläge. In Sachsen-Anhalt fanden die Frühjahrsbestellungen für die Gemüse- und Sommerkörnererbsen-Vermehrungen in etwa zeitgleich statt, die Gemüseerbsenblüte lag aber sortenbedingt geringfügig früher als bei Sommererbsen (Abbildung 10). Für Sachsen ergab sich für Gemüse- und Sommererbsen ein ähnliches Bild wie in Sachsen-Anhalt, hier war die früher einsetzende Blüte der Gemüseerbsen durch die Frühsaatstrategie für die Gemüseerbsenverwertung noch weiter nach vorn verlegt.

Das Auftreten der ersten Falter in Pheromonfallen der jeweiligen Erbsenkulturform fiel in **Hessen** zeitlich mit der einsetzenden (2016-2018), bis fortgeschrittenen (2019) Winterkörnererbsenblüte und in **Sachsen** mit der beginnenden Gemüseerbsenblüte zusammen. In **Sachsen-Anhalt** hatten Gemüseserbsen-Vermehrungen einen geringfügigen Blütezeitvorsprung von Sommerkörnererbsen-Vermehrungen. Für Hessen lagen in 2016 leider keine InVeKos-Daten zu Winterkörnererbsen vor. Zwar konnten alle Flächen im Zuge der Praktikerbefragungen nachträglich lokalisiert werden, allerdings waren damit die BBCH-Stadien 2016 nicht mehr rekonstruierbar (vgl. Abbildung 10).

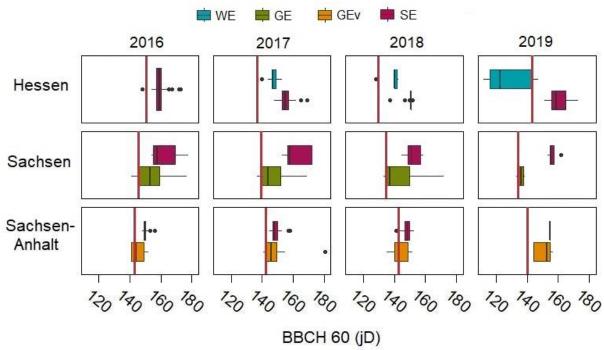


Abbildung 10: Blütezeitpunkte (BBCH 60 in Jahrestagen) aller beprobten Erbsenschläge, getrennt nach Gemüse-, Sommerkörner- und Winterkörnererbsen in den Jahren 2016 bis 2019 in den Regionen Hessen und Sachsen-Anhalt. Die vertikale rote Linie kennzeichnet das Erscheinungsdatum des ersten Wicklers in der Pheromonfalle in einem Erbsenschlag. SE = Sommerkörnererbsen, WE = Winterkörnererbsen, GE = Gemüseerbsen (Grünernte für Tiefkühlware), GEv = Gemüseerbsen (Vermehrung).

# 7.1.4 Modellierung Erbsenwickler-Entwicklung

Anhand des Moduls 3 zur Populationsdynamik des Erbsenwicklers kann die Wahrscheinlichkeit des Auftretens einzelner Entwicklungsstadien zu einem gegebenen Zeitpunkt (z. B. Datum) dargestellt werden. Für die Berechnung wurden verschiedene Daten aus den Klimakammerund Freilandversuchen genutzt. Die Temperatursummen wurden mit der berechneten Basistemperatur von 8,135°C (Abbildung 7) berechnet.

### 7.1.4.1 Parameterberechnung

Anhand der bonitierten Daten aus dem Klimaschrank und dem Freiland wurden für jedes Entwicklungsstadium die deskriptive Statistik ermittelt (Tabelle 9), um die Werte für die Modellanpassung zu nutzen.

Tabelle 9: Deskriptive Statistik der Entwicklungsstadien in Temperatursummen ab dem 1. Januar (Basistemperatur 8,135°C) bzw. ab Start in der Klimakammer; F = Freiland, K = Klimakammer.

					Standardab
Stadium	Mittelwert	Median	Min	Max	weichung
Adulte <sup>F</sup>	485,33	489,69	103,7	962,07	164,03
Adulte <sup>K</sup>	541,82	501,35	269,52	1172,75	180,80
Eier (ab Schlupf) <sup>K</sup>	104,38	103,33	47,07	145,29	9,42
L1 <sup>F</sup>	567,97	515,97	262,73	889,28	110,01
L1-L5 <sup>F</sup>	692,92	658,50	262,73	1163,08	153,80
Puppen <sup>F</sup>	485,33	489,69	103,7	962,07	164,03

## 7.1.4.2 Modellanpassung

Durch die Modellanpassung konnten die verschiedenen Entwicklungsstadien des Erbsenwicklers als Populationsdichteverteilung in Abhängigkeit zur Temperatursumme modelliert werden. In Abbildung 11 sind nun die wichtigsten Stadien für das Entscheidungshilfesystem dargestellt. Die Verteilung beginnt mit den sinkenden Individuen, die aus der Überwinterung kommen und somit steigen die Individuen, die als Falter auftreten, simultan, da diese beiden Funktionen direkt voneinander abhängig sind. Als Falter sind hier nur die Falter sichtbar, die auf einem Schlag als "Erstauftreten" erscheinen. Als weitere Stadien ist das Auftreten der Eier und der L1 Larven dargestellt. Diese Stadien dienen hauptsächlich der Empfehlung einer Insektizidmaßnahme.

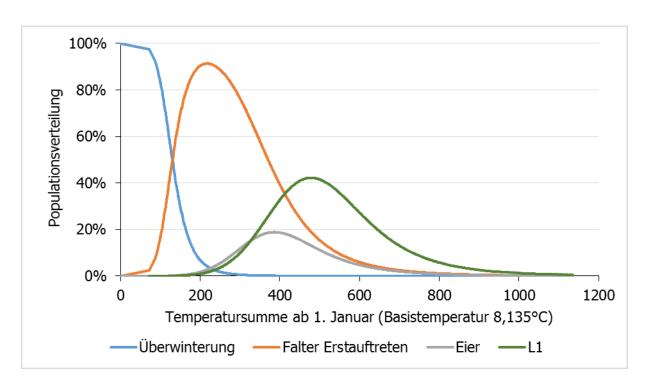


Abbildung 11: Populationsverteilung der einzelnen Stadien in Abhängigkeit von der Temperataursumme ab dem 1. Januar mit einer Basistemperatur von 8,135°C).

### 7.1.4.3 Diskriminanzfunktionen durch binäre logistische Regression

### FF - Erste Falter im Feld

In der Abbildung 12 sind die Populationsdichteverteilungen der Stadien Überwinterung und Falter Erstauftreten. Die FF-Funktion basiert auf der Überwinterung der Falter (Stadium 0) und dem Erstauftreten der Falter (Stadium 1) pro bonitiertem Schlag.

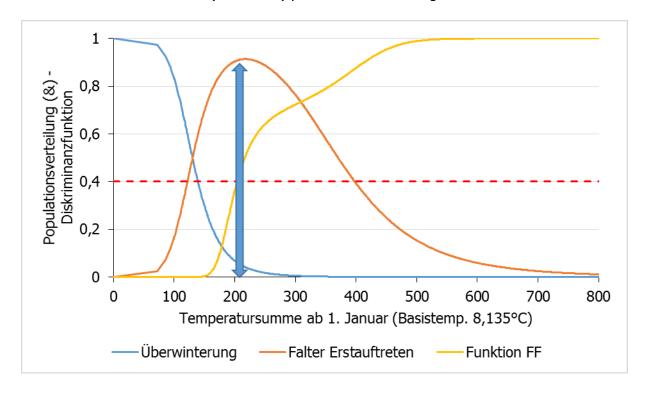


Abbildung 12: Prognose der ersten gefangenen Falter im Feld (FF) als Populationsdichteverteilung, blauer Pfeil markiert die Stelle an der die FF-Funktion den Schwellenwert überschreitet, der Cut-off-Wert liegt bei 0,4 (gestrichelte Linie).

Die Modellgüte der FF-Funktion sind in Tabelle 10 zusammengefasst. Gerade der Wert der Area under curve (AUC)-Wert mit 0,86 deutet darauf hin, dass das Modell durch die eingehenden Daten erklärt wird.

Tabelle 10: Modellgüte der FF-Funktion.

Statistik	Werte
Beobachtungen	2257
DF	2254
AUC	0,86

### **Delta A – Anstieg >7 Falter**

Diese Funktion basiert auf den Flugdaten der Falter, und deren Zu- bzw. Abnahme um <7 bzw. ≥7 Falter. Auch in diesem Fall wurden die Daten zufälligerweise während der Analyse in zwei Teile geteilt, einmal in 2257 Beobachtungen zur Entwicklung und 2000 Beobachtungen zur Validierung. Die Delta\_A Kurve kreuzt den Cut-off-Wert von 0,4 bei 289 DD (Abbildung 13, das entspricht in etwa der kleinsten beobachteten Temperatursumme bei BBCH 60.

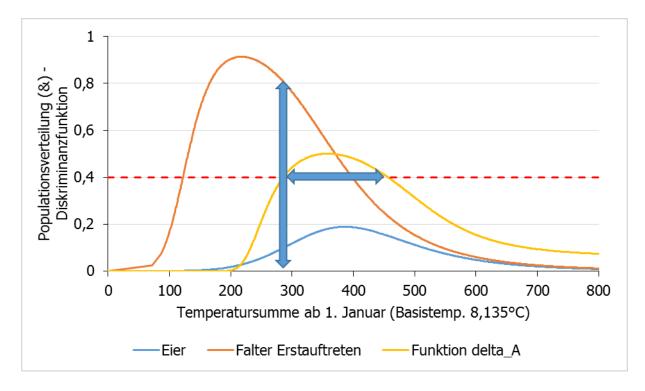


Abbildung 13: Prognose der Zunahme um >7 Falter als Populationsdichteverteilung, blauer Pfeil markiert die Stelle an der die Delta\_A-Funktion den Schwellenwert überschreitet, sowie die Dauer der Überschreitung, der Cut-off-Wert liegt bei 0,4 (gestrichelte Linie).

Die Modellgüte der Delta\_A-Funktion sind in Tabelle 11 zusammengefasst. Die Modellgüte ist bei der Delta\_A-Funktion nicht ganz so gut. Der AUC-Wert von 0,8 erreicht, was für empirische Felddaten einen sehr guten Wert darstellt.

Tabelle 11: Modellgüte der Variable Delta\_A.

Statistik	Wert
Beobachtungen	2257
DF	2254
AUC	0,80

### L1 - Auftreten zur Prognose von Behandlungszeitfenstern

Die L1-Funktion basiert auf den Daten des Auftretens des Larvenstadiums 1. In Abbildung 14 ist die Populationsdichteverteilung der Falter Erstauftreten, der Eier, der L1 Larven, sowie die Diskriminanzfunktion L1 dargestellt. Die blauen Pfeile markieren die Stelle an der die L1-Funktion den Schwellenwert überschreitet, sowie die Dauer der Überschreitung.

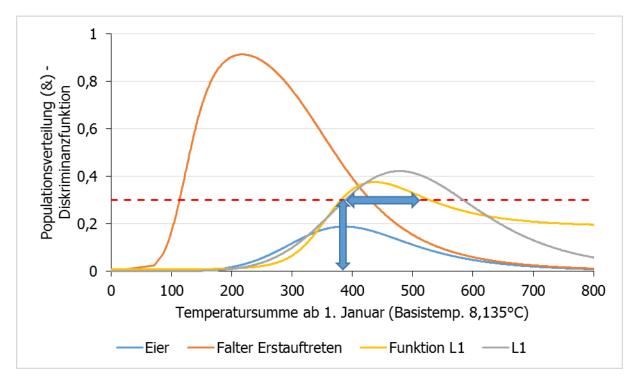


Abbildung 14: Prognose des Auftretens des Larvenstadiums 1 als Populationsdichteverteilung, blauer Pfeil markiert die Stelle an der die L1-Funktion (graue Linie) den Schwellenwert überschreitet, sowie die Dauer der Überschreitung, der Cut-off-Wert liegt bei 0,3 (gestrichelte Linie).

Die Modellgüte der L1 Funktion sind in Tabelle 12 zusammengefasst. Der AUC-Wert ist mit 0,67 nicht sehr hoch, was womöglich durch die geringere Datenmenge erklärt werden kann.

Tabelle 12: Modellgüte der Variable L1.

Statistik	Wert
Beobachtungen	833
DF	830
AUC	0,67

### 7.1.5 Validierung

Die "Cut-off"-Werte der FF-Funktion bzw. der Delta\_A  $\geq 0.4$  entsprechen den ersten gefangenen Faltern in der Pheromonfalle bzw. einer Zunahme  $\geq 7$  Falter in der Falle. Bei der L1 Funktion liegt der "Cut-off"-Wert bei  $\geq 0,3$ .

### FF

Die Ergebnisse der unabhängigen Validierung der FF-Funktion sind in Tabelle 13 zusammengefasst.

Tabelle 13: Klassifikationstabelle des Validierungsdatensatzes (Variable FF).

von \ nach	Absent	Präsent	Total	% korrekt
Absent	41	169	210	19.5%
Präsent	6	1784	1790	99.7%
Total	47	1953	2000	91.3%

Die An- bzw. Abwesenheit der ersten Falter wurde insgesamt in 91,3 % aller überprüften Fälle korrekt vorhergesagt. Somit hat das Modell das Auftreten nur sehr gering unterschätzt, das heißt es waren Falter da, das Modell hat sie aber nicht vorhergesagt (0,3 %). Die Überschätzung war etwas höher, das heißt es waren keine Falter da, das Modell hat aber Falterflug vorhergesagt (8,45 %). Betrachtet man nur die korrekten anwesenden Falter (Präsent), dann hat das Modell in 99,7 % der Fälle, das Stattfinden des ersten Falterflugs mit dem "Cut-off"-Wert von 0,4 korrekt klassifiziert (0 = kein gefangenes Männchen, 1 = erste gefangene Männchen in der Pheromonfalle).

#### Delta A

Die Ergebnisse der unabhägnigen Validierung der Delta\_A-Funktion sind in Tabelle 14 dargestellt. Das Modell hat in 84,7 % der Fälle, die Zunahme von weniger als sieben Adulte

mit dem "Cut-off" Wert von 0,3, korrekt klassifiziert. Insgesamt wurden 73,7 % aller Fälle korrekt vorhergesagt. Allerdings hat das Modell bei der Delta\_A-Funktion häufig die Zunahme von ≥7 Falter unterschätzt (14,85 %).

Tabelle 14: Klassifikationstabelle des Validierungdatensatzes (Variable Delta\_A).

von \ nach	Zunahme < 7	Zunahme >= 7	Total	% korrekt
Zunahme < 7	1266	229	1495	84.7%
Zunahme >= 7	297	208	505	41.2%
Total	1563	437	2000	73.7%

#### L1

In Tabelle 15 sind die Ergebnisse der unabhängigen Validierung der L1-Funktion dargestellt. Das Modell hat in 53,00 % aller Fälle die An- bzw. Abwesenheit des L1 Stadiums korrekt vorhergesagt. Nur die Anwesenheit der L1-Larven wurde mit 74,69 % korrekt vorhergesagt. Bei der L1-Funktion hat das Modell bei (41 %) eher überschätzt, das heißt in den empirischen Daten waren keine L1-Larven vorhanden, das Modell hat aber welche vorhergesagt.

Tabelle 15: Klassifikationstabelle des Validierungsdatensatzes (Variable L1).

von \ nach	absent	präsent	Total	% korrekt
absent	250	288	538	46.5%
präsent	41	121	162	74.7%
Total	291	409	700	53.0%

Anhand der Abbildung 15 kann man erkennen, dass die Variable FF bei allen drei Kulturformen mit über 80 % am häufigsten korrekt prognostiziert wird. Die Variable Delta\_A wurde in mindestens 67 % der Fälle korrekt vorhergesagt und bei bis zu 33 % der Fälle unterschätzt, das heißt zu spät prognostiziert. Die Variable L1 ist die einzige Variable, die schwankt. Bei der Gemüseerbse ist die Unterschätzung höher als die korrekt prognostizierten Fälle. Wobei die Variable L1 bei der Sommerkörnererbse zu 70 % korrekt prognostiziert wurde.

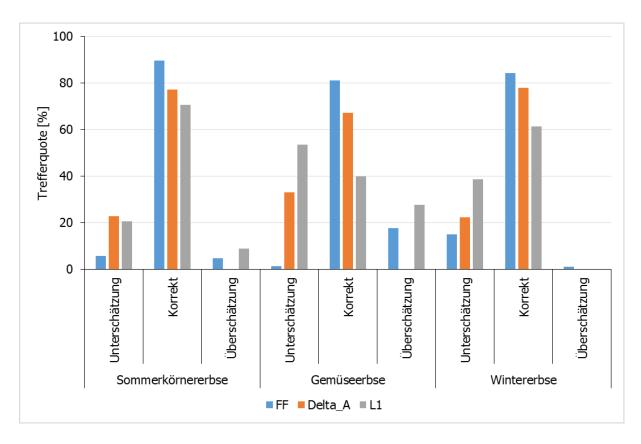


Abbildung 15: Trefferquoten der Validierung unterteilt nach den Kulturformen (Sommerkörnererbse (n = 240 Schläge), Gemüseerbse (n = 184 Schläge) und Winterkörnererbse (n = 15 Schläge) und der Variablen FF, Delta\_A und L1.

# 7.2 Baisdaten Erbsen-Entwicklung

Zunächst wurden die 415 Datensätze in 225 Sommerkörnererbsen-Datensätze, 141 Gemüseerbsen (frühe Aussaat) und 49 Gemüseerbsen (späte Aussaat) aufgeteilt. Diese Datensätze wurden wiederum in Entwicklungs- (70%) und Validierungsdatensätze (30%) aufgeteilt. Aufgrund der geringen Anzahl von Wintererbsenschlägen die zudem auf die Modellregion Hessen beschränkt waren, konnte für die Winterkörnererbse noch kein Modell erstellt werden.

## 7.2.1 Modellierung Erbsen-Entwicklung

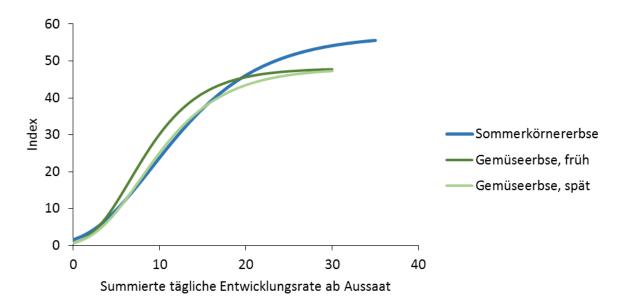


Abbildung 16: Ergebnis der Gompertz-Regression der drei Modelle, eins für Sommerkörnererbsen, eins für Gemüseerbsen-Frühsaat und eins für Gemüseerbsen-Spätsaat.

Anhand Gompertz-Regression drei Modelle für einer wurden separate Sommerkörnererbsen, Gemüseerbsen-Frühsaat und Gemüseerbsen-Spätsaat entwickelt (vgl. 6.4.2, Abbildung 16). Die Kurven der Sommerkörnererbse und der Gemüseerbse (spät) haben einen ähnlichen Verlauf bis zum Index 35 (Vollblüte, BBCH 65). Allerdings unterscheiden sich die Modelle Sommerkörnererbse und Gemüseerbse (früh) stark voneinander. Gerade um die Blüte (Index 30) ist das Modell der Gemüseerbse (früh) in der Entwicklung schneller als das Modell der Sommerkörnererbse. Die früh gesäte Gemüseerbse benötigt eine geringere summierte tägliche Entwicklungsrate bis zur Blüte.

## 7.2.2 Validierung

Die hohe Prozentzahl der korrekt berechneten Entwicklungsstadien > 78% zeigen, dass die gute Passung der Modelle auf die Pflanzenenwicklung unter Feldbedingungen. Dennoch gibt es auch höhere Prozentwerte bei der Unterschätzung. Betrachtet man z. B. diese Daten der Sommerkörnererbsen jedoch näher, handelt es sich hauptsächlich um die BBCH-Stadien 9-19 (52 %) und 81-86 (27 %). Das sind die weniger befallsrelevanten Stadien der Blattentwicklung und Samenreife (Tabelle 16).

Tabelle 16: Praxisvalidierung Abweichung in Tagen zwischen dem Modell und des bonitierten Entwicklungs-Stadiums.

	zu früh	korrekt	zu spät	n
Sommerkörnererbse	9,1 %	77,6 %	13,3 %	670
Gemüseerbse, früh	4,4 %	85,7 %	9,9 %	203
Gemüseerbse, spät	11,0 %	82,2 %	6,8 %	73

Bei der linearen Regression werden die berechneten und die bonitierten Entwicklungsstadien (Index) miteinander verglichen. Die Steigung und das R<sup>2</sup> sind hier sehr aussagekräftig. Die signifikante Steigung um 1 bedeutet, dass sich die berechneten und die bonitierten Stadien sehr übereinstimmen, dies wird durch das hohe R<sup>2</sup> bestätigt (Tabelle 17).

Tabelle 17: Validierung anhand einer linearen Regression zwischen den berechneten und den bonitierten Entwicklungsstadien, Signifikanz für y-Achsenabschnitt und Steigung:  $*P \le 0.05$ ;  $**P \le 0.01$ ;  $***P \le 0.001$ ; n.s. = not significant (P > 0.05); die Spalte P zeigt die Signifikanz der Varianzanalyse der einzelnen Modelle.

	y-Achsenabschnitt	Steigung	Р	R²	n
Sommerkörnererbsen	-0,71*	1,03***	<0,0001	0,95	670
Gemüseerbsen, früh	0,09 <sup>n.s.</sup>	1,02***	<0,0001	0,94	203
Gemüseerbsen, spät	1,89 <sup>n.s.</sup>	0,96***	<0,0001	0,86	73

## 7.2.3 ISIP Output SIMONTO Erbse

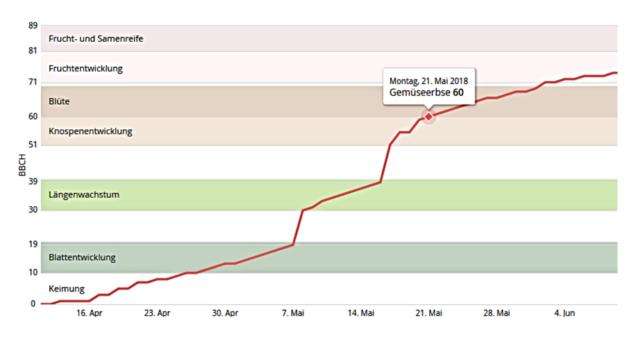


Abbildung 17: ISIP Output für das Sub-Modell "Entwicklung Erbse" STE429, 2018.

Die Anwendung wird auf isip.de schlaggenau berechnet und ist in Abbildung 17 exemplarisch für Gemüseerbsen dargestellt. Hier muss nur der Standort, das Aussaatdatum und die Kultur angegeben werden, damit die Berechnung automatisiert durchgeführt werden kann. Die Schläge bleiben gespeichert und können jederzeit "live" abgerufen werden.

## 7.3 ISIP Output Befallsprognose

Für die Implementierung von Modul 3 auf www.isip.de ist vorgesehen, für dieselben Schläge, die für Modul 2 "SIMONTO-Erbse" angelegt wurden, auch die Entwicklung des Erbsenwicklers zu berechnen (Abbildung 18). In dem Output werden Warnungen, wie z. B. die temperaturabhängige Wahrscheinlichkeit des Flugbeginns und des Larvenauftretens mit einer dreitätigen Vorhersage farblich dargestellt. Anwender können nun bei Entscheidungen unterstützt werden, wie z. B. ob und ab wann eine Pheromonfalle aufzustellen wäre, oder in welchem Zeitfenster Insektizidmaßnahmen notwendig sind. An dieser Stelle werden die Module 2 und 3 miteinander verknüpft, um eine plausible Entscheidungshilfe bereitzustellen. Das heißt, eine Warnung "Aufstellung einer Pheromonfalle" bzw. zur "Empfehlung Insektizidmaßnahme" erfolgt nur, wenn mindestens das BBCH-Stadium39 bzw. 71 erreicht wurde.

			Wetter	Wetter		Mai		Vorhersage				
	Schlagname Kultur		Erntedatum	Prognosedatum	26	27	28	29	30	1	2	
	RPE506	Sommererbse	9.03.2019	13.06.2019								
	STE514	Gemüseerbse	15.03.2019	13.06.2019								

Abbildung 18: Exemplarischer ISIP Output des Erbsenwickler-Entwicklungsmodells der schlagspezifischen Berechnung für 2 Praxisschläge in Rheinland-Pfalz (RPE506=Sommerkörnererbsen) und Sachsen-Anhalt STE514 Gemüseerbsen, frühe Saat) (blau = Flugbeginn wahrscheinlich, gelb = Auftreten 1. Larvenstadiums wahrscheinlich, rot = Überschreitung des Schwellenwertes des 1. Larvenstadiums wahrscheinlich).

# 7.4 Basisdaten Räumliche Befallsanalyse MD und CAI

Der Median der Flächenabstände aller Erbsenbestände zu nächstgelegenen Vorjahreserbsen lag in allen Regionen zwischen 204 bis 611 m. In 2019 bewegte in den verkleinerten Kernregionen zwischen 902 m in Sachen und 1044 m in Sachsen-Anhalt. Die maximale Entfernung zum Vorjahresschlag lag in Hessen bei ca. 3,9 km, in Sachsen bei etwa 4,8 km und Sachsen-Anhalt bei nur 6,1 km (Abbildung 19). Das in jährlich verfügbare Reproduktionshabitat in den drei Modellregionen betrug rechnerisch als Produkt der durchschnittlichen Einzelflächengröße und der Anzahl beprobter Schläge (Tabelle 1) insgesamt 77 ha für Hessen, 895 ha für Sachsen und 1248 ha für Sachsen-Anhalt. Da sich mit den CAI-Auswertungen eine weniger signifikante Datenlage für die weitere Verwendung ergaben, sind die CAI-Korrelationen im Anhang aufgeführt (13.1).

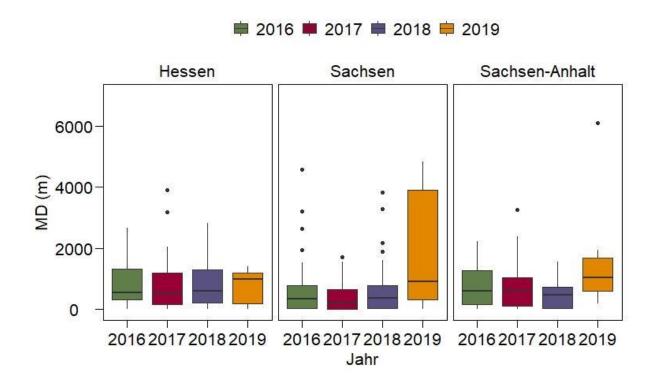


Abbildung 19: Durchschnittliche Abstände aktueller Erbsenschläge von den nächstgelegenen Vorjahresschlägen (MD in m) (Habitatstruktur Erbsenwickler) in den Modellregionen in Hessen, Sachsen und Sachsen-Anhalt in den Jahren 2016-2019. 2019 Erfolgten die Bonituren nur in der Kernregion.

### 7.4.1 MD-Befallskorrelationen

In der Gesamtauswertung über alle Erbsenkulturformen und über den gesamten Untersuchungszeitraum war Starkbefall durchgehend mit geringen Flächenabständen (MDs) assoziiert und die Befallswerte nahmen kontinuierlich ab, je weiter die Vorjahresflächen entfernt lagen (Abbildung 20). Der exponentielle Rückgang der Befallswahrscheinlichkeit war sowohl für die Modellregion Hessen (p=0,00275) als auch für Sachsen-Anhalt (p=0,00278) signifikant. In der Modellregion Sachsen war das Befallsniveau insgesamt schwächer und auch Flächenanzahl Körnererbsen geringer, sodass kein deutlicher exponentieller Befallsrückgang ansicherbar war. Die MD-Befallskorrelationen (Abbildung 20) illustrieren aber auch, dass geringe Flächenabstände nicht immer zwingend hohen Befall bedeuteten, da in allen Modellregionen eine Punktewolke um geringe MDs zwischen 0-1000 m und gleichzeitig geringem Kornbefall <10% festzustellen war.

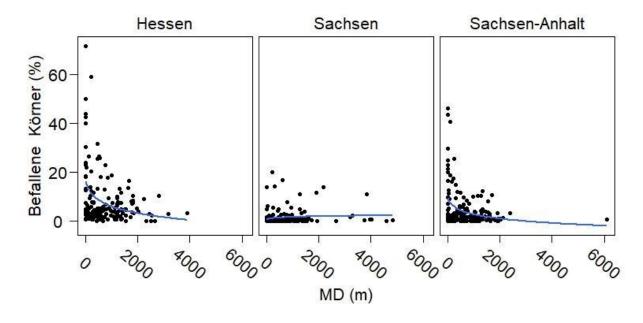


Abbildung 20: Abhängigkeit des Erbsenwicklerbefalls (Befallene Körner in %) von der Distanz zu den am nächsten gelegenen Vorjahresschlag.

Die Befallskorrelationen und der regionale Befallsdruck in den Modellregionen wurde auch von Insektizidbehandlungen beeinflußt, die insbesondere in Sachsen-Anhalt und in Sachsen praxisüblich waren, während in der Modellregion Hessen Insektizidmaßnahmen die Ausnahme bildeten (Tabelle 1). Vereinzelt trat hoher Befall aber auch bei insektizidbehandelten Flächen in Sachsen-Anhalt auf (Abbildung 23), wobei offen ist, welche Ursachen wie techn. Ausbringung, Witterung, Wirkstoffwahl, eine Rolle gespielt haben und welcher Befall sich ohne Wirkstoffintervention ergeben hätte.

Nach Aufsplitten der Datensätze nach Kulturart und Jahr wurde für die Modellregion **Hessen** deutlich, dass der exponentielle Befallsrückgang in allen drei Jahren vorwiegend vom

**Sachsen-Anhalt** ohne Winterkörnererbsen bestimmt war (Abbildung 21). In der Modellregion **Sachsen-Anhalt** ohne Winterkörnererbsenanbau ergab sich für Sommerkörnererbsen ein analoges Bild exponentiell sinkender Befallswerte bei weiten Anbaudistanzen. In der Modellregion **Sachsen** prägten durchgehend schwachbefallene Gemüseerbsen das Bild und auch für Sommerkörnererbsen blieb ein Befallsrückgang bei steigendem MD aus (Abbildung 20). Die befallsstärksten Jahre waren 2018 und 2019 mit prozentualen Spitzenwerten in der Modellregion Hessen zwischen 25% (SE) und 60% (WE) und Sachsen-Anhalt 30% (GEv) bis knapp 50% (SE). Ein Muster für geringen Erbsenwickler-Kornbefall bei Insektizidbehandlung war wenn, dann nur für 2018 in der Modellregion Hessen für Sommerkörnererbsen erkennbar, nicht aber für Sachsen und Sachsen-Anhalt (Abbildung 21, Abbildung 22, Abbildung 23).

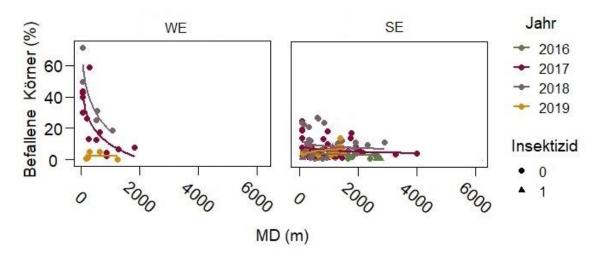


Abbildung 21: Beziehung zwischen der Distanz zur nächstgelegenen Vorjahresfläche (m) und dem Anteil befallener Körner (%) getrennt nach Jahr und Erbsenkulturform in Hessen.

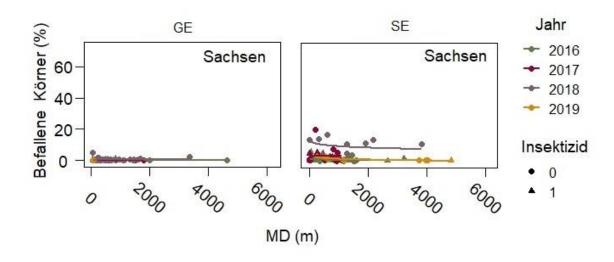


Abbildung 22: Beziehung zwischen der Distanz zur nächstgelegenen Vorjahresfläche (km) und dem Anteil befallener Körner (%) getrennt nach Jahr und Erbsenart in Sachsen.

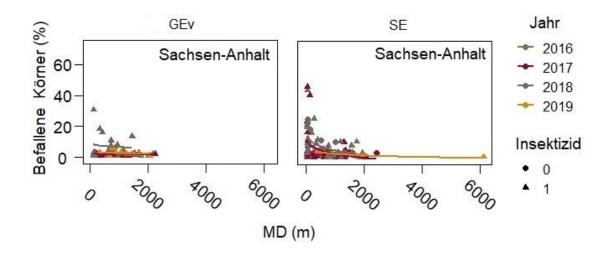


Abbildung 23: Beziehung zwischen der Distanz zur nächstgelegenen Vorjahresfläche (km) und dem Anteil befallener Körner (%) getrennt nach Jahr und Erbsenart in Sachsen-Anhalt.

## 7.4.2 Wanderleistung

Die Erhebungen zu Zeitdifferenzen zwischen ersten Pheromfallenfängen auf Geber- und Empfängerflächen in Bezug auf die jeweiligen MDs ergaben auf den ersten Blick ein weit streuendes Bild (Abbildung 24 und Abbildung 25). Sowohl bei geringen MD-Werten als auch bei weiteren MDs > 1000 m traten Zeitdifferenzen zwischen 0->15, teilweise sogar >30 Tage auf. In einigen Fällen ergaben sich auch negative Zeitdifferenzen, da am aktuellen Erbsenschlag eintreffende Falter vor dem Falterschlupf aus dem nächstgelegenen Vorjahresschlag notiert wurden.

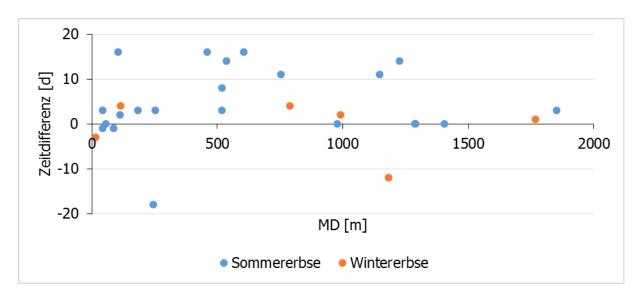


Abbildung 24: Zeitdifferenz (in Tagen) der ersten gefangenen Männchen in Pheromonfallen der Vorjahresschlägen und der aktuellen Erbsenschlägen in der Modellregion Hessen. 2017 und 2018 wurden die Fallen täglich kontrolliert, 2019 alle zwei Tage (Flächenpaare: Wintererbsen = 7, Sommererbsen = 22).

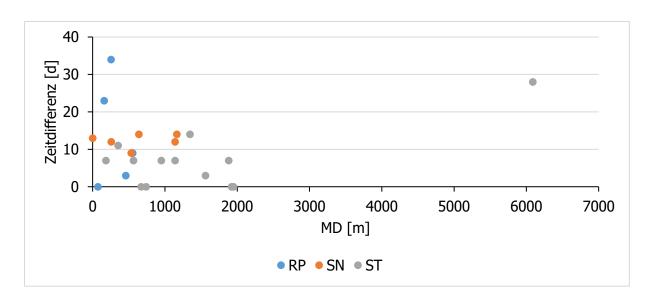


Abbildung 25: Zeitdifferenz (in Tagen) der ersten gefangenen Männchen in Pheromonfallen der Vorjahresschlägen und der aktuellen Erbsenschlägen in den Modellregionen Sachsen, Sachsen-Anhalt und zusätzlich Rheinland-Pfalz, die Pheromonfallen wurden alle 3-4 Tage kontrolliert (Flächenpaare: RP=5; SN=6; ST=13).

# 7.5 Modellierungen im Sub-Modell "Migration"

In diesen Teil des Entscheidungshilfesystems fließen die Teilmodule (TM) TM1 DISTANZ und TM4 FELDGEO ein. Berücksichtigt man in der Fruchtfolgeplanung zusätzlich die erarbeiteten Flächenabstände als Rotationsdistanz, ab der der Befall abnimmt, kann man Fruchtfolge als Verfahren zur Befallsprävention optimieren. Um dies umsetzen zu können, wurde das Tool Risikokarte entwickelt.

## 7.5.1 Modul "Risikokarte"

Das Ergebnis des Moduls 1 ist eine Risikokarte (Abbildung 26), mit der das Befallsrisiko für die Lage eines geplanten Erbsenschlags eingeschätzt werden kann. Die Datenbasis bilden die empirischen Ergebnisse der MD-Befallskorrelationen aus Abschnitt 7.4.1, Abbildung 20. Hier hatte sich für alle drei Modellregionen gezeigt, dass der Befall mit zunehmender Distanz zum Vorjahresschlag exponentiell abnimmt. Da der Befall vor allem ab einer Distanz von >1000 m MD stark abnahm und bis 2000 m weiter abflachte, wurden um die Vorjahresschläge zunächst Pufferzonen mit einem Radius von 1000 m, 1500 m und 2000 m (ab dem Vorjahresschlag) gebildet. Diesen Pufferzonen wurden drei Risikoklassen zugeteilt, die nach außen exponentiell abnehmen (4 = rot, 2 = orange und 1 = gelb). Diese Distanzen gelten hauptsächlich für die beiden Körnererbsenkategorien Sommerund Wintererbse, sowie Gemüseerbsenvermehrungen. Da bei den grün geernteten Gemüseerbsen Sachsens der Befall generell niedrig war (Abbildung 22, Sachsen, GE), wurde zunächst die erprobte Pufferzone von 500 m zugeteilt (vgl. Thöming et al. 2011), die sich auf die früh gesäten Saatstaffeln der Standardsorte 'Avola' bezieht.

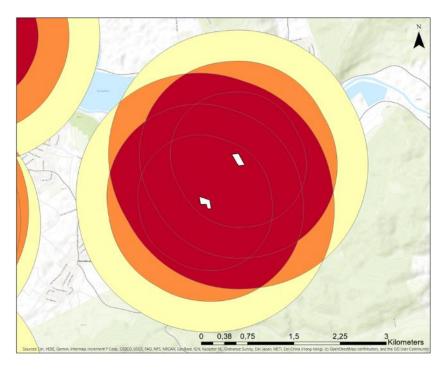


Abbildung 26: Risikokarte mit Pufferzonen und sich überlagernden Risikoklassen (die weißen Flächen stellen exemplarisch zwei Vorjahresflächen dar).

In Abbildung 27 ist der Output einer Punktabfrage zur Risikokonstellation aus Abbildung 26 dargestellt. Mit dieser Entscheidungshilfe sollen Anwender Bereiche mit hohem, und geringem Befallsrisiko einschätzen und auch die Richtung abnehmender Befallsrisiken beurteilen können.

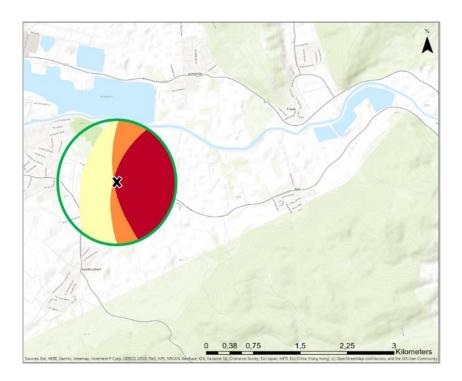


Abbildung 27: Befallsrisikoabfrage anhand der Risikokarte mit 2000m Durchmesser, basierend auf der Riskokonstellation aus.

## 7.5.1.1 ISIP Output mit Zwischenlösung

Die zukünftige und länderübergreifende Nutzung von InVeKoS-Daten als Datenquelle zur Lage vorjähriger Erbsenflächen wäre ein anzustrebendes Fernziel. Derzeit stehen dem aber noch administrative Hemmnisse bei den zuständigen Landesbehörden entgegen. Deshalb wurde übergangsweise folgende Zwischenlösung entwickelt: Der Anwender kann nun händisch die Vorjahresschläge als Punkt in der Karte auswählen, inkl. der Kulturform Futter-/Vermehrungsoder Gemüseerbse, sowie die Lage des geplanten Schlages auf isip.de eingeben (Abbildung 28) und bekommt dann wie oben beschrieben denselben Output als Risikokartenausschnitt angezeigt (Abbildung 29).

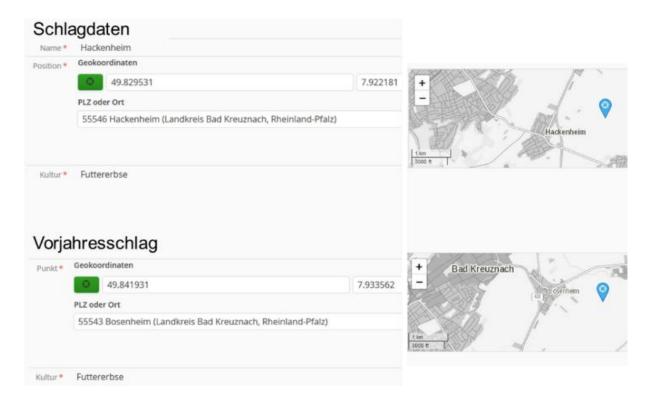


Abbildung 28: ISIP-Maske zum Anlegen eines geplanten Schlages, sowie der Vorjahresschläge in der Umgebung.

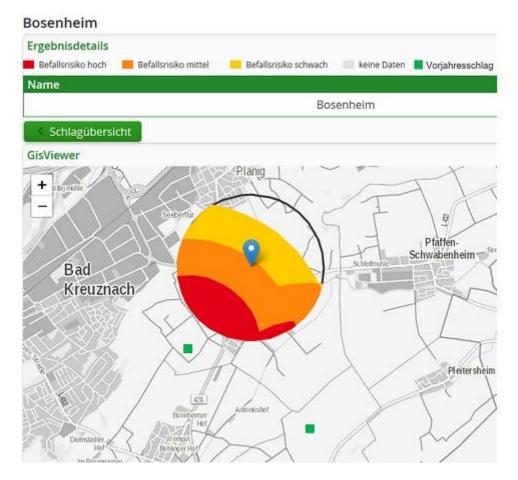


Abbildung 29: ISIP-Output mit dem Befallsrisiko für den geplanten Schlag.

# 8 Diskussion

Anhand der umfänglichen Basisdaten aus drei Modellregionen mit jeweils unterschiedlichen Anbaudichten und Anbauschwerpunkten konnten die beiden Sub-Modelle "Entwicklung" und "Migration" erfolgreich ausgestaltet und erste validierte Ausbaustufen dargestellt werden. Im fortschreitenden Projekt wurden aber auch prognoserelevante Unterschiede in Bezug auf die jeweiligen Erbsenkulturformen offensichtlich.

## 8.1 Basisdaten Erbsenwickler-Entwicklung

Die Basisdaten für das Sub-Modell "Entwicklung" wurden zunächst auf mögliche weitere Einflussgrößen, zusätzlich zur Temperatur, abgeprüft und ließen sich dann in ein universell anwendbares Modell zur Entwicklung des Zielschädlings vom Falterschlupf bis zum Auftreten der L1 Larven überführen.

Dem von Thöming und Saucke (2010) vorgeschlagenen Einfluss der Photoperiode auf den Erbsenwicklerschlupf und damit auch eine eventuelle Funktion der Tageslichtlänge bei der Diapausebrechung musste in diesem Projekt nachgegangen werden. Den Anlass für die Annahme einer kritischen Tagesslänge für den Falterschlupf bildeten zwei Untersuchungsjahre mit zwei einander sehr ähnlichen Witterungsverläufen im Frühjahr. Das Erreichen einer bestimmten Temperatursumme bis zum Falterschlupf korrelierte in diesen beiden Jahren eng mit dem 01.04. und 14h Tageslänge. Die daraufhin in CYDNIGPRO gezielt kontrastierten Temperatur- und Lichtregime der Klimakammerversuche konnten dies nun widerlegen (vgl. 6.3.2) und decken sich mit anderen Arbeiten, wie denen von Nußbaum (1976) und Stenmark (1971), welche die Temperatur als entscheidenden Einflussfaktor definierten, sodass ein Einfluss der Photoperiode ausgeschlossen werden konnte.

### 8.1.1 Falterschlupf Entwicklungsnullpunkt

Temperaturabhängige Entwicklungen von Insekten werden häufig mithilfe der Entwicklungsrate (1/Tage) beschrieben (Sharpe und DeMichele 1977; Wagner et al. 1984; Damos und Savopoulou-Soultani 2012). Nachdem der Einfluss der Photoperiode ausgeschlossen war, wurde nur die Temperatur für die Berechnung der Entwicklungsrate und des Entwicklungsnullpunktes herangezogen. Die Abhängigkeit zwischen Temperatur und Entwicklungsrate bis zum Schlupf des adulten Tieres konnten mithilfe des Brière-2-modells (Brière et al., 1999)) beschrieben werden. Der aus der Brière-Funktion (Abbildung 7) resultierende Entwicklungsnullpunkt von 8,14°C für die Weiterentwicklung von Larvenkokons bis zum Schlupf liegt etwas unterhalb der aus der Literatur bekannten Nullpunktberechnungen

für *C. nigricana*. Sowohl Nußbaum (1976), als auch Stenmark (1971) schlugen einen Entwicklungsnullpunkt um die 10 °C für die Entwicklung nach der Diapause vor, Lewis et al. (1975a) ermittelten 9,4°C für die Entwicklung von Eiern. Allerdings nutzen alle bisher vorhandenen Studien ein lineares Modell zur Schätzung der Entwicklungsnullpunkte. Da jedoch lineare Modelle die tatsächliche Abhängigkeit der Entwicklung von der Temperatur bei sehr niedrigen und sehr hohen Temperaturen nur ungenau beschreiben (Logan et al. 1976; Damos und Savopoulou-Soultani 2012; Rebaudo und Rabhi 2018a) und damit auch die Berechnung einer Optimal- und Maximaltemeratur nicht möglich ist, wurde das nicht lineare Brière-2 Modell zur Parameterberechnung verwendet.

### 8.1.1.1 Falterschlupf nach Modellregion

Um die Generalisierbarkeit des EHS einschätzen zu können, waren Einflüsse der regionalen Herkünfte auf den durchschnittlichen Schlupfzeitpunkt abzuprüfen. Für Larvenherkünfte aus Sachsen und Hessen bestand kein signifikanter Unterschied. Für die dritte Modellregion Sachsen-Anhalt konnte auf Grund der ungewöhnlich niedrigen Schlupfrate keine Aussage getroffen werden. Unterschiedliche Breitengrade können die im Mittel zum Schlupf benötigte Temperatursumme beeinflussen (Jones et al. 2013). Die Breitengrade waren hier aber für alle drei Modellregionen sehr ähnlich (Abbildung 1), sodass auch deshalb Herkunftseffekte für den Falterschlupf als unwesentlich angenommen werden können.

### 8.1.1.2 Falterschlupf nach Früh- und Spätbefall im Vorjahr

Für die Modellierung der Populationsdynamik war es weiterhin notwendig auszuschließen, dass verzettelter Falterflug nicht auf Teil-Kohorten des Zielschädlings mit evtl. abweichenden Abschlupfverläufen beruht. **Zeitlich** kontrastierte Larvensammlungen als Kohorten des frühestmöglichen und sehr späten Befalls (Pkt. 7.1.2.2) hatten einen nur marginalen Einfluss von 1-3 Tagen auf den Schlupfzeitpunkt im Folgejahr (Tabelle 6).

Ebenfalls waren Einflüsse der Wirtsphänologie der **Kulturform** (Abbildung 8) in ihren möglichen Nachwirkungen auf den Schlupfverlauf im Folgejahr abzuprüfen. Der ca. 5-tägige BBCH-Wachstumsvorsprung blühender Wintererbsen sowie das um ca. 7 Tage frühere Verlassen der Hülsen der L5-Stadien wirkten sich nicht verfrühend auf den Falterschlupf im Folgejahr aus. Die marginale Differenz von 2 Tagen war nicht signifikant. Folglich konnte ausgeschlossen werden, dass die mehrgipfligen Fallenfänge auf frühe-, bzw. späte Teilpopulationen zurückgingen und dass sich früh fliegende Tiere aus früh blühenden Wintererbsen, bzw. späte Falterfänge sich aus späten Sommererbsen der Vorjahre rekrutierten (Tabelle 7).

## 8.1.1.3 Überprüfung univoltiner versus bivoltiner Wickerflug

Obwohl der Erbsenwickler in der Literatur als vorwiegend univoltin beschrieben wird (Langenbuch (1941); Stenmark (1974)), gibt es auch einige Studien, die auf eine mögliche zweite Generation hinweisen (Nicolaisen (1928b); Hanson und Webster (1936); Nußbaum (1976)). Dass eine zweite Generation möglich ist, konnte in Klimakammerversuchen bestätigt werden. Ungefähr ein bis zwei Prozent der Wickler in Gewächshausansätzen schlüpften ohne Diapause im gleichen Jahr (7.1.2.3, Tabelle 8). Im Feld konnte sowohl im Jahr 2017 als auch im Jahr 2019 keine zweite Generation nachgewiesen werden und ist für Jahre mit ähnlichen Temperaturen zwischen Juni bis August nicht wahrscheinlich und für das Modell bisher nicht relevant. Sollte sich ein Witterungstrend zu weiter erhöhten Frühjahrstemperaturen erhärten, bedarf diese Fragestellung aber einer erneuten Prüfung, da dieser Aspekt für das gesamte Befallsgeschehen von fundamentaler Bedeutung ist.

## 8.1.2 Pheromonfallen-Monitoring

Das Pheromonfallen-Monitoring auf aktuellen Winter- und Sommererbsenschlägen als Empfängerflächen unterstrich den potenziell hohen Stellenwert von Winterkörnererbsen für das Befallsgeschehen in der Modellregion **Hessen**. Die Befallsanalyse (Abbildung 10) zur zeitlichen Koinzidenz von Wicklerflug mit befallsfähigen Hülsen ab BBCH 60 zeigt, dass der frühe Blühbeginn und nicht-determinierte Wuchs wie z.B. bei der gängigen Wintererbsensorte EFB33, zu den längsten Expositionszeiten und höchsten Befallswerten führte, was mehrere Autoren als sortenübergreifend maßgeblichen Befallsfaktor beschreiben (Hanson und Webster 1936; Wright et al. 1951a). Durch den späten Anbau und die entsprechend spät einsetzende Blüte der Sommerkörnererbsen in der Modellregion Hessen war das Befallszeitfenster entsprechend kürzer (Abbildung 21). Im Jahr 2019 wurden in der Modellregion Hessen erstmals auch neuere Winterkörnererbsen (Sorte 'Fresnel') angebaut, die sich durch extrem frühe Blüte und determinierten Wuchs ohne Nachblüte auszeichneten. Diese drei Flächen waren dafür verantwortlich, dass der BBCH 60-Median des Boxplots ca. 20 Tage vor dem zeitlichen Erstauftreten männlicher Falter lag (Abbildung 10).

In Sachsen erfolgte der erste Faltereinflug in Gemüseerbsenfrühsaaten, die bereits in Vollblüte standen, während länger blühende und ausreifende Sommerkörnererbsen länger befallsexponiert und stärker geschädigt wurden (Abbildung 10). In Sachsen-Anhalt, mit abreifenden Vermehrungsschlägen (keine Frühsaat, keine Grünernte) war die zeitliche Befallsexposition entsprechend länger.

# 8.2 Sub-Modell Erbsenwickler-Entwicklung

## 8.2.1 Modellierung Erbsenwickler-Entwicklung (Modul 3)

Mit der Anpassung der Entwicklungsdaten in die Modellgleichung steht ein Prototyp des Moduls 3 der Entwicklung des Erbsenwicklers zur Verfügung (Abbildung 11). In das Modell flossen Daten aus den Klimakammerversuchen ein, die unter kontrollierten Bedingungen erfasst wurden, als auch aus dem Freiland-Monitoring. Zum Validieren wurden die empirischen Freilanddaten verwendet. Anhand der Modellierung der einzelnen Entwicklungsstadien, kann deren Auftreten prozentual vorhergesagt werden. Diese galten als Basis der Diskriminanzfunktionen, die das Erstauftreten der Falter in Erbsenschlag (FF-Funktion, Abbildung 12), deren Zunahme (Delta\_A-Funktion, Abbildung 13) sowie das Auftreten der L1-Larven (L1-Funktion, Abbildung 14) in Abhängigkeit zur Temperatursumme berechnen. Durch diese Funktionen kann im Modul 3 des EHS Empfehlungen, wie den Flugbeginn und somit das Aufstellen einer Pheromonfalle, bzw. die 1. Insektizidmaßnahme ab dem Überschreiten der Schwellenwerte ("Cut-off"-Werte) herausgegeben werden.

Die Modellgüte konnte am besten durch den AUC-Wert beschrieben werden. Die FF-Funktion konnte zu 0,86 %(Tabelle 10) der eingehenden Daten erklärt werden, die Delta\_A-Funktion durch 0,80 % (Tabelle 11) der Daten und die L1-Funktion durch 0,67 % (Tabelle 12) der Daten. Wäre der Wert bei 0,5, würde das Modell nur Zufallsvariablen herausgeben.

### 8.2.2 Validierung

Die Validierung der Diskriminanzfunktionen war bei der Zusammenfassung aller Fälle bei der FF-Funktion mit 91,25 % am besten und bei der L1-Funktion mit 53,00 % nicht ganz so gut. Sehr gut bis zufrieden stellend wurden das Auftreten der ersten Falter mit 99,66 % (Tabelle 13), die Zunahme <7 Falter mit 84,68 % (Tabelle 14) und das Auftreten der L1 mit 53,00 % (Tabelle 15) vorhergesagt. Die Modelle der FF-Funktion und der L1-Funktion haben eher überschätzt, was bei dem Gesamtergebnis des Entscheidungshilfesystems besser ist als eine Unterschätzung. In diesen Fällen hat das Modell ein Auftreten vorhergesagt, obwohl die empirischen Daten kein Auftreten aufwiesen. Dies war bei der Delta\_A-Funktion der Fall, hier hat das Modell öfter nicht ausgelöst, obwohl eine Zunahme von ≥7 Faltern vorhanden war. Im Entscheidungshilfesystem ist das Auftreten der L1-Larven für eine Direktbekämpfung am wichtigsten, somit ist auch hier die Überschätzung besser als eine Unterschätzung. Bei der Delta\_A-Funktion geht es lediglich um die Zunahme des Falterauftretens, diese Daten dienen der Empfehlung eine Pheromonfalle aufzustellen, da der Falterflug zunimmt.

Dieses Modul muss in Zukunft weiter validiert und gegebenenfalls angepasst werden, damit die Vorhersage immer präziser werden kann (vergl. 8.6).

# 8.3 Basisdaten Erbsen-Entwicklung

Aufgrund der unterschiedlichen Anbauschwerpunkte in den drei Modellregionen konnten insgesamt drei Simulationsmodelle für die Erbsen-Entwicklung erstellt werden. Im Laufe der Basisdatenerhebungen wurde es ab 2018 für die Modellregion Hessen außerplanmäßig notwendig, die Wirtspflanzenkategorie ausreifende Sommererbsen um die Kategorie ausreifende Winterkörnererbsen zu erweitern. Die Datenmächtigkeit zu Winterkörnererbsen ist zum jetzigen Zeitpunkt noch zu gering, bis eine validierte Simulation vorgelegt werden kann.

## 8.3.1 Modellierung Erbsen-Entwicklung

In dem Modul "SIMONTO"-Erbse wurden drei Modelle entwickelt, die die Ontogenese der Erbse in BBCH-Stadien berechnen. Es wurde je ein Modell für Sommerkörnererbsen, für Gemüseerbsen mit früher Aussaat und Gemüseerbsen mit später Aussaat erstellt. Insgesamt konnte hier ein sehr gutes Ergebnis erzielt werden. Das zeigten die Validierungsergebnisse der Praxisvalidierung (Tabelle 16) und der linearen Regression (Tabelle 17). Bei der Praxisvalidierung aller Stadien konnte eine Genauigkeit von bis zu 85,7 % bei der Gemüseerbse (frühe Aussaat) erzielt werden. Auch die Modelle für die Sommererbse und die Gemüseerbse (späte Aussaat), mit 77,6 % und 82,2 % korrekten Vorhersagen, sind sehr genau. Solange das Modell die Entwicklung der Erbse überschätzt, ist es besser als eine Unterschätzung. Diese würde sonst dazu führen, dass BBCH-Stadien zu spät prognostiziert werden und dadurch eventuelle Warnungen zu spät gemeldet werden. Die Über- und Unterschätzungen der Praxisvalidierung entstanden bei der Futtererbse hauptsächlich bei den Entwicklungsstadien der Blattentwicklung (52 %), des Längenwachstums, sowie am Ende der Reifephase (27 %). Diese Ungenauigkeit könnte auch durch die Bonitur dieser Stadien passieren, da z. B. die Blattentwicklung der letzten Blätter und das Längenwachstum auch simultan stattfinden kann. Diese Fälle sind manchmal schwer zu erkennen. Für das Entscheidungshilfesystem sind allerdings die Stadien der Knospenbildung, die Blüte und die Hülsenbildung am wichtigsten. Diese Stadien konnten mit einer Korrektheit von bis zu 92,4 % sehr genau vorhergesagt werden (Daten nicht abgebildet). Die lineare Regression zeigt eine sehr gute Übereinstimmung der berechneten und bonitierten Entwicklungsstadien. Die Steigung aller drei Modelle lag zwischen 0,96 und 1,03 und war hoch signifikant (p < 0,0001). In der Vergangenheit wurden mehrere Entwicklungsmodelle entwickelt, die allerdings nur bestimmte Entwicklungsphasen berechnen konnten (Bourgeois et al., (2000); Summerfield und Roberts, (1988); (Roche et al.

1999)). Die Modelle aus diesem Projekt sind allerdings die ersten, die auf detaillierten BBCH-Stadien basieren. Somit können diese Modelle unter Feldbedingungen angewandt werden.

## 8.3.2 ISIP Output Befallsprognose

Durch das Modul 3 konnte eine Befallsprognose für den Beginn bzw. die Zunahme des Falterfluges, sowie für das Auftreten des Larvenstadiums 1 entwickelt werden. Diese sind wiederum an das Modul 2 geknüpft und können erst eine Empfehlung auslösen, wenn bestimmte schlagspezifische Entwicklungsstadien der Erbsen überschritten sind, um eine Plausibilität des Befallsgeschehens herzustellen. In den Abbildung 17 und Abbildung 18 ist das Layout wie es auf www.isip.de aussieht dargestellt. Für die Anwendung der Module muss der Anwender lediglich den Standort und die Kulturform, die aus dem Modul 1 übernommen werden, sowie das Aussaatdatum angegeben. Die Empfehlungen werden dann für jeden Schlag farblich gekennzeichnet.

## 8.4 Basisdaten Räumliche Befallsanalyse MD

#### 8.4.1 MD-Befallskorrelationen

Ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Abstand nächstgelegenen Vorjahresschlägen und der Erbsenwickerbefallsstärke konnte vor allem bei Starkbefall in in Sachsen-Anhalt nachgewiesen werden, wenn kulturformjahresübergreifend ausgewertet wurde (Abbildung 20). Diesem Muster entsprechen auch die Ergebnisse von Huusela-Veistola und Jauhiainen (2006) für Sommererbsen als die dort dominierende Kulturform. Thöming et al. (2011) fanden ebenfalls einen exponentiellen Rückgang des Befalls mit ansteigender Distanz bei früh gesäten Gemüseerbsen, was aber bei ausreifenden Sommerkörnererbsen nicht mehr absicherbar war.

Dieser Zusammenhang wurde in **Hessen** vor allem von Winterkörnererbsen und **in Sachsen-Anhalt** von Sommerkörnererbsen bestimmt. Besonders hohe Befallswerte wiesen solche Schläge auf, die weniger als 500 Meter von der Vorjahresfläche entfernt waren.

Deutlich abweichend von den sonst gut reproduzierbaren Winterkörnererbsen MD-Befallskorrelationen für die Modellregion Hessen und der praxisüblichen Sorte 'EFB33' (Abbildung 21, Hessen 2017, 2018) tendierte das Befallsmuster der neuere Wintererbsensorte 'Fresnel' in 2019 gegen 0. Aufgrund der extrem frühen Blüte war das attraktive BBCH-60 Stadium bereits vor dem ersten Wicklerflug durchlaufen (Abbildung 10). Solche Flächen wurden kaum noch zur Eiablage angeflogen, sodass praktisch distanzunabhängiger Geringbefall vorlag.

Für die Gemüseerbsen-Region in **Sachsen** war das Befallsniveau aus den unter Pkt. 8.1.2 besprochen Gründen insgesamt geringer und die MD-Befall-Korrelationsgüte war weder für Gemüseerbsen noch für Sommerkörnererbsen signifikant (Abbildung 22). Zusätzlich zur Befallsprävention durch Frühsaat und Grünernte wird auch der mehr als doppelt so hohe Flächenanteil von Gemüseerbsen im Anbaumosaik beiteiligt sein (Tabelle 1). Gemüseerbsen-Frühsaaten fungierten daher eher als "sink" und weniger als "source" und werden zu insgesamt niedrigem Befall in der gesamten Region beigetragen haben, was sich durch vorherrschende Insektizidmaßnahmen auf praktisch allen integrierten Flächen weiter verstärkt haben dürfte.

Die nach Kulturform aufgeteilten (Abbildung 21, Abbildung 22, Abbildung 23) lassen zusätzlich indirekte Rückschlüsse auf den Migrationsprozess von Erbsenwicklern im Anbaumosaik zu. Nur die im optimalen Zeitfenster des Wicklerfluges blühenden und somit befallsexponierten Wintererbsen in Hessen (mit Ausnahme der sehr früh blühenden Sorte Fresnel in 2019) und Sommererbsen in Sachsen zeigten das beste MD-Befallskorrelationsergebnis, da geringe MDs <500m meist auch die jeweils höchsten Befallswerte aufwiesen. Bei den Sommererbsen waren allerdings auch Flächenkonstellationen dabei, die selbst bei kurzer Schlagdistanz Geringbefall aufwiesen, sodass sich distanzbasierte Risikobeziehungen abschwächten. Eine mögliche Erklärung für die Punktewolke "Geringbefall < 10% um geringe MDs zwischen 0-1000 m² liegt wahrscheinlich darin, dass Winterkörnererbsen das hohe Befallsprotential der nächstgelegenen Geberfläche von Beginn der Flugsaison durchgehend binden und Sommerkörnererbsen mit später einsetzender Blüte (Abbildung 10) entsprechend weniger, sodass häufiger moderate Befallswerte auch bei geringen MDs auftraten.

Insgesamt wurden bereits zu Projektbeginn festgestellt, dass der in der Projektskizze formulierte Ansatzpunkt Schlagdistanz durch die hohe Akzeptanzquote der zwischenzeitlich implementierten Eiweißpflanzenstrategie beeinflusst wurde, da dies zu geringeren Anbauabständen für Erbsen im Anbaumosaik führte. Einen zusätzlich mindernden Einfluss auf den Faktor Schlagdistanz hatten a) auch spezifische Flächenausstattungen der Einzelbetriebe und b) der topographiebedingte Anbau von Erbsen in flussnahen Tallagen. Insbesondere in der Modellregion Hessen lagen betrieblich bedingt teils arrondierte Anbaukonstellationen vor (Abbildung 2), sodass die präventive Stellgröße Distanz weniger zum Tragen kam, als es von der Flächenzahl und bei einer zufälligen Verteilung im Gesamtgebiet zu erwarten wäre. Dennoch ergaben sich auch bei diesen heterogenen Ausgangslagen reproduzierbare und für die Modellierung verwertbare räumliche Befallsmuster (7.5.1).

#### 8.4.1.1 Flugbedingungen & Wanderleistung

Die Erwartung, dass mit zunehmender Schlagdistanz auch die Zeitdifferenzen bis zum Eintreffen von Wicklern an Pheromonfallen zunehmen, traf teilweise auf Körnererbsen in Hessen zu, wenn auch mit sehr weiter Streuung und einigen Ausreißerwerten (Abbildung 24). neben Hierzu ist festzustellen, dass der generellen Methodenkritik zum Pheromonfallemonitoring (vergl. 6.3.5, 8.1.2), das "harte" Kriterium "erster Falter in Falle" reproduzierbare Ergebnisse lieferte. Aufgrund der vorherrschenden Rahmenbedingungen mit geringen Flächendistanzen (= geringe Migrationszeitfenster, vergl. 7.4) war das alternative Ausweichen auf willkürlich festgesetzte, aber evtl. weniger störungssensible Schwellenwerte (z.B. Falterfänge ab >10 Tiere) in Vorauswertungen nicht besser prognoseverwertbar. Aufgrund der begrenzten Zahl geeigneter Körnererbsenflächen und der hohen Schwankungsbreite in den weiteren Modellregionen (Abbildung 25), war die vorliegende Datenlage nicht hinreichend generalisierbar, womit leider auch der Anknüpfungspunkt geeignete Flugbedingen mit TM 3 FLUGBED (=windarme Schönwetterphasen am späten Nachmittag flugaktiv (Fröhlich & Sarwar, 1976) entfiel.

Allerdings sind bezüglich wetterbasierter Prognosen für Flugbedingungen auch Einschränkungen zu beachten, beispielsweise dass die lokale Windrichtung nur in unmittelbarer Nähe einer Wetterstation erfasst werden kann. Außerdem können keine Aussagen über die tatsächlichen Luftströmungen an allen aktuellen Erbsenflächen ermittelt werden, sodass eine direkte Interpolation der Windrichtung zur Interpretation der Attraktionsrichtung für migrierende Wickler ohne Direktbeobachtung vor Ort (8.6 TM 3: Flugbed) kaum zielführend ist. Somit konnte in dieser ersten Analyse kein direkt verwertbares Ergebnis für die Ausgestaltung von **TM 5** erzielt werden.

Vorauswertungen für das **TM 4,** FELDGEO, als Befallskorrelationen mit feldgeometrischen Flächendaten und zum Vorbefall ergaben keine aussichtsreichen Ergebnisse, teils, weil keine geeigneten Waldbarrieren im Modellgebiet nutzbar waren, weshalb für diese Ausbaustufe auf deren Einbeziehung verzichtet werden musste.

## 8.5 Sub-Modell "Migration" (TM 1, TM 4)

## 8.5.1 Räumliche und zeitliche Befallsanalyse

Insgesamt wird zusammen mit der Ergebnislage zum Sub-Modell Entwicklung erkennbar, dass eine räumliche Risikoanalyse durch den Einbezug des Blütezeitpunktes an Aussagekraft gewinnt (8.4.1). Da der Blühbeginn jedoch temperaturabhängig ist und somit nur etwa drei Tage im Voraus prognostizierbar ist (vgl. 7.3), kann er nicht sinnvoll in die Entwicklung einer

Risikokarte integriert werden. Die Einteilung nach Kulturformen hat sich für das Tool Risikokarte als wertvoll erwiesen und sollte zukünftig auch um eine differenzierte Betrachtung der Kulturform Winterkörnererbse ergänzt werden (s.u. 8.6). Für die jetzige Ausbaustufe beschränkt die Erstellung der Risikokarte daher auf die räumlichen Risikofaktoren.

#### 8.5.2 Modul "Risikokarte"

Mit der Risikokarte als Entscheidungshilfe kann ein wesentlicher Teil zum integrierten Pflanzenschutz beigetragen werden. Es kann durch die Einhaltung größerer Distanzen vor allem bei Sommer-, Winter- und Vermehrungserbsen das Befallsrisiko vermindert werden. Gerade Abbildung 19 zeigt sehr deutlich, dass häufig relativ nah zum Vorjahresschlag angebaut wurde, was durch die Nutzung des Planungstools gezielt vermieden werden kann. Für die zukünftige Nutzung des Tools ist es wichtig, Vorjahresschläge flächendeckend zu kennen. Die bei den Landesämtern als InVeKos-Daten vorliegenden Flächeninformationen zur Lage und Bestellung der Vorjahresschläge wäre hier von großem Wert. Als alternative, ergänzende Methode werden in naher Zukunft Satellitenbilder als Datenquelle zur Verfügung stehen (Hartmann et al. 2008; Lilienthal und Greef 2017) und in der Hintergrundberechnung auf isip.de implementiert werden.

Bis eine solche Datenquelle verfügbar ist wurde für das Internetportal www.isip.de die Zwischenlösung (Abbildung 28 und Abbildung 29) entwickelt. Der Nachteil dieser Zwischenlösung ist, dass der Nutzer Zeit investieren muss, um die Schläge anzulegen und dass ihm alle Schläge bekannt sein müssen.

Der große Vorteil dieses Distanz-Planungstools ist, dass es mit passenden Rotations-Distanz Daten auch an andere Schaderreger bzw. Kulturen angepasst werden kann, wie z. B. die Erbsengallmücke, den Kartoffelkäfer oder den Maiswurzelbohrer, die wirtsspezifisch sind und ebenfalls schlaggenau auf Vorjahresflächen überwintern. Falls es mehrere Wirte gibt, können auch diese in die Berechnungen mit einfließen. Somit kann man sich die Zeit und Kosten für die Entwicklung weiterer Tools sparen, da das bestehende Modell anhand weniger Parameter angepasst werden kann.

## 8.6 Mögliche zukünftige Untersuchungen

Die zukünftigen Anwendungsmöglichkeiten hängen vom nutzbaren Spielraum der konkreten Anbaukonstellation in einer Testregion ab. Ein geeignetes Umfeld für Validierungen und die Überprüfung der Prognosegüte können Praxisbetriebe des "Demonstrationsnetzwerkes Erbsen und Bohnen" ab 2021 bieten.

**TM1 Distanz:** Die Reproduzierbarkeit der Prognoseergebnisse in weiteren Regionen mit anderen Flächenkonstellationen wird abzuprüfen sein. Sollten zukünftig Satellitendaten nutzbar werden, kann dies ein eleganter Weg zur Lokalisierung von Vorjahresflächen darstellen. Hier sind Trefferquoten, also Wiedererkennung von Erbsen (-Kulturformen), Verunkrautung, Reinsaat-, Mischanbauflächen von Interesse.

**TM 2: Bobearb:** Damit genaue Aussagen über die Bodenbearbeitung getroffen werden können, sollten Exaktversuche mit unterschiedlich bearbeiteten Parzellen auf einem Schlag durchgeführt werden. Um den Befall in etwa gleichstark zu simulieren, sollte man auch eine bestimmte Anzahl befallener Hülsen pro Parzelle ausbringen. Anschließend sollten im Frühjahr dem Schlupf die Kokons ausgegraben werden und deren Vitalität untersucht werden. Eine Differenzierung der Bodenbearbeitung und Häufigkeit sollte in Hinblick auf Nachfrüchte (Winterung, Sommerung) erfolgen. Evtl. besteht doch Anwendungspotenzial aufgrund der flacheren Bodenposition für die Puppenkokons im Frühjahr, die dann bei der Bodenbestellung für Sommerungen stärker erfasst werden könnten.

**TM 3: Flugbed:** Falls der Aspekt Flugbedingungen und tägliche Wanderstrecken in Zukunft noch einmal aufgegriffen werden soll, könnten zum Beispiel Pheromonfallen mehrmals täglich kontrolliert werden und/oder mit Hilfe von Trapview Systemen (www.trapview.com) genaue tageszeitliche Untersuchungen durchgeführt werden. Dafür sollten geeignete Flächenkonstellationen als Flächenpaar Vorjahres- und aktuelle Fläche in unmittelbarer Nähe einer Wetterstation genutzt werden, um die tatsächlichen lokalen Witterungsverhältnisse mit Luftbewegungen abbilden zu können.

Modul 9 Phaeno: Der Ausbau des SIMONTO-Winterkörnererbse sollte weiter vorangetrieben werden und die Differenzierung in ein weiteres "SIMONTO-determinierte Wintererbsen" ist ebenfalls angezeigt. Dies könnte in Rahmen eines wissenschaftlich begleiteten Sortenscreenings bei hohem Wickerbefallsdruck geschehen. Winterkörnererbsen wie 'Fresnel' könnten nach Überprüfung eine besonders vielversprechende Regulierungsoption sein, da deren Geberflächenpotenzial insbesondere für Regionen mit Gemüseerbsenschwerpunkt weniger konfliktbehaftet wäre, als bei herkömmlichen Winterkörner-, Sommerkörnererbsen.

# 9 Verwertung

Nach der vollständigen Implementierung auf www.isip.de kann das Entscheidungshilfesystem zunächst von Beratern und anderen Testpersonen abgerufen werden. Nach weiteren positiven Validierungsergebnissen kann es auch für Landwirte freigeschaltet werden.

# 10 Beitrag der Ergebnisse zu förderpolitischen Zielen

Der Projektansatz war von Beginn an partizipativ gestaltet. Auf Grundlage von empirischen Praxisdaten wurde ein kontinuierlicher Informationsaustausch zur Ergebnislage zwischen den Betriebsleitern und den Verbundpartnern aus Offizialberatung und wissenschaftlicher Begleitung umgesetzt und ist von allen Betriebsleitern der Modellregionen mit großem Interesse und unter engagierter Mitwirkung gemeinsam ausgestaltet worden. Die Bereitschaft das EHS für konkrete Paxissituationen im Körnerleguminosenanbau testen zu wollen, ist dementsprechend hoch. CYDNIGPRO kann somit einen wertvollen Beitrag zum integrierten Pflanzenschutz in Körnerleguminosen leisten und das erarbeitete Konzept kann potenziell auch auf weitere landwirtschaftliche Kulturen mit ähnlichen Grundvoraussetzungen angepasst werden.

# 11 Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu den tatsächlich erreichten Zielen

Die wesentlichen Teilziele, die für die EHS-Entwicklung gesetzten wurden, sind erreicht worden und umfassen

- A1) ein <u>räumliches</u> GIS basiertes Modell, mit Schlagdistanzen zur Einschätzung der Schlaggefährdung;
- A2) ein <u>zeitliches</u> Simulationsmodell für Vorhersagen zur Koinzidenz des Befallsgeschehens mit Flugaktivität und befallsempfindlichen Phasen in der Pflanzenphänologie über Temperatursummendaten und
- **Meilenstein B)** zur Befallsprävention, bzw. Bekämpfungsstrategie.

Mit dieser Ausbaustufe können mit dem Planungstool "Risikokarte" erste Risikoeinschätzungen unter Berücksichtigung der Kulturform in drei Empfehlungskategorien erfolgen:

- a) stark **risikobehaftet**, Direktbekämpfung empfehlenswert, bei Gemüseerbsen strikte Einhaltung Frühsaatstrategie
- b) **risikoschwach**, Frühsaatstrategie bei Gemüseerbsen erforderlich, bedingtes Bekämpfungserfordernis in Futtererbsen

c) und **risikoarm**, Direktbekämpfungsverzicht möglich, bzw. eine nächstspätere Gemüseerbsensaatstaffeln kann erwogen werden.

Nach Abprüfen geeigneter Ausweichmöglichkeiten für konfliktträchtige Anbausituationen und getroffener Flächenwahl für die jeweilige Kulturnutzungsform lassen sich über das Sub-Modul "Entwicklung" bei optimale Bekämpfungszeitpunkte mit 3-tägigem Vorhersagezeitraum treffen.

## Öffentlichkeitsarbeit

- Schieler, M.; Kleinhenz, B.; Racca, P.; Riemer, N.; Saucke, H. (2020): Erbsenwicklerschäden mit digitaler Hilfe vorbeugen. In: Rheinische Bauernzeitung, 19, S. 20–22.
- Schieler, M.; Kleinhenz, B.; Racca, P.; Riemer, N.; Saucke, H. (2020): Erbsenwicklerschäden mit digitaler Hilfe vorbeugen. In: DLG Raps Spezial Körnerleguminosen, 38 (3/2020), S. 13-15.
- Schwabe, K . (2020): Entscheidungshilfemodell zur Bekämpfung des Erbsenwicklers in Körnerleguminosen. Vortrag Fachseminar Pflanzenschutz im Ackerbau, LLG Sachsen-Anhalt, Bernburg 05.02.2020.
- Riemer N.; Schieler M.; Saucke H. (2019): Schlagdistanz als Einflußgröße auf den Erbsenwicklerbefall (Cydia nigricana). In: Mühlrath, Daniel; Albrecht, Joana; Finckh, Maria R.; Hamm, Ulrich; Heß, Jürgen; Knierim, Ute und Möller, Detlev (Hrsg.) Innovatives Denken für eine nachhaltige Land- und Ernährungswirtschaft. Beiträge zur 15. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Kassel, 5. bis 8. März 2019, Verlag Dr. Köster, Berlin
- Saucke H.; Seeger, J.N.; Ziebell, H.; Amari, K.; Then, C.; Möckel, T.; Grüner, E.; Sturm, B.; Nasirahmadi, A.; Shrestha, L.; Böhm, H.; Riemer, N.; Clemenz, C.; Schwabe, K.; Müller, U.; Schieler, M.; Kleinhenz, B. (2018): Ergebnisstand Blattrandkäfer, Nanoviren, Erbsenwickler (2018): Treffen der Verbundpartner und Projektberaterinnen und Projektberater im Projekt DemoNetErBo ein. LLH Kassel, Kölnische Str. 48-50, 27.11.2018.
- Schieler, M.; Clemenz, C.; Kleinhenz, B.; Müller, U.; Riemer, N.; Saucke, H.; Schwabe, K.; Racca, P. (2018): CYDNIGPRO Entwicklung eines Entscheidungshilfesystems zur Prävention von Erbsenwicklerschäden an Erbsen, ZEPP-Tagung in Rostock, 22.01.2019.
- Schieler, M.; Riemer, N.; Meese, B.; Saucke, H.; Racca. P. (2018): CYDNIGPRO Prävention von Erbsenwicklerschäden anhand einer Risikokarte. Vortrag Universität Trier, 10.12.2018.
- Clemenz, C.; Schwabe, K.; Schieler M.; Kleinhenz, B.; Riemer, N.; Saucke, H., (2018): Verbundprojekt zur Entwicklung eines Prognosemodells für den Erbsenwickler (Cydia nigricana) am Beispiel von Sachsen-Anhalt. 61. Deutsche Pflanzenschutztagung. Hohenheim 11.–14.09.2018 (Poster).
- Schieler, M.; Clemenz, C.; Kleinhenz, B.; Müller, U.; Riemer, N.; Saucke, H.; Schwabe, K.; Racca, P. (2018): CYDNIGPRO Entwicklung eines Entscheidungshilfesystems zur Prävention von Erbsenwicklerschäden an Erbsen, Besuch Doktoranden- und Wissenschaftlergruppe des JKI und Mitarbeiter der Fa. Certis, Bad Kreuznach, 27.08.2018
- Schieler M.; Riemer N.; Clemenz C.; Hoffmann B.; Kleinhenz B.; Müller U.; Saucke H.; Schwabe K.; Racca P. (2018): Development of a Decision Support System to prevent damages on peas (Pisum sativum) due to pea moths (Cydia nigricana), XI European Congress of Entomology, Neapel, 03.07.2018.
- Clemenz, C.; Schwabe, K.; Schieler M.; Kleinhenz, B.; Riemer, N.; Saucke, H., (2018): CYDNIPRO und WP1-Anbauplanung Auswertung der 2-jährigen Boniturergebnisse zum Schädlingsauftreten in Leguminosen in Sachsen-Anhalt, 28. DPG-Tagung Arbeitskreis Schädlinge in Getreide und Mais und Leguminosen. Braunschweig, 21.02.2018.
- Riemer, N.; Clemenz, C.; Kleinhenz, B.; Müller, U.; Schieler, M.; Schwabe, K.; Saucke, H. (2018): Der Erbsenwickler (Cydia nigricana) Räumliche Risikofaktoren für die Befallsentwicklung. 28. DPG-Tagung Arbeitskreis Schädlinge in Getreide und Mais und Leguminosen. Braunschweig, 21.02.2018.
- Schieler, M.; Clemenz, C.; Kleinhenz, B.; Müller, U.; Riemer, N.; Saucke, H.; Schwabe, K.; Racca, P. (2018): CYDNIGPRO Aktueller Stand des Entscheidungshilfesystems gegen den Erbsenwickler Cydia nigricana, DPG Arbeitskreis Schädlinge in Getreide, Mais und Leguminosen, Braunschweig, 21.02.2018.
- Riemer, N.; Clemenz, C.; Kleinhenz, B.; Müller, U.; Schieler, M.; Schwabe, K.; Saucke, H. (2018): CYDNIG PRO: Ergebnisbesprechung 2017. Thema: Räumliche Risikoanalyse. Projektvorstellung für die teilnehmenden Betriebe in Nordhessen, Universität Kassel, Witzenhausen, den 14.02.2018

- Schieler, M.; Clemenz, C.; Kleinhenz, B.; Müller, U.; Riemer, N.; Saucke, H.; Schwabe, K.; Racca, P. (2018): CYDNIGPRO Aktueller Stand des Entscheidungshilfesystems gegen den Erbsenwickler Cydia nigricana, Projektvorstellung für die teilnehmenden Betriebe in Nordhessen, Universität Kassel, Witzenhausen, 14.02.2018.
- Schieler, M.; Clemenz, C.; Kleinhenz, B.; Müller, U.; Riemer, N.; Saucke, H.; Schwabe, K.; Racca, P. (2018): CYDNIGPRO Entwicklung eines computergestützten Entscheidungshilfesystems zur Prävention von Erbsenwicklerschäden in Erbsen, 21. Tagung der ZEPP-Arbeitsgruppe Ackerbau, Mainz, 18.01.2018.
- Riemer N.; Schieler M.; Saucke H. (2018): Interaktion zwischen Flächendistanz, Schlupfhistorie und Wirtsphänologie als Stellgrößen für Erbsenwicklerschäden (Cydia nigricana) in Körnererbsen (Sommer- und Wintersorten). 61. Deutsche Pflanzenschutztagung, Universität Hohenheim, Julius-Kühn-Archiv, 461: 347-348.
- Schieler M.; Riemer N.; Saucke H.; Hoffmann B.; Racca P. (2018): "CYDNIGPRO" das Entscheidungshilfesystem zur Prävention von Erbsenwicklerschäden an Erbsen. 61. Deutsche Pflanzenschutztagung, Universität Hohenheim, Julius-Kühn-Archiv, 461: 348-349.
- Saucke, H.; Riemer, N.; Schwabe, K.; Clemenz, C.; Müller, U., Schieler, M.; Kleinhenz, B. (2018): Schädlingsbefall in Erbsen und Ackerbohnen: Konzeptbausteine zur Befallsprognose und Schadensprävention. DLG Feldtage Bernburg, 13.06.2018
- Riemer, N.; Clemenz, C.; Kleinhenz, B.; Müller, U.; Schieler, M.; Schwabe, K.; Saucke, H. (2018): Entwicklung eines computergestützten Entscheidungshilfesystems zur Befallsprognose von Erbsenwicklerschäden. Poster auf den DLG Feldtagen, 12.-14.06.2018. LLG-Bernburg.
- Clemenz, C.; Riemer, N.; Schieler, M., Schwabe, K. Standbetreuung Poster DLG-Feldtage, 12.-14.06.2018, LLG-Bernburg.
- Riemer N.; Schieler M.; Saucke H. (2018): Erbsenwicklerschäden (Cydia nigricana) in Körnererbsen Einflüsse von Flächendistanz und Flächendichte. Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften 30: 159-160 (Poster).
- Schieler, M.; Riemer, N.; Hoffmann, B.; Saucke, H.; Racca, P. (2018): CYDNIGPRO Entwicklung eines Entscheidungshilfesystems zur Prävention von Erbsenwicklerschäden an Erbsen, Seminar P008 T Integrierter Pflanzenbau und Pflanzenschutz im Ackerbau und Grünland, DLR-RNH, Bad Kreuznach, 30.10.2018.
- Riemer, N.; Clemenz, C.; Kleinhenz, B.; Müller, U.; Schieler, M.; Schwabe, K.; Saucke, H. (2018) Der Ackerbohnenkäfer (Bruchus rufimanus) Risikofaktoren für die Befallsentwicklung. Treffen des DemoNetzwerks Erbse/Bohne, Kassel, den 31.01.2018.
- Schieler, M., Riemer, N., Clemenz, C., Hammer-Weis, M., Müller, U., Racca, P., Saucke, H., Schwabe, K., Kleinhenz, B., 2017: Entwicklung eines zeitlichen und räumlichen Entscheidungshilfesystems zur Regulation des Erbsenwicklers *Cydia nigricana*, Fabricius, Entomologentagung 2017, Freising, 15.03.
- Schwabe, K. (2017): Schädlingsauftreten in Blattfrüchten und Konsequenzen für den Pflanzenschutz, Fachseminare Pflanzenschutz im Ackerbau, Iden 25.01. und Bernburg 03.02.
- Riemer N.; Schieler M.; Saucke H. (2017): Prävention von Erbsenwicklerschäden mit Hilfe eines computergestützten Entscheidungshilfesystems. Ökofeldtage 21.-23.06.2017 (Poster).
- Riemer N.; Schieler M.; Saucke H. (2017): Erbsenwickler (*Cydia nigricana*) in Gemüse und Körnererbsen: Mögliche Ansätze einer Risikoanalysezur Schadensprävention. In: Wolfrum, S., Heuwinkel, H., Reents, H.J., Wiesinger, K., Hülsebergen, K.-J. (Hrsg.) Ökologischen Landbau weiterdenken: Verantwortung übernehmen, Vertrauen stärken, Beiträge zur 14. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Freising-Weihnstephan, 7. bis 10. März 2017, Verlag Dr. Köster, Berlin.
- Riemer N.; Schieler M.; Saucke H. (2017): The pea moth (*Cydia nigricana*) in vegetable and grain peas: Basic principles for damage reduction in pea. Bio-Protection Research Center, New Zealand, Christchurch, 15.11.2017.
- Riemer, N.; Schieler, M. (2017): Erbsenwickler (*Cydia nigricana*) in Gemüse-und Körnererbsen: Mögliche Ansätze einer Risikoanalyse zur Schadensprävention. DPG Arbeitskreistreffen Braunschweig DPG 28.-Arbeitskreis Schädlinge in Getreide, Mais und Leguminosen 15.-16.02.2017, JKI Braunschweig,
- Schwabe, K.; Clemenz, C. (2016): CYDNIGPRO und WP1-Anbauplanung Ergebnisse aus dem 1. Projektjahr, Klausurtagung des amtlichen Pflanzenschutzdienstes Sachsen-Anhalt, Bernburg, 14.12.2016.
- Saucke, H.; Riemer, N.; Schwabe, K.; Clemenz, C.; Müller, U., Schieler, M.; Kleinhenz, B. 2016. Schädlingsbefall in Erbsen und Ackerbohnen: Konzeptbausteine zur Befallsprognose und Schadensprävention. Kongress Körnerleguminosen Berlin 3.-4. 11.2016
- Schieler, M. Ergebnisvorstellungen CYDNIGPRO: ErBo-Netzwerk LLH-Kassel, 29,-30, 09,2016,
- Schieler, M.; Riemer, N.; Racca, P.; Saucke, H.; Hammer-Weis, M.; Clemenz, C.; Schwabe, C.; Müller, U.; Kleinhenz, B. (2016): Entwicklung eines computergestüzten Entscheidungshilfemodells zur Prävention von Erbsenwicklerschäden in Körnerleguminosen "CYDNIGPRO" DPST-Tagung Halle, 20.-23.09.2016.

#### 12 Literaturverzeichnis

- Bourgeois, G.; Jenni, S.; Laurence, H.; Tremblay, N. (2000): Improving the Prediction of Processing Pea Maturity Based on the Growing-degree Day Approach. In: *HortScience* 35 (4), S. 611–614.
- Brière, J.-F.; Le Roux, A.-Y.; Pierre, J. S. (1999): A novel rate model of temperature-dependent development for arthropods. In: *Environ. Entomol.* 26 (1), S. 22–29. DOI: 10.1093/ee/28.1.22.
- Damos, P.; Savopoulou-Soultani, M. (2012): Temperature-driven models for insect development and vital thermal requirements. In: *Psyche (Camb. Mass.)* 2012 (1-2), S. 1–13. DOI: 10.1155/2012/123405.
- Dennis, B.; Kemp, W. P.; Beckwith, R. C. (1986): Stochastic Model of Insect Phenology. Estimation and Testing. In: *Environ Entomol* 15 (3), S. 540–546. DOI: 10.1093/ee/15.3.540.
- DWD (2019): Vieljährige Mittelwerte. Wetter und Klima aus einer Hand. Hg. v. Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur. Deutscher Wetterdienst, Frankfurter Straße 135, 63067 Offenbach. Online verfügbar unter https://www.dwd.de/DE/leistungen/klimadatendeutschland/vielj\_mittelwerte.html, zuletzt geprüft am 30.05.2019.
- Fröhlich, G.; Sarwar, S. (1977): Beitrag zur Lebensweise und Entwicklung des Olivbraunen Erbsenwicklers (*Laspeyresia nigricana* Steph.). In: *Archiv für Phytopathologie und Pflanzenschutz* 13, S. 117–125.
- Hanson, A. J.; Webster, R. L. (1936): The pea moth. *Laspeyresia nigricana* Steph. In: *J. agric. res. Wash. D.C.* 327, S. 1–22.
- Hartmann, K.; Lilienthal, H.; Schnug, E. (2008): Optimierung des Erntezeitpunktes von Erbsen durch ein kostengünstiges Verfahren der Fernerkundung. Optimizing the harvest date of fresh peas using low cost remote sensing. In: Mitt. Julius Kühn-Inst. (419), Nachwuchswissenschaftlerforum, S. 87–91.
- Huusela-Veistola, E.; Jauhiainen, L. (2006): Expansion of pea cropping increases the risk of pea moth (*Cydia nigricana*; Lep., Tortricidae) infestation. In: *J Appl Entomology* 130 (3), S. 142–149. DOI: 10.1111/j.1439-0418.2006.01047.x.
- Irvine, P. M. (2011): Using a logistic phenology model with improved degree-day accumulations to forecast emergence of pest grasshoppers. Masterarbeit. University of Lethbridge, Lethbridge, Alberta, Canada. Department of Mathematics and Computer Science. Online verfügbar unter https://www.uleth.ca/dspace/bitstream/handle/10133/3105/irvine,%20paul.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- Jones, V. P.; Hilton, R.; Brunner, J. F.; Bentley, W. J.; Alston, D. G.; Barrett, B. et al. (2013): Predicting the emergence of the codling moth, *Cydia pomonella* (Lepidoptera: Tortricidae), on a degree-day scale in North America. In: *Pest. Manag. Sci.* 69 (12), S. 1393–1398. DOI: 10.1002/ps.3519.
- Kemp, W. P.; Onsager, J. A. (1986): Rangeland Grasshoppers (Orthoptera: Acrididae) Modeling Phenology of Natural Populations of Six Species. In: *Environmental Entomology* 15 (4), S. 924–930. DOI: 10.1093/ee/15.4.924.
- Langenbuch, R. (1941): Zur Biologie des Erbsenwicklers *Grapholitha nigricana* Steph. In: *Arbeiten zur Physiologischen und Angewandten Entomologie* (8), S. 216–247.
- Lewis, T.; Wall, C.; Macaulay, E. D. M.; Greenway, A. R. (1975a): The behavioural basis of a pheromone monitoring system for pea moth, *Cydia nigricana*. In: *Ann. Applied. Biology.* 80 (3), S. 257–274. DOI: 10.1111/j.1744-7348.1975.tb01632.x.
- Lewis, T.; Wall, C.; Macaulay, E.D.M.; Greenway, A. R. (1975b): The behavioural basis of a pheromone monitoring system for pea moth, Cydia nigricana. In: *Annals of Applied Biology* 80, S. 257–274.
- Lilienthal, H.; Greef, J.-M (2017): Monitoring landwirtschaftlicher Flächen mit Satellitenfernerkundung. Monitoring of agricultural land with satellite remote sensing. In: *Journal für Kulturpflanzen* 69 (2), S. 76–79. DOI: 10.1399/JFK.2017.02.12.
- Logan, J. A.; Wollkind, D. J.; Hoyt, S. C.; Tanigoshi, L. K. (1976): An analytic model for description of temperature dependent rate phenomena in Arthropods. In: *Environ. Entomol.* 5 (6), S. 1133–1140. DOI: 10.1093/ee/5.6.1133.
- Meier, U. (2001): Entwicklungsstadien mono- und dikotyler Pflanzen BBCH Monografie. 2. Aufl.
- Nicolaisen, W. (1928a): Der Erbsenwickler, *Grapholita* (*Cydia, Laspeyresia*) sp., sein Schaden und seine Bekämpfung unter besonderer Berücksichtigung der Anfälligkeit verschiedener Erbsensorten. PhD Thesis. Kühn Archiv, 19, Halle/S., 195-256.
- Nicolaisen, W. (1928b): Der Erbsenwickler, *Grapholita* (*Cydia, Laspeyresia*) sp.; sein Schaden und Der Erbsenwickler, *Grapholita* (*Cydia, Laspeyresia*) sp.; sein Schaden und seine Bekämpfung unter Berücksichtigung der Anfälligkeit verschiedener Erbsensorten. In: *Kühn Archiv* (19), S. 196–256.

- Nußbaum, P. (1976): Über die Wirkung exogener Faktoren auf den Massenwechsel des Erbsenwicklers (*Laspeyresia nigricana* Steph.) mit besonderer Berücksichtigung der Dormanzverhältnisse. Doctoral Thesis. Friedrich-Schiller-Universität Jena, Jena.
- Pedigo, L. P. (2009): Ecological management of the crop environment. In: L. P. Pedigo und M. E. Rice (Hg.): Entomology and Pest Management. 6 edn.: Prentice Hall, S. 335–366.
- Rebaudo, F.; Rabhi, V.-B. (2018a): Modeling temperature-dependent development rate and phenology in insects: review of major developments, challenges, and future directions. In: *Entomol. Exp. Appl.* 166 (8), S. 607–617. DOI: 10.1111/eea.12693.
- Saucke, H.; Balasus, A.; Finckh, M. R.; Formowitz, B.; Schmid, R.; Kratt, A. (2014): Mating disruption of pea moth (*Cydia nigricana* (F.)) in organic peas (Pisum sativum L.). In: Entomologia Experimentalis et Applicata 150, S. 199–207. DOI: 10.1111/eea.12153.
- Schumacher, P.; Weber, D. C.; Hagger, C.; Dorn, S. (1997): Heritability of flight distance for Cydia pomonella. In: *Entomologia Experimentalis et Applicata* 85, S. 169–175.
- Schultz, B.; Saucke, H. (2005): Einfluss verschiedener Saattermine auf den Erbsenwicklerbefall (Cydia nigricana Fabr.) in ökologischen Gemüseerbsen. In: Beiträge zur 8.Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau, 1.-4.März 2005 Kassel. Kassel: University Press GmbH, S. 105–108.
- Sharpe, P. J. H.; DeMichele, Don W. (1977): Reaction kinetics of poikilotherm development. In: *J. Theor. Biol.* 64 (4), S. 649–670. DOI: 10.1016/0022-5193(77)90265-X.
- Stenmark, A. (1971): Studies on the pea moth (*Laspeyresia nigricana* Steph.) in Central Sweden 3. In: *Statens Växtskyddsamstalt Meddelanden* 15 (138), S. 90–110.
- Stenmark, A. (1974): Studies on the pea moth (*Laspeyresia nigricana* Steph.) in Central Sweden. In: *Statens Växtskyddsamstalt Meddelanden* 15 (155), 451-472.
- Summerfield, R. J.; Roberts, E. H. (1988): Photo-thermal regulation of flowering in pea, lentil, faba bean and chickpea. In: R. J. Summerfield (Hg.): World crops: Cool season food legumes. A global perspective of the problems and prospects for crop improvement in pea, lentil, faba bean and chickpea. Dordrecht: Springer Netherlands (Current Plant Science and Biotechnology in Agriculture, 0924-1949, 5), S. 911–922.
- Teetes, G. L. (1981): The environmental control of insects using planting times and plant spacing. In: *CRC Handbook of Pest Management in Agriculture*, S. 209–221.
- Thöming, G.; Knudsen, G. K. (2014): Attraction of pea moth Cydia nigricana to pea flower volatiles. In: *Phytochemistry* 100, S. 66–75. DOI: 10.1016/j.phytochem.2014.01.005.
- Thöming, G.; Pölitz, B.; Kühne, A.; Saucke, H. (2011): Risk assessment of pea moth *Cydia nigricana* infestation in organic green peas based on spatio-temporal distribution and phenology of the host plant. In: *Agric. For Entomol.* 13 (2), S. 121–130.
- Thöming, G.; Saucke, H. (2010): Key factors affecting the spring emergence of pea moth (Cydia nigricana). In: *Bull. Entomol. Res.* 101 (2), S. 127–133. DOI: 10.1017/S0007485309990642.
- Wagner, T. L.; Wu, H.-I.; Sharpe, P. J. H.; Coulson, R. N. (1984): Modeling distributions of insect development time: A literature review and application of the weibull function. In: *Ann. Entomol. Soc. Am.* 77, S. 475–487. DOI: 10.1093/aesa/77.5.475.
- Wall, C.; Garthwaite, D. G.; Greenway, A. R.; Biddle, A. J. (1996): Prospects for pheromone monitoring of the pea moth, *Cydia nigricana* (F.), in vining peas. In: *Aspects Appl. Biol.* 12, S. 117–125.
- Wright, D. W.; Geering, Q. A.; Dunn, J. A. (1951a): Varietal differences in the susceptibility of peas to attack by the pea moth, *Laspeyresia nigricana* (Steph.). In: *BER* 41 (4), S. 663. DOI: 10.1017/S0007485300027929.
- Wright, D. W.; Geering, Q. A.; Dunn, J. A. (1951b): Varietal differences in the susceptibility of peas to attack of the pea moth, *Laspeyresia nigricana*. In: *Bulletin of Entomological Research* 41, S. 663–677.
- Zehnder, G. W.; Gurr, G. M.; Kühne, S.; Wade, M. R.; Wratten, S. D.; Wyss, E. (2007): Arthropod Pest Management in Organic Crops. In: *Ann.Rev.Entomol.* 52, S. 57–80.
- Zeuner, T. (2007): Landwirtschaftliche Schaderregerprognose mit Hilfe von Geographischen Informationssystemen. Dissertation. Johannes Gutenberg Universität Mainz, Mainz.

# 13 Anhang

## 13.1Anbaudichte (CAI)-Befallskorrelationen

Als alternative räumliche Auswertungsmethode wurden auch Korrelation zur Anbaudichte als CAI bei 05 km Radius (CAI 0,5) und Befall in der Modellregion Hessen bei Wintererbsen im Jahr 2018 (r=0,928; p=0,02273; Abbildung 30) und Sachsen-Anhalt bei Sommererbsen im Jahr 2017 (r=0,348; p=0,0322) und 2018 (r=0,506; p=0.01477; Abbildung 31) ermittelt. Für die Region Sachsen (nicht dargestellt) und alle anderen Kulturform-, CAI-Radius-Kombinationen waren die Korrelationen nicht signifikant und wurden für das Sub-Modell Migration nicht verwendet.

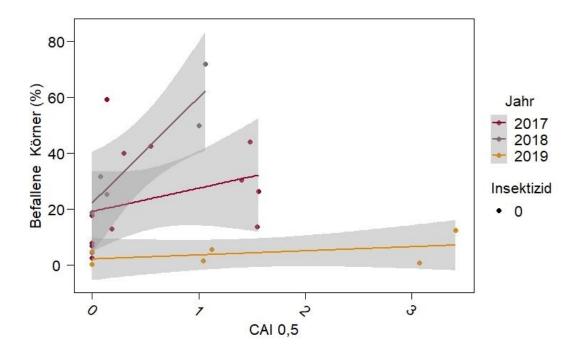


Abbildung 30: Erbsenwicklerbefall (befallene Körner (%)) aller beprobten Wintererbsenflächen in der Modellregion in Hessen 2017-2019 in Abhängigkeit vom Anteil an Vorjahreserbsenschlägen im Umkreis von 500 Metern (CAI 0,5).

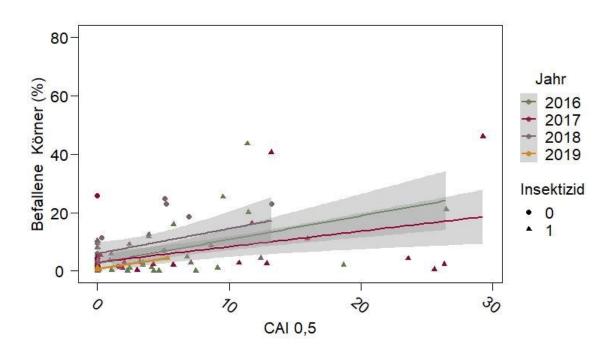


Abbildung 31: Erbsenwicklerbefall (befallene Körner (%)) aller beprobten Sommererbsenflächen in der Modellregion in Sachsen-Anhalt 2016-2019 in Abhängigkeit vom Anteil an Vorjahreserbsenschlägen im Umkreis von 500 Metern (CAI 0,5).