

# Über den Einfluss insektizider Wirkstoffgruppen auf das Keimungsverhalten ausgewählter Kulturpflanzenarten

Zur Erlangung des akademischen Grades eines  
Doktors der Naturwissenschaften  
(Dr. rer. nat.)

der Fakultät für Chemie und Biowissenschaften der  
Universität Karlsruhe (TH)  
vorgelegte

DISSERTATION

von

Dipl. Biol. Andrea Jonitz

aus Kronau

Dekan: Prof. Dr. Manfred Kappes

Referent: Prof. Dr. Norbert Leist

Korreferent: Prof. Dr. Peter Nick

Tag der mündlichen Prüfung:



Meinen Eltern



## Danksagung

Mein ganz besonderer Dank gilt meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr. Norbert Leist für das bei der Überlassung des Themas entgegengebrachte Vertrauen und die Freiheit die er mir für die Durchführung meiner Untersuchungen gewährte. Durch seine beständige Diskussionsbereitschaft und stets zielführende Anregungen hat er wesentlich zu einem erfolgreichen Abschluss dieser Arbeit beigetragen. Für all die großzügige fachliche und menschliche Förderung die ich erfahren durfte - ein herzliches Dankeschön.

Herrn Dr. Wolfram Andersch gilt mein Dank für Initiierung dieser Arbeit, die wertvollen Diskussionen die meine Versuche lenkten und begleiteten, ebenso wie für die Durchführung der Beizanalysen und besonders für die Ermöglichung einer finanziellen Unterstützung durch die Bayer CropScience AG.

Für sein Interesse an dieser Arbeit und die Übernahme der Korreferenz, danke ich Herrn Prof. Dr. Peter Nick vom Botanischen Institut der Universität Karlsruhe.

Herrn Prof. Dr. M. Kruse an der Universität-Hohenheim danke ich für die freundliche Unterstützung bei der statistischen Analyse der Untersuchungsergebnisse und die stete Bereitschaft zum fachlichen Austausch.

Für die methodischen Anregungen, die meiner Arbeit entscheidende Impulse gaben, bedanke ich mich besonders bei Herrn Prof. Dr. Dr. h. c. Adolf Martin Steiner, Universität Hohenheim.

Herzlich bedanken möchte ich mich bei allen Mitarbeitern im Referat Saatgutuntersuchung und Angewandte Botanik der LUFA Augustenberg für die Unterstützung bei der Durchführung meiner Versuchsanstellungen, sowie die stets vertrauensvolle und nette Zusammenarbeit.

An der LUFA Augustenberg geht mein Dank an Herrn Prof. Dr. Friedel Timmermann für die Möglichkeiten meine Arbeit an dieser Einrichtung anfertigen zu können, an das Referat Informations- und Kommunikationstechnik für die Unterstützung in allen EDV Belangen, an das Referat Chemische Bodenuntersuchungen, Nährstoffe, Düngung für die tatkräftige Hilfe bei der Beschaffung und Aufbereitung der Böden sowie an das Referat Organische Schadstoffe für die Durchführung der chemischen Analysen.

Diesen und allen weiteren, namentlich nicht erwähnten Mitarbeitern der Landwirtschaftlichen Untersuchungs- und Forschungsanstalt Augustenberg sei für das kollegiale Verhältnis und die angenehme Arbeitsatmosphäre gedankt.



**Über den Einfluss insektizider Wirkstoffgruppen auf das Keimungsverhalten ausgewählter Kulturpflanzenarten**

<b>1</b>	<b><i>EINLEITUNG</i></b> .....	<b>1</b>
1.1	<i>Chloronicotinyle</i> .....	3
1.2	<i>Wirkstoffe aus weiteren Stoffklassen</i> .....	6
1.3	<i>Ziel der Untersuchungen</i> .....	7
<b>2</b>	<b><i>MATERIAL UND METHODEN</i></b> .....	<b>10</b>
2.1	<i>Saatgut</i> .....	10
2.2	<i>Saatgutbehandlungsmittel</i> .....	12
2.3	<i>Beizgrad</i> .....	15
2.4	<i>Geräte</i> .....	15
2.5	<i>Keimmedien</i> .....	16
2.5.1	Papier .....	16
2.5.2	Sand.....	16
2.5.3	Standardlaborerde.....	16
2.5.4	Boden .....	16
2.5.4.1	Bodenarten .....	16
2.6	<i>Methoden</i> .....	18
2.6.1	Saatgutbehandlung durch Beizung .....	18
2.6.2	Versuchsanordnung und Durchführung.....	18
2.6.2.1	Bestimmung der Keimfähigkeit .....	19
2.6.2.2	Wachstumsbeobachtungen und Längenmessungen im Faltenfilter.....	19
2.6.2.3	Auflaufversuche in Sand und Erde .....	20
2.6.2.4	Wachstumsbeobachtungen und Längenmessungen auf Flüssigsubstrat.....	20
2.6.2.5	Bestimmung des Feuchtigkeitsgehaltes.....	20
<b>3</b>	<b><i>ERGEBNISSE</i></b> .....	<b>21</b>
3.1	<i>Wirkstoff Imidacloprid, Testorganismus Mais (Zea mays L.)</i> .....	21
3.1.1	Quellungs- und Keimungsverhalten .....	21
3.1.2	Einfluss von Imidacloprid auf Quellung und Keimung .....	23

3.1.3	Einfluss auf die Keimlingsentwicklung .....	25
3.1.4	Keimlingsentwicklung im Faltenfiltertest .....	26
3.1.4.1	Imidacloprid, Mais, Entwicklung unter optimalen Bedingungen .....	27
3.1.4.2	Imidacloprid, Mais, Entwicklung unter suboptimalen Temperaturbedingungen .....	30
3.1.4.3	Imidacloprid, Mais, Entwicklung unter suboptimalen Bedingungen .....	34
3.1.4.4	Imidacloprid, Abhängigkeit von der Saatgutqualität .....	35
3.1.4.4.1	Spross- und Wurzellänge von Mais mit niedriger Keimfähigkeit .....	35
3.1.4.4.2	Auflauf von Mais unterschiedlicher Kaliberformen .....	36
3.1.5	Imidacloprid, Wirkstoffaufnahme, chemische Analyse .....	39
3.1.6	Keimung und Keimlingswachstum in sterilem Quarzsand .....	41
3.1.6.1	Einfluss der Feuchtigkeit .....	41
3.1.7	Versuche mit Polyethylenglycol (PEG) .....	45
3.1.7.1	Imidacloprid, PEG, Auflauftest in Sand .....	45
3.1.7.2	Imidacloprid, PEG, Auflauftest in Laborerde .....	48
3.1.7.3	Imidacloprid, PEG, Keimung und Entwicklung im Faltenfilter .....	50
3.1.8	Imidacloprid, Einfluss der Temperatur .....	51
3.1.8.1	Auflauftest in Sand .....	51
3.1.9	Einflussparameter beim Auflauf in Standardlaborerde .....	53
3.1.9.1	Temperatur .....	53
3.1.9.2	Feuchtigkeitsgehalt .....	55
3.1.9.3	Wasserzugabe .....	58
3.1.9.4	Befeuchtungsart .....	60
3.1.9.5	Bodenstruktur .....	62
3.1.10	Methode zur Bestimmung von Stoffeinträgen auf das Keimungsverhalten .....	64
3.1.11	Imidacloprid, Wirkung auf hormoneller Ebene .....	65
3.1.11.1	Wirkung von Gibberellinsäure (GA <sub>3</sub> ) .....	65
3.1.11.2	Gibberellinsäure in verschiedenen Konzentrationen .....	66
3.1.11.3	Einfluss von Gibberellinsäure auf das Längenwachstum .....	69
3.1.11.4	Wirkung von Auxin .....	70
3.1.12	Imidacloprid, Wachstumsbeobachtungen auf Flüssigsubstrat .....	73
3.1.12.1	Konzentrationsreihen .....	74
3.1.12.2	Systematischer Substratwechsel .....	76
3.1.12.2.1	Lichtbedingungen .....	78
3.1.13	Imidacloprid, Mais, Zellstreckungswachstum .....	79
3.1.14	Imidacloprid, Mais, Auflauf bei reduziertem Sauerstoffgehalt .....	81
3.1.15	Imidacloprid, Einfluss auf die Plasmaströmung von <i>Elodea canadensis</i> .....	85
3.1.16	Imidacloprid, Einfluss auf den sekundären Pflanzenstoffwechsel .....	87
3.1.16.1	Wachstumsversuche mit sensiblen Pflanzenarten .....	87
3.1.16.1.1	Kresse ( <i>Lepidium sativum</i> L.) .....	87
3.1.16.1.2	Senf ( <i>Sinapis alba</i> L.) .....	87
3.1.16.1.3	Rotkohl ( <i>Brassica oleracea</i> convar. <i>capitata</i> var. <i>capitata</i> f. <i>rubra</i> L.) .....	88

3.1.17	Imidacloprid, Einfluss verschiedener Böden.....	90
3.1.17.1.1	Fünf Böden, 50 % Wkmax.....	90
3.1.17.1.2	Fünf Böden, 40 %, 50 % und 60 % Wkmax.....	93
<b>3.2</b>	<b><i>Wirkstoffe Chloronicotinyne: Clothianidin, Imidacloprid und Thiamethoxam, Testorganismus Mais (Zea mays L.)</i></b> .....	<b>101</b>
3.2.1	Chloronicotinyne, Mais, Auflauf in sterilem Quarzsand .....	101
3.2.2	Systematischer Vergleich verschiedener Böden und Feuchten im Auflaufverfahren .....	104
3.2.2.1	Boden I - V, 30 % der maximalen Wasserkapazität.....	105
3.2.2.2	Boden I - V, 40 % der maximalen Wasserkapazität.....	108
3.2.2.3	Boden I - V, 50 % der maximalen Wasserkapazität.....	111
3.2.2.4	Boden I - V, 60 % der maximalen Wasserkapazität.....	114
<b>3.3</b>	<b><i>Wirkstoffe Chloronicotinyne: Clothianidin, Imidacloprid und Thiamethoxam, Testorganismus Sonnenblume (Helianthus annuus L.)</i></b> .....	<b>118</b>
3.3.1	Systematischer Vergleich mit verschiedenen Böden und Feuchten im Auflaufverfahren .....	118
3.3.1.1	Boden I - V, 30 % der maximalen Wasserkapazität.....	120
3.3.1.3	Boden I - V, 40 % der maximalen Wasserkapazität.....	123
3.3.1.4	Boden I - V, 50 % der maximalen Wasserkapazität.....	126
3.3.1.5	Boden I - V, 60 % der maximalen Wasserkapazität.....	129
<b>3.4</b>	<b><i>Chloronicotinyne, Mais, Einfluss auf Entwicklung und Wachstum</i></b> .....	<b>135</b>
3.4.1	Chloronicotinyne auf Flüssigsubstrat.....	135
<b>3.5</b>	<b><i>Insektizide Wirkstoffe aus verschiedenen chemischen Stoffklassen</i></b> .....	<b>138</b>
3.5.1	Mais, 5 Insektizide, Keimung und Entwicklung, optimale Bedingungen	138
3.5.2	Mais, 5 Insektizide, Keimung und Entwicklung, suboptimale Bedingungen .....	144
3.5.3	Mais, Auflauf verschiedener Sorten in gegossener Standardlaborerde.	148
3.5.4	Vergleichende Betrachtung der fünf Wirkstoffe .....	151
<b>3.6</b>	<b><i>Wirkstoff Imidacloprid, Testorganismus Zuckerrübe (Beta vulgaris var. altissima Döll)</i></b> .....	<b>153</b>
3.6.1	Imidacloprid, Zuckerrübe Auflauftest in Standardlaborerde, 50 % Wkmax .....	154
3.6.2	Imidacloprid, Zuckerrübe, Auflauftest in Standardlaborerde, 40 % und 50 % Wkmax Feuchtigkeitsgehalt .....	156
<b>3.7</b>	<b><i>Imidacloprid, Zuckerrübe, Auflauftest in unterschiedlichen Böden und Feuchtigkeiten</i></b> .....	<b>159</b>

3.7.1	Imidacloprid, Zuckerrübe, Einfluss der Pillierung.....	163
3.7.1.1	Auflauftest in Standardlaborerde, 40 % Wkmax .....	163
3.7.1.2	Einfluss der Pillierung, Wachstumsbeobachtung .....	165
<b>3.8</b>	<b><i>Insektizide Wirkstoffe aus verschiedenen chemischen Stoffklassen</i></b> .....	<b>167</b>
3.8.1	Einfluss auf Wachstum und Entwicklung von Zuckerrübe .....	167
3.8.1.1	Auflauftest in Standardlaborerde, 50 % Wkmax .....	167
3.8.1.2	Wachstumsbeobachtung im Faltenfilter .....	170
3.8.1.3	Zusammenfassung Zuckerrüben .....	174
<b>3.9</b>	<b><i>Wirkstoff Imidacloprid, Testorganismus Baumwolle (Gossypium hirsutum L.)</i></b> .....	<b>175</b>
3.9.1	Auflauf .....	176
3.9.1.1	Versuche ohne Fungizidbehandlung.....	176
3.9.1.2	Versuche mit Fungizidbehandlung.....	177
3.9.1.2.1	Auflauftest, steriler Quarzsand, 50 % Wkmax, suboptimale Temperatur .....	177
3.9.1.2.2	Auflauftest, Standardlaborerde, 50 % Wkmax, suboptimale Temperatur .....	179
3.9.1.2.3	Auflauftest, Standardlaborerde, 50 % Wkmax, optimale Temperatur .....	181
3.9.1.2.4	Auflauftest, Standardlaborerde, 40 % Wkmax, optimale Temperatur .....	183
3.9.2	Zusammenfassung der Versuche mit Baumwolle .....	186
<b>4</b>	<b><i>DISKUSSION</i></b> .....	<b>188</b>
<b>4.1</b>	<b><i>Erfassung insektizider Wirkstoffeinflüsse und Entwicklung eines Testsystems</i></b> .....	<b>189</b>
4.1.1	Wirkstoffe in der Literatur, allgemein .....	189
4.1.2	Wirkstoffe in der Literatur, Imidacloprid .....	190
4.1.3	Keimung und Entwicklung von Saatmais.....	191
4.1.3.1	Wasseraufnahme bei der Quellung mit und ohne Imidacloprid-Beizung.....	192
4.1.3.2	Keimung mit und ohne Imidaclopridbeizung .....	194
4.1.4	Mais als Testorganismus.....	194
4.1.5	Wirkstoffapplikation .....	195
4.1.6	Wirkstoffverfügbarkeit.....	196
4.1.6.1	Beizhofausbildung.....	196
4.1.7	Keimlingsentwicklung und Auflauf nach Behandlung mit Imidacloprid ..	198
4.1.8	Einfluss der Temperatur .....	199
4.1.9	Substrateinfluss .....	200
4.1.9.1	Wasserverfügbarkeit .....	200
4.1.9.2	Einfluss der Pillierung auf die Wirkung von Imidacloprid.....	202
4.1.9.3	Wirkstoffverfügbarkeit .....	203

4.1.9.4	Sorption von Wirkstoff im Boden.....	204
4.1.9.5	Wurzelwachstum und Wirkstoffaufnahme aus dem Beizhof .....	205
4.1.9.6	Transport von Wasser und Wirkstoff in der Pflanze .....	206
4.1.10	Wirkstoffeigenschaften und Wirkstoffverhalten.....	207
4.1.11	Konzentrationsabhängigkeit der Wirkung des Imidacloprid .....	209
<b>4.2</b>	<b><i>Ursachen der Wirkung von Imidacloprid .....</i></b>	<b>209</b>
4.2.1	Beeinflussung von Zellwachstumsprozessen .....	210
4.2.2	Wechselwirkung mit Phytohormonen .....	210
4.2.2.1	Einfluss der Chloronicotinyne auf das Spross- und Wurzelwachstum	211
4.2.3	Beeinflussung des Energiestoffwechsels .....	213
4.2.4	Wirkstoffeinfluss unter Sauerstoffmangelbedingungen .....	213
4.2.5	Beeinflussung des Sekundärstoffwechsels .....	214
<b>4.3</b>	<b><i>Abhängigkeit der Imidacloprid Wirkung von der Bodenart...215</i></b>	
<b>4.4</b>	<b><i>Einfluss von Imidacloprid auf die Keimlingsentwicklung .....</i></b>	<b>219</b>
<b>4.5</b>	<b><i>Wirkstoffeinfluss in Abhängigkeit von Wirkstoffeigenschaft, Boden, Feuchte und Pflanzenart .....</i></b>	<b>220</b>
4.5.1	Einfluss der drei Chloronicotinyne Clothianidin, Imidacloprid und Thiamethoxam auf den Auflauf von Mais und Sonnenblume .....	221
4.5.1.1	Einfluss von Bodenart und Feuchtigkeitsgehalt .....	222
4.5.2	Chloronicotinyne in verschiedenen Böden und Feuchten.....	227
4.5.2.1	Statistische Auswertung der Wirkung der Chloronicotinyne sowie des Boden- und Feuchtigkeitseinflusses bei Mais .....	230
4.5.3	Zusammenfassende Darstellung der Wirkung von sieben Insektiziden aus unterschiedlichen Stoffklassen bei den Kulturarten Mais, Sonnenblume, Zuckerrübe und Baumwolle .....	231
4.5.3.1	Kurzzeitigkeit der insektiziden Einflüsse .....	232
4.5.3.2	Einfluss der Chloronicotinyne auf die Keimlingsentwicklung.....	232
4.5.3.3	Einfluss der Wirkstoffe aus weiteren Stoffklassen auf die Keimlingsentwicklung .....	233
4.5.4	Zusammenhang von Wirkstoffeigenschaften und Einfluss auf die Keimlingsentwicklung .....	234
<b>5</b>	<b><i>ZUSAMMENFASSUNG .....</i></b>	<b>237</b>
<b>6</b>	<b><i>LITERATUR.....</i></b>	<b>241</b>



## I. Abkürzungen

0,15 = 0,15 mg Wirkstoff  
0,3 = 0,3 mg Wirkstoff  
0,5 = 0,5 mg Wirkstoff  
0,9 = 0,9 mg Wirkstoff  
1 = 1,0 mg Wirkstoff  
1,8 = 1,8 mg Wirkstoff  
2 = 2,0 mg Wirkstoff  
4 = 4,0 mg Wirkstoff

I = Sand  
II = Lehmiger Sand  
III = Sandiger Lehm  
IV = Toniger Lehm  
V = Lehmiger Ton

Ac = Acephate, Insektizid  
ai = active ingredient  
AMP = Adenosin-Monophosphat  
ADP = Adenosin-Diphosphat  
ATP = Adenosin-Triphosphat  
ASE = accelerated solvent extraction

BBA = Biologische Bundesanstalt für  
Land- und Forstwirtschaft  
BVL = Bundesamt für  
Verbraucherschutz und  
Lebensmittelsicherheit  
BGA = Bundesgesundheitsamt  
BR = Bundesamt für Risikobewertung

C 310 = Coker 310, Baumwollsorte  
C 312 = Coker 312, Baumwollsorte  
C = Carbofuran, Insektizid  
Clo = Clothianidin, Insektizid  
CCC = Cycocel®, Halmverkürzer

Dent = Zahnmaistypus

F = Fipronil, Insektizid  
Flint = Hartmaistypus

G = Granada, Zuckerrübensorte

GC MS = Gelpermeations-Chromatographie und  
nachfolgende Detektion mittels massenselektiver  
Gaschromatographie

H = Helga, Hybridmais-Sorte  
HPLC = High pressure liquid chromatography  
Imi = Imidacloprid, Insektizid  
Im = Impulse, Zuckerrübensorte

°K = Grad Kelvin

Kf = Keimfähigkeit  
KT = Kalttest

L = Leerformulierung  
log P<sub>ow</sub> (= log K<sub>o/w</sub>): Logarithmus des n-Octanol-  
Wasser-Verteilungskoeffizienten

M = Marshall, Hybridmaissorte  
MW = Mittelwert

Pe = Pedro, Hybridmaissorte  
Pi = Prinz, Hybridmaissorte  
p<sub>ka</sub> = Dissoziationskonstante saurer/basischer Stoffe  
PSM = Pflanzenschutzmittel  
S = Standard

T = Tefluthrin, Insektizid  
Tat = Tatjana, Zuckerrübensorte  
Thia = Thiamethoxam, Insektizid  
TMTD = Tetramethylthiuram-disulfid, Fungizid  
UWA = Umweltbundesamt

W = Wiebke, Zuckerrübensorte  
W<sub>kmax</sub> = maximale Wasserkapazität  
(z.B. 30 % W<sub>kmax</sub> = 30 % der Feuchtigkeit der  
maximalen Wasserkapazität)  
WS = water soluble  
Z = Zeta, Baumwollsorte

70 WS = 70 %ige wasserlösliche Wirkstoff-  
Suspension



## II. Klassifizierung der Wirkintensitäten der Insektizide

Bezeichnung	Abweichung vom Standard
Keine Wirkung	$0 \% \leq 5 \%$
Schwache, geringe oder leichte Wirkung	$6 \% \leq 15 \%$
Mittlere oder deutliche Wirkung	$16 \% \leq 25 \%$
Starke Wirkung	$> 25 \%$

## III. Definitionen

**Akropetale Verteilung:** Substanz wird im aufsteigenden Saftstrom der Pflanze transportiert

**Apoplast:** Extrazelluläres Kompartiment, das durch die Gesamtheit der Zellwände gebildet wird

**Atemgift:** Pflanzenschutzmittel wirkt über die Atmungsorgane

**Auflauf:** Als aufgelaufene Keimlinge werden diejenigen bezeichnet, welche die Substratbedeckung durchbrochen haben und an der Erdoberfläche sichtbar sind, der Auflauf wird in % der Pflanzen angegeben

**Basipetale Verteilung:** Mittel wird im absteigenden Saft der Pflanze, im Phloem transportiert

**Beizgrad:** Applizierte Wirkstoffmenge in Prozent der empfohlenen Aufwandmenge

**Blacklayer:** Abbruchstelle des Hilum, die bei Reife der Maiskaryopse typischerweise schwarz gefärbt ist und als Kriterium zur Beurteilung des Reifezustandes herangezogen wird

**Formulierung:** Zubereitung eines Pflanzenschutzmittels (PSM); ein PSM beinhaltet neben dem Wirkstoff noch weitere Begleitsubstanzen wie Haftmittel, Netzmittel und Lösungsmittel

**Fraßgift:** wirkt bei Fraßschädlingen nach Aufnahme des Mittels in den Verdauungskanal

**Kaliber:** Größensortiertes Saatgut

**Keimung:** Als Zeitpunkt der Keimung wird das Stadium angesehen, an dem die Radikula die Testa durchbricht und somit das Keimwurzeln äußerlich sichtbar wird

**Kontaktgift:** Mittel, das durch bloße Berührung in den Körper eindringt

**Persistenz:** Beständigkeit

**Phytotoxisch:** pflanzenschädigend

**Phytotoxizität:** Eigenschaft eines Stoffes, vorübergehende oder langanhaltende Schädigungen an Pflanzen zu verursachen (EPPO Richtlinie, 2000)

**Samen:** Ein Same ist durch Befruchtung und Reifung einer Samenanlage entstanden, er besteht aus einem Embryo, welcher sich zum Keimling entwickelt, fallweise Nährgewebe und einer schützenden Samenschale (= Testa). Bei der Verwendung des Begriffes Samen werden die Verbreitungseinheiten der Pflanzen benannt. Darunter sind im Falle von Mais Karyopsen, bei Sonnenblume Achänen, bei Zuckerrübe Knäuel und bei Baumwolle Samen zu verstehen

**Standard:** Zur Kontrolle wurden stets Versuchsglieder ohne Insektizidbehandlung mitgeführt. Bei Erdtests und Faltenfilterversuchen waren dies mit Fungizid und Leerformulierung und/oder nur mit Fungizid behandelte Proben. Hiervon abweichende Versuchsanordnungen sind jeweils bei den Versuchsbeschreibungen angegeben

**Systemische Wirkung:** Wirkung eines Mittels nach Eindringen in das pflanzliche Gewebe und Transport in den Leitbahnen der Pflanze

**Überbeizung:** Überschreitung der empfohlenen Aufwandmenge bei der Saatgutbehandlung

**Wasserkapazität:** maximale Haftwassermenge, gemessen in ml H<sub>2</sub>O/100 ml Boden an natürlich gelagertem Boden mit freiem Wasserabzug



### 1 Einleitung

Saatgut zur Erzeugung von Nahrungsmitteln spielt für die Ernährung der Menschheit auch heute noch eine entscheidende Rolle. Erst eine gesicherte Nahrungsmittelproduktion ermöglichte den industriellen Aufschwung. Dabei erfährt die Qualität des Saatgutes durch Züchtung von immer leistungsfähigeren Sorten eine stete Verbesserung.

So stehen alleine für die verschiedenen Nutzungszwecke des Weizens europaweit über 1400 Sorten zur Verfügung (OECD, 2003). Diese hohe genetische Diversität wird in ihrer Quantität und Qualität durch ackerbauliche Maßnahmen wie Düngung, Fruchtfolge und Pflanzenschutz ständig verbessert und verfeinert. Dabei wird die technische Qualität einer bestimmten Saatgutpartie von den Aufwuchsbedingungen, der Jahreswitterung sowie dem Ernteverfahren wesentlich geprägt. Die sorgfältig aufbereitete Saatware erfährt weiterhin vor der Aussaat eine Veredelung und einen Schutz, damit der Landwirt den höchsten Nutzen aus diesem Gut schöpfen kann.

Kulturpflanzen benötigen zum Erzielen des optimalen Ertrages genau definierte Pflanzenzahlen, die sich aus den Reihenabständen und den Pflanzenabständen innerhalb der Reihen errechnen. So sind die anzustrebenden Bestandesdichten bei

Silomais	80.000 - 130.000 Pflanzen/ha
Körnermais	60.000 - 100.000 Pflanzen/ha
Sonnenblume	70.000 - 100.000 Pflanzen/ha
Zuckerrübe	80.000 - 100.000 Pflanzen/ha (Anonymus, 2000).

Die Aussaatstärke wird aus Tausendkornmasse und Keimfähigkeit der Saatgutpartie exakt kalkuliert und durch moderne Aussaattechnik auch erreicht, sodass es für einen lückenlosen Pflanzenbestand auf den Auflauf jedes abgelegten Samenkorns ankommt und Ausfälle oder Verzögerungen kaum tolerierbar sind.

Saatgut nimmt in der landwirtschaftlichen Produktion eine zentrale Stellung ein. Die Erwartungen an seine Qualität sind dementsprechend hoch. Insbesondere sind es Schädigungen während der sensiblen Jugendphase des Feldaufganges durch saat- und bodenbürtige Krankheitserreger oder Frühschädlinge, die einen unmittelbaren Einfluss auf die Bestandesdichte, die Pflanzenentwicklung und somit auf den späteren Ertrag und die Qualität ausüben.

Dementsprechend sind Saatgutbehandlungen bereits seit 1600 v Chr. aus Mesopotamien bekannt. Während zunächst Kalk, Asche und Pflanzenextrakte, im Mittelalter sodann Chloride, Kupfer- und Arsenverbindungen verwendet wurden, hat sich vor 140 Jahren der chemische Pflanzenschutz etabliert, wobei seit 75 Jahren auch synthetische Wirkstoffe zur Bekämpfung der Schaderreger eingesetzt werden.

Seit Beginn des 20. Jahrhunderts finden vornehmlich Fungizide und danach zunehmend auch Insektizide Wirkstoffe Verwendung als Beizmittel (Schönbeck, 1980; Scheinpflug und Duben, 1988, Wetzels; 2004).

In der modernen Landwirtschaft ist der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln ein wesentlicher Faktor bei der Pflanzenproduktion. Nach Oerke et al. (1994), sind trotz intensiver Pflanzenschutzmaßnahmen jährlich weltweit 25-30 % Ernteaufgänge durch Schadorganismen zu beklagen. Bei Verzicht auf den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln kann der Verlust in

Abhängigkeit von der Kulturart und dem Schaderregerspektrum bis auf 80 % ansteigen.

So verursachen der Cornborer (*Ostrinia nubilalis*) und der Corn Rootworm (*Diabrotica virgifera*) im Maisanbau der USA jährlich Schäden im Wert von über 1,85 Milliarden Dollar (Pioneer, 2004).

Als hauptsächliche Schaderreger treten bei den großen Kulturarten Mais, Zuckerrübe und Baumwolle Insekten, bei Soja und Getreide Unkräuter und bei Kaffee Pilze und Bakterien auf.

Pflanzenschutz umfasst sowohl kulturtechnische, biologische, biotechnologische, physikalische als auch chemische Maßnahmen, welche auf die Kulturart und die Schaderreger fein abgestimmt werden müssen.

In Europa kamen im Jahre 2001 über 22.000 t chemische Pflanzenschutzmittel zum Einsatz, davon entfielen 40 % auf die Fungizide, 32 % auf die Insektizide, 20 % auf Herbizide und 8 % auf sonstige Pflanzenbehandlungsmittel. Von diesen wurden  $\frac{1}{4}$  der Fungizide sowie ? der Insektizide als Beizmittel am Saatgut appliziert. Wesentliche Bedeutung kommt hierbei dem Schutz des Samens und der Jungpflanzen bei Keimung und Auflauf zu (FAOSTAT, data 2004).

Dabei hat sich die Applikationsmenge von Pflanzenschutzmitteln je Hektar, in Deutschland in den vergangenen fünf Jahren um 50 % reduziert (Wulff, 2000).

Bei der Beizung von Saatgut werden die Mittel am Zielort aufgebracht, wodurch die Aufwandmengen gegenüber einer späteren Spritzung um ein Vielfaches reduziert sind. So ist eine Saatgutbehandlung weit umweltverträglicher als eine Spritzbehandlung oder das Ausbringen von Granulaten. Während Sprühen eine Wirkstoffmenge von 1350 g Wirkstoff je Hektar erfordert, lässt sich diese durch Anwendung als Saatgutbeize um 97 % - auf 40 g reduzieren (Bayer, 2004 a). Nicht zu vernachlässigen ist die Reduktion der Kosten durch geringere Wirkstoffmengen und geringeren Arbeitsaufwand. Die Behandlung von Saatgut mit entsprechenden fungiziden und insektiziden Wirkstoffen ist deshalb als Standardbehandlung zur Ertragssicherung in den meisten Kulturarten fest etabliert.

Gewerbsmäßig vertrieben werden dürfen in Deutschland nur Pflanzenschutzmittel die eine Zulassung beim Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL) besitzen. Die Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft (BBA), das Bundesgesundheitsamt (BGA) und das Bundesamt für Risikobewertung, sowie das Umweltbundesamt (UWA) bewerten die Wirksamkeit und Verträglichkeit für Kulturpflanzen, Mensch und Umwelt. Mit der Zulassung legt das BVL die Maßnahmen zur Risikominderung in Form von Anwendungsbestimmungen fest. Pflanzenschutzmittel, die eine Zulassung in Ländern der Europäischen Gemeinschaft besitzen, sind entsprechend der Richtlinie 91/414/EWG einheitlich geprüft, sodass solche Wirkstoffe in allen EU-Ländern zugelassen werden können (BVL, 2004).

An die Wirkstoffe werden - neben einer schnellen und umfassenden Wirkung gegen Krankheitserreger und Schädlinge - außerordentlich hohe Anforderungen bezüglich ihrer Pflanzenverträglichkeit gestellt. Bei einem guten Präparat ist die benötigte Wirkstoffmenge zur Abtötung des Schaderregers möglichst gering, während die Pflanzenverträglichkeit besonders gut ist. Die Einsatzfähigkeit von Mitteln wird durch den chemotherapeutischen Index ausgedrückt, bei dem die Wirksamkeit in Relation zur Toxizität gesetzt wird:

Chemotherapeutischer Index =  $\text{dosis curativa} / \text{dosis toxica}$ .

Nur wenn die Wirksamkeit gegen den Schaderreger (dosis curativa) größer ist als diejenige gegen die Kulturpflanze (dosis toxica), kann eine Substanz als Pflanzenschutzmittel sinnvoll eingesetzt werden (Börner, 1997).

Dies ergibt sich besonders aus der Tatsache, dass der pflanzliche Embryo sowie der junge Keimling in seiner sensiblen Entwicklungsphase einer vergleichsweise hohen lokalen Konzentration an Wirkstoff ausgesetzt ist. Jede Verzögerung in der Keimung des Saatgutes oder beim Wachstum der Keimlinge erhöht das Risiko eines Befalls durch Krankheitserreger oder Bodenschädlinge. Ein verzögerter Auflauf beeinträchtigt die Bestandesdichte, verkürzt die Wuchperiode der Kultur und kann zu Ertragseinbußen führen.

Der Nachweis der Pflanzenverträglichkeit ist somit eines der wichtigsten Kriterien bei der Entwicklung von fungiziden und insektiziden Wirkstoffen.

Als Beizmittel applizierte Wirkstoffe können nur in gelöster Form während der Quellung und später über die Wurzeln in die Pflanzen aufgenommen werden. Eine gewisse Wasserlöslichkeit muss daher gegeben sein, damit der Wirkstoff schnell in ausreichender Menge in die wässrige Phase übergeht und somit für den Schutz des pflanzlichen Gewebes verfügbar ist. Wirkstoffe, die über die Wurzel in die Pflanze aufgenommen werden und sich im Gewebe über den Transpirationsstrom verteilen, nennt man systemisch. Im Gegensatz dazu verbleiben die nicht-systemischen Wirkstoffe, aufgrund ihrer physikalisch-chemischen Eigenschaften auf der Samenschale, diffundieren im Boden und gelangen lediglich in den Apoplasten.

Im Boden verteilen sich die gelösten Wirkstoffe über die wassergefüllten Poren in alle Richtungen. Mit dem Quellungswasser gelangen sie so an und fallweise in den Samen. Mit der Verteilung der Substanz im Boden verringert sich der Konzentrationsgradient zwischen Samen, Wurzeloberfläche und Gewebe, wodurch auch die treibende Kraft, die für den Einstrom des Wirkstoffes in das Wurzelgewebe verantwortlich ist, abnimmt. Die freie Diffusion der Wirkstoffe im Boden wird durch ihre Adsorption an die verschiedenen Bodenbestandteile eingeschränkt, die im wesentlichen durch den lipophilen Charakter der Wirkstoffe bestimmt wird. Für neutrale, nicht geladene Moleküle ist die Adsorption an organische Materialien, wie Pflanzenreste und Humus von entscheidender Bedeutung. So binden Böden mit hohen Anteilen an organischer Masse Wirkstoffe stärker als Humusarme. Diese adsorptive Kapazität beeinflusst den Grad der Mobilität von Wirkstoffen und damit ihre Verfügbarkeit zum Schutz der Pflanzen (Heitefuß, 1987; Baeder-Bederksi-Anteda, 2000).

Die Wasserlöslichkeit und Lipophilie einer organischen Substanz stehen in einer reziproken Beziehung. Wirkstoffe mit einer hohen Wasserlöslichkeit verfügen in der Regel über eine geringe Lipophilie und umgekehrt. Aus den Beziehungen zwischen physikalisch-chemischen Eigenschaften einerseits und der Mobilität im Boden bzw. der Bioverfügbarkeit für die Pflanzen andererseits, geht hervor, dass für den Einsatz als Saatgut-Behandlungsmittel eher Wirkstoffe mit einer moderaten Wasserlöslichkeit sowie Lipophilie geeignet sind als solche mit einer sehr hohen Wasserlöslichkeit oder Lipophilie (Briggs et al., 1982; Bromilow et al. 1990).

### **1.1 Chloronicotinyle**

Nikotin findet seit über 200 Jahren Anwendung als Insektizid, die Hochphase seiner Nutzung war in den 1930er und 1940er Jahren. Die Wirkung des Nikotin besteht in der Aktivierung des postsynaptischen Acetylcholin-Rezeptors jedoch nicht in einer Beeinflussung der Acetylcholin-Esterase. Nikotin selbst wird jedoch in den Zielorganismen rasch abgebaut.

In der Unterklasse der Chlorothiazole finden sich die Wirkstoffe Clothianidin und Thiamethoxam, Imidacloprid ist den Chloropyridinen zuzuordnen.

Die selektive Toxizität beruht auf generellen Unterschieden der Acetylcholin Rezeptoren. Die drei Chloronicotinyne wirken als Acetylcholin-Antagonisten - vergleichbar mit Nikotin - sind jedoch stabiler als dieses und daher für eine Applikation im Freiland besser geeignet (Tomizawa, 2003).

- **Imidacloprid**

Imidacloprid ist ein seit Jahren im Einsatz bewährtes Insektizid aus der chemischen Gruppe der Chloronicotinyne, welche sich durch einen neuartigen Wirkungsmechanismus ihrer insektiziden Wirkung auszeichnen. Das Präparat besitzt gute systemische Eigenschaften sowie ein breites Wirkungsspektrum gegen saugende und beißende Insekten. Imidacloprid ist in über 120 Ländern der Erde an über 140 Kulturpflanzenarten im Einsatz (Krohn und Hellpointner, 2002).

Die Saatgutbeize von Mais mit Chloronicotinylen wird aktuell in Südbaden prophylaktisch gegen den in Europa im Vormarsch befindlichen, als Quarantäneschädling eingestuft, westlichen Maiswurzelbohrer (*Diabrotica virgifera*) angewandt (Bayer, 2004 c, BBA 2005).

Über die Wirksamkeit von Imidacloprid gegen die Schaderreger liegen zahlreiche Forschungsarbeiten vor. So beschreibt Altmann (1991) die Anwendung von Imidacloprid gegen Rübenschädlinge. Elbert et al. (1991) beleuchten das Erregerspektrum und die biologische Wirkung von Imidacloprid. Abbink (1991) legt die Wirkungsweise im Nervensystem der Insekten dar. Mitnacht (1994) untersuchte den Feldaufgang von Zuckerrübe nach Behandlung mit Kombinationspräparaten einschließlich Imidacloprid und konnte keinen Einfluss auf den Feldaufgang feststellen. Ziegler (1995) informiert über das Erregerspektrum welches bei der Zuckerrübe erfasst werden kann. Epperlein und Jaschewski (1997) untersuchten neben pflanzenbaulichen Fragestellungen wie Feldaufgang, Wuchshöhe und Ertrag das Saugverhalten von Aphiden nach Behandlung mit Imidacloprid an Mais und fanden keinen Einfluss auf den Feldaufgang. Dewar et. al. (1997) konnten einen Einfluss der Pillengröße auf die Wirkung von Imidacloprid beim Feldaufgang feststellen. Powell und Stoffella (1998) berichten über den erfolgreichen Einsatz von Imidacloprid bei der Bekämpfung der Weißen Fliege an Tomate. Eine vergleichende Feldversuchs-Studie der Wirkung zweier Chloronicotinyne in Baumwolle gegen den Befall mit der weißen Fliege liegt von Horowitz et al.(1998) vor.

- **Clothianidin**

Clothianidin ist weniger wasserlöslich als Imidacloprid und weist sehr gute systemische Eigenschaften auf. Es kommt bei zahlreichen Kulturen in unterschiedlichen Applikationsformen gegen ein breites Spektrum saugender und beißender Insekten (Ohkawara et al., 2002, Schwarz et al., 2002) zur Anwendung und zeichnet sich insbesondere durch eine sehr gute Wirkung gegen den gesamten Fröhschädlingskomplex im Mais wie Drahtwürmer (*Melanotus* und *Agriotes*) Wurzelfliegen (*Hylemya platura*), Erdräupen (*Agrotis ypsilon*) und Maiswurzelbohrer (*Diabrotica*) aus (Altmann, 2003).

Seit 2003 ist Clothianidin zur Anwendung als Saatgutbeizmittel von Mais und Raps zugelassen. Mittlerweile kommt Clothianidin in unterschiedlichen Anwendungen auch bei Kartoffeln (*Solanum tuberosum*), Tabak (*Nicotiana tabaccum*) und Zierpflanzen erfolgreich zum Einsatz, für weitere Kulturarten ist die Zulassung beantragt.

In Freilandversuchen von Meredith et al. (2002) zeigte sich bei 30 Getreidesorten eine gute Pflanzenverträglichkeit des Clothianidins sowie eine gute Kompatibilität mit Fungiziden, selbst bei Applikation der doppelten praxisüblichen Aufwandmenge.

Ohkawara et al. (2002) bestätigten die gute Pflanzenverträglichkeit des Wirkstoffes in unterschiedlichen Applikationsformen bei den Kulturarten Aubergine (*Solanum melongena*), Reis (*Oryza sativa*), Tomate (*Lycopersicon esculentum*) und bei Mais (*Zea mays*). Easley (2002) berichtet aus einer Untersuchung von 15 Insektiziden an Mais über eine ertragsteigernde Wirkung durch Clothianidin.

Auch Schmuck und Keppler (2003) bestätigten in Gewächshausversuchen an 10 Kulturarten bei Spritzmittelanwendung eine gute Pflanzenverträglichkeit.

Eine Behandlung von Zuckerrüben mit Imidacloprid und Clothianidin zeigte in Feldversuchen von Dewar et al. (2003) keinen Einfluss auf die Auflaufrate und Triebkraft. Bei Befall mit der Grünen Pfirsichblattlaus (*Myzus persicae*) erhöhten sich in Folge der insektiziden Wirkung der Mittel die Erträge.

### • Thiamethoxam

Das systemische Thiamethoxam ist seit 1997 am Markt und in über 66 Ländern als Pflanzenschutzmittel zugelassen. Als Insektizid bietet es Schutz gegen zahlreiche saugende, beißende und bodenlebende Fröhschädlinge in Kulturen wie Mais, beispielsweise zur Bekämpfung des Maiszünslers, Weizen, *Sorghum*, Baumwolle, Raps, Zuckerrüben und Gemüsearten (Yue et al., 2003).

Untersuchungen mit Zuckerrübe, Mais und Getreide ließen bei Thiamethoxam-Beizung keinerlei phytotoxische Wirkungen erkennen (De Proft et al., 1999).

Thiamethoxam wird sowohl als Granulat als auch als Spritzmittel erfolgreich in der Bekämpfung von Raupen in Rispengrasbeständen eingesetzt. Hierbei konnte ebenso wenig wie in Rasen und speziell in Golfgrasfrasenmischungen, wo das Mittel gegen Ameisen eingesetzt wird, eine phytotoxische Wirkung festgestellt werden (Held et al. 1999, Shetlar et al. 2000).

Untersuchungen des Einflusses von Thiamethoxam auf die Alterung von Mais ließen unter regulären Lagerungsbedingungen und normaler Lagerungsdauer keinerlei Einfluss erkennen. Lediglich nach Überlagerung zeigte sich unter den Stressbedingungen des Kalttests ein Einfluss von Thiamethoxam auf die Triebkraft (Burris, 2001).

Untersuchungen an mit Imidacloprid und Thiamethoxam behandeltem Weizen ergaben unter fehlendem Schädlingsdruck zwar keine Steigerung der Erträge, jedoch auch keinerlei phytotoxische Wirkungen (Wilde et al., 2001).

Hier, wie in weiteren Publikationen, wird die Prüfung auf die Pflanzenverträglichkeit zumeist im Freiland unter Schädlingsdruck durchgeführt. Bei diesen Untersuchungen ist die Beurteilung der Wirkstoffverträglichkeit schwierig, da sich negative Einflüsse der tierischen Schaderreger mit Insektizideinflüssen überlagern können. Es bleibt dabei offen, ob die fördernde, verzögernde oder ausbleibende Wirkung tatsächlich auf die Behandlung mit dem Pflanzenschutzmittel zurückzuführen ist.

In Laborversuchen ist es möglich die Wirkung von Pflanzenschutzmitteln auf die Entwicklung unter Ausschluss von Schaderregerbefall zu ermitteln. Mote (1978) und Sinclair et al. (1992) stellten in Laborversuchen bei bestimmten systemisch wirksamen Insektiziden negative Einflüsse auf die Keimlingsentwicklung fest.

Der Verdacht einer den Auf Lauf verzögernden Wirkung auf Keimpflanzen wird von Dewar et al. (1997) und Stevens et al. (1999) erhoben. Insbesondere Drinkwater, 1997 stellt nach der Anwendung von Imidacloprid bei gebeizt gelagertem Saatgut eine auf Laufverzögernde Wirkung im Gewächshausversuch fest. In daraufhin angesetzten Versuchen ließ sich dies jedoch nicht bestätigen.

Trotz intensiver Mittelprüfung werden also immer wieder Fälle bekannt, in denen unter bestimmten Bedingungen durch zugelassene Wirkstoffe Probleme in der landwirtschaftlichen Produktion auftreten. Dabei ist zu bedenken, dass neben der Beizung auch die Qualität des Saatgutes und die landwirtschaftliche Praxis eine Rolle spielen.

So sind von dem Insektizid Lindan aus Freilandversuchen phytotoxische Wirkungen berichtet worden, die sich als Wachstumsverzögerungen zeigten (Zeller und Häuser, 1974) oder bei Getreide nach Behandlung mit Methylbromid als Verringerung der Keimfähigkeit (Hanson et al., 1987).

Häge berichtet 1994 nach systematischer Untersuchung einer Reihe von Pflanzenbehandlungsmitteln über phytotoxische Nebenwirkungen. Während einige Mittel die Keimfähigkeit verringerten, verzögerten andere die Keimlingsentwicklung oder verursachten Keimlingsanomalien. Die Wirkungen traten überwiegend wirkstoffspezifisch auf. Diese Publikationen behandeln stets Einzelfälle und sind aufgrund der verschiedenen eingesetzten Methoden nicht vergleichbar.

Daher sollte ein ausgewähltes, breites Spektrum insektizider Wirkstoffe aus unterschiedlichen Stoffklassen auf seine phytotoxische Wirkung im frühen Entwicklungsstadium der Keimung untersucht werden.

### 1.2 Wirkstoffe aus weiteren Stoffklassen

- **Acephate**

Das hochwasserlösliche Acephate ist als systemisch wirksames Fraß- und Kontaktgift eingeordnet. Durch seine Breitbandwirkung kommt dieses Organophosphat bereits seit Mitte der 70er Jahren bei zahlreichen Kulturarten zum Einsatz.

Haile et al. (2000) stellten bei Spritzbehandlung von Salat mit Acephate eine Wirkung auf die Photosynthese fest. Dabei reagierten Keimpflanzen mit deutlicher Reduktion der Photosyntheserate, während die Salatpflanzen nach Kopfbildung unempfindlich gegenüber der Acephate-Behandlung waren.

- **Carbofuran**

Carbofuran ist ein langjährig im Einsatz befindliches Breitbandinsektizid, Akarizid und Nematizid, das eine hohe Wasserlöslichkeit bei gleichzeitig niedrigem Adsorptionskoeffizienten besitzt. Es wird über die Wurzel aufgenommen und durch den Xylem-Ferntransport in der Pflanze verteilt (Summer, 2004). Zu Carbofuran liegen zahlreiche Veröffentlichungen über fördernde aber auch die Entwicklung beeinträchtigende Wirkungen vor.

So stellen Pless et al. bereits 1970 fest, dass eine insektizid-induzierte Wachstumsförderung bei Carbofuran nicht neu ist, jedoch die Ursachen und Wirkweisen des Stoffes noch unbekannt sind und berichten über eine fördernde Wirkung von Carbofuran auf das Wachstum von Tabak. Moody und Bailey (1974) berichten solches von Soja.

Fallweise stark keimungshemmende Wirkung des Carbofuran findet Benjamini (1986) bei Bohnen, Sonnenblumen, Zuckerrüben und anderen Arten. Dabei traten bei unterschiedlichen Applikationsformen und Kulturarten jeweils andere Wirkungen auf, so bei Bohnen auch eine Keimungsförderung.

Zur Wirkung von Carbofuran bei Karotten liegen Berichte über eine phytotoxische Wirkung vor, die aber von anderen Autoren nicht bestätigt wird. Auch bei Zwiebeln gibt es kontroverse Daten bezüglich phytotoxischer Wirkungen von Carbofuran (Sinclair et al., 1992).

Gaikward und Pawar (1979) berichten über eine Verringerung der Plumula-Länge und abnehmende Keimfähigkeit nach Saatgutbehandlung von Okra (*Abelmoschus esculentum*).

Phytotoxische Wirkungen, die sich in Sand deutlicher als in Kompost zeigen, sind für die Behandlung von *Vicia faba* von Nijenstein und Ester (1990) beschrieben.

Mishra et al. (1992) berichten bei Mais von einer Beeinflussung der Chloroplastenlipide nach Behandlung mit Carbofuran.

- **Fipronil**

Das zu den Phenylpyrazolen gehörige Breitbandinsektizid Fipronil befindet sich seit 1993 auf dem Markt, wirkt als Kontakt- und Verdauungsgift und ist gegen zahlreiche Schaderreger im Einsatz. Tingle et al. (2000) beschrieben eine durch Fipronil bewirkte Förderung des Wurzelwachstums und des Ertrages bei Reis, die auf phytohormonartige Effekte zurückgeführt wird. Stevens et al. (1999) überprüften die in der Literatur beschriebenen phytostimulierenden Effekte durch Fipronil bei Reis, konnten diese jedoch nicht bestätigen, sondern fanden sogar eine reduzierte Keimungsrate.

Der Einsatz von Fipronil hat sich im Baumwollanbau bei der Bekämpfung bedeutender Schaderreger wie der Weißen Fliege (*Bemisia*) und dem Baumwollkapselwurm (*Helicoverpa armigera*) als besonders geeignet erwiesen (Mulroney et al., 1998).

- **Tefluthrin**

Das zur Klasse der Pyrethroide zählende, kaum wasserlösliche Tefluthrin hat keine systemische Wirkung. Tefluthrin kommt in Kombinationspräparaten bei Rübenpillen zum Einsatz, deren synergistische Wirkung den Gesamtkomplex der Bodenschädlinge erfasst. Gegen saugende und beißende Schaderreger wird es in Kombination mit systemischen Insektiziden zum Langzeitschutz eingesetzt (Melkebeke et al., 1990).

Auch von Pyrethroiden sind physiologische Wirkungen auf den pflanzlichen Stoffwechsel bekannt. So konnte in Zellkulturen ein Einfluss auf den photosynthetischen Elektronentransport bei Tomaten beobachtet werden (Bader und Schüler, 1996).

### 1.3 Ziel der Untersuchungen

Vor diesem Hintergrund war es das Ziel der Untersuchungen das Keimungsverhalten und die Entwicklung der Keimpflanzen nach Behandlung mit den genannten Wirkstoffen vergleichend zu erfassen und zu bewerten. Zu diesem Zweck musste zunächst ein Prüfsystem entwickelt werden, welches durch eine gute Standardisierbarkeit eine hohe Reproduzierbarkeit sowie Vergleichbarkeit der Untersuchungsergebnisse bei unterschiedlichen Wirkstoffanwendungen gewährleistet.

Mit dieser Labormethode sollten zunächst grundsätzliche Erkenntnisse über den Wirkstoff Imidacloprid gewonnen werden. Die Versuchsanstellung sollte hierbei so nahe wie möglich an die Praxisbedingungen heranreichen. Zusätzlich sollten sogleich die Ursachen für die pflanzliche Antwort auf die Saatgutbehandlung geklärt werden. Mit den an Imidacloprid gewonnenen Erkenntnissen sollten sich weitere Gesetzmäßigkeiten ableiten lassen. Insektizide aus den Stoffklassen: Organophosphate, Carbamate, Chloronicotinyne,

Phenylpyrazole und Pyrethroide wurden ausgewählt, um die Zusammenhänge zwischen deren physikalisch-chemischen Eigenschaften aufzeigen und die Interaktionen mit der Pflanzenentwicklung erklären können.

Im Einzelnen galt es dabei folgende Fragen zu lösen:

- Haben die ausgewählten Pflanzenschutzmittel einen Einfluss auf die Keimlingsentwicklung?
- Welcher Art sind diese Auswirkungen, welche Pflanzenorgane oder Gewebetypen sind betroffen?
- In welchen Entwicklungsstadien treten die Symptome auf?
- Lassen sich dosisabhängige Effekte beobachten?
- Welcher Art sind die physiologischen Interaktionen und was sind ihre Ursachen?
- Sind Abhängigkeiten der Interaktionen von den Versuchsbedingungen, wie Substrat, Temperatur, Wasserversorgung, Fungizidbehandlung oder Bodenart gegeben?
- Ist die Wirkung bei allen untersuchten Kulturarten gleich oder gibt es fruchtartenspezifische Effekte und wovon hängt eine unterschiedliche Wirkung ab?
- Zeigen Wirkstoffe mit vergleichbaren physikalischen und chemischen Eigenschaften ähnliche Auswirkungen?
- Können Korrelationen zwischen Translokation, Konzentration des Wirkstoffes in bestimmten Pflanzenorganen, dem Metabolismus in der Pflanze und den festgestellten Auswirkungen ermittelt werden?

Weiter galt es herauszufinden, ob und wie sich die bei Mais gewonnenen Erkenntnisse auch auf andere Kulturarten übertragen lassen. Ein geeignetes Testsystem sollte hier, bei Kenntnis der pflanzenspezifischen Keimungsverhältnisse, schlussendlich eine Vorabschätzung der Wirkung insektizider Stoffe für weitere Kulturarten ermöglichen.

Angesichts der zahlreichen vorgestellten Einflussmöglichkeiten war es das Ziel mit möglichst vielen Versuchsvarianten die beeinflussenden Parameter zu erkennen und die Wesentlichen herauszufiltern, nicht aber mit einer statistisch hohen Einzelkornzahl die Einzelparameter detailgenau zu bestimmen.

## 2 Material und Methoden

### 2.1 Saatgut

Bei den Untersuchungen kamen die Kulturarten Mais (*Zea mays*) aus der Klasse der Monocotyledonae sowie von den Dicotyledonae die Sonnenblume (*Helianthus annuus*), Zuckerrübe

(*Beta vulgaris* var. *altissima*) und Baumwolle (*Gossypium hirsutum*) zur Verwendung. Mit dieser Auswahl wurden zum einen weltwirtschaftlich bedeutsame Kulturen, zum anderen unterschiedliche Samen- und Keimungstypen berücksichtigt (Tabelle 1).

Für die Abklärung zusätzlicher Fragestellungen wurde Saatgut Kresse (*Lepidium sativum*), Rotkohl (*Brassica oleracea* convar. *capitata* var. *capitata* f. *rubra*), Senf (*Sinapis alba*), Roggen (*Secale cereale*) und Hafer (*Avena sativa*) sowie die Wasserpflanze *Elodea canadensis* herangezogen.

Die verwendeten Saatgutarten und Sorten, einschließlich Angaben zu Qualitätseigenschaften sind in Tabelle 2 dargestellt. Grundsätzlich wurde nur Saatgut hoher Qualität bezüglich der Keimfähigkeit verwendet. Lediglich die Abklärung der Frage, ob Wirkeffekte auch von der Qualität des Saatgutes abhängig sind, wurde an Proben geringerer Keimfähigkeit vorgenommen. Für die Versuche wurden nur intakte Samen ohne offensichtliche mechanische oder sonstige Schäden, im Falle der Zuckerrüben pilliertes Saatgut, eingesetzt.

Art	Klasse	Familie	Samentyp / Nährstoffspeicherung	Keimungs-typ
<b>Zea mays</b> L. <b>Hybridmais</b>	Monocotyledonae	<i>Poaceae</i>	überwiegend im Endosperm	hypogäisch
<b>Helianthus annuus</b> L. <b>Sonnenblume</b>	Dicotyledonae	<i>Asteraceae</i>	in den Kotyledonen	epigäisch
<b>Beta vulgaris</b> var. <b>altissima</b> Döll. <b>Zuckerrübe</b>	Dicotyledonae	<i>Chenopodiaceae</i>	im Perisperm	epigäisch
<b>Gossypium hirsutum</b> L. <b>Baumwolle</b>	Dicotyledonae	<i>Malvaceae</i>	im Endosperm und in den Kotyledonen	epigäisch

**Tabelle 1.** Untersuchte Kulturarten

Für die Bereitstellung von Saatgut sei der KWS Saat AG, Grimsehlstr. 31, 37555 D-Einbeck, der SUET Saat und Erntetechnik GmbH, Sudetenlandstraße 26 D-37269 Eschwege sowie der Südwestdeutschen Saatzucht Dr. Hans Rolf Späth GmbH & Co. Kommanditgesellschaft, Im Rheinfeld 1 - 13, 76437 D-Rastatt an dieser Stelle herzlich gedankt.

## Material und Methoden

Art Sorte	Tausendkorn- masse [g]	Keimfähig- keit [%]	Züchter	Samen-, Hybridtyp / Ploidiegrad	Feuchtig- keit [%]
<b><i>Zea mays</i></b>					
Forum	250	99	KWS Saat-AG	Hybrid, Zwischentyp	-
Helga	286	98	Pioneer Hi-Bred	Hybrid, Zahnmais	12,3
Lussac	270	99	KWS Saat-AG	Hybrid, Zahnmais	-
Marshall	286	98	Monsanto	Hybrid, Zahn- Hartmais Zwischentyp	11,4
Pedro	343	98	APZ- Bernburg	Hybrid, Hartmaisähnlicher Zwischentyp	11,8
Prinz	277	98	KWS Saat-AG	Hybrid, Zahn- Hartmais Zwischentyp	11,9
Türkis Kaliber S	306	98	Societe des Mais S.D.M.E.	Hybrid, Zwischentyp	-
Türkis Kaliber B	338	99	Societe des Mais S.D.M.E.	Hybrid, Zwischentyp	-
<b><i>Helianthus annuus</i></b>					
Capella	80	92	Dr. Hans Rolf Späth	Einfachhybride	-
<b><i>Beta vulgaris var. altissima</i></b>					
Granada	30	97	Delitzsch Pflanzenzucht	triploid	-
Impuls	29	87	Syngenta Seeds GmbH	diploid	-
Tatjana	25	98	KWS Saat-AG	diploid	-
Wiebke	24	97	KWS Saat-AG	diploid	-
<b><i>Gossypium hirsutum</i></b>					
Coker C 310	109	82	Stoneville Pedigree Seed Co. Inc.		-
Coker C 312	109	85	Seedco Cooperation		-
Zeta	114	93	Cotton and industrial Plants institute		-

**Tabelle 2.** Sorten und Qualitätseigenschaften der ausgewählten Kulturarten  
(Hybridmais, Sonnenblume und Zuckerrübe nach Bundessortenamt Beschreibende Sortenliste, 2001)

## 2.2 Saatgutbehandlungsmittel

**Standard:** Beizung mit dem fungiziden Wirkstoff Thiram (= Tetramethylthiuram-disulfid [TMTD]) in der Anwendungsform der Tutan Flüssigbeize (500g/L).

**Leerformulierung:** Eine Füllsubstanz, bestehend aus 85 % Kaolin, Farbpigmenten, Dispergier- und Netzmittel, Kieselsäure und Entschäumer.

### Insektizide:

Technisch reine insektizide Wirkstoffe, angeordnet nach ihrer Wasserlöslichkeit:

Wirkstoff	Reinheitsgrad
Acephate	98,1 %
Thiamethoxam	98,0 %
Imidacloprid	98,4 %
Carbofuran	99,5 %
Clothianidin	99,9 %
Fipronil	96,7 %
Tefluthrin	97,0 %

Die Auswahl der Insektizide aus unterschiedlichen Stoffklassen erfolgte nach deren chemischen und physikalischen Eigenschaften wie Wasserlöslichkeit, Verteilungskoeffizient in n-Oktanol/Wasser [ $\log (P_{O/W})$ ] und Wirkstoffeigenschaften wie sie in Tabelle 3 dargestellt sind.

Wirkstoff	Chemische Stoffklasse	Wasserlöslichkeit [g/L]	Verteilungskoeffizient in Oktanol/Wasser	systemische Wirkung
<b>Acephate</b>	Phosphorsäureester	790	-0,89	ja
<b>Thiamethoxam</b>	Neonicotinyl	4,2	-0,17	ja
<b>Imidacloprid</b>	Neonicotinyl	0,57	0,52	ja
<b>Carbofuran</b>	Carbamat	0,32	1,52	ja
<b>Clothianidin</b>	Neonicotinyl	0,3	1,2	ja
<b>Fipronil</b>	Phenylpyrazol	0,002	4,0	mäßig
<b>Tefluthrin</b>	Pyrethroid	0,0002	6,5	nein

**Tabelle 3.** Wirkstoffe und ihre physikalisch-chemischen Eigenschaften

Weitere Angaben zu den Wirkstoffen sind in Tabelle 4 vorgestellt.

Der Bayer CropScience AG, Alfred-Nobel-Str. 50, D-40789 Monheim am Rhein, sei an dieser Stelle für die großzügige Überlassung der insektiziden Wirkstoffe gedankt.

## Material und Methode

Stoffklasse / Wirkstoff	IUPAC-Nomenklatur	Hersteller	Wirkung gegen	Wirkmechanismus	Aktionsmechanismus	Handelsname
<b>Phosphorsäureester</b>						
Acephate	O,S-dimethyl acetylphosphoramido-thioate	Aimco, Chevron, Jingma, Nagarjuna, Pesticides India	Breitbandspektrum-Insektizid gegen Blattläuse, Blattwespen, Wanzen, Blumenfliegen, Motten, Fruchtfliegen, Borkenkäfer, Schildläuse, Erdflöhe, Eulenraupen, Falter und Schmetterlinge, Fransenflügler, Milben, Gallmücken, Glanzkäfer, Halmfliegen, Hautflügler, Käfer, Knospwickler, Minierfliegen, Rüsselkäfer, Sägewespen, Schnellkäfer, Spanner, Stengelälchen, Thripse, Traubenwickler, Weichhautmilben, Weiße Fliege .bei zahlreichen Kulturarten.	Cholinesterase-inhibitor	Systemisch, Fraß-, Kontakt- und Verdauungsgift	Orthene, Ortran, Acevol, Aimthene, Asataf, Cekucephate, Lancer, ...
<b>Carbonsäureester</b>						
Carbofuran	2,3-dihydro-2,2 dimethylbenzofuran-7-yl-methylcarbamate	Bayer AG, Chunhu, FMC, Jin hung	Boden und blattfressende Insekten wie Weiße Fliege, Wurzelfliegen, Käfer, Sciariden, Läuse, Thripse, einschließlich Drahtwürmer und Nematoden bei Gemüse, Zierpflanzen, Rüben, Mais, Hirse, Sonnenblume, Raps, Kartoffeln, Reis und Baumwolle.	Cholinesterase-inhibitor	Systemisch, Kontakt- und Fraßgift	Curaterr, Furadan, Carbosip, ...
<b>Phenylpyrazole</b>						
Fipronil	(+/-)-5-amino--1-(2,6-dichloro-a,a,a,-trifluoro-p-tolyl)-4-trifluoromethylsulinylpyrazole-3-carbonitrile	Rhone Poulence	Breitbandspektrum-Insektizid als Spritzmittel- Saatgut- und Bodenbehandlung gegen Thripse, Wurzelwürmer, Drahtwürmer und Termiten bei Mais, Kapselwürmer und Wanzen bei Baumwolle, Motten, Stengelbohrer und Blattminierer an Cruziferen.	Blockierung der Gaba regulierten Cl-Kanäle	Systemisch, Kontakt und Verdauungstoxin	Prince, Regent, ...
<b>Pyrethroide</b>						
Tefluthrin	2,3,5,6,-tetrafluoro-4-methylbenzyl (Z)-(1RS,3RS)-3-(2-chloro-3,3,3-trifluoroprop-1-enyl)-2,2-dimethylcyclopropanecarboxylate	Zeneca	Bodeninsekten aus den Familien der Coleopteren, Lepidopteren und Dipteren.	Dauererregung durch Öffnen der Kalziumkanäle	Nicht systemisches Kontakt und Atemgift mit hohem Dampfdruck	Force, Fireban, ...
<b>Chloronicotinyle</b>						
Imidacloprid	1-(6-chloro-3-pyridylmethyl)-N-nitroimidazolidin-2-ylideneamina	Bayer AG	Saugende Insekten einschließlich Reishüpfer, Läuse, Thripse und Weiße Fliege, Bodeninsekten, Termiten, und beißende Insekten wie Reiswasserkäfer und Coloradokäfer.	Blockierung der postsynaptischen Acetylcholin-Rezeptoren	Systemisch, akropetale Verteilung in der Pflanze, gute wurzelsystemische Wirkung Kontakt- und Fraßgift	Admire, Confidor, Gaucho
Thiamethoxam	3-(2-chloro-thiazol-5-methyl)-5-methyl-[1,3,5]oxadiazinan-4-ylidene-N-nitroamine	Bayer AG	Maiswurzelbohrer, Thripse, Läuse, Kartoffelkäfer, Grashüpfer, und Drahtwürmer.	Blockierung der postsynaptischen Acetylcholin-Rezeptoren	Systemisch, Breitbandinsektizid gegen saugende und beißende Insekten	Cruiser, Helix, Adage
Clothianidin	(E)-1-(2-Chloro-1,3-thiazol-5-ylmethyl)-3-methyl-2-nitro-guanidine	Bayer AG	Maiswurzelbohrer, Drahtwürmer, Wurzelfliegen, Erdflöhe, Engerlinge, Erd- und Ypsiloneulen.	Blockierung der postsynaptischen Acetylcholin-Rezeptoren	Systemisch, Breitbandinsektizid gegen saugende und beißende Insekten	Poncho

**Tabelle 4.** Eigenschaften der insektiziden Wirkstoffe (Abbink, 1991, Elbert et al., 1991; Altmann, 2003; Jeschke et al, 2003)

### Beizgrad

Sowohl bei Mais- als auch bei Sonnenblumensaatgut wurde zur Absicherung des korrekten Beizverfahrens für die beiden Wirkstoffe Imidacloprid und Clothianidin eine HPLC-Analyse zur Ermittlung des Beizgrades nach Schöning (2001) durchgeführt.

Für Imidacloprid ergab sich aus der Untersuchung von jeweils 30 Einzelsamen bei einer Durchschnittsmasse der Maiskaryopsen von 283 mg ein mittlerer Wirkstoffgehalt von 0,843 mg je Karyopse, die Sonnenblumen wiesen eine mittlere Masse von 78 mg auf, sodass ein Wirkstoffgehalt von 0,98 mg je Achäne ermittelt wurde.

Bei Clothianidin konnten, bei der Durchschnittsmasse von 292 mg bei Mais 0,810 mg- und bei Sonnenblumen mit einer Durchschnittsmasse von 75 mg 0,785 mg Clothianidin je Samen festgestellt werden.

Somit lag der Anteil an aktivem Wirkstoff in allen Fällen zwischen 79 % und 100 % des erwarteten Werts. Bei den Versuchen mit den praxisüblichen Aufwandmengen von 1 mg/Samen waren somit keine zusätzlichen Effekte durch Überbeizung zu erwarten.

### 2.4 Geräte

Becherglas (500 ml) und Glasstab

Keimschalen (20 x 20 x 9 cm), mit lichtdurchlässigem und dicht schließendem Deckel

Plastik-Petrischalen (Durchmesser 9 cm)

Plastikspiralen

Klimakammern

Anatomisches Präparationsbesteck

Binokular

Mikroskop

Elektronische Schieblehre

Granomat, Gerät zur Bestimmung des Feuchtigkeitsgehaltes von Saatgut, Pfeuffer GmbH

Computerprogramme: Microsoft Office, Basic, SAS

Die Einhaltung einer gleichmäßigen Vorgehensweise bezüglich der Saatgutbehandlung, der Klimatisierung, der Bodeneigenschaften sowie der Beurteilung von Versuchen ist durch das Qualitätssicherungssystem des Referates Saatgutuntersuchung und Angewandte Botanik der LUFA Augustenberg abgesichert und dokumentiert.

## **2.5 Keimmedien**

### **2.5.1 Papier**

Keimpapier für Keimfähigkeitsprüfung von Mais:

glatt: 460N, 15 x 58 cm, 90g/m<sup>2</sup>, Sartorius AG

gekreppt: 6/N, 15 x 58 cm, 145 g/m<sup>2</sup>, FILTRAK GmbH

Faltenfilter für Keimprüfungen von Mais:

50 S, 125 g/m<sup>2</sup>, 20 x 40 cm, Faltentiefe 20 mm, 50 Doppelfalten, FILTRAK GmbH

Für Mais wurden speziell angefertigte 40 cm lange Faltenfilter verwendet (**Abbildung 10**).

Rundfilter:

MN 621, 160g/m<sup>2</sup>, 80 mm, MACHEREY-NAGEL GmbH & Co. KG

Papierdochte:

Zuschnitt 2 x 15 cm aus 460N, 90g/m<sup>2</sup>, Sartorius AG

Faltenfilter für Keimprüfungen von Zuckerrüben:

50 S, 120 g/m<sup>2</sup>, 20 x 11 cm, Faltentiefe 20 mm, 50 Doppelfalten, Sartorius AG

### **2.5.2 Sand**

Quarzsand geblüht, feine Körnung 0,3 - 0,8 mm

Quarzsand geblüht, grobe Körnung 2,0-3,0 mm

### **2.5.3 Standardlaborerde**

Standardlaborerde ist die Laborerde zur Durchführung des Kalttestes bei Mais. Es handelt sich um einen sandigen Lehm aus einem Maisfeld, der naturbelassen gelagert und bei einer Feuchtigkeit von etwa 23 % homogenisiert und danach über ein 5 mm Sieb abgesiebt wurde.

### **2.5.4 Boden**

#### **2.5.4.1 Bodenarten**

Folgende fünf Bodenarten wurden ausgewählt:

Sand (I), Lehmiger Sand (II), Sandiger Lehm (III), Toniger Lehm (IV) und Lehmiger Ton (V).

Dabei handelte es sich um Standardbodenarten von Ackerflächen. Die trockenen Böden wurden über ein 5 mm Sieb abgesiebt und in verschließbaren Plastikboxen bis zur Verwendung kühl gelagert.

Bodeneigenschaften wie der pH-Wert, der Gehalt an P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O, Mg, Organischer Substanz und Gesamt-Stickstoff wurden ermittelt und sind in Tabelle 5 dargestellt. Zusätzlich wurde der prozentuale Wassergehalt sowie die maximale Wasserkapazität, d.h. der Wassergehalt,

den ein Boden entgegen der Schwerkraft zu halten vermag, mittels des gravimetrischen Verfahrens nach DIN ISO 11465 bestimmt. Aus diesen Daten lässt sich die notwendige Wasserzugabe zur Einstellung eines bestimmten Feuchtigkeitsgehalts berechnen.

Sandböden besitzen eine gute Wasserdurchlässigkeit und gute Durchlüftung, jedoch ist ihr Adsorptions- und Speichervermögen für pflanzenverfügbares Wasser vergleichsweise gering. Eine günstigere Konstellation chemischer und physikalischer Bodeneigenschaften besitzen dagegen die Lehm Böden. Bei einem hohen Nährstoffgehalt liegt ein günstiger Luft- und Wasserhaushalt vor, der eine gute Pflanzenverfügbarkeit gewährleistet. Die höchsten Erträge werden in Schluff und Lehm Böden erzielt.

In Tonböden ist der Anteil an Grobporen und Mittelporen am höchsten, jedoch ist die pflanzenverfügbare Wassermenge gering. Neben einer schlechten Wasserführung, Durchlüftung und Durchwurzelbarkeit ist auch eine starke Quellung und Schrumpfung bei wechselndem Feuchtigkeitsgehalt dem Pflanzenwachstum abträglich (Scheffer und Schachtschabel, 2002).

Nr.		I	II	III	IV	V
Bodenart	Laborerde	Sand	Lehmiger Sand	Sandiger Lehm	Toniger Lehm	Lehmiger Ton
<b>Massenanteile der Korngrößen in %</b>						
<b>Sand (63 - 2000 µm)</b>	19	93	81	42	10	14
<b>Schluff (2 - 63 µm)</b>	54	2	9	37	51	36
<b>Ton (&lt; 2 µm)</b>	27	5	10	21	39	50
<b>Flächen-Nutzung</b>	Maisanbau	Halde	Spargelfeld	Getreidefeld	Dauer-Grünland	Weinbau
<b>pH</b>	7,4	7,5	6,3	7,5	7,4	7
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	22	7	28	23	13	12
<b>K<sub>2</sub>O</b>	11	6	23	24	18	31
<b>Mg</b>	20	2	16	7	11	28
<b>Organische Substanz [%]</b>	6,2	0,6	1,1	2,4	2	4
<b>gesamt N [%]</b>	-	0,02	0,06	0,16	0,11	0,19
<b>Wkmax [%]</b>	38	25	30	45	47	56

**Tabelle 5.** Bodenarten und ihre Eigenschaften

Der Humusgehalt der verwendeten Böden ist nach der Einteilung von Geisler (1988), bei Boden I als humusarm, bei Boden II als humushaltig, bei Boden III, IV und V als humos und die Standardlaborerde als stark humos zu bezeichnen (Kuntze et al., 1994).

In dieser Arbeit wurden insgesamt 1350 Versuchsansätze zumeist mit 100 Samen ausgewertet.

## **2.6 Methoden**

### **2.6.1 Saatgutbehandlung durch Beizung**

Zur Herstellung der gebrauchsfertigen 70 WS Formulierung (WS = water soluble), einer in Wasser dispergierbaren Pulverformulierung, wurden die technisch reinen Wirkstoffe mit Leerformulierung gemischt, um einen Wirkstoffgehalt von 70 % einzustellen.

Nach erfolgter Reinheitsuntersuchung des Saatgutes und Entfernung von Bruchkorn wurden die Saatgutproben von Mais, Sonnenblume und Baumwolle zunächst mit dem Fungizid Thiram (1,5 mg/Samen), in einem zweiten Schritt mit Leerformulierung sowie mit Hilfe der 70 WS Formulierung zusätzlich mit dem insektiziden Wirkstoff in verschiedenen Konzentrationen gebeizt.

Zur Beizung wurden die pulverförmigen Wirkstoffformulierungen mit einer geringen Wassermenge angerührt, die zu beizenden Samen hinzugegeben und so lange mit dem Glasstab gerührt, bis alles Beizmittel gleichmäßig an die Samen appliziert war.

Als Standard wurde grundsätzlich Saatgut verwendet, das sowohl mit dem Fungizid Thiram, als auch mit der Leerformulierung behandelt war. Daher fungiert bei der Zuckerrübe die Pillenmasse als Leerformulierung und die mit Fungizid behandelten Saatpillen werden als Standard herangezogen. Ausnahmen hiervon werden bei der Versuchsdurchführung erläutert.

Anhand verschiedener Wirkstoffkonzentrationen sollte geprüft werden, ob der Einfluss auf das Pflanzenwachstum konzentrationsabhängig ist, wobei beim Mais mit den Versuchsgliedern 2,0 mg und 4,0 mg Auswirkungen, wie sie bei Überbeizung vorkommen können, erfasst werden, während mit der Variante 0,5 mg eine genauere Eingrenzung der Wirkeffekte vorgenommen werden sollte.

### **2.6.2 Versuchsanordnung und Durchführung**

Das Hybridmais-Saatgut wurde folgendermaßen behandelt. Beizung mit dem Fungizid Thiram, mit Thiram und Leerformulierung, mit Thiram, Leerformulierung und der 70 WS-Formulierung der Wirkstoffe Imidacloprid, Clothianidin, Thiamethoxam, Acephate, Carbofuran, Fipronil und Tefluthrin in den Konzentrationen 0,5 mg, 1,0 mg, 2,0 mg und 4,0 mg je Samen. Die empfohlene Aufwandmenge der untersuchten Wirkstoffe liegt bei 1 mg Wirkstoff je Samen.

Das Sonnenblumen-Saatgut wurde ebenso zunächst mit dem Fungizid Thiram und nachfolgend mit den insektiziden Wirkstoffen Thiamethoxam, Imidacloprid und Clothianidin mit je 1,0 mg Wirkstoff je Achäne behandelt.

Das Zuckerrüben-Saatgut war bei der Pillierung bereits mit dem Fungizid Thiram versehen und wurde nachfolgend mit Leerformulierung und den Wirkstoffen Imidacloprid, Acephate, Carbofuran, Fipronil und Tefluthrin in den Konzentrationen 0,15 mg, 0,3 mg, 0,9 mg, sowie 1,8 mg je Samen gebeizt. Die empfohlene Aufwandmenge der untersuchten Wirkstoffe liegt bei 1,0 mg Wirkstoff je Samen.

Baumwoll-Saatgut wurde ebenfalls mit dem Fungizid Thiram, mit Thiram und Leerformulierung sowie mit Thiram, Leerformulierung und Imidacloprid in den Konzentrationen 0,5 mg, 1,0 mg, 2,0 mg und 4,0 mg je Samen gebeizt. Die empfohlene Aufwandmenge liegt auch hier bei 1,0 mg Wirkstoff je Samen.

### 2.6.2.1 *Bestimmung der Keimfähigkeit*

Die Bestimmung der Keimfähigkeit erfolgte nach den Vorschriften der Internationalen Vereinigung für Saatgutprüfung (Anonymus, 2003) entsprechend der Standardarbeitsanweisung zur Keimfähigkeitsprüfung des Referates Saatgut und Angewandte Botanik der LUFA Augustenberg. Die Keimfähigkeitsprüfungen wurden an 4 x 100 Samen, gebeizt mit Thiram, durchgeführt. Dabei wurde der Mais in Filterpapierrollen, die Zuckerrübe in Faltenfiltern, die Sonnenblume und Baumwolle in Sand untersucht.

### 2.6.2.2 *Wachstumsbeobachtungen und Längenmessungen im Faltenfilter*

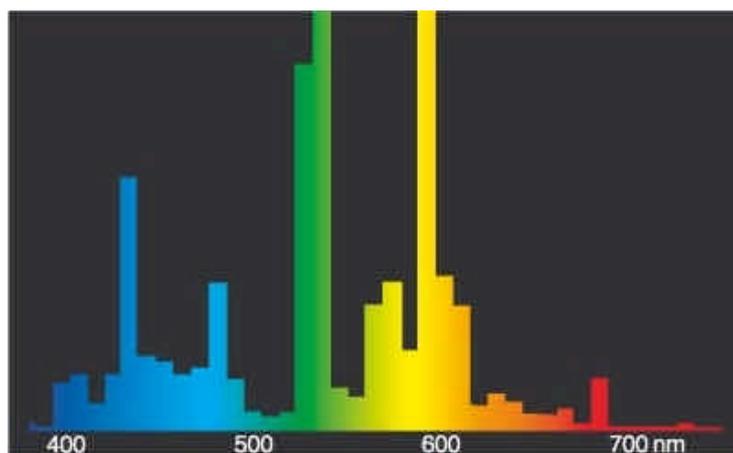
Im Faltenfilter wurden die Samen in definiertem Abstand zum oberen Rand eingelegt, das Filterpapier befeuchtet und bei den entsprechenden Temperaturen mit einem Winkel von 85° inkubiert. Die Länge von Spross, Mesokotyl sowie der Wurzel wurde mit Hilfe einer elektronischen Schieblehre bestimmt.

- **bei optimalen Temperaturen**

Die Samen wurden im Faltenfilter für 3 Tage bei 25°C und 4 Tage 20°C, mit Wechsellicht inkubiert. Die Belichtung erfolgte 8h mit 8000 Lux und einer Farbtemperatur von 4000°K (= Grad Kelvin), was einem warmen Weißlicht entspricht (**Abbildung 1**). Das Wachstum von Wurzel und Spross wurde durch tägliche Längenmessungen der Pflanzenorgane an je 100 Pflanzen festgestellt.

- **bei suboptimalen Temperaturen**

Nach 7 Tagen Vorkühlung bei 8°C wurden die Maiskeimlinge bei 20°C herangezogen. Im Faltenfilter wurden Keimung sowie Wachstum von Spross, Wurzel und Mesokotyl durch Längenmessung beobachtet. Des weiteren wurde die Frischmasse der Pflanzen bestimmt. Im Auflauftest wurde der Anteil aufgelaufener Samen zu definierten Zeiten ermittelt.



**Abbildung 1.** Spektrum der bei der Keimlings-Anzucht verwendeten Leuchtstoffröhren (Radium, 2004)

### 2.6.2.3 *Auflaufversuche in Sand und Erde*

Die Plastikschaalen wurden am Tag vor dem Versuchsansatz mit 3 cm Substrat mit bekanntem Feuchtigkeitsgehalt befüllt. Je Schale wurden 100 bzw. 50 Karyopsen des gebeizten Maises mit einem gegenseitigen Abstand von 2 cm eingelegt.

Abgedeckt wurden sie mit einer exakt 2 cm dicken Substratschicht. Je nach Fragestellung wurden die Ansätze mit einer definierten Wassermenge gleichmäßig begossen, um den gewünschten Feuchtigkeitsgehalt einzustellen.

Die aufgelaufenen Keimlinge wurden täglich mit verschiedenfarbigen Holzstäbchen markiert.



**Abbildung 2.** Ansetzen von Auflaufversuchen mit Mais.

Von links nach rechts, Auflegen der Karyopsen in definiertem Abstand, gleichmäßiges Bedecken mit einer 2 cm dicken Substratschicht, Anzucht in abgedeckter Keimschale

### 2.6.2.4 *Wachstumsbeobachtungen und Längenmessungen auf Flüssigsubstrat*

In Petrischalen wurde eine definierte Menge der 70 WS Formulierung der drei Wirkstoffe Clothianidin, Imidacloprid und Thiamethoxam vorgelegt und in 20 ml Wasser gelöst. Ein Rundfilter auf einer Plastikspirale wurde über einen Filterpapierdocht mit der Flüssigkeit verbunden, so dass eine kontinuierliche Wasser- und Wirkstoffnachlieferung gewährleistet war. Als Standard wurde ein Ansatz mit Wasser mitgeführt. Auf dem Rundfilter wurden die unbehandelten Maiskaryopsen mit dem Embryo nach unten so ausgelegt, dass sich die Karyopsen gegenseitig nicht berührten. Die geschlossenen Petrischalen wurden bei 20°C im Licht (8h, 8000 Lux) inkubiert. Zu definierten Versuchszeitpunkten wurde der Anteil gekeimter Samen und die Länge von Spross und Wurzel bestimmt.

### 2.6.2.5 *Bestimmung des Feuchtigkeitsgehaltes*

Die Bestimmung der Feuchtigkeitsaufnahme der Samen erfolgte durch Bestimmung ihrer Masse oder zerstörungsfrei über ihre elektrische Leitfähigkeit mittels des automatischen Feuchte-Bestimmungsgerätes Granomat.

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Wirkstoff Imidacloprid, Testorganismus Mais (*Zea mays* L.)

##### 3.1.1 Quellungs- und Keimungsverhalten

Bei den meisten Blütenpflanzen dienen die Samen als Überdauerungs- und Verbreitungseinheiten. Diese unterscheiden sich von der vegetativen Pflanze in wesentlichen Eigenschaften, insbesondere was ihren Wassergehalt und ihren physiologischen Zustand betrifft. So ist der Übergang vom Ruhestadium zum Keimling mit tiefgreifenden Veränderungen verbunden. Die sichtbare Aufnahme der Lebenstätigkeit ist als Keimung definiert. In diesem Stadium ist die junge sich entwickelnde Pflanze zugleich am empfindlichsten.

Der Mais hat als tropische Art einen hohen Wärmebedarf und keimt erst bei Bodentemperaturen über 8°C, sein Temperaturoptimum liegt bei 32°C. Eine gute Wasserversorgung ist für eine rasche Keimung und einen zügigen Auflauf ebenso eine Voraussetzung wie eine ausreichende Sauerstoffversorgung.

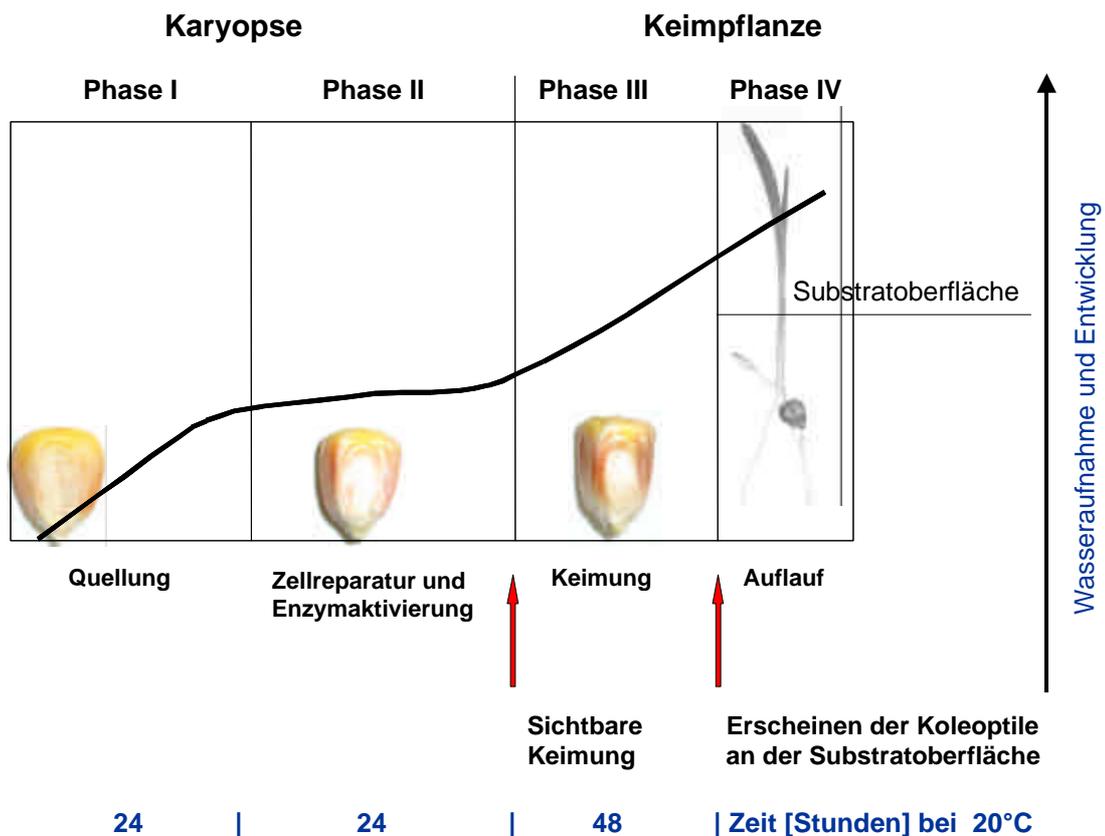


Abbildung 3. Phasen der Keimung, Bewley und Black (1978) verändert



**Abbildung 4.** Keimung und Entwicklung von Mais vom Durchbruch der Radikula durch die Testa (= Keimung) über Wurzelentwicklung und Koleoptilenstreckung bis hin zum Öffnen der Koleoptile durch das wachsende Primärblatt

Die Keimung selbst ist ein dreistufiger Prozess und in Form einer sigmoiden Kurve darstellbar. Sie beginnt mit der Quellung durch Wasseraufnahme. In dieser ersten, vollständig reversiblen Anstiegsphase, nimmt die quellende Karyopse die größte Wassermenge auf (Abbildung 3). Es werden Enzyme hydratisiert und in ihre aktive Funktionsform überführt. In der Stufe II, der lag-Phase, ist die Wasseraufnahme sehr gering. Hier finden vor allem metabolische Prozesse und aerobe Atmungsprozesse statt, das Zellreparatursystem arbeitet und in den axialen Organen des Embryos beginnt sich das Zellstreckungswachstum zu organisieren. Die Dauer dieser lag-Phase ist von der Qualität sowie dem physiologischen Zustand der einzelnen Karyopsen abhängig.

Phase III leitet mit dem Durchbruch der Wurzel durch die Samenschale die sichtbare Keimung ein. Die Keimpflanze nimmt ihr Wachstum auf, die Wurzel verlängert sich, die Sprossspitze erscheint an der Oberfläche der Karyopse und wächst in Richtung Substratoberfläche. Bei Mais durchbricht die Koleoptile nach 3 Tagen die Oberfläche, dies wird als Auflauf bezeichnet (Abbildung 4, Abbildung 20).

In den folgenden Untersuchungen wird die Entwicklung zum Einfluss auf das Keimungsverhalten von Wirkstoffen im Allgemeinen bis zum 10. Tag beobachtet. Zu diesem Zeitpunkt ist die junge Pflanze weitgehend stabilisiert und damit weniger störanfällig.

Am Beispiel von Mais sollte mit der Untersuchung von Quellung und Keimung überprüft werden, ob bereits in dieser frühen Phase der Entwicklung ein Einfluss durch das Insektizid Imidacloprid festgestellt werden kann.

### 3.1.2 Einfluss von Imidacloprid auf Quellung und Keimung

Der Einfluss von Imidacloprid auf die Quellung wurde über die Massen- und Feuchtigkeitszunahme und die Anzahl gekeimter Karyopsen pro Zeiteinheit bestimmt. Dazu wurde Mais der Sorte Marshall bei 20°C in Wasser sowie in den Medien Papier und grobem Sand inkubiert. Die Behandlungen waren Fungizidbehandlung (=Standard), Leerformulierung, 1 mg und 4 mg Imidacloprid.

#### Quellung

**Mais:** Marshall

**Saatgutbehandlung:** Ungebeizt, Fungizidbehandlung, Leerformulierung, 1 mg und 4 mg Imidacloprid

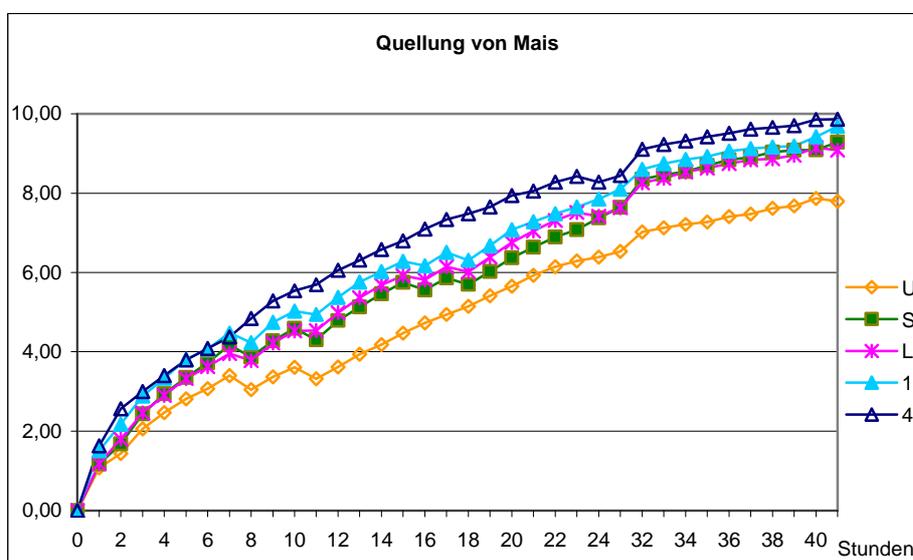
**Anzahl:** 100 Karyopsen

**Substrat:** Zwischen Filterpapier (BP)

**Inkubation:** 20°C, Licht

**Beobachtung:** Massenbestimmung zwischen 0-24 und 32-41 Stunden in drei zeitversetzten Ansätzen

Grundsätzlich folgte die beobachtete Wasseraufnahme der Erwartung (Abbildung 3). Dennoch wurde sie durch die eingesetzten Mittel modifiziert. So war die Massenzunahme bei der unbehandelten Karyopse am langsamsten, bereits der fungizidbehandelte Standard beschleunigte sie und selbst von der Leerformulierung und den steigenden Insektizidmengen wurde sie übertroffen.



**Abbildung 5.** Massenzunahme in g, vom Versuchsbeginn bis zu 41 Stunden

U = ungebeizt, S = Fungizidbehandlung, L = Leerformulierung, 1 = 1mg Imidacloprid, 4 = 4 mg Imidacloprid

Es zeigte sich, dass die Quellung bereits rein physikalisch durch Ummantelung der leicht bewachsenen Karyopsenoberfläche beschleunigt werden konnte. Aus Abbildung 5 ist ersichtlich, dass die Wasseraufnahme bis 30 Stunden anhielt, in Phase II abflachte und auf diesem Niveau blieb um sodann in die Phase III zu münden, in der mit dem Durchbruch der Wurzel eine verstärkte Wasseraufnahme erfolgte.

Somit ist ein deutlicher Einfluss der Saatgutbehandlung auf die Massenzunahme erkennbar. Von dem fungizid behandelten Standard unterschied sich das unbehandelte Saatgut durch eine langsamere Massenzunahme, während diese bei Leerformulierung und Wirkstoffbehandlung rascher stattfand und mit steigender Wirkstoffkonzentration nochmals zunahm.

### Keimung

**Mais:** Marshall

**Saatgutbehandlung:** Ungebeizt, Fungizidbehandlung, Leerformulierung, 1 mg und 4 mg Imidacloprid

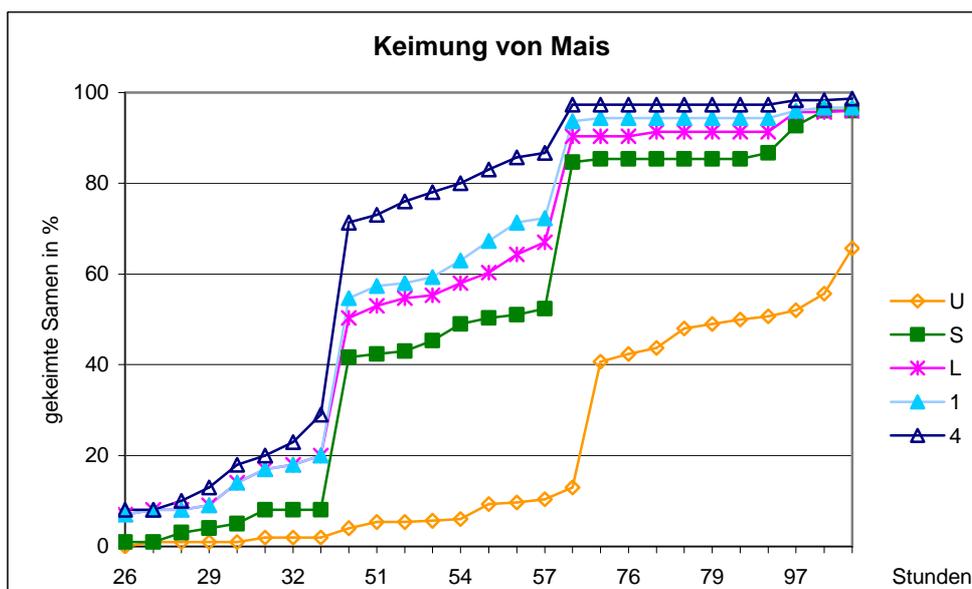
**Anzahl:** 100 Karyopsen

**Substrat:** Zwischen Filterpapier (BP)

**Inkubation:** 20°C, Wechsellicht

**Beobachtung:** Bestimmung der Anzahl gekeimter Karyopsen von 26 - 33, 48 - 57, 72 - 81 sowie 96 - 103 Stunden, in drei zeitversetzten Ansätzen stündlich

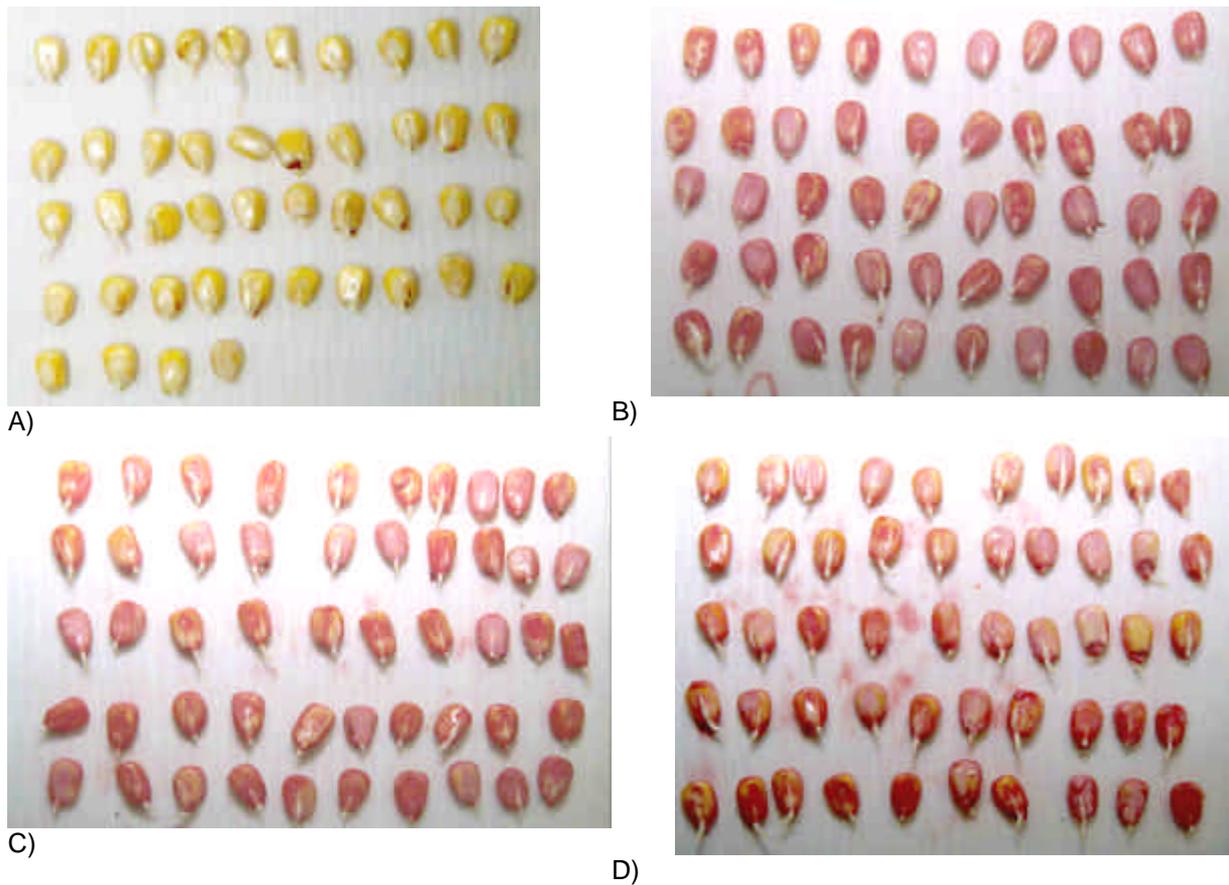
Die ersten Karyopsen waren bereits nach 26 Stunden gekeimt, aber erst nach 60 Stunden wurden 100 % erreicht. Dem Quellungsverhalten entsprechend war die Reihenfolge auch hier von der unbehandelten Variante hin bis zur stärksten Behandlung abgestuft. Die ersten unbehandelten Karyopsen keimten nach 27 Stunden.



**Abbildung 6.** Keimung von Mais in Abhängigkeit von der Zeit;

U = ungebeizt, S = Fungizidbehandlung, L = Leerformulierung, 1 = 1 mg Imidacloprid, 4 = 4 mg Imidacloprid

Damit zeigte sich, dass jede dieser Saatgutbehandlungen und selbst die Insektizid-Behandlungen mit zunehmender Konzentration keimungsfördernd wirkte. Nochmals bestätigt wurde dies durch Versuche, bei denen die Wirkstoffe zu verschiedenen Zeiten abgewaschen wurden. Vergleichbare Ergebnisse wurden bei Keimversuchen in Sand gefunden.



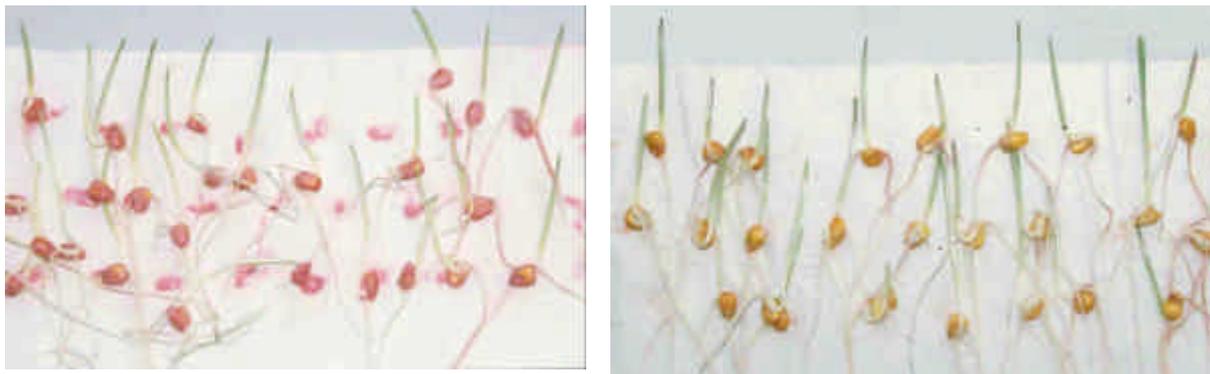
**Abbildung 7.** Quellung und Keimung von Mais nach Behandlung mit Imidacloprid.  
A) ungebeizt, B) Leerformulierung, C) 1 mg, D) 2 mg Imidacloprid

Zusammenfassend kann für das Maissaatgut gesagt werden, dass unter standardisierten Bedingungen zwischen Filterpapier eine Behandlung mit Leerformulierung sowie mit Imidacloprid die Quellung fördert und die Keimung beschleunigt.

### 3.1.3 Einfluss auf die Keimlingsentwicklung

Aus den Untersuchungen von Ulrich (2000) an 96 mit Imidacloprid behandelten Maisproben mit je 100 Karyopsen ergab sich, dass Imidacloprid in den handelsüblichen Wirkstoffkonzentrationen und bis zu 4-facher Überdosierung weder einen Einfluss auf die Anzahl, noch auf die Art der auftretenden Keimlingsanomalien hat.

Deshalb wurde in einer Keimfähigkeitsprüfung an 100 Karyopsen, die mit 10-facher Wirkstoffkonzentration gebeizt waren untersucht, ob Imidacloprid bei Mais grundsätzlich einen Einfluss auf die Ausprägung von Anomalien erwarten lässt. Die Keimfähigkeit der Standardbehandlung lag bei 94 %, bei 10 mg Imidacloprid bei 92 %, wobei der Anteil anomal gekeimter Karyopsen beim Standard 6 %, bei 10 mg Imidacloprid 7 % betrug. Bei jeweils 2 Keimlingen waren die Koleoptilen geschlitzt, je 1 Keimling wies eine gestörte Wurzelentwicklung auf. Beim Standard kamen noch 3 % Anomale aufgrund ungenügend entwickelter Sprosse, bei 10 mg Imidacloprid 4 % schwach entwickelte Keimlinge hinzu. Es kann also festgehalten werden, dass eine Behandlung mit Imidacloprid in einer Keimfähigkeitsprüfung unter optimalen Bedingungen selbst bei 10facher Überdosierung weder zu einer generellen Beeinträchtigung des Keimungsverhaltens noch zu einem verstärkten Auftreten bestimmter Formen von Anomalien führt (Abbildung 8).



**Abbildung 8.** Keimfähigkeitsprüfung bei Mais.

Links mit 10 mg ai Imidacloprid/Karyopse überbeizt, rechts praxisüblich mit 1 mg ai Imidacloprid/Karyopse gebeizt

### 3.1.4 Keimlingsentwicklung im Faltenfiltertest

Die Vorschriften der internationalen Vereinigung für Saatgutprüfung (Anonymus, 2003) geben aufgrund der verschiedenen Adsorptionseigenschaft von Substraten die Verwendung von Papier und Sand für die Durchführung von Keimfähigkeitsprüfungen vor. Da Erde in unterschiedlichen Laboren nicht standardisiert werden kann, erlauben die ISTA Vorschriften lediglich im Falle der Beobachtung einer phytotoxischen Wirkung einer Saatgutbehandlung die Verwendung dieses Substrates. Dabei soll die adsorptive, puffernde Wirkung genutzt werden, um unter optimalen Versuchsbedingungen das beste Keimfähigkeitsergebnis zu erzielen. Steiner und Fuchs (1987) beschreiben ausführlich die zunehmende adsorptive Wirkung der Substrate in der Reihenfolge Papier, Sand, Ziegelgrus, Erde und Aktivkohle. Um die Wirkeffekte der Insektizide möglichst ungepuffert beobachten zu können, wurde folglich als Substrat Papier ausgewählt. Es ist zu erwarten, dass hier alle Stoffeinträge auf die Keimlingsentwicklung erkennbar werden.

Keimfähigkeitsuntersuchungen werden in der Laborroutine in Filterpapierrollen (1 x 100 Karyopsen je Rolle) durchgeführt. Wie aus Abbildung 9 zu erkennen, wachsen die Keimlinge in diesem Keimbett entsprechend dem Schwerkraftreiz und den beengten räumlichen Gegebenheiten wenig geordnet und krumm, sodass eine quantitative Bewertung ihrer Entwicklung schwierig ist.

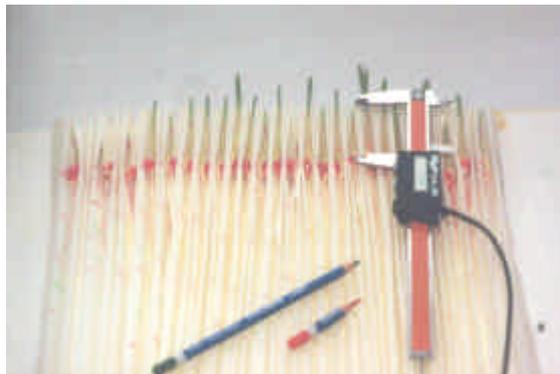
Die Verwendung von Faltenfiltern ermöglicht den Keimlingen ein Wachstum ohne gegenseitige Berührung (Abbildung 10). Somit wird die spezifische Wirkung auf jede einzelne Keimpflanze und deren Organe ersichtlich. Jede Einzelpflanze ist während der Versuchsdauer durch ihre Position im Faltenfilter eindeutig identifiziert, sodass Entwicklungen an einzelnen Keimlingen gesondert beobachtet und erfasst werden können.

Im Faltenfilter entwickeln sich die Keimlingsorgane nach vertikalem Aufstellen des Papiers aufgrund des wirkenden Schwerkraftreizes geradlinig, was eine genaue Längenmessung von Spross und Wurzel ermöglicht. So können Einflüsse der Wirkstoffe auf die einzelnen Organe erkannt werden.

Durch Variation der Versuchsparameter Temperatur, Feuchtigkeit und Licht sollten diejenigen Bedingungen gefunden werden, welche im Keimungsverlauf einen Stoffeintrageinfluss erkennen lassen.



**Abbildung 9.** Keimfähigkeitsprüfung von 5 Tage alten Maiskeimlingen in Filterpapierrollen



**Abbildung 10:** Anzucht und Vermessung von Maiskeimlingen im Faltenfilter

Die Untersuchungen wurden zunächst mit Imidacloprid durchgeführt, wobei parallel vier Sorten von Mais in feuchtigkeitsgesättigten Faltenfiltern geprüft wurden.

### **3.1.4.1 *Imidacloprid, Mais, Entwicklung unter optimalen Bedingungen***

In diesen Versuchen sollten grundsätzliche Fragen über den Einfluss von Imidacloprid auf die Keimlingsentwicklung abgeklärt werden. In der modernen Maisproduktion wird nahezu ausschließlich Hybridsaatgut verwendet, das je nach Züchtungsgang mehr dem Flint- oder dem Dent-Typ entspricht. Dieses Sortenmaterial wird nach Größe und Form kalibriert, um eine exakte Aussaat sicherzustellen. So galt es zunächst zu überprüfen, ob verschiedene Sorten von Hybridmais einheitliche Reaktionen zeigen oder ob mit spezifischen Sortenreaktionen zu rechnen ist. Ferner war zu untersuchen, ob ein grundsätzlicher Einfluss auf die Keimlingsentwicklung in Gestalt von Organveränderungen oder -schädigungen auftritt und schließlich wie sich verschiedene Konzentrationen des Imidacloprid auswirken.

Hierzu wurden zwei Versuchsserien bei verschiedenen Temperaturbedingungen angesetzt.

## Ergebnisse

<b>Mais:</b> Helga, Marshall, Pedro und Prinz
<b>Behandlung:</b> Fungizidbehandlung, Leerformulierung (= Standard), 0,5 mg; 1 mg; 2 mg sowie 4 mg Imidacloprid
<b>Anzahl:</b> 100 Karyopsen
<b>Substrat:</b> Faltenfilter, feuchtigkeitsgesättigt
<b>Inkubation:</b> 3 Tage 25°C, danach 4 Tage 20 °C, Wechsellicht
<b>Beobachtung:</b> tägliche Längenmessung von Spross und Wurzel vom 3. bis zum 7. Tag

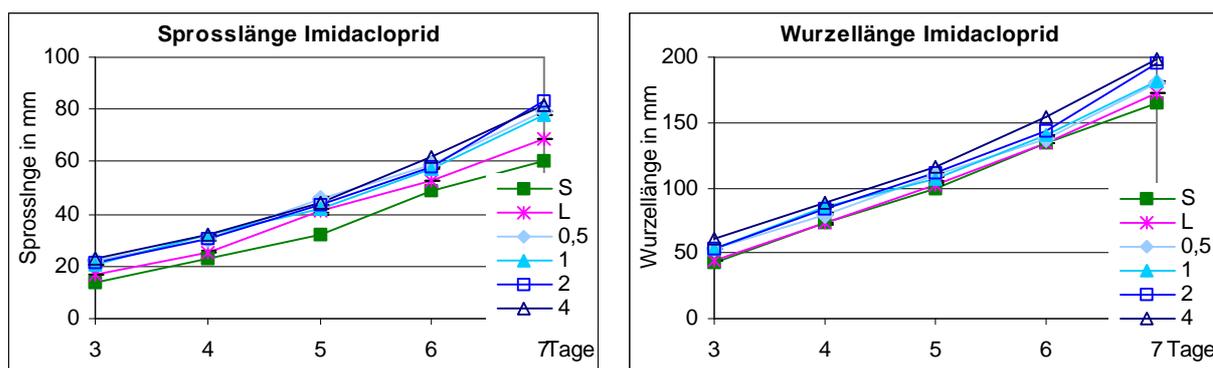
Die Sorten zeigten bei allen Wirkstoffbehandlungen ein vergleichbares Wachstum. Gegenüber dem Standard ließen sich keine Anomalien oder Schädigungen feststellen.

### Spross- und Wurzellänge

		Spross						Wurzel					
Sorte	Tag	S	L	0,5	1	2	4	S	L	0,5	1	2	4
<b>Helga</b>	3	14	20	27	24	24	24	50	40	59	53	58	61
	4	22	29	35	34	34	33	80	70	89	88	91	92
	5	30	46	51	43	45	44	120	94	121	110	121	120
	6	44	56	63	59	61	60	150	135	151	143	155	158
	7	53	72	85	79	87	82	190	171	196	189	210	203
<b>Marshall</b>	3	14	16	21	21	20	25	48	57	64	68	56	78
	4	24	25	29	34	30	33	85	92	94	108	91	109
	5	34	41	43	43	42	45	112	133	124	132	119	140
	6	48	50	55	56	55	62	155	164	155	166	152	182
	7	58	62	73	75	77	80	189	211	201	214	213	233
<b>Pedro</b>	3	14	14	20	17	21	19	34	36	40	41	52	47
	4	25	22	29	28	30	29	66	63	67	69	83	73
	5	33	37	44	39	45	41	87	93	97	92	110	99
	6	53	50	57	56	58	62	125	122	125	127	146	137
	7	66	71	81	76	86	82	155	161	172	162	206	184
<b>Prinz</b>	3	12	16	20	20	20	24	36	42	48	50	49	59
	4	21	25	29	32	30	34	61	66	70	78	72	82
	5	31	41	46	43	42	47	78	91	97	96	95	106
	6	50	54	59	60	58	64	107	114	120	125	120	138
	7	62	71	79	80	83	82	127	147	155	163	153	175
<b>Mittelwert</b>	3	14	17	22	20	21	23	42	44	53	53	54	61
	4	23	25	31	32	31	32	73	73	80	86	84	89
	5	32	41	46	42	43	44	99	103	110	107	111	116
	6	49	53	59	57	58	62	134	134	138	140	143	154
	7	60	69	79	78	83	82	165	172	181	182	196	199

**Tabelle 6.** Spross- und Wurzellänge [mm] von Imidacloprid behandelten Maiskaryopsen im Faltenfiltertest nach 3 Tagen, bei 25°C und 4 Tage bei 20°C.  
S = Fungizidbehandlung; L = Leerformulierung (= Standard); 0,5; 1; 2 und 4 = mg Imidacloprid je Karyopse

## Ergebnisse



**Abbildung 11.** Mittlere Spross- und Wurzellänge [mm] von Imidacloprid behandelten Maiskaryopsen im Faltenfiltertest nach 3 Tagen bei 25°C und 4 Tagen bei 20°C. S = Fungizidbehandlung, L = Leerformulierung (= Standard), 0,5; 1; 2 und 4 = mg Imidacloprid je Karyopse

Interessanterweise war das Wachstum bei allen Imidacloprid-Konzentrationen im Vergleich zum Standard stärker. Insbesondere zeigten sie eine raschere Wurzelentwicklung. Dieser Einfluss war bei 0,5 mg, 1 mg und 2 mg gleichartig, überraschenderweise bei der vierfachen Wirkstoffkonzentration deutlich erhöht. In allen Fällen war er am 3. Tag am stärksten und nahm bis zum 7. Tag kontinuierlich ab. Für den Spross ergaben sich vergleichbare Verhältnisse bezüglich der verschiedenen Konzentrationen. Auch hier ist der größte Einfluss am 3. Tag zu verzeichnen, die Wirkung nahm bis zum 5. Tag stetig ab, um sich danach wieder zu verstärken (Tabelle 6, Abbildung 11).

In keinem der Versuche war abschließend ein Unterschied zwischen den Sorten nachweisbar (Abbildung 12). Die Wurzel war bei allen Sorten am 3. und/oder 4. Versuchstag geringfügig länger als beim Standard.



**Abbildung 12.** Maiskeimlinge von 4 Sorten nach 6 Tagen in Faltenfilter, von links nach rechts: Standard, 1 mg, 4 mg Imidacloprid, von vorne nach hinten: Helga, Prinz, Marshall, Pedro

Unter den optimalen Keimungsbedingungen war bei allen Sorten von Mais sowohl die Quellung als auch die Keimung durch Imidacloprid positiv beeinflusst. Eine organspezifische Schädigung oder die Ausbildung anomaler Strukturen konnte selbst bei vierfach erhöhter Konzentration bei keiner Sorte festgestellt werden. Jedoch wiesen die Imidacloprid

behandelten Keimlinge eine lichter grüne Färbung auf als die nicht mit Insektiziden behandelten, was auf einen Eingriff in die Chlorophyllbiosynthese hindeutet (Abbildung 13).

Durch einen gleichartigen Versuch mit reduzierter Temperatur während der Quellung und Keimung sollte dieser Sachverhalt weiter beobachtet werden.



**Abbildung 13.** Mais in Faltenfilter.  
Links Standard, rechts mit 4 mg Imidacloprid behandelt mit gelblichgrüner Blattfärbung

### **3.1.4.2 *Imidacloprid, Mais, Entwicklung unter suboptimalen Temperaturbedingungen***

**Mais:** Helga, Marshall, Pedro und Prinz

**Behandlung:** Fungizidbehandlung, Leerformulierung (= Standard); 1 mg und 4 mg Imidacloprid

**Anzahl:** 100 Karyopsen

**Substrat:** Faltenfilter, feuchtigkeitsgesättigt

**Inkubation:** 20 °C, Wechsellicht

**Beobachtung:** tägliche Längenmessung der Wurzel vom 3. bis zum 10. Tag

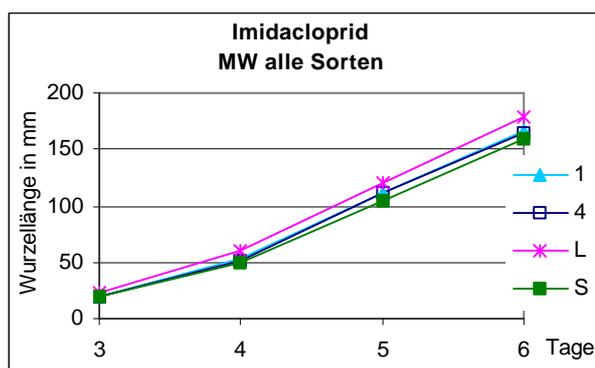
Bei der suboptimalen Temperatur von 20°C entwickelte sich das wärmebedürftige Maissaatgut erwartungsgemäß langsamer. Jedoch waren weder unterschiedliche Reaktionen der Sorten zu erkennen, noch zeigten sich spezifische Keimlingsanomalien.

Wurzellänge

	Tag	Wurzellänge				Differenzen zum Standard [%]		
		S	L	1	4	S	1	4
<b>Helga</b>	3	17	18	19	19	-1	1	1
	4	42	54	48	45	-12	-6	-9
	5	98	115	107	108	-17	-8	-7
	6	153	174	164	162	-21	-10	-12
	7	217	239	226	224	-22	-13	-15
	10	287	307	295	296	-20	-12	-11
<b>Marshall</b>	3	20	24	23	21	-4	-1	-3
	4	61	74	65	60	-13	-9	-14
	5	121	147	133	135	-26	-14	-12
	6	179	211	193	192	-32	-18	-19
	7	246	282	260	253	-36	-22	-29
	10	311	344	326	321	-33	-18	-23
<b>Pedro</b>	3	16	27	15	16	-11	-12	-11
	4	47	53	44	46	-6	-9	-7
	5	108	111	102	98	-3	-9	-13
	6	164	168	157	154	-4	-11	-14
	7	226	231	218	212	-5	-13	-19
	10	292	299	286	282	-7	-13	-17
<b>Prinz</b>	3	24	22	23	24	2	1	2
	4	47	62	55	58	-15	-7	-4
	5	95	110	105	105	-15	-5	-5
	6	142	158	150	147	-16	-8	-11
	7	191	211	199	199	-20	-12	-12
	10	244	261	253	254	-17	-8	-7
<b>Mittel alle Sorten</b>	3	19	23	20	20	-4	-3	-3
	4	49	61	53	52	-12	-8	-9
	5	105	121	112	112	-16	-9	-9
	6	159	178	166	164	-19	-12	-14
	7	220	241	226	222	-21	-15	-19
	10	284	303	290	288	-19	-13	-15

**Tabelle 7.** Wurzellänge [mm] von Imidacloprid behandelten Maiskaryopsen bei 20°C. Linke Tabellenhälfte und Differenzen zum Standard rechte Hälfte, S = Fungizidbehandlung, L = Leerformulierung (= Standard); 0,5; 1; 2 und 4 = mg Imidacloprid je Karyopse rot: Wurzel ist um mehr als 5 mm kürzer als der Standard

Überraschenderweise war das Wachstum der Wurzel bei allen behandelten Proben verlangsamt, wobei zwischen 1 mg und 4 mg Imidacloprid-Beizung kein Unterschied festzustellen war. Der Einfluss war am 3. und 4. Tag vergleichbar hoch und verstärkte sich bis zum Versuchsende (Abbildung 14, Tabelle 7).



**Abbildung 14.** Wurzellänge [mm] von Imidacloprid behandelten Maiskaryopsen bei 20°C bis zum 6. Tag.

S = Fungizidbehandlung; L = Leerformulierung (= Standard); 0,5; 1; 2 und 4 = mg Imidacloprid je Karyopse

In allen Versuchen ist ein leicht fördernder Einfluss der Leerformulierung gegeben. So fanden sich die niedrigsten Wurzellängen bei der Fungizidbehandlung, die höchsten beim Standard. Diese Reaktion wird auf zwei Faktoren zurückgeführt: Die geringere Temperatur verlangsamt Quellung und Keimung, sodass ein längerer Zeitraum für die passive Wirkstoffaufnahme zur Verfügung steht. Zudem verweilt die Wurzel durch ihr langsames Wachstum nach der Keimung für längere Zeit im Wirkstoffbereich des Korns.

Daraus ergab sich eine in den ersten Tagen der Keimung erhöhte Wirkstoffkonzentration in der Pflanze, deren Einfluss sich in einem messbar langsamerem Wachstum bis zum 5. Tag manifestierte. Danach aber wurde das Wachstum beschleunigt, sodass ab dem 6. Tag kein Unterschied zum Standard mehr vorlag. Dies wird auf die erhöhte Aufnahme wirkstofffreien Wassers, nachdem die Wurzel aus dem Beizhof herausgewachsen ist, zurückgeführt.

Weiterhin ist festzustellen, dass die Leerformulierung zu 85 % Kaolin enthält, welches das Saatgut als eine hygroskopische Substanz umhüllt und so grundsätzlich die Quellung und damit Keimung der Karyopsen fördert. In den hier vorgestellten Faltenfilterversuchen ist die Wasserverfügbarkeit durch den geringen Kontakt zwischen der Karyopsenoberfläche und dem Papier in allen Versuchsvarianten ein limitierender Faktor. Daher wird in Versuchen mit knappem Wasserangebot das Kaolin in Konkurrenz zur Karyopse treten, während bei reichlichem Wasserangebot eine problemlose Wasserweiterleitung an die Karyopse gegeben ist. Daher ist in einzelnen Versuchen neben der meist schnelleren Entwicklung der Leerformulierungsvariante gegenüber der Fungizidvariante fallweise auch das Gegenteil der Fall. Dies hat auf die Auswertung der Versuche in Faltenfilter jedoch keinen Einfluss (Tabelle 7, Abbildung 11).

Die Leerformulierung wird, sofern bei den einzelnen Versuchen nicht anders benannt, als Standard geführt.



**Abbildung 15.** Typische Keimlingsanomalien der untersuchten Saatgutpartien, links normaler Keimling, rechts folgend Keimlinge mit Wurzel- und drei Keimlinge mit Sprossanomalien

Zusammenfassend lässt sich aus den beiden Versuchsserien folgendes ableiten:

Die Beurteilung der Keimlinge ergab 96 % normal entwickelte Keimlinge, die vorgefundenen Anomalien waren typischer Art, gleichermaßen bei der Fungizidbehandlung und bei der Leerformulierung vertreten und auf mechanische Verletzungen zurückzuführen (Abbildung 15). Selbst bei vierfach überhöhter Wirkstoffkonzentration wurden in keinem Falle Wurzelverdickungen, Koleoptilenverkürzungen oder Stauchungen gefunden, Symptome, die ganz allgemein als phytotoxische Reaktionen bekannt sind. Allerdings wurde bei den behandelten Versuchsvarianten am 3. Tag ein helleres Grün als beim Standard beobachtet, was sich zum Versuchsende jedoch wieder abschwächte. Die Sprossentwicklung ließ keine Auffälligkeiten erkennen.

Da bereits die geringfügige Temperaturabweichung zur Zeit der Quellung und Keimung einen Effekt erkennen ließ, lag es nahe zu prüfen, welchen Einfluss eine weitere Verschärfung des Temperaturregimes ausübt. Hierzu wurde der Mais in Faltenfiltern 7 Tage einer Temperatur ausgesetzt, die eine Keimung gerade nicht ermöglicht, bevor er in 20°C überführt wurde. Es wurde erwartet, dass die Effekte sich im folgenden Versuch (3.1.4.3) durch die noch langsamere Quellung und die längere Verweildauer der Wurzel im Beizhof verstärken.

3.1.4.3 **Imidacloprid, Mais, Entwicklung unter suboptimalen Bedingungen**

**Mais:** Helga, Marshall, Pedro, Prinz  
**Behandlung:** Fungizidbehandlung, Leerformulierung (=Standard), 1 mg und 4 mg Imidacloprid  
**Anzahl:** 100 Karyopsen  
**Substrat:** Faltenfilter  
**Inkubation:** 7 Tage bei 8°C, danach 7 Tage bei 20°C, Wechsellicht  
**Beobachtung:** Keimung nach 1, 2, und 3 Tagen, Wurzellänge nach 2, 3, 4, 5, 6, 7 und 10 Tagen, nach der Umsetzung in 20°C

**Keimung**

Die Keimung erfolgte gleichmäßig, sodass die Wurzellänge ab dem 2. Tag bei 20°C gemessen werden konnte.

Tage	Helga				Marshall				Pedro				Prinz				Mittelwert			
	S	L	1	4	S	L	1	4	S	L	1	4	S	L	1	4	S	L	1	4
2	13	11	8	10	12	13	13	10	13	12	12	9	13	13	19	11	13	13	14	10
3	37	36	32	35	36	44	52	34	36	39	42	32	34	42	45	38	39	40	43	35
4	87	84	71	87	86	98	107	84	88	89	87	79	77	90	91	86	89	91	93	83
5	123	121	108	120	123	135	144	118	125	128	123	113	106	123	123	116	124	127	127	117
6	164	166	150	161	166	182	191	161	167	172	165	154	140	160	158	149	166	170	169	158
7	223	220	208	212	226	244	254	219	227	225	222	208	184	203	203	190	223	224	223	209
10	271	271	249	262	275	301	308	271	277	276	267	260	221	244	240	233	270	273	269	259

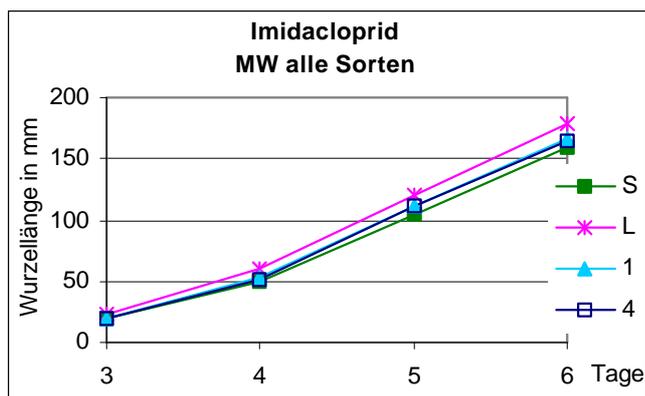
**Tabelle 8.** Wurzellänge [mm] von Imidacloprid behandeltem Mais bei Kaltvorbehandlungen im Faltenfilter. S = Fungizidbehandlung, L = Leerformulierung (= Standard), 1 und 4 = mg Imidacloprid je Karyopse

**Wurzellänge**

Wie aus Tabelle 8 ersichtlich, war die Entwicklung bei 1 mg Imidacloprid am 3. und am 4. Tag gefördert und danach unbeeinflusst. Nur bei der vierfachen Konzentration sind die Wurzeln am 3. Tag kürzer als der Standard. Ab dem 4. Tag, nimmt, wie im Versuch 3.1.4.1, das Wurzelwachstum stark zu.

Eine Verlängerung der Expositionsdauer der quellenden Karyopse an den Wirkstoff erbrachte keine Verstärkung der Wirkeffekte.

Somit stellt sich die Frage, ob ein Laborversuch wie der Faltenfiltertest die hinreichenden Bedingungen schafft, mit denen Wirkeffekte, wie sie aus Freilandversuchen beschrieben sind, erfasst werden können. Dabei stellt sich besonders die Frage, ob die Aufnahme des Wirkstoffes aus einem Beizhof, wie er sich im Boden entwickelt, anders verläuft als im Faltenfilter.



**Abbildung 16.** Mittlere Wurzellänge [mm] von Imidacloprid behandeltem Mais bei suboptimalen Bedingungen im Faltenfilter.

S = Fungizidbehandlung, L = Leerformulierung (= Standard), 1 und 4 = mg Imidacloprid je Karyopse

Mit Maissaatgut hoher Qualität konnten im Testsystem „Faltenfilter“ unter optimalen Bedingungen nur positive Wirkungen des Imidacloprid nachgewiesen werden. Da fallweise auch Saatgut von niedrigerer Qualität in der Maisproduktion zum Einsatz kommt, sollte in einem weiteren Versuch überprüft werden, ob Imidacloprid bei weniger gut keimfähigem Saatgut eine andere Wirkung als bei Hochkeimfähigem zeigt.

### 3.1.4.4 Imidacloprid, Abhängigkeit von der Saatgutqualität

#### 3.1.4.4.1 Spross- und Wurzellänge von Mais mit niedriger Keimfähigkeit

**Mais:** Helga = H (Kf 42 %), Marshall = M (Kf 82 %), Mondeo = M81 (Kf 81 %) Mondeo = M78 (Kf 78 %)

**Behandlung:** Fungizidbehandlung (= Standard) und 4 mg Imidacloprid

**Anzahl:** 100 Karyopsen

**Substrat:** Faltenfilter

**Inkubation:** 20°C, Wechsellicht

**Beobachtung:** Spross- und Wurzellänge nach 7 Tagen

Um den Einfluss von Imidacloprid auf Maissaatgut mit niedriger Keimfähigkeit zu untersuchen, wurde das Saatgut in Faltenfilter, bei 20° C, in Licht inkubiert und die Spross- und Wurzellänge nach 7 Tagen bestimmt.

Wie in den Faltenfiltern lässt sich auch hier nach 7 Tagen kein Einfluss des Imidacloprid auf das Pflanzenwachstum mehr feststellen (Tabelle 9). Die Ergebnisse der Messreihen belegen, dass selbst bei geringeren Keimfähigkeiten kein Einfluss des Imidacloprid nachgewiesen werden kann. Dabei zeigen die Sprosslängen eine Parallelität zu den Keimfähigkeitswerten, indem die Probe mit der höchsten Keimfähigkeit die längsten Sprosse bildet. Es fällt auf, dass die Werte bei 4 mg Imidacloprid wesentlich gleichmäßiger sind als beim Standard. Während M81 hier einen höheren Wert des Standard aufweist, ist dies bei allen anderen Proben nicht der Fall. Ein vergleichbares Ergebnis zeigt die Wurzel. Dabei lässt die unterschiedliche

Reaktion zweier Proben einer Sorte mit vergleichbarer Keimfähigkeit eine gewisse Variabilität in der Reaktion des Imidacloprid auf die Wurzel erkennen.

### Spross- und Wurzellänge

	Sprosslänge [mm]			Wurzellänge [mm]	
	KF [%]	S	4	S	4
<b>M81</b>	81	97	86	223,1	208
<b>M78</b>	78	65	85	146,7	169
<b>H</b>	42	59	85	202,6	224
<b>M</b>	82	76	90	222,4	250
Differenzen zum Standard [mm]					
<b>M81</b>			-11		-15
<b>M78</b>			20		22
<b>H</b>			26		22
<b>M</b>			13		28

**Tabelle 9.** Spross- und Wurzellänge [mm] von Imidacloprid behandeltem Maissaatgut unterschiedlicher Keimfähigkeiten in Faltenfilter. Keimfähigkeit des Standards: Helga 42 %, Marshall 82 %, M81 81 % und M78 78 %. Darunter die Differenzen zum Standard

S = Standard, 4 = 4 mg Imidacloprid je Karyopse;

rot: Organ ist um mehr als 5 mm kürzer als der Standard, blau: Organ ist um mehr als 5 mm größer als der Standard

Unterschiedliche Karyopsenformen bedingen beim Mais unterschiedliche Empfindlichkeiten gegenüber mechanischen Beschädigungen, wie sie beim Drusch und während der Aufbereitung vorkommen können (Leist und Schmidt, 1978). Flache Maiskaryopsen zeichnen sich dadurch aus, dass ihr Embryo an der ventralen Seite in einer Vertiefung geschützt liegt. Bei den runden Karyopsen liegt der Embryo obenauf und ist somit verletzungsgefährdet (Abbildung 17). Da der Embryo von runden Karyopsen auch beim Beizen zum einen leichter mechanisch beschädigt werden kann und zum zweiten viel intensiver mit dem Saatgutbehandlungsmittel in Berührung kommt, wurde der Einfluss des Imidacloprid auf die beiden Karyopsentypen untersucht.

#### 3.1.4.4.2 Auflauf von Mais unterschiedlicher Kaliberformen

Mais des Kalibers S (Mittlerund) wurde abgeseibt, um eine Fraktion mit besonders kleinrunden Karyopsen zu erhalten. Für die Gewinnung von großflachen Karyopsen wurde Mais derselben Partie von Kaliber B (Großflach) zusätzlich über ein Schlitzlochsieb kalibriert und die Übersortierung mit großflachen Karyopsen verwendet (Tabelle 10). Die Tausendkornmasse betrug bei den Kleinrunden 306 g und bei den Großflachen 338 g. Da in Faltenfilter die Wirkstoff-Aufnahme von der Karyopsenform beeinflusst werden kann, wurde dieser Versuch in Laborerde durchgeführt.



**Abbildung 17.** Mayskaryopsen verschiedener Kaliber. Oben Kaliber kleinrund, unten großflach

**Mais:** Türkis

**Behandlung:** Fungizidbehandlung = Standard, 1 und 2 mg Imidacloprid

**Anzahl:** 100 Karyopsen der Kaliber Kleinrund sowie Großflach

**Substrat:** Laborerde 50 % Wkmax

**Inkubation:** 20°C, Wechsellicht

**Beobachtung:** Auflauf täglich vom 3. bis zum 7. Tag

Die beiden Kaliber wurden nach Behandlung mit Standard, 1 mg und 2 mg Imidacloprid, in einem Erdaufauftest in gegossener Standard-Laborerde mit 50 % Wkmax untersucht.

Kaliber des Ausgangsmaterials		zusätzliche Kalibrierung mit Verwendung von				
Kaliber	Rund-/ Schlitzsieb [mm]	Rundsieb [mm]		Schlitzsieb [mm]		Keimfähigkeit
<b>S, Mittelrund</b>	7-9 / 4-7	7,5 /	Untersortierung	5,5 /	Übersortierung	98 %
<b>B, Großflach</b>	9-11 / 4-7			5,5 /	Übersortierung	99 %

**Tabelle 10.** Kalibrierung von Mais zur Gewinnung besonders kleinrunder und großflacher Karyopsen

### Auflauf

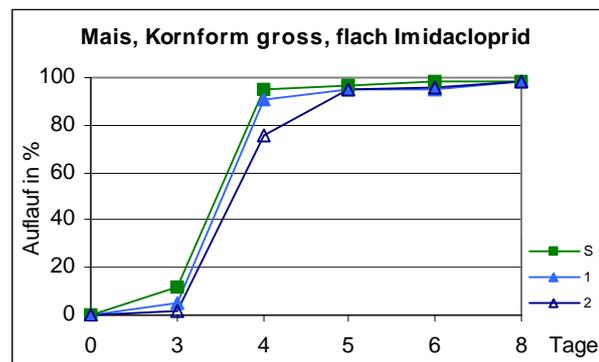
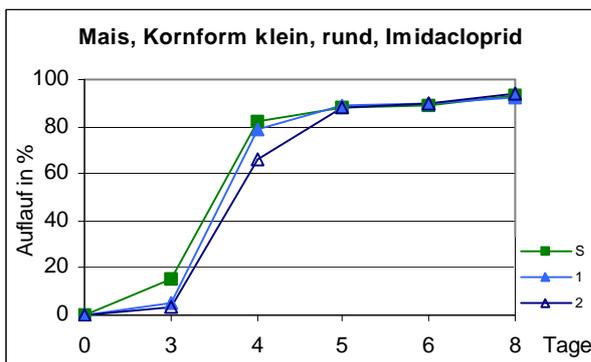
Generell konnte beobachtet werden, dass das kleinrunde Saatgut langsamer aufläuft als das Großflache. Dessen Auflauf lag am 4. Tag durchschnittlich 8 % über dem des kleinrunden Kalibers.

Bei beiden Karyopsenformen war mit steigender Konzentration des Wirkstoffes eine zunehmende Differenzierung der Auflaufwerte zu beobachten, wobei eine höhere Konzentration am 4. Tag den niedrigsten Wert zeigte, aber bereits am 5. Tag den Standard wieder eingeholt hatte (Tabelle 11, Abbildung 18). Der langsamere Auflauf der kleinrunden Karyopsen gegenüber den Großflächen kann generell auf die größere Kontaktfläche der großflachen Karyopsen zurückgeführt werden. Zudem sind die kleinrunden Körner ringsum von Horn-Endosperm umgeben, während flache Kaliber auch Oberflächenanteile des rascher quellenden Mehl-Endosperms besitzen.

## Ergebnisse

Tage	Kleinrund			Großflach		
	S	1	2	S	1	2
3	15	5	3	12	5	2
4	82	79	66	95	91	76
5	88	89	88	97	95	95
6	89	90	90	98	95	96
8	93	92	94	98	98	98
Differenzen zum Standard [%]						
3		-10	-12		-7	-10
4		-3	-16		-4	-19
5		1	0		-2	-2
6		1	1		-3	-2
8		-1	1		0	0

**Tabelle 11.** Auflauf von Mais [%] unterschiedlicher Karyopsenform bei Behandlung mit Imidacloprid. Darunter Differenzen vom Standard [%], S = Standard, 1 und 2 mg Imidacloprid je Karyopse.  
rot: Auflaufwert ist um mehr als 5 % geringer als der Standard



**Abbildung 18.** Auflauf von Mais [%] unterschiedlicher Karyopsenform. S = Standard, 1 und 2 mg Imidacloprid je Karyopse

Der beobachtete Endauflauf des großflachen und kleinrunden Kalibers besaß einen mit der eingangs bestimmten Keimfähigkeit vergleichbaren Wert. Ein Einfluss der Karyopsenform auf die Wirkung des Imidacloprid kann damit ausgeschlossen werden.

### 3.1.5 Imidacloprid, Wirkstoffaufnahme, chemische Analyse

**Mais:** Marshall

**Behandlung:** 2 mg Imidacloprid

**Anzahl:** nach 1 und 7 Tagen je 200 Karyopsen, nach 4 und 5 Tagen je 400 Karyopsen

**Substrat:** Sand mit 20 % und 50 % Wkmax

**Inkubation:** 20°C, Wechsellicht

**Beobachtung:** Imidaclopridgehalt von Embryo, Karyopsen und Keimling nach 1, 4, 5 und 7 Tagen

#### Wirkstoffgehalt

Die Bestimmung des Imidaclopridgehaltes in den Maiskaryopsen und Pflanzen während der Keimlingsentwicklung erfolgte nach Extraktion des Wirkstoffes mittels ASE (accelerated solvent extraction), Aufreinigung durch Gelpermeations-Chromatographie und nachfolgender Detektion mittels massenselektiver Gas-Chromatographie (GC MS).

Da ein erhöhter Wirkstoffgehalt keinen dauerhaften Einfluss auf die Entwicklung der Keimpflanzen gezeigt hatte, wurde die Beizung mit 2 mg Imidacloprid vorgenommen, um in der chemischen Analyse eine höhere Nachweissicherheit zu erreichen. Nach einem Tag wurden jeweils Embryo und Restkaryopse und nach 4, 5 und 7 Tagen Pflanze und Karyopse präpariert und getrennt untersucht. Es zeigte sich, dass sowohl bei der Quellung als auch bei der Keimung Wirkstoff aufgenommen wird (Tabelle 12, Abbildung 19).

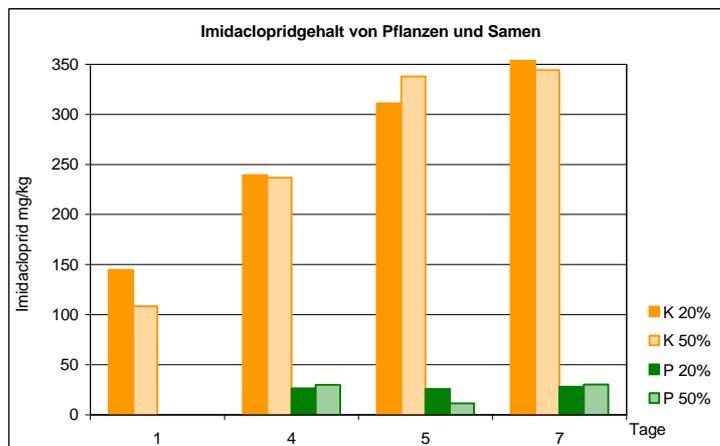
Proben	Anzahl Tage	Gehalt Imidacloprid [mg/kg]	
		Karyopsen	Pflanzen
20 % Wkmax	1	144,93	-
50 % Wkmax	1	108,28	-
Embryo bei 50 % Wkmax	1		12,25
20 % Wkmax	4	239,55	26,35
50 % Wkmax	4	236,79	30,02
20 % Wkmax	5	311,02	25,7
50 % Wkmax	5	338,02	11,27
20 % Wkmax	7	382,22	27,99
50 % Wkmax	7	344,39	30,19
% Differenz zum Imidaclopridgehalt bei 50 % Wkmax			
20 % Wkmax	1	+25	
20 % Wkmax	4	+1	-14
20 % Wkmax	5	+9	+56
20 % Wkmax	7	+10	-8

**Tabelle 12.** Imidaclopridgehalt in Karyopsen und Pflanzenmaterial nach 1; 4; 5, und 7. Tagen [mg/kg]

Bei 50 % Wkmax wies die Gesamtkaryopse nach 24 Stunden einen Gehalt von 108 mg/kg Imidacloprid auf. Im Vergleich zur Restkaryopse mit 89 % wies der Embryo mit 11 % zwar absolut einen deutlich niedrigeren Wirkstoffgehalt auf, doch macht der Embryo lediglich

11 % der Masse der Karyopse aus, sodass je Masseneinheit im Endosperm und im Embryo ein vergleichbar hoher Wirkstoffgehalt zu verzeichnen ist.

Daraus geht hervor, dass die Wirkstoffaufnahme bereits bei der Quellung über die gesamte Oberfläche und nicht allein durch die Blacklayer erfolgt.



**Abbildung 19.** Imidaclopridgehalt [mg/kg] in Karyopsen und Keimpflanzen bei unterschiedlichen Feuchtigkeitsbedingungen in Sand, nach 1; 4; 5 und 7 Tagen. P = Pflanzenmaterial, K = Karyopsen

In der weiteren Entwicklung nahm der Wirkstoffgehalt in der Karyopse stetig zu und verdreifachte sich vom 4. bis zum 7. Tag.

Demgegenüber wies der Keimling unter den feuchteren Bedingungen am 4. Tag Werte von 26 bzw. 30 mg/kg auf, die sich nicht weiter erhöhten. Unter den trockeneren Bedingungen zeigten sich erst am 5. Tag solch höhere Werte.

Während also der Wirkstoffgehalt in den Karyopsen kontinuierlich ansteigt, bleibt er in der Keimpflanze (Spross- und Wurzel) über die gesamte Versuchsdauer auf konstantem, niedrigem Niveau. Dieser Verlauf zeigt eine mit dem Wachstum einhergehende Verdünnung des Wirkstoffes in Spross und Wurzel, was für eine passiv mit dem Wasserstrom verlaufende Wirkstoffaufnahme spricht.

Diese Verteilung erklärt sich daraus, dass die Karyopse im Beizhof liegend eine stete Wasser- und Wirkstoffzufuhr erfährt, sodass sich Imidacloprid immer mehr anreichert. Die Übergabe an den Embryo startet mit dessen Wachstum, sodass in den ersten Tagen auch im jungen Keimling die Werte ansteigen. Durch seine Wurzelentwicklung versorgt sich der Keimling jedoch bald mit wirkstofffreiem Wasser außerhalb des Beizhofes, sodass die Wirkstoffmengen nicht weiter ansteigen.

Eine Betrachtung der Wirkstoffaufnahme bei verschiedenen Substratfeuchten (Tabelle 12) ergibt grundsätzlich kein einheitliches Bild. Aber die Karyopsen und später das Endosperm weisen im Trockeneren einen tendenziell höheren Imidaclopridgehalt auf, während bei den Keimpflanzen das Gegenteil der Fall ist. Auch dies wird unter Berücksichtigung des Beizhofeffektes verständlich.

Insgesamt kann festgestellt werden, dass die Unterschiede zwischen trockenen und feuchten Bedingungen gering sind, jedoch bei den Keimpflanzen stärker als bei den Karyopsen ausgeprägt sind (Tabelle 12, Abbildung 19).

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass sowohl im Embryo als auch im Endosperm bereits mit der Quellung eine Wirkstoffaufnahme stattfindet.

### 3.1.6 Keimung und Keimlingswachstum in sterilem Quarzsand

#### 3.1.6.1 Einfluss der Feuchtigkeit

Nachdem sich im Faltenfilter keine Wirkstoffeffekte gezeigt hatten, aber der Versuch in Laborerde solche erkennen ließ, lag es nahe, das Kultursubstrat zu wechseln. Da sich zudem bei der Prüfung der Wirkstoffaufnahme Abhängigkeiten vom Feuchtigkeitsgehalt des Substrates gezeigt hatten, sollte auch dieser Einfluss systematisch untersucht werden.

Deshalb wurden die Versuche unter suboptimalen Temperaturbedingungen in Sand angesetzt. Hier wurde erwartet, dass eine gleichmäßigere Feuchtigkeit um die Karyopse die Wasser und Wirkstoffaufnahme fördert (Abbildung 20).



**Abbildung 20.** Keimung und Auflauf von Mais in Quarzsand

Um eine hinreichende Wirkstoffverfügbarkeit sicherzustellen wurden die Feuchtigkeitsgehalte zwischen 20 % und 50 %  $W_{kmax}$  variiert. Ausgewertet wurden sowohl Keimung und Auflauf als auch die Länge von Wurzel und Spross.

**Mais:** Marshall

**Behandlung:** Fungizidbehandlung, Leerformulierung (= Standard), 1 mg, 2 mg, 4 mg Imidacloprid

**Anzahl:** Keimung 100 Karyopsen, Auflauf: 20 %  $W_{kmax}$  bei S, L, 1 mg, 2 mg und 4 mg Imidacloprid jeweils 100 Karyopsen, 30 %  $W_{kmax}$  bei S, L, 1 und 4 mg Imidacloprid jeweils 100 Karyopsen, 50 %  $W_{kmax}$ , bei S, L, 1 mg Imidacloprid 600 Karyopsen, bei 2 und 4 mg Imidacloprid 300 Karyopsen

**Substrat:** Sand mit 20 %  $W_{kmax}$ , 30 %  $W_{kmax}$  und 50 %  $W_{kmax}$

**Inkubation:** 20°C, Wechslicht

**Beobachtung:** Keimung nach 24 Stunden, Auflauf täglich vom 3. bis zum 7. Tag sowie am 10. Tag, Spross- und Wurzellänge täglich vom 3. bis zum 6. Tag

Wie zu erwarten erfolgte die Keimung bei höherer Feuchtigkeit rascher als unter trockeneren Bedingungen. Der Einfluss der Saatgutbehandlung war bei 20 %  $W_{kmax}$  nur gering, bei

## Ergebnisse

50 % Wkmax wurden jedoch mit zunehmender Wirkstoffkonzentration ebenso wie bei der Leerformulierung höhere Keimungsraten erzielt, was auf eine generelle Förderung der Keimung durch die Ummantelung zurückzuführen ist (Tabelle 13, Abbildung 21). Dies deutet darauf hin, dass bereits die Anwesenheit der Wirkstoffe rein physikalisch die Wasseraufnahme in die Karyopse begünstigt. Indem eine höhere Salzkonzentration an der Karyopsenwand vorliegt, wird der Wasserzustrom positiv beeinflusst.

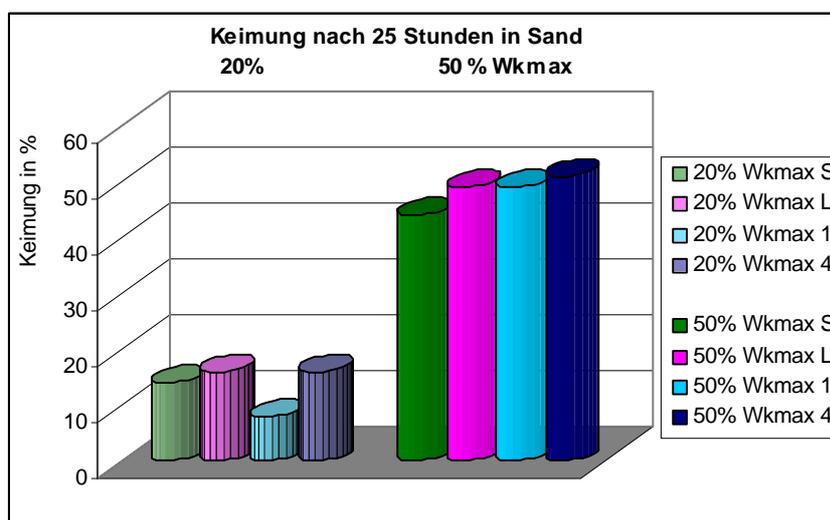
### Keimung und Auflauf

Wkmax	20 %				30 %				50 %				
Behandlung	S	L	1	2	S	L	1	4	S	L	1	2	4
Keimung nach 24 h	14	16	8	16					37	42	49		56
Auflauf nach Tagen													
3					1	3	0	0	10	10	1		0
4	42	64	34	9	74	84	69	56	75	71	64	51	60
5	77	81	69	53	87	89	89	86	92	91	86	90	86
6					89	90	90	88	95	93	90	95	86
7									95	93	92	97	94
10									97	95	93	97	

**Tabelle 13.** Keimung und Auflauf [%] bei Imidacloprid behandeltem Mais in Quarzsand unterschiedlicher Feuchtigkeitsgehalte.

S = Fungizidbehandlung, L = Leerformulierung (= Standard), 1, 2 und 4 = mg Imidacloprid je Karyopse

### Keimung



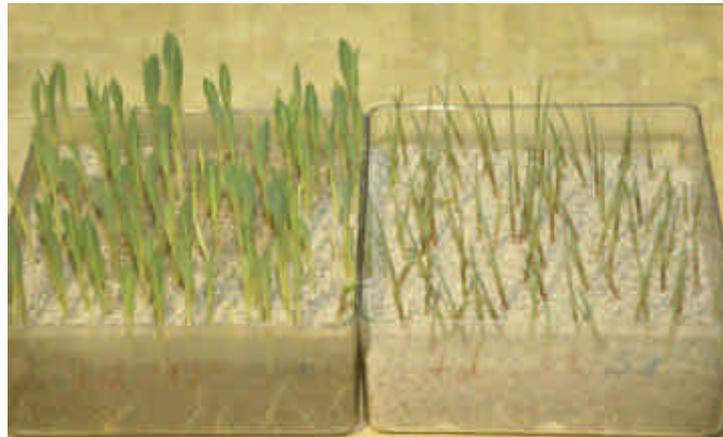
**Abbildung 21.** Keimung [%] von Mais in Sand mit 20 % und 50 % Wkmax nach 24 Stunden bei Behandlung mit Imidacloprid.

S = Fungizidbehandlung, L = Leerformulierung (= Standard), 1 und 4 = mg Imidacloprid je Karyopse

### Auflauf

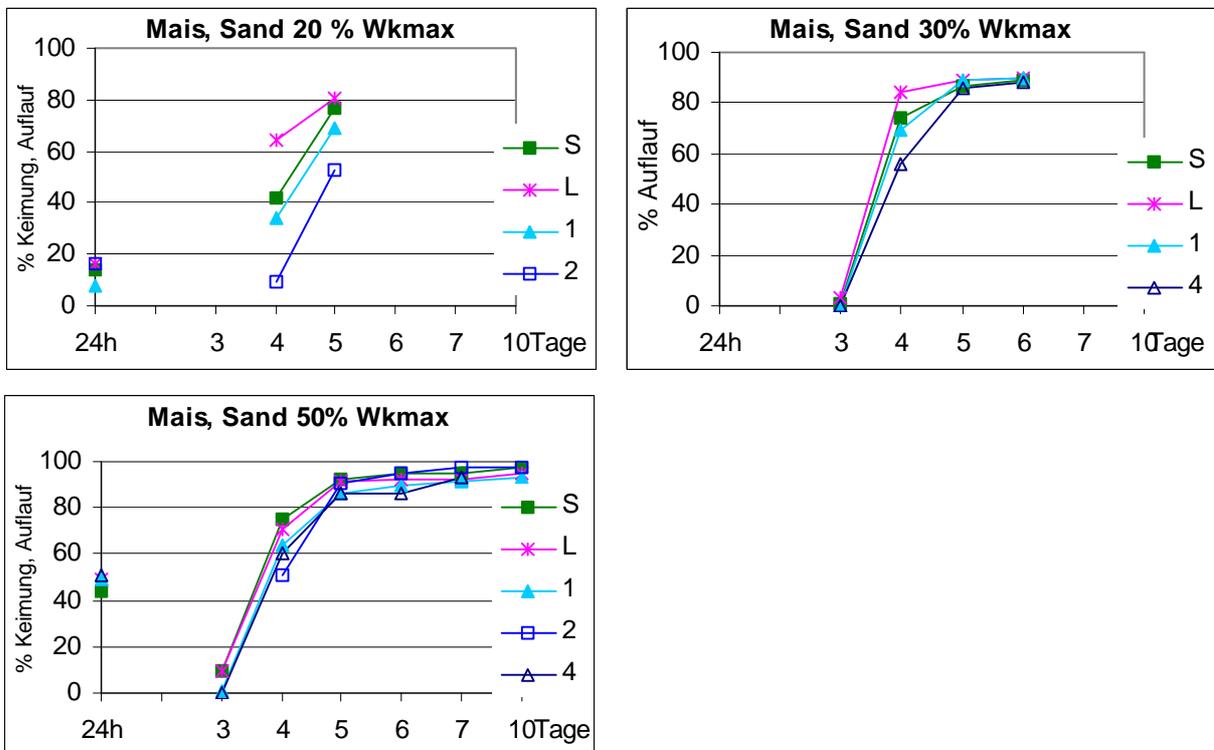
Wie von Kretschmer (2001) beschrieben führen geringe Bodenwassergehalte bei Mais, unabhängig von der Temperatur, zu Auflaufverzögerungen. So erfolgte der Auflauf der Maiskeimlinge unter feuchteren Bedingungen rascher und war bereits am 5. Tag mit

durchschnittlich 90 % abgeschlossen, während er in den trockeneren Varianten niedrigere Werte erreichte (Abbildung 22, Abbildung 23).



**Abbildung 22.** Auflauf von Mais in Quarzsand. Links 50% Wkmax, rechts 20 % Wkmax

Zugleich ließ sich mit zunehmend trockeneren Bedingungen eine stärkere Differenzierung der einzelnen Versuchsglieder, insbesondere am 4. Tag, feststellen. Die Auflaufwerte der Wirkstoffvarianten lagen zu diesem Zeitpunkt stets unter denen des Standards und der Fungizidbehandlung, ein Effekt, der zu Versuchsende wieder völlig ausgeglichen war. Unter diesen leichten Stress-Bedingungen war erstmalig ein Stoffeinfluss in Form einer Auflaufverzögerung erkennbar, der jedoch zeitlich begrenzt blieb und nach zwei Tagen bereits vollständig aufgehoben war.



**Abbildung 23.** Keimung und Auflauf [%] von Mais in Sand unterschiedlicher Feuchtigkeiten bei Behandlung mit Imidacloprid.

S = Fungizidbehandlung, L = Leerformulierung (= Standard); 1; 2 und 4 = mg Imidacloprid je Karyopse

## Ergebnisse

Auch zeigte sich im Auflauftest, wie zuvor beim Faltenfiltertest am 4. Tag, ein Einfluss des Imidacloprid auf die Blattfärbung, indem das Grün etwas lichter und gelblicher erschien als bei der Fungizidbehandlung (Tabelle 13, Abbildung 23).

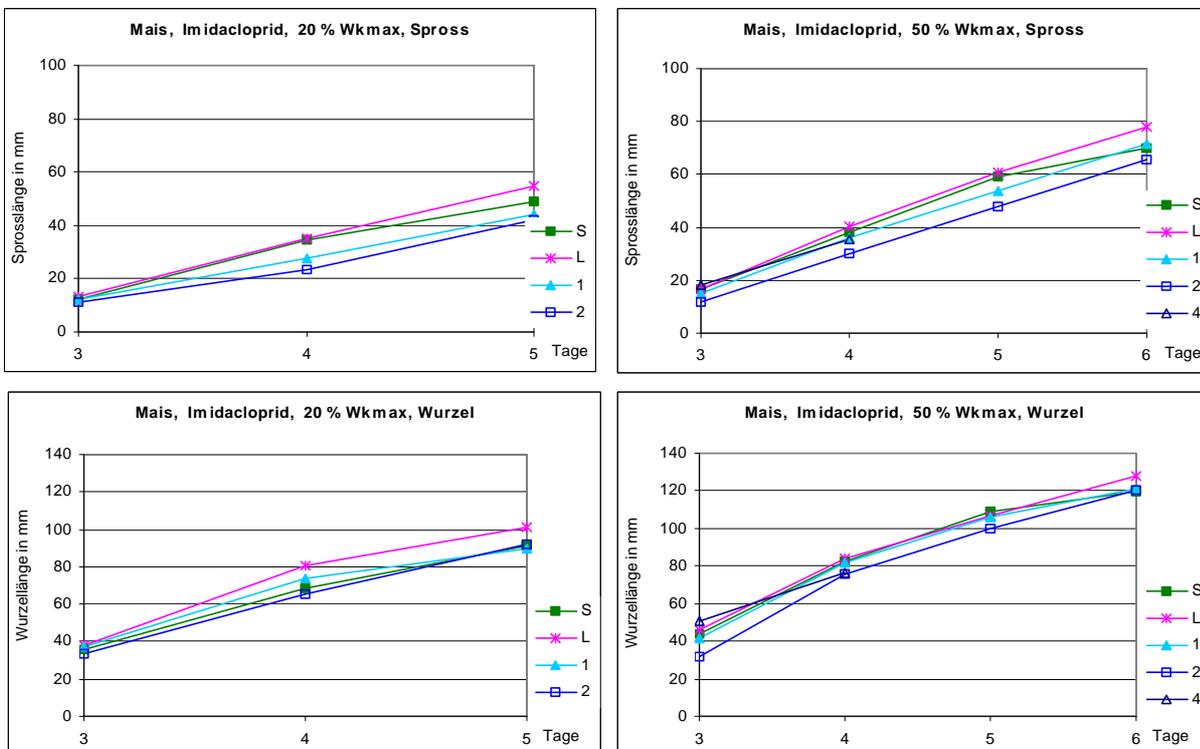
### Spross- und Wurzellänge

Die Längenmessungen ergaben sowohl am Spross als auch an der Wurzel, wie es die Auflaufdaten erwarten ließen, am 4. und am 5. Tag eine geringere Länge gegenüber dem Standard (Tabelle 14, Abbildung 24). Dabei lassen sich die Einflüsse auch hier nur am 4. Tag erkennen.

Tage	20 % Wkmax								50 % Wkmax									
	Spross				Wurzel				Spross					Wurzel				
	S	L	1	2	S	L	1	2	S	L	1	2	4	S	L	1	2	4
3	12	13	12	11	35	38	37	33	17	17	15	12	18	44	47	42	32	50
4	35	35	27	23	69	81	74	65	38	40	36	30	36	82	84	82	76	76
5	49	55	44	42	91	101	90	92	59	61	54	48	-	109	107	106	100	
6									70	78	71	66	-	120	128	121	120	

**Tabelle 14.** Spross- und Wurzellänge [mm] von Mais bei Behandlung mit Imidacloprid in sterilem Sand. S = Fungizidbehandlung, L = Leerformulierung, 1 und 2 mg Imidacloprid je Karyopse

In Sand, unter suboptimalen Bedingungen, zeigten sich also abhängig von der Feuchtigkeit, Einflüsse des Imidacloprid, die im Trockenen stärker waren als im Feuchten. Auffallenderweise war die verlangsamte Keimlingsentwicklung stets auf den 4. Tag begrenzt und wurde in Folge durch beschleunigtes Wachstum wieder aufgehoben.



**Abbildung 24.** Spross- und Wurzellänge [mm] von Mais in Sand unterschiedlicher Feuchtigkeiten nach Behandlung mit Imidacloprid.

S = Fungizidbehandlung, L = Leerformulierung (= Standard); 1; 2 und 4 mg Imidacloprid je Karyopse

Es erhebt sich die Frage, ob diese Wirkung von der physikalisch geringeren Wasserverfügbarkeit oder der feuchtigkeitsbedingten Wirkstoffverfügbarkeit abhängt, ob sie also auch durch die Ausprägung eines Beizhofes beeinflusst wird. Es wird erwartet, dass ein Beizhof, unter physiologisch trockenen Bedingungen mehr Effekte zeigt, da der Wirkstoff diffundiert und direkt an der Karyopse in höherer Konzentration vorliegt als bei gut ausgeprägter Wasserverfügbarkeit, bei der eine geringere Wirkstoffkonzentration im Beizhof vorliegt. Um dies zu klären wurden Versuche mit Polyethylenglycol angesetzt.

### 3.1.7 Versuche mit Polyethylenglycol (PEG)

Polyethylenglycol (PEG) verringert das osmotische Potential und erlaubt dadurch eine gezielte Einstellung der pflanzenverfügbaren Wassermenge. Das verwendete PEG 6000 ist aufgrund seiner Molekülgröße physiologisch inert und dringt nicht in den Apoplast ein, sondern reduziert die Matrixpotential-Differenz zwischen der Karyopse und dem umgebenden Medium (Hohl und Schopfer, 1991).

#### 3.1.7.1 Imidacloprid, PEG, Auflauftest in Sand

**Mais:** Marshall

**Behandlung:** Fungizidbehandlung, Leerformulierung (= Standard), 1 mg und 2 mg Imidacloprid

**Anzahl:** 50 Karyopsen

**Substrat:** Sand mit Wasser = 0 % PEG, 10 %iger, 20 %iger und 30 %iger PEG-Lösung

**Inkubation:** 20° C, Wechsellicht

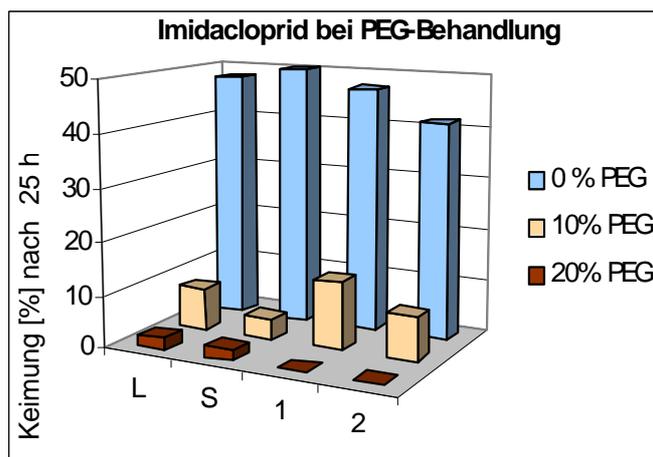
**Beobachtung:** Keimung nach 25 und 42 Stunden, Auflauf bis zum 12. Tag

In einem ersten Auflauftest in Sand wurde jeweils 7,5 kg trockener Sand mit 1 l Wasser, 10 %, 20 % und 30 % PEG versetzt und in Schalen vorgelegt. Eine 10 %ige Lösung entspricht einem Bodenpotential von  $\psi \approx -0,1$  eine 20 %ige Lösung  $\psi \approx -0,4$  und eine 30 %ige Lösung  $\psi \approx -1,0$  (Taylor et al., 1998). Die Aussaat des behandelten Maises erfolgte in 2 cm Ablagetiefe in verschlossenen Schalen. Die Versuche wurden nicht zusätzlich gegossen.

#### Keimung

Ohne PEG waren nach 25 Stunden bereits 50 % der Karyopsen gekeimt. Mit 10 % PEG waren erst 10 %, mit 20 % PEG nur einzelne und mit 30 % noch überhaupt keine Karyopsen gekeimt. Dabei konnten keine Unterschiede zwischen den Saatgutbehandlungen festgestellt werden (Abbildung 25, Tabelle 15).

Nach 42 Stunden waren beim Ansatz in Sand mit 10 % PEG etwa 80 % der Karyopsen gekeimt, auch hier fand sich kein Unterschied zwischen den Saatgutbehandlungen. Beim Ansatz mit 20 % PEG waren 10 % Karyopsen gekeimt. Auch hier zeigte die Behandlung mit Imidacloprid keinen Einfluss auf die Keimung.



**Abbildung 25.** Keimung nach 25 Stunden, Imidacloprid-Behandlung in PEG  
S = Fungizidbehandlung, L = Leerformulierung (= Standard), 1 und 2 mg Imidacloprid je Karyopse

**Auflauf**

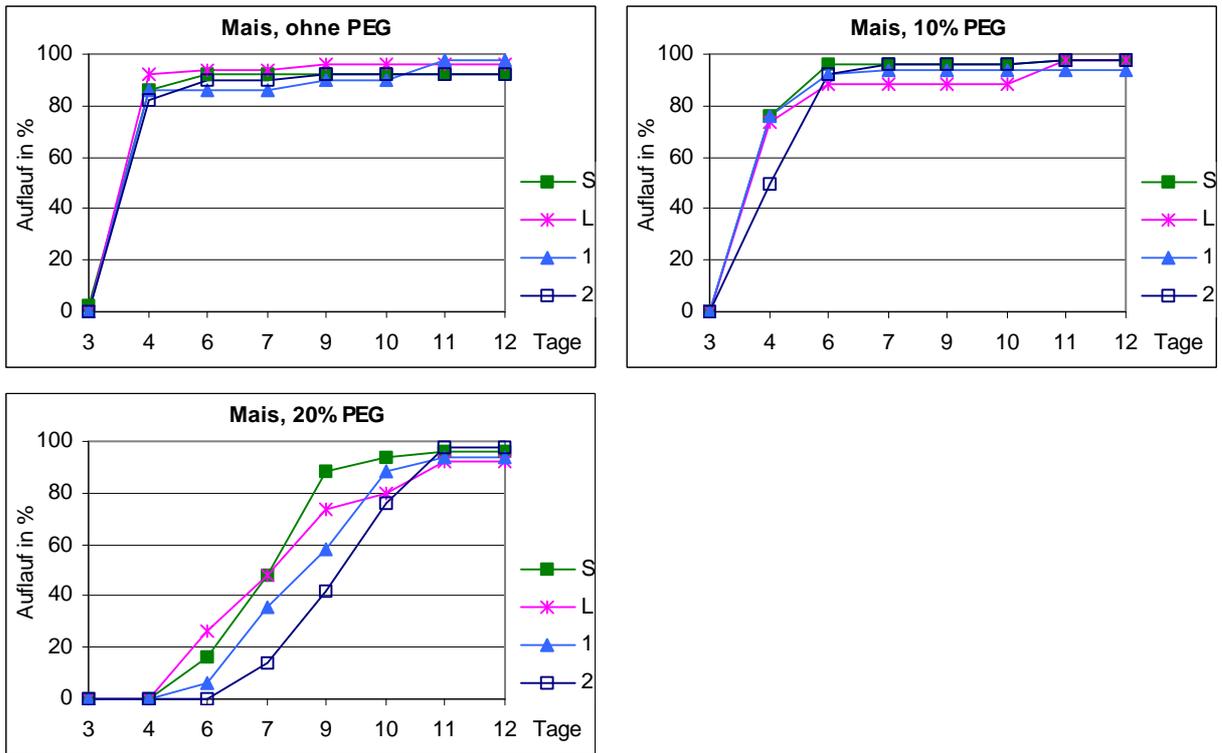
Tage	0 % PEG				10 % PEG				20 % PEG			
	S	L	1	2	S	L	1	2	S	L	1	2
3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	86	92	86	82	76	74	76	50	0	0	0	0
6	92	94	86	90	96	88	92	92	16	26	6	0
7	92	94	86	90	96	88	94	96	48	48	36	14
9	92	96	90	92	96	88	94	96	88	74	58	42
10	92	96	90	92	96	88	94	96	94	80	88	76
11	92	96	98	92	98	98	94	98	96	92	94	98
12	92	96	98	92	98	98	94	98	96	92	94	98
Differenzen zum Standard [%]												
3	2		0	0	0		0	0	0		0	0
4	-6		-6	-10	2		2	-24	0		0	0
6	-2		-8	-4	8		4	4	-10		-20	-26
7	-2		-8	-4	8		6	8	0		-12	-34
9	-4		-6	-4	8		6	8	14		-16	-32
10	-4		-6	-4	8		6	8	14		8	-4
11	-4		2	-4	0		-4	0	4		2	6
12	-4		2	-4	0		-4	0	4		2	6

**Tabelle 15.** Auflauf von Imidacloprid behandeltem Mais [%] bei Inkubation in Sand mit PEG, darunter Differenzen zum Standard.

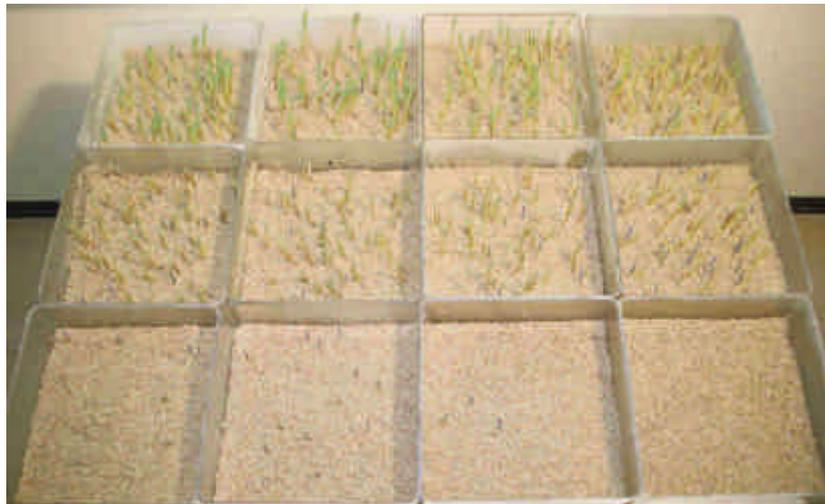
S = Fungizidbehandlung, L = Leerformulierung (= Standard), 1 und 2 mg Imidacloprid je Karyopse  
rot: Auflaufwert ist um mehr als 5 % geringer als der Standard, blau: Auflaufwert ist um mehr als 5 % größer als der Standard

Der Auflauf begann in Wasser, ohne PEG Zugabe am 4. Tag und war nahezu vollständig. Hier waren keinerlei Unterschiede zwischen Fungizidbehandlung, Leerformulierung und Imidacloprid festzustellen (Tabelle 15, Abbildung 26, Abbildung 27). Bei der Inkubation in 10 %iger PEG Lösung startete der Auflauf ebenfalls am 4. Tag, war jedoch bei allen Behandlungsvarianten deutlich geringer als bei Inkubation in Wasser. Darüber hinaus ließ sich bei diesem Ansatz am 4. Tag eine deutliche Verzögerung des Auflaufes bei einer

Behandlung mit 2 mg Imidacloprid im Vergleich zum Standard zu erkennen. Bereits am 6. Tag waren die Werte des Standards wieder erreicht.



**Abbildung 26.** Auflauf [%] von Mais mit und ohne PEG bei Behandlung mit Imidacloprid  
S = Fungizidbehandlung, L = Leerformulierung (= Standard), 1 und 2 mg Imidacloprid je Karyopse



**Abbildung 27.** Auflauf von Imidacloprid behandeltem Mais in Sand nach 6 Tagen.  
Von links nach rechts: Fungizidbehandlung, Standard, 1 mg, 2 mg Imidacloprid,  
von oben nach unten: Wasser, 10 % PEG, 20 % PEG

Bei dem Ansatz mit 20 %iger PEG-Lösung war der Auflauf unabhängig von der Saatgutbehandlung gegenüber Wasser um 2 Tage verzögert, was den Trockenstress bei der Keimung und Keimlingsentwicklung widerspiegelt. Eine deutliche Wirkung des Imidacloprid war bei diesem Ansatz vom 6. bis zum 10. Tag erkennbar. 2 mg Imidacloprid war stärker verzögert

## Ergebnisse

als 1 mg aber in seiner Auflaufkurve vergleichbar. Bei dem Ansatz mit 30 % PEG war selbst nach 12 Tagen noch kein Auflauf zu erkennen. Das Wasserpotential des Substrates war so niedrig, dass hier keine hinreichende Wasseraufnahme durch die Karyopsen möglich war. In Wasser und gleichermaßen bei PEG erfolgte der Auflauf bei der Leerformulierung am raschesten, gefolgt von der Fungizidbehandlung und den beiden Imidaclopridkonzentrationen. Mit zunehmendem Trockenstress nahm die kurzfristige auflaufverzögernde Wirkung des Imidacloprid zu (Tabelle 15, Abbildung 26). Aus diesen Ergebnissen im Sand ergab sich die Frage, ob dieses System geeignet ist, in Erde unter praxisnäheren Bedingungen Aussagen zu treffen.

### 3.1.7.2 Imidacloprid, PEG, Auflauftest in Laborerde

**Mais:** Marshall

**Behandlung:** Fungizidbehandlung, Leerformulierung (= Standard), 1 mg und 2 mg Imidacloprid

**Anzahl:** 100 Karyopsen

**Substrat:** Standardlaborerde mit Wasser auf 40 % Wkmax und 50 % Wkmax, sowie Standardlaborerde mit 10 %iger PEG- und 20 %iger PEG-Lösung auf 50 % Wkmax eingestellt

**Inkubation:** 20°C, Wechsellicht

**Beobachtung:** Auflauf täglich vom 3. bis zum 7. sowie am 10. Tag

Der Ansatz erfolgte in Laborerde bei 40 % Wkmax, ohne Giessen. Bei 50 % Wkmax wurde nach dem Bedecken der Karyopsen mit jeweils 200 ml Wasser, 10 %iger oder 20 %iger PEG-Lösung gegossen.

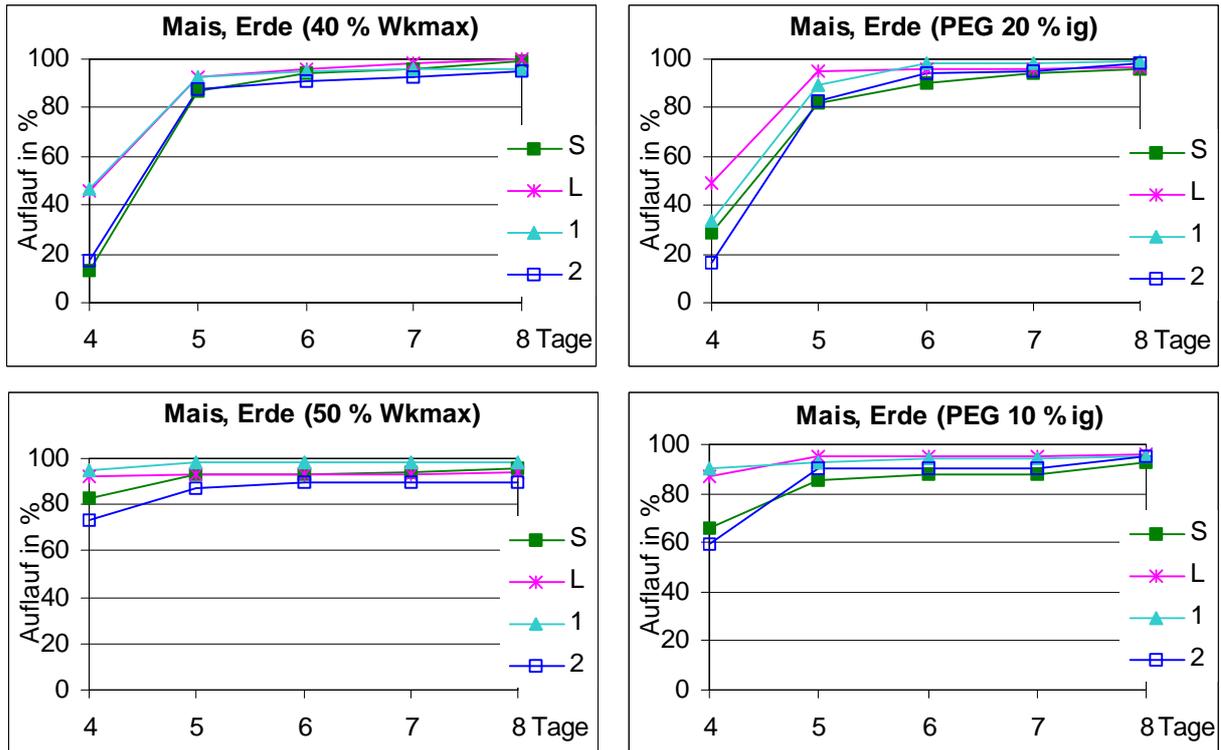
#### Auflauf

	40 % Wkmax				20 % PEG				50 % Wkmax				10 % PEG			
Tag	S	L	1	2	S	L	1	2	S	L	1	2	S	L	1	2
4	13	46	47	17	29	49	34	16	83	92	95	73	66	87	90	59
5	87	93	93	88	82	95	89	83	93	93	98	87	85	95	93	90
6	94	96	95	91	90	96	98	94	93	93	98	90	88	95	94	90
7	96	98	96	93	94	96	98	95	94	93	98	90	88	95	94	90
8	99	100	96	95	96	97	99	98	96	94	98	90	93	96	95	95
Differenzen zum Standard [%]																
4	-33		1	-29	-20		-15	-33	-9		3	-19	-21		3	-28
5	-6		0	-5	-13		-6	-12	0		5	-6	-10		-2	-5
6	-2		-1	-5	-6		2	-2	0		5	-3	-7		-1	-5
7	-2		-2	-5	-2		2	-1	1		5	-3	-7		-1	-5
8	-1		-4	-5	-1		2	1	2		4	-4	-3		-1	-1

**Tabelle 16:** Auflauf von Mais [%] mit und ohne PEG in Erde bei Behandlung mit Imidacloprid, darunter Differenzen zum Standard.

S = Fungizidbehandlung, L = Leerformulierung (= Standard), 1 und 2 mg Imidacloprid je Karyopse

rot: Auflaufwert ist um mehr als 5 % geringer als der Standard, blau: Auflaufwert ist um mehr als 5 % größer als der Standard



**Abbildung 28:** Auflauf [%] von Mais mit und ohne PEG in Erde bei Behandlung mit Imidacloprid. S = Fungizidbehandlung, L = Leerformulierung (= Standard), 1 und 2 mg Imidacloprid je Karyopse

Der Auflauf begann bei allen Varianten am 4. Tag, wobei der Standard bei den feuchteren Bedingungen sogleich nahezu den Gesamtauflauf erreichte, unter den trockeneren Bedingungen jedoch lediglich 50 %, was die begrenzte Wasserverfügbarkeit sowohl in trockener Erde als auch im Ansatz mit 20 % PEG widerspiegelt.



**Abbildung 29.** Auflauf, Imidacloprid behandelter Mais in Standardlaborerde nach 6 Tagen. Von links nach rechts: ohne PEG 40 % Wkmax, ohne PEG 50 % Wkmax, mit 10 % PEG, mit 20 % PEG, von oben nach unten: 4 mg, 1 mg Imidacloprid, Leerformulierung (= Standard), Fungizidbehandlung

Auch in diesem Versuch entfaltete Imidacloprid seine zeitlich begrenzte Wirkung unter den trockeneren Bedingungen unabhängig davon, ob das Substrat selbst trocken war oder ob es sich um physiologische Trockenheit handelte (Tabelle 16, Abbildung 28, Abbildung 29). Noch besser sind die Feuchtigkeitsbedingungen bei der Verwendung von Faltenfiltern standardisierbar, die mit Wasser und PEG Lösungen unterschiedlicher Konzentration befeuchtet werden. Zudem kann hier das Wachstum über Längenmessungen beobachtet werden. Mit dem folgenden Ansatz sollte dies geprüft werden.

### 3.1.7.3 *Imidacloprid, PEG, Keimung und Entwicklung im Faltenfilter*

**Mais:** Marshall

**Behandlung:** Fungizidbehandlung, Leerformulierung (= Standard), 1 mg und 2 mg Imidacloprid

**Anzahl:** 100 Karyopsen

**Substrat:** Faltenfilter feuchtigkeitsgesättigt, mit Wasser, 10 %iger und 20 %iger PEG-Lösung

**Inkubation:** 20°C, Wechsellicht

**Beobachtung:** Keimung bis 48 Stunden, Spross und Wurzellänge vom 3. bis zum 7. Tag

#### **Keimung**

Nach 36 Stunden waren beim Ansatz mit Wasser bereits alle Karyopsen gekeimt, während sich bei 10 % PEG erst 15 % gekeimte Karyopsen fanden.

Bei 20 % PEG war zu diesem Zeitpunkt noch keine Keimung erkennbar. Erst nach 3 Tagen entwickelten sich hier die Keimlinge sehr zögerlich und ungleichmäßig, sodass von einer weiteren Beobachtung dieses Versuches abgesehen wurde. Zwischen den Imidacloprid-Konzentrationen konnten keine Unterschiede festgestellt werden.

#### **Sprosslänge**

Ab dem 3. Tag konnte die Sprosslänge in Wasser, ab dem 4. Tag auch in PEG bestimmt werden. Die Sprosse waren am 4. Tag unabhängig von der Saatgutbehandlung in Wasser geringfügig länger als in 10 % PEG. Dieser Entwicklungsvorsprung vergrößerte sich im Versuchsverlauf, so dass die Sprosse am 6. Tag die dreifache Länge des 10 % PEG Versuchs erreicht hatten.

Auch nach einer Saatgutbehandlung mit Imidacloprid veränderte sich dieses Verhältnis nicht.

#### **Wurzellänge**

Unabhängig von der Saatgutbehandlung waren die Wurzellängen in Wasser und 10 % PEG am 3. und 4. Tag gleich. Danach entwickelten sie sich in Wasser deutlich rascher als in PEG. So erreichten sie beim Versuchsabschluss am 7. Tag in PEG nur 80 % der Länge, die in Wasser erzielt wurde. Weder in Wasser noch in PEG konnte ein Einfluss des Imidacloprid auf das Wachstum der Wurzel festgestellt werden (Tabelle 17).

PEG bewirkte in Faltenfiltern generell eine Verzögerung des Wachstums von Spross und Wurzel. Dabei konnten weder in Wasser noch in PEG Unterschiede zwischen Fungizidbehandlung, Leerformulierung und Imidacloprid behandeltem Saatgut festgestellt werden.

Tage	Spross								Wurzel							
	0 % PEG				10 % PEG				0 % PEG				10 % PEG			
	S	L	1	2	S	L	1	2	S	L	1	2	S	L	1	2
	9	9	9	9					7	9	8	8	10	11	10	20
4	14	14	14	14	4	3	3	3	22	26	24	26	22	24	22	23
5	23	24	23	26	8	7	8	6	48	52	49	51	38	42	38	39
6	36	36	35	36	12	13	13	12	78	85	80	83	56	59	53	55
7					13	18	17	17	105	112	108	110	78	79	76	76

**Tabelle 17.** Spross- und Wurzellänge von Mais nach Behandlung mit Imidacloprid im Faltenfiltertest mit und ohne PEG.

S = Fungizidbehandlung, L = Leerformulierung (= Standard), 1 und 2 mg Imidacloprid je Karyopse

Zusammenfassend lässt sich für die Versuche mit PEG in Faltenfiltern, Sand und Erde feststellen, dass sowohl die Keimung als auch das Wachstum durch die mittels PEG simulierte Trockenheit verzögert wird. Ein zusätzlicher Einfluss durch Imidacloprid konnte lediglich in Sand und Erde nicht aber in Faltenfilter gefunden werden. Die Wirkstärke war in beiden Substraten vergleichbar. Imidacloprid bewirkte bei einer Konzentration von 1 mg keine deutlichen Effekte, während 2 mg am 4. Tag eine deutliche, zeitlich begrenzte Verzögerung des Auflaufs bewirkte. Imidacloprid wirkt unabhängig davon ob die Trockenheit physiologisch oder rein über die Wasserverfügbarkeit bedingt ist.

In Faltenfiltern ließen sich auch mit PEG keine Wirkungen erkennen. Dies wird auf die spezielle Situation der Keimlinge und Versuchsparameter zwischen den Falten zurückgeführt. Hier sind die Keimlinge nicht adäquat an den Wirkstoff exponiert.

Nachdem Sand sich gegenüber Faltenfilter als das besser geeignete Substrat erwiesen hat und sich die Bedeutung des pflanzenverfügbaren Wassers herausgestellt hat, sollte hier der Einfluss der Temperatur nochmals betrachtet werden.

### 3.1.8 *Imidacloprid, Einfluss der Temperatur*

#### 3.1.8.1 *Auflauftest in Sand*

Der Vergleich des Auflaufes wurde bei zwei unterschiedlichen Temperaturen in Quarzsand mit 50 % Wkmax durchgeführt. Dabei wurden 100 Karyopsen den Behandlungen Standard, Leerformulierung, 1 mg und 2 mg Imidacloprid bei 25° C unterzogen. Die Ergebnisse aus 6 Versuchen, bei 20°C, ebenfalls je 100 Karyopsen, werden zum Vergleich herangezogen.

## Ergebnisse

**Mais:** Marshall

**Behandlung:** Fungizidbehandlung, Leerformulierung (= Standard), 1 mg und 2 mg Imidacloprid

**Anzahl:** 2 x 50 Karyopsen

**Substrat:** Sand, 50 % Wkmax

**Inkubation:** 20°C und 25°C, Wechsellicht

**Beobachtung:** Auflauf täglich vom 3. bis zum 10. Tag

Die Versuche belegen eine starke Temperaturabhängigkeit der Pflanzenentwicklung und Beizmittelwirkung. Dabei zeigte sich generell ein rascheres Auflaufen bei der höheren Temperatur, wobei der Standard im Sand bei 25°C am 3. Tag bereits 92 %, bei 20°C dagegen nur 10 % Auflauf erreichte (Tabelle 18, Abbildung 30).

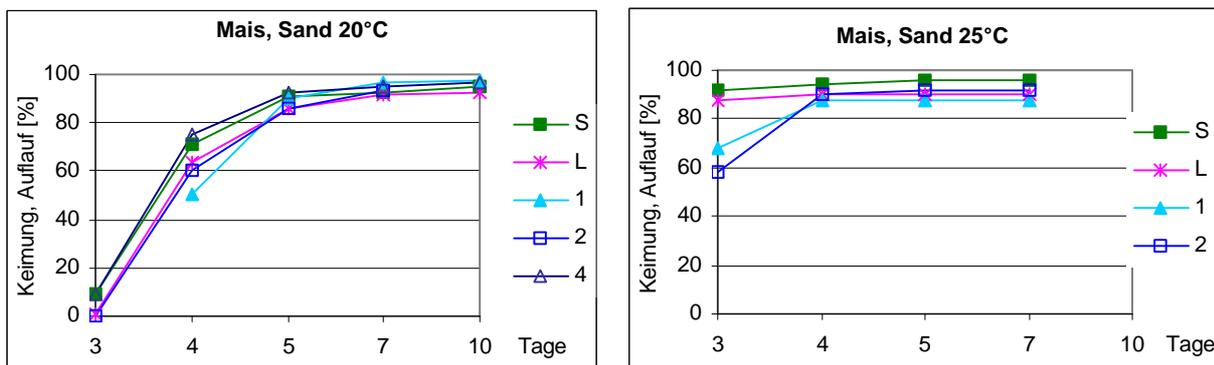
### Auflauf

Tage	20 °C					25 °C			
	S	L	1	2	4	S	L	1	4
3	10	10	1	0	0	92	88	68	58
4	75	71	64	51	60	94	90	88	90
5	92	91	86	90	86	96	90	88	92
7	95	93	92	97	94	96	90	88	92
10	97	95	93	97					
Differenzen zum Standard [%]									
3	0		-9	-10	-10	4		-20	-30
4	4		-7	-20	-11	4		-2	0
5	1		-5	-1	-5	6		-2	2
7	2		-1	5	1	6		-2	2
10	2		-2	2	2				

**Tabelle 18.** Auflauf von Imidacloprid behandeltem Mais bei unterschiedlichen Temperaturen in sterilem Sand, darunter Differenzen zum Standard.

S = Fungizidbehandlung, L = Leerformulierung (= Standard), 1; 2 und 4 = mg Imidacloprid je Karyopse

rot: Auflaufwert ist um mehr als 5 % geringer als der Standard, blau: Auflaufwert ist um mehr als 5 % größer als der Standard



**Abbildung 30.** Auflauf von Mais in Sand bei 20°C und 25°C bei Behandlung mit Imidacloprid.

S = Fungizidbehandlung, L = Leerformulierung (= Standard), 1; 2 und 4 = mg Imidacloprid je Karyopse

Die kurzfristige Wirkung des Imidacloprid trat bei 25°C frühzeitiger und stärker in Erscheinung als bei 20°C. Der Endauflauf blieb davon unbeeinflusst. Er wurde bei 25°C bereits am 4. Tag erreicht, während dies bei 20°C erst am 7. Tag der Fall war.

Der Versuch ergab also, dass in Sand mit optimaler Feuchtigkeit die bekannten Differenzierungen durch Variation der Temperatur generell nicht verstärkt aber zeitlich verschoben werden, ein Ergebnis, das auch durch den Folgeversuch belegt wird.

### 3.1.9 Einflussparameter beim Auflauf in Standardlaborerde

#### 3.1.9.1 Temperatur

Da auch Quarzsand ein steriles Substrat darstellt, sollte die Wirkung des Imidacloprid in Erde untersucht werden. Dies bedeutet zugleich einen Wechsel in der Methodik, indem Messungen von Organlängen und Keimfähigkeiten durch die Erfassung des Auflaufes, das heißt das Durchstoßen einer definierten Schichtdicke, ersetzt wird. Damit ist zugleich eine dem Feldaufgang vergleichbare Bonitur möglich.

**Mais:** Marshall

**Behandlung:** Fungizidbehandlung, Leerformulierung (= Standard), 1 mg und 2 mg Imidacloprid

**Anzahl:** 2 x 50 Karyopsen

**Substrat:** Laborerde, 50 % Wkmax

**Inkubation:** 15°C, 20°C, 25°C und 30°C, Wechsellicht

**Beobachtung:** Auflauf täglich vom 2. bis zum 13. Tag

Der Einfluss der Temperatur auf die Wirkung von Imidacloprid wurde im Auflauftest in Standardlaborerde, einem Schluffigen Lehm mit 50 % Wkmax, untersucht. Das Saatgut wurde mit Fungizid, Leerformulierung, 1 mg und 2 mg Imidacloprid behandelt. Geprüft wurden je 2 x 50 Karyopsen unter vier Temperaturbedingungen.

#### Auflauf

Tage	15°C				20°C				25°C				30°C			
	S	L	1	2	S	L	1	2	S	L	1	2	S	L	1	2
2	0	0	0	0	0	0	0	0	18	16	16	12	48	61	39	31
2,5	0	0	0	0	0	0	0	0	51	53	46	45	87	95	86	71
3	0	0	0	0	0	0	0	0	99	97	96	98	94	100	99	96
4	0	0	0	0	95	93	89	81	100	98	98	99	96	100	99	97
5	0	0	0	0	96	97	98	98	100	98	98	99	96	100	99	97
6	0	0	0	0	98	98	98	98	100	98	98	99	96	100	99	97
7,5	3	10	6	2	98	98	98	98	100	98	98	99	96	100	99	97
8	24	31	29	15	98	98	98	98	100	98	98	99	96	100	99	97
9	68	76	60	56	98	98	98	98	100	98	98	99	96	100	99	97
10	95	97	88	82	98	98	98	98	100	98	98	99	96	100	99	97
11	98	97	97	90	98	98	98	98	100	98	98	99	96	100	99	97
12	99	97	99	92	98	98	98	98	100	98	98	99	96	100	99	97
13	99	98	99	98	98	98	98	98	100	98	98	99	96	100	99	97

**Tabelle 19 A.** Auflauf von Imidacloprid behandeltem Mais [%] bei unterschiedlichen Temperaturen in Laborerde, darunter Differenzen zum Standard.

S = Fungizidbehandlung, L = Leerformulierung (= Standard), 1 und 2 mg Imidacloprid je Karyopse

rot: Auflaufwert ist um mehr als 5 % geringer als der Standard, blau: Auflaufwert ist um mehr als 5 % größer als der Standard

## Ergebnisse

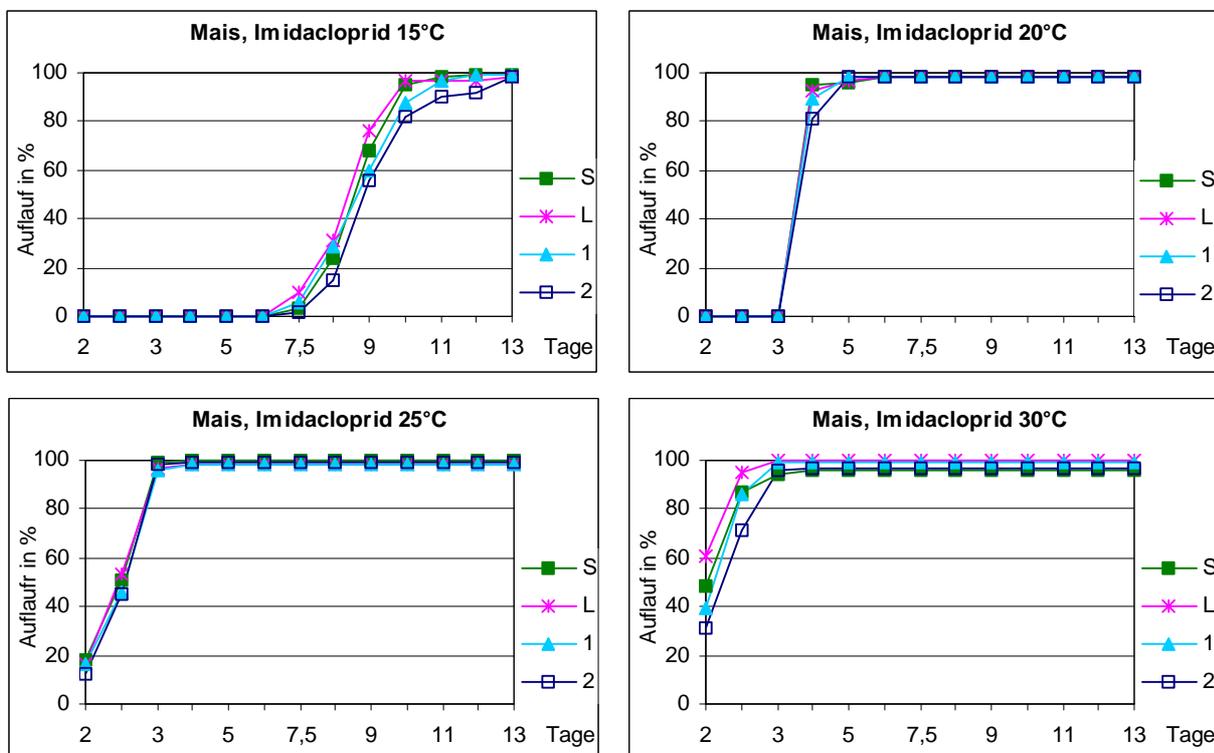
Differenzen zum Standard [%]																
Tage	15°C				20°C				25°C				30°C			
	S	L	1	2	S	L	1	2	S	L	1	2	S	L	1	2
2	0		0	0	0	0	0	0	2	0	0	-4	-13	0	-22	-30
2,5	0		0	0	0	0	0	0	-2	0	-7	-8	-8	0	-9	-24
3	0		0	0	0	0	0	0	2	0	-1	1	-6	0	-1	-4
4	0		0	0	2	0	-4	-12	2	0	0	1	-4	0	-1	-3
5	0		0	0	-1	0	1	1	2	0	0	1	-4	0	-1	-3
6	0		0	0	0	0	0	0	2	0	0	1	-4	0	-1	-3
7,5	-7		-4	-8	0	0	0	0	2	0	0	1	-4	0	-1	-3
8	-7		-2	-16	0	0	0	0	2	0	0	1	-4	0	-1	-3
9	-8		-16	-20	0	0	0	0	2	0	0	1	-4	0	-1	-3
10	-2		-9	-15	0	0	0	0	2	0	0	1	-4	0	-1	-3
11	1		0	-7	0	0	0	0	2	0	0	1	-4	0	-1	-3
12	2		2	-5	0	0	0	0	2	0	0	1	-4	0	-1	-3
13	1		1	0	0	0	0	0	2	0	0	1	-4	0	-1	-3

**Tabelle 19 B.** Auflauf von Imidacloprid behandeltem Mais [%] bei unterschiedlichen Temperaturen in Laborerde, darunter Differenzen zum Standard.

S = Fungizidbehandlung, L = Leerformulierung (= Standard), 1 und 2 mg Imidacloprid je Karyopse

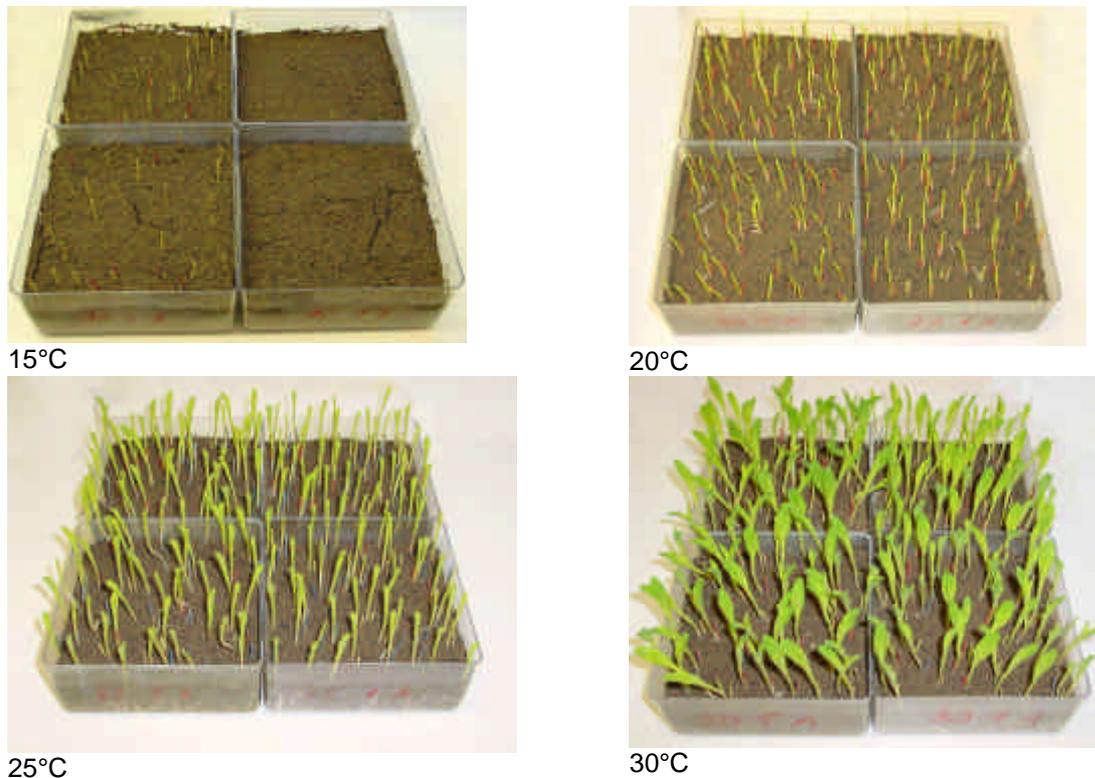
rot: Auflaufwert ist um mehr als 5 % geringer als der Standard, blau: Auflaufwert ist um mehr als 5 % größer als der Standard

Erwartungsgemäß zeigte sich ein genereller Temperatureinfluss auf den Auflauf, der mit zunehmender Temperatur größer wurde (Tabelle 19 A und B, Abbildung 31, Abbildung 32). Der Standard erreichte seinen höchsten Wert bei 15°C erst am 10. Tag, während sowohl bei 25°C als auch bei 30°C der Endauflauf bereits am 3. Tag erreicht wurde.



**Abbildung 31.** Auflauf von Imidacloprid behandeltem Mais [%] bei unterschiedlichen Temperaturen in Laborerde. S = Fungizidbehandlung, L = Leerformulierung (= Standard), 1 und 2 mg Imidacloprid je Karyopse

Dementsprechend war eine Verzögerung durch Imidacloprid bei niedrigerer Temperatur erst ab dem 7. Tag, bei höheren Temperaturen früher, am 2., 3. und 4. Tag, zu beobachten. Auch hier wurde ein Ausgleich der Wachstumsverzögerung beobachtet, der erwartungsgemäß bei 15 °C langsamer und bei 30 °C rascher erfolgte.



**Abbildung 32.** Auflauf von Mais in Erde bei 15°C, 20°C, 25°C und 30°C.

Von links nach rechts, obere Reihe: Standard, 2 mg Imidacloprid, untere Reihe Fungizid, 1 mg Imidacloprid

Die geringste Wirkung des Imidacloprid zeigte sich bei 25°C, also der optimalen Keimtemperatur. Sie verstärkte sich sowohl mit abnehmender als auch mit zunehmender Temperatur, wobei die Effekte mit abnehmender Temperatur zunehmend stärker und länger anhielten, dagegen bei höherer Temperatur nur kurzfristig waren (Tabelle 19, Abbildung 31). Aufgrund dieser Ergebnisse wurde für die weiteren Untersuchungen eine Temperatur von 20°C gewählt, da hierbei die beste Standardisierung erzielt werden konnte und sich zugleich die einzelnen Konzentrationen gut differenzierten.

Mit dieser Temperatur sollte nun der bereits in Sand beobachtete Effekt unterschiedlicher Feuchtigkeiten untersucht werden, da erwartet wurde, dass sich hier spezifische bodentypische Einflüsse erkennen lassen.

### 3.1.9.2 Feuchtigkeitsgehalt

**Mais:** Marshall

**Behandlung:** Fungizidbehandlung, Leerformulierung, 1 mg und 2 mg Imidacloprid

**Anzahl:** 100 Karyopsen

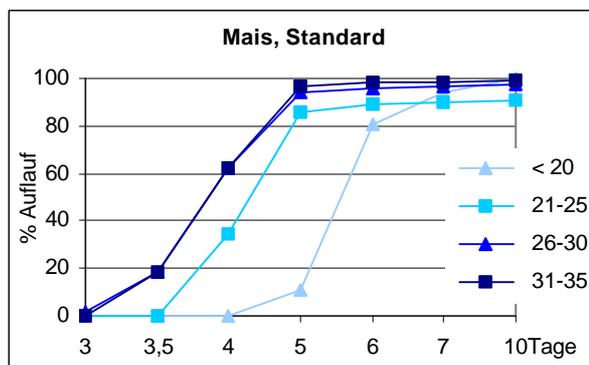
**Substrat:** Standardlaborerde < 20 %, 21 - 25 %, 26 – 30 % und 31 - 35 Gewichtsprozent Feuchtegehalt

**Inkubation:** 20°C, Wechsellicht

**Beobachtung:** Auflauf täglich vom 3. bis zum 7. Tag, sowie am 10. Tag

**Auflauf**

Im Auflauftest mit Standardlaborerde, einem Schluffigen Lehm, wurden vier unterschiedliche Feuchtigkeitsgehalte untersucht. Deren Einstellung erfolgte durch Begießen nach der Aussaat. Die Ergebnisse aus mehreren Versuchen wurden nach ihrem absoluten Feuchtigkeitsgehalt in Gewichtsprozent klassifiziert (< 20 %, 21- 25 %, 26 - 30 %, 31 - 35 %) und die Mittelwerte innerhalb dieser Klassen gebildet.

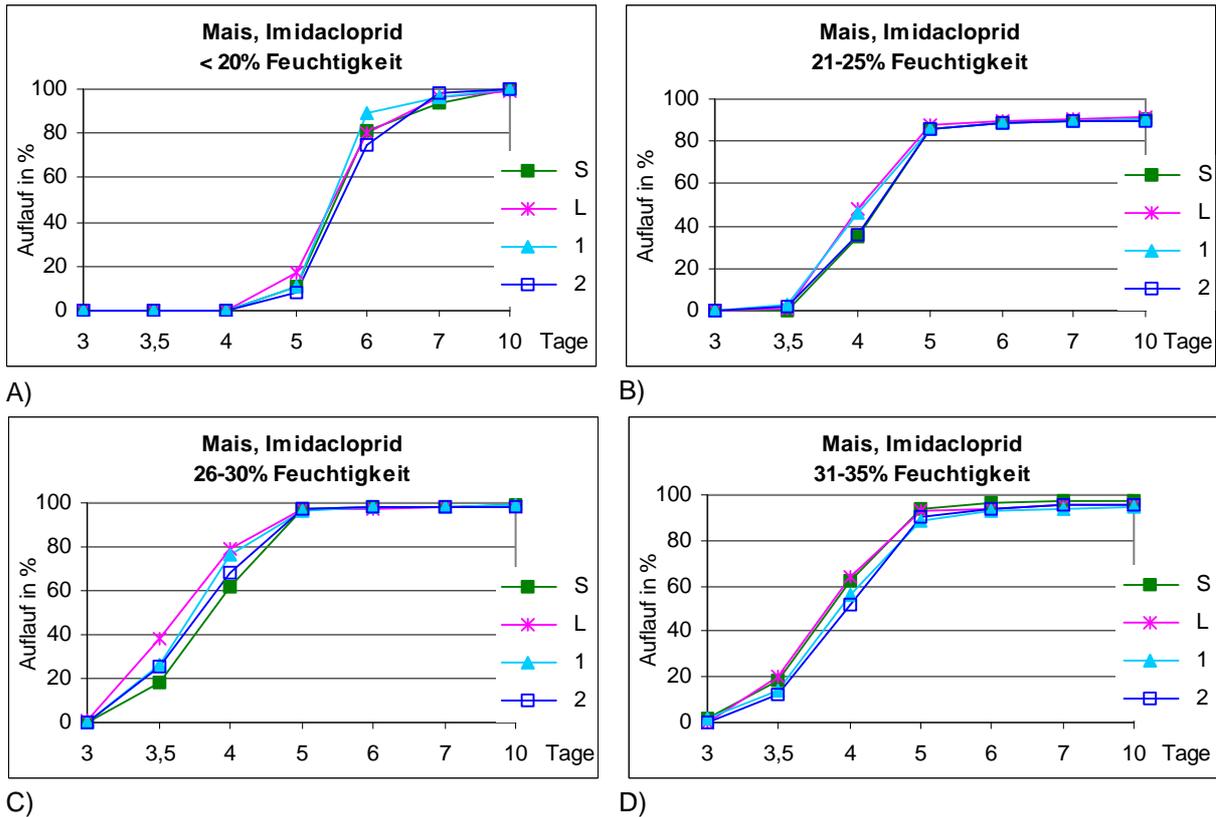


**Abbildung 33.** Auflauf des Standards bei zunehmendem Feuchtigkeitsgehalt der Erde

Tag	Gewichtsprozent Feuchtigkeit															
	< 20				21-25				26-30				31-35			
	S	L	1	2	S	L	1	2	S	L	1	2	S	L	1	2
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,9	0,4	0	1	0	2	0
3,5	0	0	0	0	0	1	3	2	19	39	26	25	19	20	14	12
4	0	0	0	0	35	48	46	36	62	79	77	68	62	64	57	52
5	11	17	11	8	86	88	86	86	97	98	96	97	94	93	89	90
6	81	80	89	75	89	90	89	89	98	98	98	98	96	94	93	94
7	94	96	96	98	90	90	90	89	98	98	98	98	97	95	94	95
10	100	99	100	100	91	91	91	90	99	99	99	99	98	96	95	96
Differenzen zum Standard [%]																
3	0		0	0	0		0	0	-1		-1	-1	1		2	0
3,5	0		0	0	-1		2	1	-20		-13	-14	-1		-6	-8
4	0		0	0	-13		-2	-12	-17		-2	-11	-2		-7	-12
5	-6		-6	-9	-2		-2	-2	-1		-2	-1	1		-4	-3
6	1		9	-5	-1		-1	-1	0		0	0	2		-1	0
7	-2		0	2	0		0	-1	0		0	0	2		-1	0
10	1		1	1	0		0	-1	0		0	0	2		-1	0

**Tabelle 20.** Auflauf von Mais behandelt mit Imidacloprid [%] in Standardlaborerde verschiedener Feuchtigkeitsgehalte, darunter Differenzen zum Standard.

S = Fungizidbehandlung, L = Leerformulierung (= Standard), 1 und 2 mg Imidacloprid je Karyopse  
rot: Auflaufwert ist um mehr als 5 % geringer als der Standard, blau: Auflaufwert ist um mehr als 5 % größer als der Standard



**Abbildung 34.** Auflauf von Imidacloprid behandeltem Mais [%] in Standardlaborerde unterschiedlicher Feuchtigkeitsgehalte.  
 S = Fungizidbehandlung, L = Leerformulierung (= Standard), 1 und 2 mg Imidacloprid je Karyopse

Dabei zeigte sich, unabhängig von der Saatgutbehandlung, mit steigender Substratfeuchtigkeit ein rascherer Auflauf (Tabelle 20, Abbildung 33), der sich ab 26 % beim Standard nicht mehr weiter beschleunigte, sodass dieser Feuchtigkeitsgehalt als optimal für die Keimung und Entwicklung von Mais angesehen werden kann. So war der Auflauf bei den Klassen 21 % - 35 % am 5. Tag vollständig, im trockenen Milieu aber erst am 7. Tag (Abbildung 34 A, B und C).

Die Wirkung des Imidacloprid ist in diesem Boden bei den unterschiedlichen Feuchtigkeitsstufen nicht gleichartig. Unter feuchteren Bedingungen war bereits zu einem früheren Zeitpunkt ein stärkerer Einfluss erkennbar (Tabelle 20, Abbildung 34 D). Dabei zeigten sich auch in diesen Versuchen nur kurzzeitig ausgeprägte Effekte.

### 3.1.9.3 Wasserzugabe

<b>Mais:</b> Marshall
<b>Behandlung:</b> Fungizidbehandlung, Leerformulierung, 1 mg und 4 mg Imidacloprid
<b>Anzahl:</b> 100 Karyopsen
<b>Substrat:</b> Laborerde, ohne zusätzliches Giessen sowie zusätzlich mit 200 ml und 400 ml Wasser gegossen
<b>Inkubation:</b> 20°C, Wechsellicht
<b>Beobachtung:</b> Auflauf täglich vom 3. bis zum 7. Tag

#### Auflauf

In Standardlaborerde und unter Standardbedingungen konnte nur ein geringer Einfluss des Imidacloprid verzeichnet werden. Um die von Drinkwater (1997) beschriebenen, den Auflauf verzögernden Wirkungen im Laborversuch zu überprüfen, wurde ein Erdaufauftest bei drei unterschiedlichen Feuchtigkeitsgehalten der Erde durchgeführt.

Tag	Ohne Wasserzugabe				+ 200 ml Wasser				+ 400 ml Wasser			
	S	L	1	4	S	L	1	4	S	L	1	4
3	0	0	0	0	20	20	0	1	31	21	5	1
4	44	45	43	40	88	83	89	81	87	87	77	62
5	88	92	91	91	91	86	93	95	92	92	91	85
6	93	95	95	98	91	87	93	96	92	92	91	86
7	93	95	95	98	93	87	93	96	92	92	91	87
Differenzen zum Standard [%]												
3	0		0	0	0		-20	-19	10		-16	-20
4	-1		1	-5	5		6	-2	0		-10	-25
5	-4		2	-1	5		7	9	0		-1	-7
6	-2		3	3	4		6	9	0		-1	-6
7	-2		4	3	6		6	9	0		-1	-5

**Tabelle 21.** Auflauf von Mais behandelt mit Imidacloprid [%] in Laborerde unterschiedlichen Feuchtigkeitsgehaltenes, darunter Differenzen zum Standard.

S = Fungizidbehandlung, L = Leerformulierung (= Standard), 1 und 4 mg Imidacloprid je Karyopse

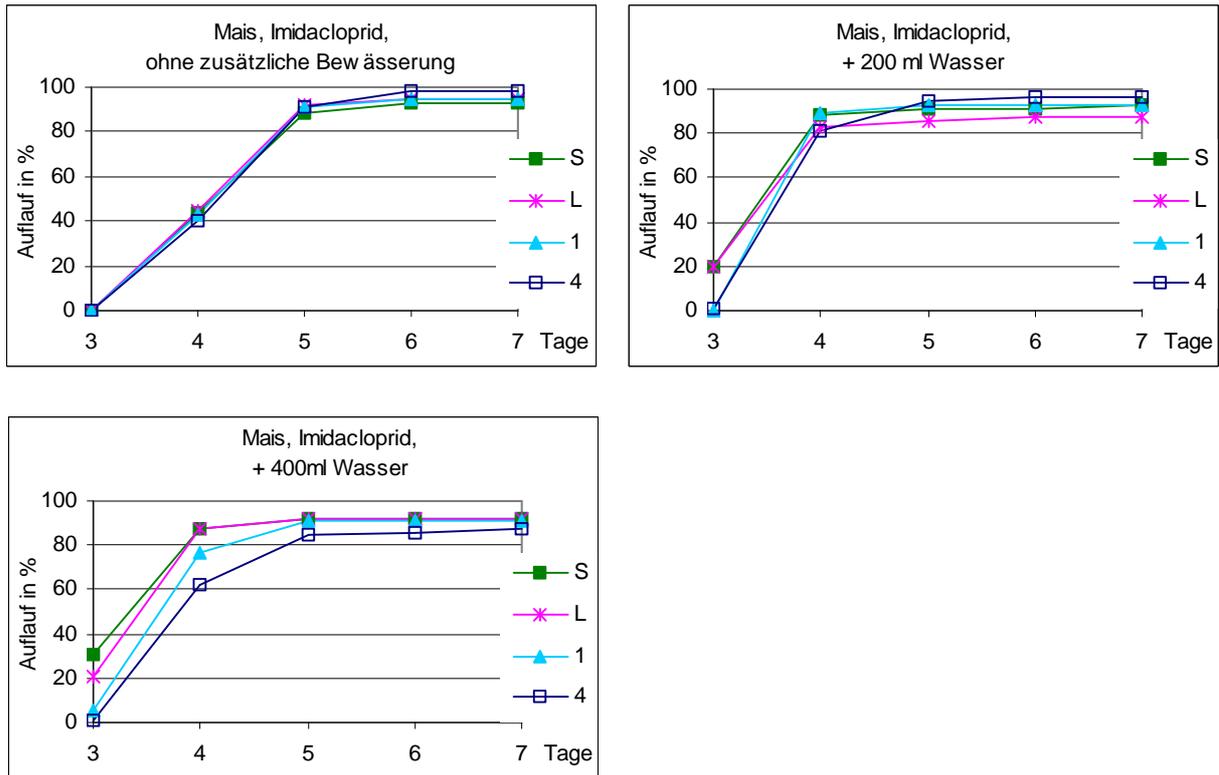
rot: Auflaufwert ist um mehr als 5 % geringer als der Standard, blau: Auflaufwert ist um mehr als 5 % größer als der Standard

Dabei blieb ein Ansatz ohne zusätzliche Wassergabe, die weiteren Ansätze wurden nach Einlegen und Bedecken der Karyopsen mit 200 ml und 400 ml Wasser gegossen.

In der ersten Variante startete der Auflauf der Fungizidbehandlung am 4. Tag und erreichte am 5. Tag nahezu sein Endergebnis. Dagegen begann der Auflauf bei beiden gegossenen Ansätzen bereits am 3. Tag und erzielte schon am 4. Tag nahezu den Endwert.

Wie in Versuch 3.1.6.1 zeigte sich auch hier sowohl eine Abhängigkeit des zeitlichen Auflaufs als auch der Wirkstoffeinflusses von der Bodenfeuchte, die sich mit zunehmender Konzentration verstärkte, doch zum Versuchsende wieder ausgeglichen war (Tabelle 21, Abbildung 35, Abbildung 36).

## Ergebnisse



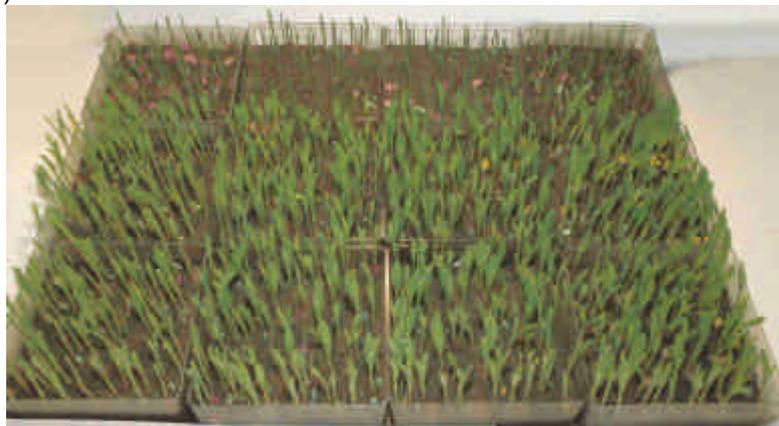
**Abbildung 35.** Auflauf von Imidacloprid behandeltem Mais [%] in Laborerde unterschiedlicher Feuchtigkeit.

S = Fungizidbehandlung, L = Leerformulierung (= Standard), 1 und 4 mg Imidacloprid je Karyopse

Da sich hier, unter den Bedingungen des Regen simulierenden Giessens überraschend klare Ergebnisse zeigten, wurde dieser Aspekt vertieft und alle folgenden Versuche in Laborerde wurden zusätzlich gegossen.



A)



B)

**Abbildung 36.** Auflauf von Imidacloprid behandeltem Mais, A) nach 5 Tagen, B) nach 7 Tagen. Oberste Reihe ohne zusätzliche Befeuchtung, mittlere Reihe: zusätzlich mit 200 ml begossen, untere Reihe zusätzlich mit 400 ml begossen, von links nach rechts: Fungizid, Standard, 1 mg, 4 mg Imidacloprid

### 3.1.9.4 Befeuchtungsart

Tröltzsch et al. (1994) stellten fest, dass die Beizhofausbildung und die Aufnahme von Imidacloprid bei der Baumwolle abhängig von der Bewässerungsform ist.

Es galt also zu prüfen, ob die Wirkung des Imidacloprid im Auflauftest alleine vom Feuchtigkeitsgehalt des Substrates oder auch von der Art der Befeuchtung abhängig sind.

Dazu wurde im Auflauftest Laborerde vor und nach dem Einkeimen der Karyopsen mit der gleichen Wassermenge befeuchtet.

**Mais:** Lussac

**Behandlung:** Fungizidbehandlung, Leerformulierung, 1 mg und 2 mg Imidacloprid

**Anzahl:** 2 x 50 Karyopsen

**Substrat:** Standardlaborerde, vor und nach dem Einlegen der Karyopsen mit 200 ml Wasser gegossen

**Inkubation:** 20°C, Wechsellicht

**Beobachtung:** Auflauf täglich vom 3. bis zum 7. Tag

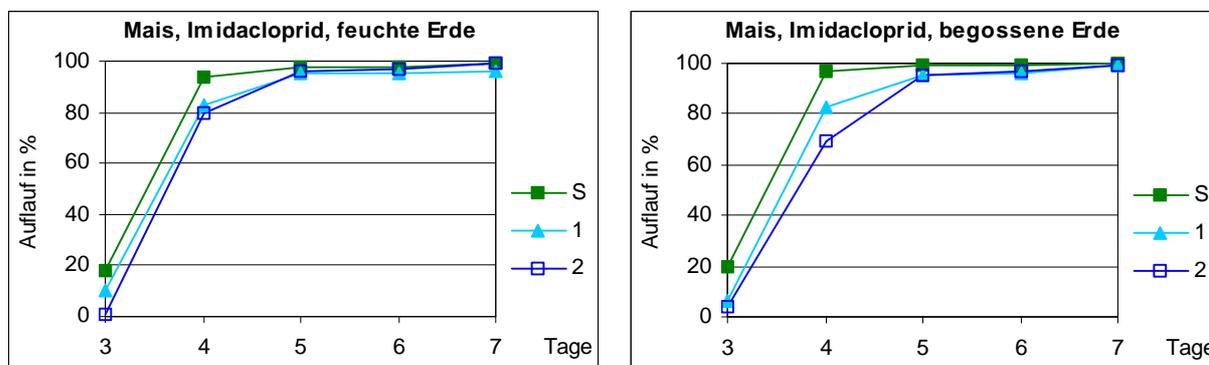
**Auflauf**

Bereits am 3. Tag waren bei beiden Varianten nahezu 20 % der Keimlinge aufgelaufen. Der Standard entwickelte sich in beiden Feuchtevarianten vergleichbar schnell, was eine gute Wasserversorgung der quellenden und keimenden Karyopsen anzeigt (Tabelle 22, Abbildung 37).

	feucht			begossen		
	S	1	2	S	1	2
3	18	10	1	20	6	4
4	94	83	80	97	83	69
5	98	95	96	99	95	95
6	98	95	97	99	96	97
7	99	96	99	100	99	99
Differenzen zum Standard [%]						
3		-8	-17		-14	-16
4		-11	-14		-14	-28
5		-3	-2		-4	-4
6		-3	-1		-3	-2
7		-3	0		-1	-1

**Tabelle 22.** Auflauf von Mais behandelt mit Imidacloprid in Standardlaborerde bei unterschiedlicher Art der Befeuchtung, darunter Differenzen zum Standard.

S = Fungizidbehandlung (= Standard), 1 und 2 mg Imidacloprid je Karyopse, rot: Auflaufwert ist um mehr als 5 % geringer als der Standard



**Abbildung 37.** Auflauf von Imidacloprid behandeltem Mais [%] in befeuchteter und begossener Erde. S = Fungizidbehandlung (= Standard), 1 und 2 mg Imidacloprid je Karyopse

Bei 1 mg Imidacloprid war der Auflauf gegenüber dem Standard in vorbefeuchteter Erde leicht, in gegossener Erde aber stärker verzögert. Eine deutliche Auflaufverzögerung war in beiden Feuchtigkeitsvarianten bei 2 mg Imidacloprid zu erkennen, wobei die Verzögerung auch hier in der gegossenen Variante stärker ausgeprägt war. In beiden Fällen konnte bereits am 5. Tag kein Unterschied zwischen den Behandlungen mehr festgestellt werden. Der Endauflauf wurde in keinem Falle durch Imidacloprid beeinflusst (Abbildung 38).



**Abbildung 38.** Aufwuchs von Mais behandelt mit Imidacloprid, nach 10 Tagen.  
Von links nach rechts: Standard, Leerformulierung, 1 mg, 4 mg Imidacloprid

Die in der feuchten Erde festgestellte, den Aufwuchs verzögernde Wirkung durch Imidacloprid tritt also durch Begießen der Erde noch deutlicher zu Tage, was auf die Beizhofausbildung zurückzuführen ist auf die später ausführlich eingegangen wird.

Eine sorgfältige Saatbettbearbeitung muss auf die Boden- und Feuchtigkeitsverhältnisse abgestimmt sein. Weder eine zu tiefgreifende Lockerung, noch zu starke Verdichtung des Bodens ist der Entwicklung von Mais zuträglich. Insbesondere in schweren Böden ersticken bei Vernässung der verdichteten Fahrspuren oftmals die keimenden Karyopsen (Miltner, 2003). Da die Erstellung eines Bodenschlusses in lockeren Böden durch Andrücken gute landwirtschaftliche Praxis darstellt, sollte geprüft werden, ob auch hiervon im Laborversuch Nutzen gezogen werden kann.

### **3.1.9.5 Bodenstruktur**

In der verfestigten Erde ist die Kontaktoberfläche von Bodenpartikeln und Karyopsenoberfläche weit größer als in der locker eingeschichteten Erde. Die Wasserversorgung der Karyopsen bei der Quellung und Keimung ist dementsprechend begünstigt. Der gut wasserlösliche Wirkstoff Imidacloprid sollte folglich in höherem Maße aufgenommen werden.

Es ist bekannt dass mechanischer Widerstand Wurzelverdickungen verursacht, die ein reduziertes Blattlängenwachstum zur Folge haben (Young et al., 1997).

Auch die Saattiefe nimmt Einfluss auf einen erfolgreichen Aufwuchs. Für Mais gilt eine Ablagetiefe von 3-5 cm als optimal. Wird Saatgut zu tief abgelegt ist generell mit Aufwuchsverzögerungen zu rechnen (Albuquerque und Carvalho, 2003).

So wurde der Einfluss von Verdichtungen des Erdsubstrates nach der Aussaat in einem Aufwuchstest an jeweils 2 x 50 Karyopsen, behandelt mit Fungizid, 1 mg und 2 mg Imidacloprid, untersucht. Verwendet wurde Standardlaborerde mit einem Feuchtigkeitsgehalt von 50 % Wkmax, die Ablagetiefe betrug 2 cm. Die Erde wurde einmal laborüblich angesetzt sowie zusätzlich durch Andrücken mit einem Holzstempel verdichtet. Danach wurden beide Versuche gegossen.

**Mais:** Marshall

**Behandlung:** Fungizidbehandlung (= Standard), 1mg und 2 mg Imidacloprid

**Anzahl:** 100 Karyopsen

**Substrat:** Standardlaborerde 50 % Wkmax, locker aufgeschichtet und verdichtet

**Inkubation:** 20°C, Wechsellicht

**Beobachtung:** Auflauf täglich vom 3. bis zum 7. Tag

**Auflauf**

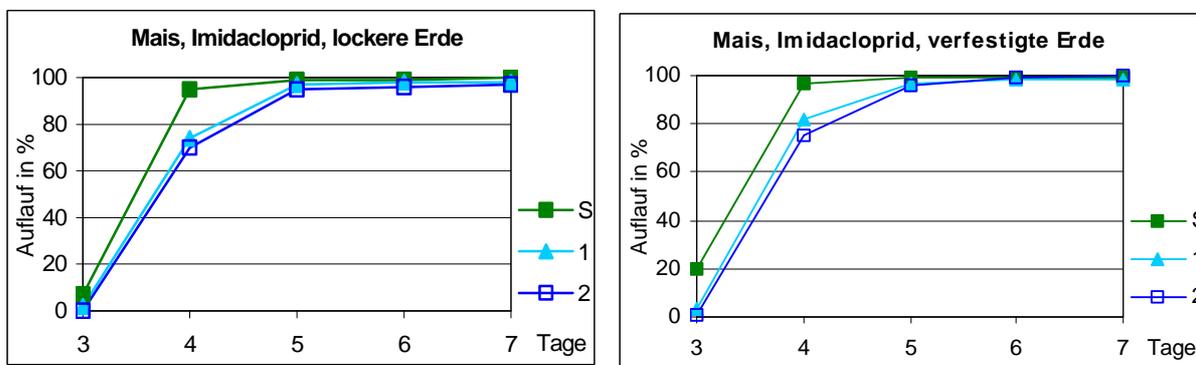
Am 3. Tag zeigten sich deutliche Unterschiede zwischen den beiden Versuchsvarianten. In der lockeren Erde waren beim Standard nur 7 % Auflauf erkennbar, während es in der verdichteten Erde bereits 20 % waren. Dieser Vorsprung war jedoch nur von kurzer Dauer. Bereits am 4. Tag betrugen die Auflaufwerte in beiden Erden 95 % (Tabelle 23, Abbildung 39).

Eine Verdichtung des Substrates beschleunigt also den Auflauf des Standards. Die Imidacloprid-Varianten waren am 4. Tag in beiden Erden im Vergleich zum Standard deutlich verzögert. An diesem Tag traten in der lockeren Erde größere Differenz zum Standard auf als in der verdichteten Erde. Ab dem 5. Tag wurden bei keiner Versuchsvariante mehr Auflaufverzögerung festgestellt.

Erde	Auflauf [%]						Differenzen zum Standard [%]					
	locker			verfestigt			locker			verfestigt		
	S	1 mg	2 mg	S	1 mg	2 mg	S	1 mg	2 mg	S	1 mg	2 mg
3	7	2	0	20	3	1	-5	-7		-17	-19	
4	95	74	70	97	82	75		-21	-25		-15	-22
5	99	97	95	99	97	96	-2	-4		-2	-3	
6	99	98	96	99	98	99	-1	-3		-1	0	
7	100	98	97	99	98	100	-2	-3		-1	1	

**Tabelle 23.** Auflauf von Imidacloprid behandeltem Saatgut [%] in lockerer und in verfestigter Erde sowie Differenz der Ergebnisse zum Standard.

S = Fungizidbehandlung (= Standard), 1 und 2 mg Imidacloprid je Karyopse  
 rot: Auflaufwert ist um mehr als 5 % geringer als der Standard



**Abbildung 39.** Auflauf von Mais, behandelt mit Standard (S), 1 mg (1) und 2 mg Imidacloprid (2) in lockerer und verfestigter Erde. S = Fungizidbehandlung (= Standard), 1 und 2 mg Imidacloprid je Karyopse

Wie Tabelle 23 zeigt führt Imidacloprid in der verdichteten Erde am 3. Tag zu stärkeren Verzögerungen als in der lockeren Erde, insgesamt ist die Wirkung des Imidacloprid hier verstärkt. Aus diesem Grund und wegen der schwierigen Standardisierbarkeit des Andrückens in verschiedenen Erden wurden alle folgenden Versuche mit unverfestigter Erde durchgeführt.

### **3.1.10 Methode zur Bestimmung von Wirkstoffeinflüssen auf das Keimungsverhalten**

Aus all den bisher vorgestellten Versuchsergebnissen konnte eine standardisierte Methode zum Erfassen von Wirkstoffeinflüssen auf die Entwicklung von Keimpflanzen ausgearbeitet werden, die sich nicht nur für die Prüfung von Mais, sondern auch von Sonnenblume, Zuckerrübe und Baumwolle eignet.

#### **Auflauftest:**

- Standardlaborerde Sandiger Lehm, ein Boden mit mittleren Eigenschaften in Bezug auf Partikelgröße und Wasserhaltefähigkeit
- Ablagetiefe 2 cm
- Erde locker aufgeschichtet, ohne Bodenverdichtung
- Feuchte 40 % - 50 % Wkmax, im unteren Bereich des bodenspezifischen Optimums
- Gießen nach der Aussaat zur Ausbildung eines optimal entwickelten Beizhofes
- Temperatur 20°C, d.h. leicht suboptimal
- Wechsellicht 8000 Lux
- Beurteilung der Keimlinge am 4. Versuchstag ergibt die deutlichste Differenzierung zwischen den Saatgutbehandlungen

Eine Beurteilung der Keimlinge am 4. Versuchstag lässt die deutlichste Differenzierung zwischen den verschiedenen Saatgutbehandlungen erkennen. Die standardisierte Methode liefert reproduzierbare Ergebnisse und ermöglicht dadurch Vergleiche zwischen Wirkstoffen und Behandlungen.

Um das Testsystem noch spezifischer gestalten zu können wurde versucht, die grundlegenden Mechanismen des Wirkstoffes in der Pflanze zu erfassen.

### **3.1.11 Imidacloprid, Wirkung auf hormoneller Ebene**

Da in den vorgestellten Versuchen stets eine zeitlich befristete Wirkung vorlag, die sich vor allem im Längenzuwachs erkennen ließ, wurde insbesondere eine hormonelle Wirkung des Imidacloprid vermutet.

Es ist allgemein bekannt, dass Gibberellin das Zellteilungs- und Zellstreckungswachstum fördert. Gibberellinsäure ( $GA_3$ ) wirkt generell auf das Wachstum und die Entwicklung von Pflanzen sowie die Keimung monokotyler Arten. Sowohl Zellstreckungs- als auch Zellteilungsprozesse sind durch  $GA_3$  gefördert, ersteres durch Erhöhung der Zellwandextensibilität. So werden Hemmstoffe der  $GA_3$  Synthese gezielt zur Unterdrückung des Streckungswachstums eingesetzt (Taiz und Zeiger, 2000). Lockhart (1962) beschreibt, dass bei der Anwendung von  $GA_3$  fallweise eine Aufhebung von Wachstumsverzögerungen erzielt werden kann. Daher sollte anhand der folgenden Untersuchungen geprüft werden, ob die Wirkung des Imidacloprid durch die Anwendung von Gibberellinsäure beeinflusst wird. Würde bei  $GA_3$  Anwendung die kurzzeitig wirkende Auflaufverzögerung des Imidacloprid aufgehoben, so läge der Schluss nahe, dass das Insektizid als „Anti-Gibberellin“ wirkt, wie es beispielsweise von CCC, Phosphon-D und Maleinsäure bekannt ist. Die Kenntnis dieser physiologischen Zusammenhänge schlägt sich nicht nur in den bekannten Schulversuchen zum Koleoptilen-Wachstum nieder, sondern hat bereits früh Eingang in die landwirtschaftliche Praxis gefunden.

Auxin wird in den Apikalmeristemen von Spross und Wurzel gebildet, spielt eine wesentliche Rolle bei der Zellstreckung und steigert bei Monokotylen das Wachstum von Spross und Koleoptile. Es induziert die Zellwandstreckung durch Ansäuerung der Zellwand und steigert die Aufnahme osmotisch wirksamer Substanzen durch Stimulation der  $H^+$ -ATPase. Darüber hinaus ist es an phototropischen und gravitropischen Reaktionen beteiligt (Taiz und Zeiger, 2000). Daher wurde auch der Einfluss von Auxin auf das Wachstum mit Imidacloprid behandelte Karyopsen getestet, um zu überprüfen ob hier Wechselwirkungen erkennbar sind.

Um eine exakte Feuchtigkeitseinstellung vornehmen zu können, wurden die Auflauftests in Quarzsand durchgeführt, der mit Wasser sowie den unterschiedlich konzentrierten Hormonlösungen auf einen Feuchtigkeitsgehalt von 50 %  $W_{kmax}$  eingestellt war. Der Ansatz erfolgte in Sand in 2 cm Ablagetiefe, die Anzucht der Keimlinge bei 20°C im Wechsellicht.

#### **3.1.11.1 Wirkung von Gibberellinsäure ( $GA_3$ )**

Die Versuchsansätze wurden mit verschiedenen Hybridmais-Sorten durchgeführt, die mit Fungizid, Leerformulierung, 1 mg, 2 mg oder 4 mg Imidacloprid behandelt waren. Mit einer 0,05 %iger  $GA_3$  -Lösung wurde eine Konzentration verwendet, wie sie in der Laborroutine zum Brechen der Keimruhe eingesetzt wird.

## Ergebnisse

**Mais:** Helga (Kf = 98 %), Pedro (Kf = 97 %), Prinz (Kf = 98 %)

**Behandlung:** Fungizidbehandlung, Leerformulierung (= Standard), 1 mg und 2 mg Imidacloprid

**Anzahl:** 100 Karyopsen

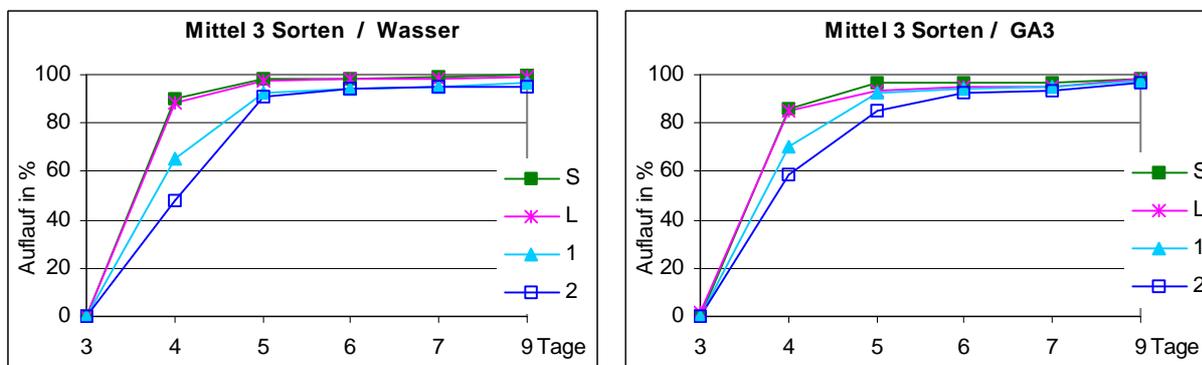
**Substrat:** Quarzsand, 50 % Wkmax, eingestellt mit Wasser sowie mit 0,05 %iger GA<sub>3</sub>-Lösung

**Inkubation:** 20°C, in Wechsellicht

**Beobachtung:** Auflauf täglich vom 3. bis zum 7. Tag, sowie am 10. Tag

### Auflauf

Zwischen den drei Sorten zeigten sich bei der Behandlung mit GA<sub>3</sub> keine grundsätzlichen Unterschiede. Im Vergleich GA<sub>3</sub> behandelt zu unbehandelt ließen sich bei der Fungizidvariante und dem Standard keinerlei Effekte erkennen (Abbildung 40), während die Imidacloprid-Varianten unter GA<sub>3</sub> Einfluss eine Interaktion zwischen GA<sub>3</sub> und dem insektiziden Wirkstoff nicht ausschließen lassen. Dieses Ergebnis ermutigte zu einer Versuchsserie mit unterschiedlichen GA<sub>3</sub> Konzentrationen.



**Abbildung 40.** Mittlerer Auflauf von Mais [%] verschiedener Sorten nach Behandlung mit Imidacloprid in Wasser sowie in 0,05 %iger GA<sub>3</sub>-Lösung.

S = Fungizidbehandlung, L = Leerformulierung, 1 und 2 mg Imidacloprid je Karyopse

### 3.1.11.2 Gibberellinsäure in verschiedenen Konzentrationen

**Mais:** Marshall

**Behandlung:** Fungizidbehandlung, Leerformulierung (= Standard), 1 mg Imidacloprid

**Anzahl:** mit Wasser 200 Karyopsen, mit 0,05 % GA<sub>3</sub> und 0,15 % GA<sub>3</sub> jeweils 150 Karyopsen, sowie mit 0,5 % GA<sub>3</sub> 100 Karyopsen

**Substrat:** Quarzsand, 50 % Wkmax, eingestellt mit Wasser und GA<sub>3</sub>-Lösung der Konzentrationen 0,05 %, 0,15 % und 0,5 %

**Inkubation:** 20° C, Wechsellicht

**Beobachtung:** Auflauf täglich vom 3. bis zum 7. Tag, sowie am 10. und 11. Tag

### Auflauf

Wie Tabelle 24 und Abbildung 41 zu entnehmen ist, wird das Wachstum durch GA<sub>3</sub> grundsätzlich beschleunigt. Bei den Imidacloprid-Varianten wird die generelle Wirkung des Insektizids nicht verändert. Aus den Konzentrationsreihen ist ersichtlich, dass die Entwicklung durch höhere GA<sub>3</sub> Gaben beschleunigt wird. In allen Fällen zeigt sich die vom

## Ergebnisse

4. Tag bekannte Entwicklungs-Verzögerung durch Imidacloprid, die unter GA<sub>3</sub> Einwirkung noch deutlicher wird. Dabei ist dieser Einfluss bei der mittleren Konzentration von 0,15 % GA<sub>3</sub> am stärksten (Abbildung 42).

Die Ergebnisse lassen den Schluss zu, dass sich die Wirkung des Imidacloprids durch die raschere Entwicklung der Pflanzen unter GA<sub>3</sub> Einfluss bis zu dem sensiblen Stadium des Auflaufes am 4. Tag, hier deutlicher hervorhebt. In einer Versuchswiederholung mit 0,05 % und 0,15 % GA<sub>3</sub> in Sand bestätigten sich die vorliegenden Ergebnisse. Zusätzlich wurden diese Laborversuche durch eine Versuchsreihe in Erde ergänzt, die ebenfalls grundsätzlich zu den gleichen Ergebnissen führte. Bei einer hormonellen Wirkung von Imidacloprid wäre zu erwarten, dass GA<sub>3</sub> die Imidaclopridwirkung mindert. Entgegen der Erwartung ließ sich in diesen Versuchen weder eine eindeutige Kompensation, noch eine Verstärkung der Wirkung des Imidacloprid feststellen, sodass kein hormoneller Einfluss des Imidacloprid abgeleitet werden kann.

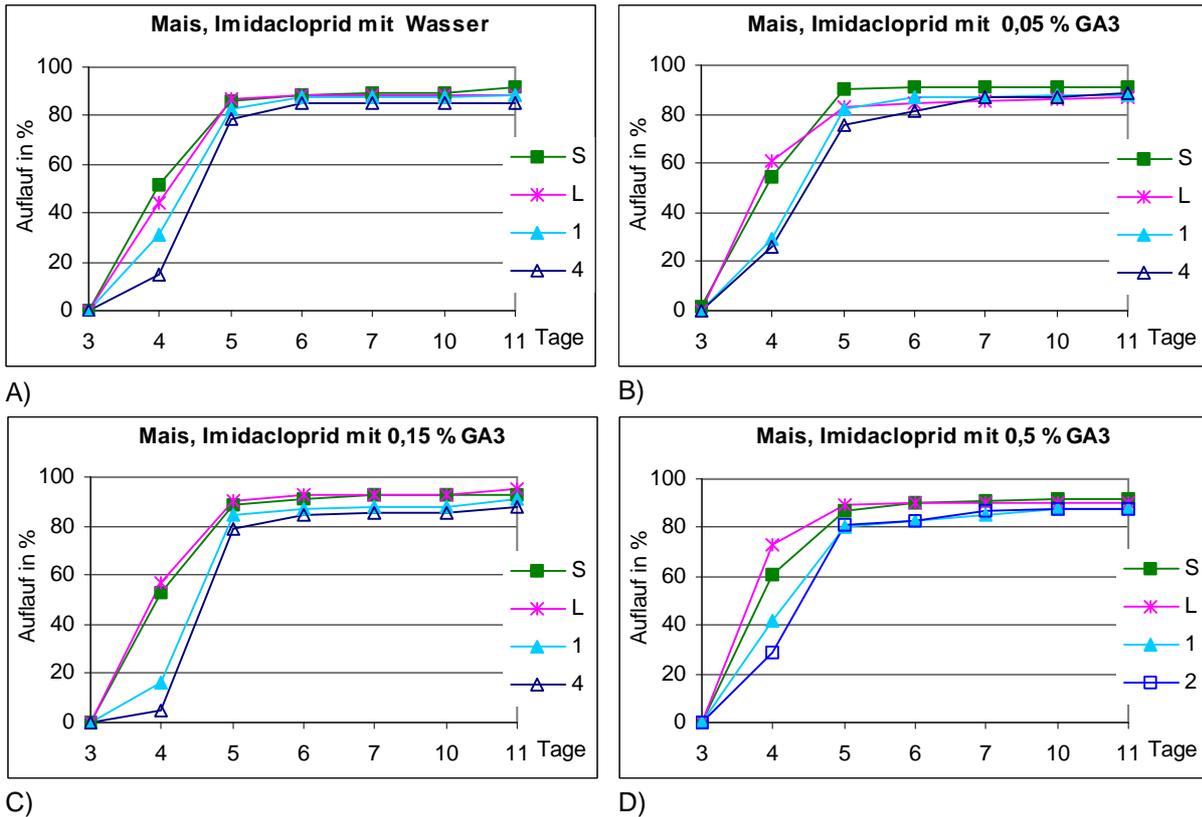
Tage	Wasser			0,05 % GA <sub>3</sub>			0,15 % GA <sub>3</sub>			0,5 % GA <sub>3</sub>		
	S	L	1	S	L	1	S	L	1	S	L	1
3	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
4	52	44	32	55	61	29	53	57	16	61	73	42
5	86	87	83	90	83	82	89	90	85	87	89	80
6	89	89	88	91	85	87	91	93	87	90	90	83
7	89	89	88	91	85	87	93	93	88	91	90	85
10	90	89	88	91	86	88	93	93	88	92	90	88
11	92	89	89	91	87	88	93	95	91	92	90	88
Differenzen zum Standard [%]												
3	0		0	1		0	0		0	0		0
4	8		-12	-6		-32	-4		-41	-12		-31
5	-1		-4	7		-1	-1		-5	-2		-9
6	0		-1	6		2	-2		-6	0		-7
7	0		-1	6		2	0		-5	1		-5
10	1		-1	5		2	0		-5	2		-2
11	3		0	4		1	-2		-4	2		-2

**Tabelle 24.** Auflauf von Imidacloprid behandeltem Mais [%] in unterschiedlichen Konzentrationen von GA<sub>3</sub> darunter Differenzen zum Standard

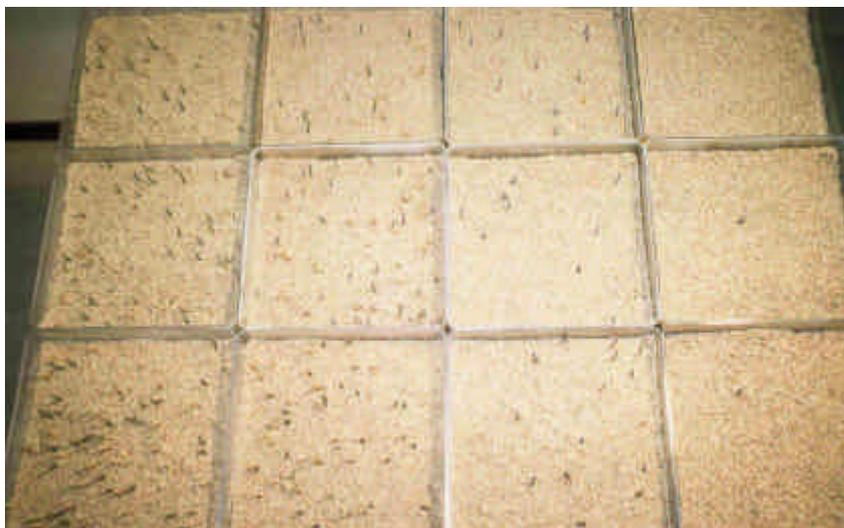
S = Fungizidbehandlung, L = Leerformulierung (= Standard) und 1 mg Imidacloprid je Karyopse

rot: Auflaufwert ist um mehr als 5 % geringer als der Standard, blau: Auflaufwert ist um mehr als 5 % größer als der Standard

## Ergebnisse



**Abbildung 41.** Auflauf von Mais [%] in Wasser und GA<sub>3</sub>-Lösung nach Behandlung mit Imidacloprid. S = Fungizidbehandlung, L = Leerformulierung (= Standard) und 1 mg Imidacloprid je Karyopse



**Abbildung 42.** Auflauf von Imidacloprid gebeiztem Mais nach Behandlung mit GA<sub>3</sub> am 4. Tag. Von oben nach unten: Standard, 0,05 % GA<sub>3</sub>, 0,15 % GA<sub>3</sub>, von links nach rechts: Fungizid, Standard, 1 mg, 2 mg Imidacloprid

Um sicherzustellen, dass Wirkeffekte nicht durch die Methode des Auflaufversuches maskiert sind, sollte die Entwicklung von Koleoptile, Mesokotyl und Gesamtpflanze im Sandkeimbett metrisch beobachtet werden.

### 3.1.11.3 Einfluss von Gibberellinsäure auf das Längenwachstum

Bei der Maissorte Helga wurde der Einfluss von Imidacloprid und GA<sub>3</sub> auf die Länge von Koleoptile, Mesokotyl und Gesamtpflanze untersucht.

**Mais:** Helga

**Behandlung:** Fungizidbehandlung, Leerformulierung, 1 mg und 2 mg Imidacloprid

**Anzahl:** 50 Karyopsen und 100 Karyopsen

**Substrat:** Faltenfilter, 50 % Wkmax, 0,05 % GA<sub>3</sub>

**Inkubation:** 20°C, Wechsellicht

**Beobachtung:** Längenmessung von Koleoptile, Mesokotyl und Wurzel (H<sub>2</sub>O und GA<sub>3</sub>, 100 Karyopsen) am 9. Tag

#### Längenmessung

Da grundsätzlich festgestellt werden sollte, ob ein Einfluss von GA<sub>3</sub> vorliegt, wurden alle Längenmessungen am 9. Tag durchgeführt. Diese ergaben sowohl bei Imidacloprid alleine als auch bei Imidacloprid mit GA<sub>3</sub> Werte, die den Standard deutlich übertrafen (Tabelle 25). Dabei betrafen die Unterschiede vor allem das stärkere Wurzelwachstum, während Koleoptile und Mesokotyl nur wenig beeinflusst waren, was die vorherigen Auflaufversuche bestätigt. Da insgesamt eine Förderung des Längenwachstums der Wurzel durch das Imidacloprid festzustellen ist, war eine zusätzliche Wachstumsbeschleunigung durch GA<sub>3</sub> nicht zu erwarten.

	Wasser				GA <sub>3</sub>			
	S	L	1	2	S	L	1	2
<b>Gesamtpflanze</b>	189	185	203	207	194	209	231	212
<b>Koleoptile</b>	41	40	44	46	49	43	49	47
<b>Mesokotyl</b>	32	38	45	34	32	32	36	33
<b>Wurzel</b>	116	107	114	127	113	134	146	132
Differenzen zum Standard [%]								
<b>Gesamtpflanze</b>	4		18	22	-15		22	3
<b>Koleoptile</b>	1		4	6	6		6	4
<b>Mesokotyl</b>	-6		7	-4	0		4	1
<b>Wurzel</b>	9		7	20	-21		12	-2

**Tabelle 25.** Organlängen von Imidacloprid behandeltem Mais [mm] in Wasser und in GA<sub>3</sub>, darunter Differenzen zum Standard.

S = Fungizidbehandlung, L = Leerformulierung (= Standard), 1 und 2 mg Imidacloprid je Karyopse

rot: Organ ist um mehr als 5 mm kürzer als beim Standard, blau: Organ ist um mehr als 5 mm länger als beim Standard

Unter den gegebenen Versuchsbedingungen konnte keine eindeutige Wirkung des GA<sub>3</sub> auf die Insektizidbehandlung festgestellt werden. So galt es das zweite Phytohormon, Auxin zu betrachten, von dem bekannt ist, dass es vornehmlich das Zellstreckungswachstum fördert.

### 3.1.11.4 Wirkung von Auxin

Zur Klärung der Frage, ob die beobachtete schwache Verzögerung des Auflaufs am 4. Tag durch eine Interaktion des Imidacloprid mit Auxin hervorgerufen wird, wurde der folgende Versuch angesetzt.

**Mais:** Marshall

**Behandlung:** Fungizidbehandlung (= Standard), 1 mg und 4 mg Imidacloprid

**Anzahl:** 100 Karyopsen

**Substrat:** Quarzsand, 50 % Wkmax, eingestellt mit Wasser sowie jeweils 0,05 %iger und 0,15 %iger Auxinlösung

**Inkubation:** 20° C, Wechsellicht

**Beobachtung:** Keimung nach 25 Stunden, Auflauf täglich vom 3. bis zum 7. Tag sowie am 10. und 11. Tag

#### Keimung nach 25 Stunden

Im Vergleich der Varianten ohne Insektizid war auch hier der Prozentsatz gekeimter Karyopsen beim Standard niedriger als bei der Leerformulierung, ein Einfluss durch Auxin war nicht erkennbar. Die Keimung der mit Imidacloprid behandelten Karyopsen verlief in Wasser und in Auxin rascher als beim Standard. Wie bei 3.1.6.1 berichtet, war auch hier die Keimung durch 1 mg Imidacloprid in Wasser und in Auxin leicht beschleunigt (Tabelle 26, Abbildung 43).

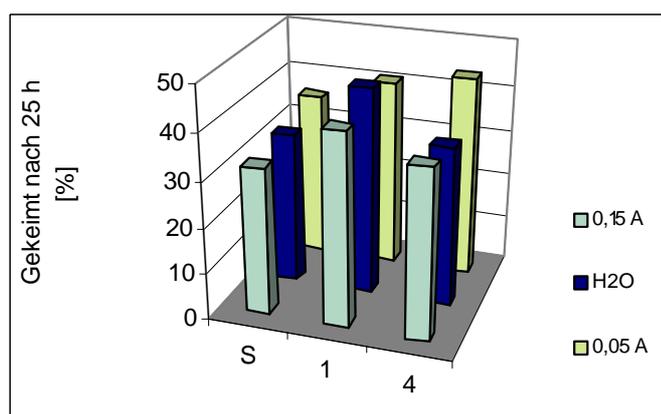
		Auflauf [%]			Differenzen zum Standard [%]	
		S	1	4	1	4
H <sub>2</sub> O		33	45	35	12	2
Auxin	0,05 %	36	41	44	5	8
Auxin	0,15 %	32	42	37	10	5

Tabelle 26. Keimung von Imidacloprid behandeltem Mais [%] nach 25 Stunden in Wasser und in Auxin (A), rechts Differenzen zum Standard.

S = Fungizidbehandlung (= Standard), 1 und 4 mg Imidacloprid je Karyopse

blau: Keimung ist um mehr als 5 % größer als der Standard

## Ergebnisse



**Abbildung 43.** Keimung [%] von Imidacloprid behandeltem Mais nach 25 Stunden in Wasser und in Auxin. S = Fungizidbehandlung (= Standard), 1 und 4 mg Imidacloprid je Karyopse

### Auflauf

Der Auflauf begann bei fast allen Versuchsvarianten am 4. Tag. Der Standard erreichte mit Wasser den höchsten Wert. Deutlich niedriger war der Auflauf bei 0,05 % Auxin, während bei 0,15 % Auxin noch gar kein Auflauf zu verzeichnen war (Tabelle 27, Abbildung 44). Da die Fungizidvariante fallweise höhere Werte als die Leerformulierung erzielte, wurde sie als Standard herangezogen.

Die Inkubation mit Auxin verzögerte den Auflauf unabhängig von der Saatgutbehandlung, was sich mit zunehmender Konzentration noch verstärkte (Tabelle 27, Abbildung 44).

Tag	Wasser			0,05 % Auxin			0,15 %		
	S	1	4	S	1	4	S	1	4
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	29	1	0	3	0	0	0	0	0
4,5	42	12	2	20	1	1	0	0	0
5	81	81	75	85	69	69	37	27	33
6	82	84	80	87	80	80	77	62	59
7	82	84	81	87	81	81	82	72	72
8	83	84	81	87	82	82	85	79	78
9	88	85	81	90	82	82	85	86	84
Differenzen zum Standard [%]									
3		0	0		0	0		0	0
4		-28	-29		-3	-3		0	0
4,5		-30	-40		-19	-19		0	0
5		0	-6		-16	-16		-10	-4
6		2	-2		-7	-7		-15	-18
7		2	-1		-6	-6		-10	-10
8		1	-2		-5	-5		-6	-7
9		-3	-7		-8	-8		1	-1

**Tabelle 27.** Auflauf von Imidacloprid behandeltem Mais [%] in Wasser und in Auxin (A), darunter Differenzen zum Standard.

S = Fungizidbehandlung (= Standard), 1 und 4 mg Imidacloprid je Karyopse  
rot: Auflaufwert ist um mehr als 5 % geringer als der Standard

## Ergebnisse

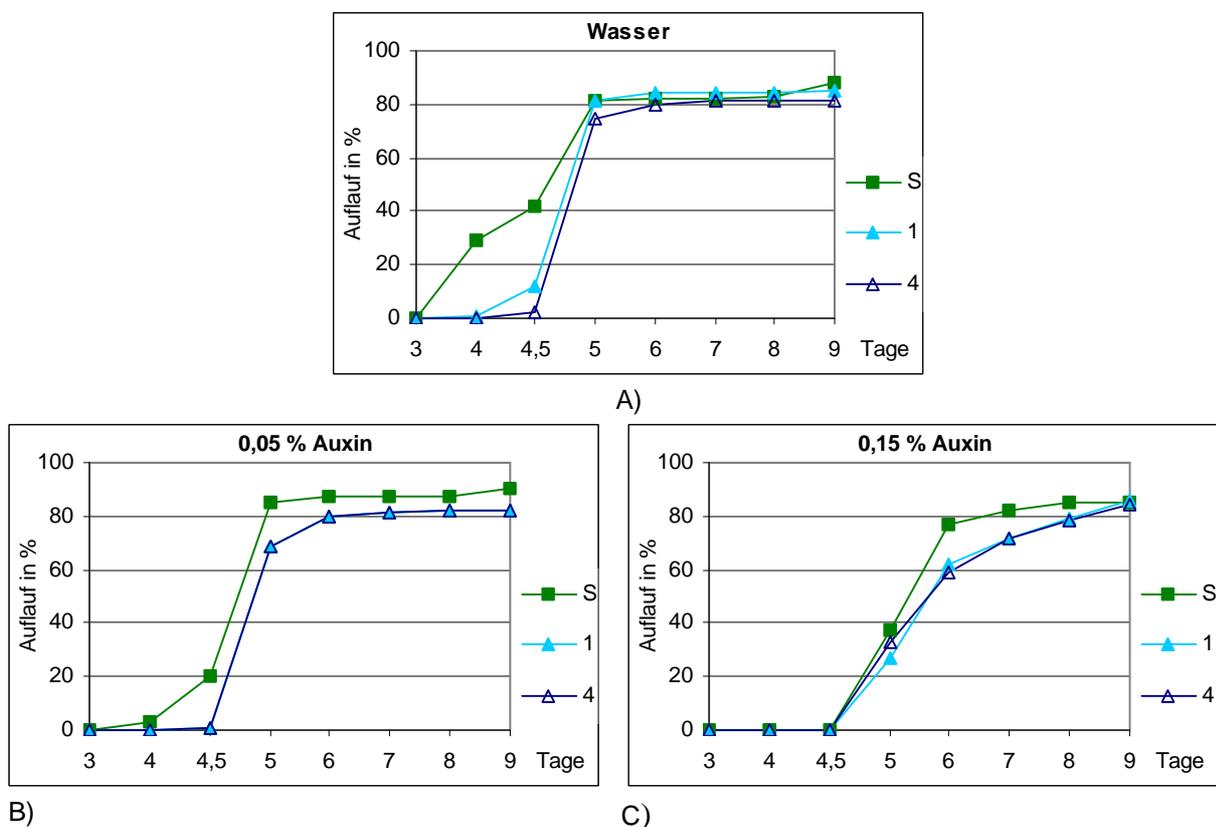
Unabhängig von der generellen Verzögerung des Auflaufes durch Auxin wurde bei jedem Ansatz mit Imidacloprid mit zunehmender Konzentration eine stärker verzögernde Wirkung, mit Höhepunkt am 4. Tag, erkennbar. Bei der verzögert auflaufenden 0,15% Auxin-Variante trat diese Wirkung zeitlich verzögert auf.

Diese Ergebnisse zeigen, dass die Wirkung des Imidacloprid zu einem ganz bestimmten Stadium in die Entwicklung der Maiskeimlinge eingreift.

Bei 0,15 % Auxin war die Wirkung des Imidacloprid geringer als mit Wasser. Die Wirkeffekte des Imidacloprid konnten hier mit Auxin zwar abgemildert, doch nicht völlig unterbunden werden.

Dabei zeigte sich keine Abhängigkeit von der Insektizidkonzentration.

Auxin verzögerte das Wachstum generell. Entsprechend veränderte sich auch aufgrund der suboptimalen Versuchsbedingungen die Wirkungsdauer und Wirkintensität des Imidacloprid (Abbildung 44, Abbildung 45).



**Abbildung 44.** Auflauf von Mais [%] in Wasser (A) und bei unterschiedlichen Auxin - Konzentrationen (B,C) nach Behandlung mit Imidacloprid.

S = Fungizidbehandlung (= Standard), 1 und 4 mg Imidacloprid je Karyopse



**Abbildung 45.** Auflauf von Imidacloprid gebeiztem Mais nach Behandlung mit Auxin am 4. Tag. Von oben nach unten: Standard, 0,05 % Auxin, 0,15 % Auxin, von links nach rechts: Fungizid, Standard, 1 mg, 2 mg Imidacloprid

Für die Versuche mit GA<sub>3</sub> und Auxin lässt sich zusammenfassend feststellen, dass unter den optimalen Bedingungen, wie bereits vorne dargestellt, eine Förderung der Keimung durch Imidacloprid stattfindet. Diese war unabhängig von der Inkubation in Wasser, GA<sub>3</sub> oder in Auxin zu beobachten.

Der Auflauf ist bei Behandlung mit Imidacloprid jedoch zu einem versuchsspezifisch frühen Zeitpunkt regelmäßig verzögert. Weder durch Inkubation mit GA<sub>3</sub>, noch mit Auxin kann diese Imidaclopridwirkung beeinflusst werden. Das Sprosswachstum zeigt mit Wasser und mit GA<sub>3</sub> eine Förderung durch Imidacloprid, während das Wachstum der Koleoptile unbeeinflusst bleibt. Imidacloprid zeigte also weder mit GA<sub>3</sub> noch mit Auxin eindeutige Wechselwirkungen, die einer hormonellen Wirkung zugeschrieben werden können.

Um die Wirkung, insbesondere deren zeitliche Beschränkung auf einen einzigen Tag in der frühen Keimlingsentwicklung zu klären, galt es die Frage zu lösen, wie und in welcher Konzentration die Wirkstoffaufnahme erfolgt. So ist zu erwarten, dass eine Aufnahme durch die Samenschale oder durch die Wurzel jeweils andere Entwicklungsmuster forciert.

### **3.1.12 Imidacloprid, Wachstumsbeobachtungen auf Flüssigsubstrat**

Diese Frage sollte mittels eines biologischen Systems gelöst werden, indem die Karyopsen und Keimlinge zu verschiedenen Zeiten und im Wechsel den Wirkstoffen ausgesetzt wurden. Der Mais erwies sich auch hier als geeignete Testpflanze.

In Petrischalen wurde eine definierte Menge der 70 WS Formulierung des Imidacloprid vorgelegt und in 20 ml Wasser gelöst. Als Standard wurde ein Ansatz mit Wasser mitgeführt. Ein Rundfilter auf einer Plastikspirale wurde über einen Filterpapierdocht mit der Flüssigkeit verbunden, so dass eine kontinuierliche Wasser- und Wirkstoffnachlieferung gewährleistet war. Die geschlossenen Petrischalen wurden bei 20°C im Wechsellicht inkubiert. Die Keimung sowie die Länge von Spross und Wurzel wurde regelmäßig erfasst.

### 3.1.12.1 Konzentrationsreihen

**Mais:** Marshall

**Behandlung:** Standard = Anzucht auf H<sub>2</sub>O, sowie 1, 2, 4, 8, 16 mg 70 WS Imidacloprid

**Anzahl:** 15 Karyopsen

**Substrat:** auf Filterpapier

**Inkubation:** 20°C, Wechsellicht

**Beobachtung:** Spross- und Wurzellänge nach 6, 8 oder 9 Tagen

#### Keimung

Die Keimung war in diesem Versuch von der Behandlung mit Imidacloprid nicht beeinflusst.

#### Spross- und Wurzellänge

Der Spross der behandelten Keimpflanzen war nach 6 Tagen umso kürzer, je höher die Wirkstoffkonzentration war. Eine Situation, die sich bis zum 8. Tag kaum veränderte. Die Wurzel dagegen reagierte deutlich stärker auf eine Behandlung mit Imidacloprid. Dabei war die Höhe der Konzentration nahezu unerheblich und bei allen Konzentrationen war ab dem 6. Tag das Wurzelwachstum eingestellt. Bei diesen Bedingungen der Dauerexposition an den Wirkstoff war der Spross durchschnittlich 12 % kürzer als der Standard, während dies bei der Wurzel 84 % waren.

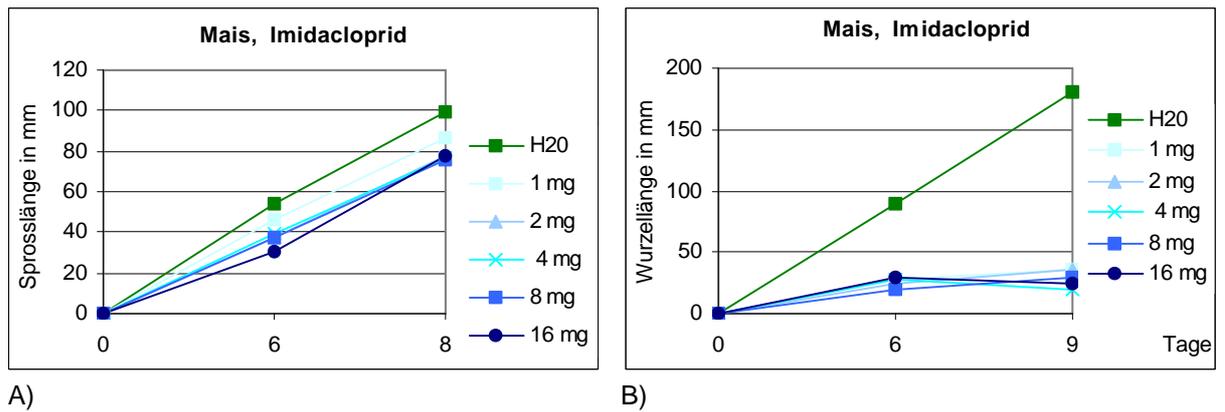
So fand sich beim Standard am 6. Tag ein Verhältnis Spross/Wurzellänge von 0,6 während bei Imidacloprid-Behandlung die Werte doppelt bis dreifach so hoch lagen (Tabelle 28, Abbildung 46 und Abbildung 47).

Tage	Organ	H <sub>2</sub> O	Imidacloprid ([mg/ml] 70 WS)				
			1	2	4	8	16
6	Wurzel	9	2,7	2,4	2,8	2	2,9
8	Wurzel	18	3,5	3,5	2	3	2,5
6	Spross	5,5	4,6	3,7	3,9	3,7	3,1
8	Spross	9,9	8,7	7,8	7,7	7,6	7,8
6	S/W	0,6	1,7	1,5	1,4	1,9	1,1
8	S/W	0,6	2,5	2,2	3,8	2,5	3,1

**Tabelle 28.** Längen von Spross und Wurzel von Mais bei Anzucht auf Imidaclopridlösung nach 6 und 8 Tagen, sowie Verhältnis der Werte zueinander (S/W)

Bemerkenswert ist, dass die Wurzeln lediglich mit stark eingeschränktem Längenzuwachs auf Imidacloprid reagierten. Es ist bekannt, dass bei Saatgut, welches mit Insektiziden behandelt wurde, unter Laborbedingungen oftmals typische Verkürzungen und Verdickungen der Wurzel auftreten, die auch mit Fluchtwachstum aus dem Substrat hinaus verbunden sind. Als Reaktion der Pflanzen auf die versuchsbedingt starke Lichteinwirkung auf die gesamte Keimpflanze kann sowohl an den Koleoptilen als auch an den Wurzeln eine starke Anthocyanbildung festgestellt werden (Abbildung 46, Abbildung 47).

## Ergebnisse



**Abbildung 46.** Spross- (A) und Wurzellänge [mm] (B) bei Behandlung mit Imidacloprid verschiedener Konzentrationen [mg/ml]. Links Sprosslänge, rechts Wurzellänge nach 6 und 8 bzw. 9 Tagen



**Abbildung 47.** Wachstum von Mais auf Flüssigsubstrat nach 8 Tagen. Obere Reihe Sprosswachstum untere Reihe Wurzelnwachstum. Links Standard, Mitte und rechts zunehmende Imidaclopridkonzentration

### 3.1.12.2 Systematischer Substratwechsel

**Mais:** Marshall

**Behandlung:** Anzucht auf H<sub>2</sub>O (A) (= Standard), sowie 1mg 70 WS-Imidacloprid über die gesamte Versuchsdauer (D) und Umsetzung nach 25 Stunden von 1 mg Imidacloprid auf H<sub>2</sub>O (B) sowie von H<sub>2</sub>O auf 1 mg Imidacloprid (C)

**Anzahl:** 30 Karyopsen

**Substrat:** auf Filterpapier

**Inkubation:** 20°C, Wechsellicht

**Beobachtung:** Spross- und Wurzellänge nach 6 Tagen

Zur Feststellung ob die Wirkstoffaufnahme zeitlich begrenzt oder auf bestimmte Phasen der Keimlingsentwicklung beschränkt ist, wurden die Karyopsen nach 25 Stunden von Wasser auf eine Wirkstofflösung, beziehungsweise von einer Wirkstofflösung auf Wasser umgesetzt und die Keimung nach 33 Stunden sowie die Spross- und Wurzellänge nach 6 Tagen bestimmt.



**Abbildung 48.** Umsetzung von Mais bei den Versuchen in Petrischalen, A = konstant auf Wasser, B = 25 h auf Imidacloprid, danach auf Wasser, C = 25 h auf Wasser, danach auf Imidacloprid, D = konstant auf Imidacloprid

### Keimung

Nach 33 Stunden waren beim Standard über Wasser (A) 80 % der Karyopsen gekeimt. Bei der Variante B waren es 70 %, während beim Ansatz D 72 % und bei Ansatz C 66 % der Karyopsen gekeimt waren



**Abbildung 49.** Keimung von Mais nach 33 Stunden.

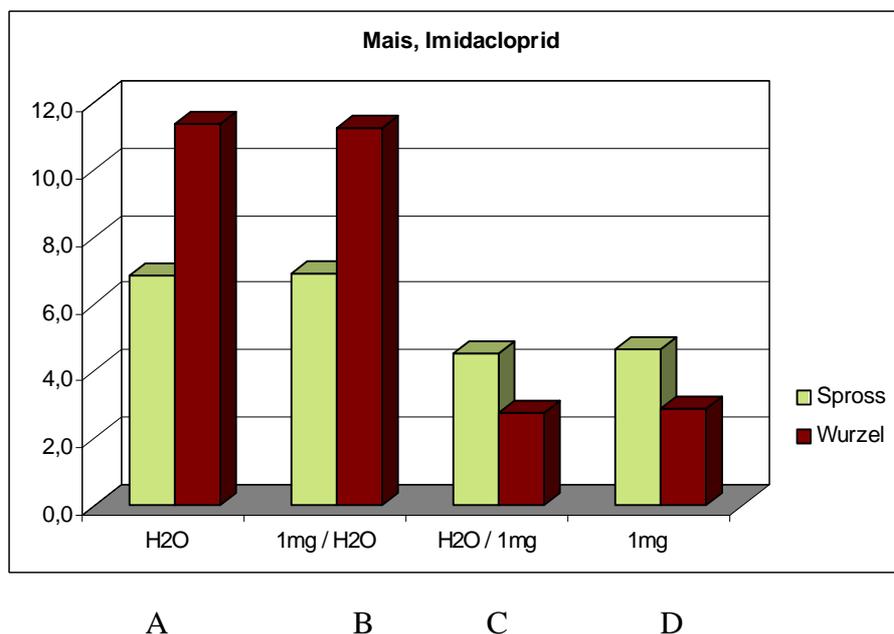
A = konstant auf Wasser, B = 25 h auf Imidacloprid, danach auf Wasser, C = 25 h auf Wasser, danach auf Imidacloprid, D = konstant auf Imidacloprid

**Spross- und Wurzellänge**

Der Standard A und Probe B erzielten am 6. Tag eine vergleichbare Sprosslänge, während die Sprosse auf Imidacloprid D und Probe C im Durchschnitt nur 67 % der Standardlänge erreichten (Tabelle 29). Nach 6 Tagen sind die Wurzeln beim Standard und bei 1 mg/H<sub>2</sub>O gleichlang, während sie bei Imidacloprid-Behandlung nur 25 % der Länge des Standards erreichen. Die in Abbildung 50 und Abbildung 51 dargestellten Ergebnisse der Umsetzung der Keimlinge von Wasser auf Imidacloprid und umgekehrt, zeigten bei der Umsetzung von Imidacloprid auf Wasser C stets mit dem Standard A vergleichbare Werte. Dagegen waren die bei Umsetzung von H<sub>2</sub>O auf Imidacloprid B vorgefundenen Werte denjenigen anhaltend auf Imidacloprid D vergleichbar. Weitere Umsetzungsversuche bestätigen diese Ergebnisse.

	Imidacloprid			
	A	B	C	D
	H <sub>2</sub> O	1mg/H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O/1mg	1mg
<b>Sprosslänge nach 6 Tagen</b>	6,8	6,9	4,5	4,6
<b>Wurzellänge nach 6 Tagen</b>	11,4	11,2	2,8	2,9
<b>S/W</b>	0,6	0,6	1,6	1,6

**Tabelle 29.** Längen von Spross und Wurzel von Mais, bei Umsetzung von Wasser auf Imidaclopridlösung und umgekehrt nach 6 Tagen, sowie Verhältnis der Werte zueinander



**Abbildung 50.** Länge von Spross und Wurzel von Mais [cm] nach 6 Tagen bei Behandlung mit 1 mg Imidacloprid.

Daraus kann geschlossen werden, dass die wesentliche Aufnahme des Wirkstoffes über die Wurzel erfolgt, da eine Exposition vor der Keimung keinen Einfluss auf das Wachstum zeigt, während eine Umsetzung der gequollenen, keimenden Karyopsen auf Imidacloprid zu denselben Effekten führt, wie eine Dauerbehandlung mit demselben.



A, Wasser

B, Imidacloprid/Wasser

C, Wasser/Imidacloprid

D, Imidacloprid



**Abbildung 51.** Maiskeimlinge bei systematischem Substratwechsel.  
Obere Reihe nach 6 Tagen, untere Reihe nach 10 Tagen

Die Sprosslänge war bei C (Umsetzung auf Imidaclopridlösung) nach 6 Tagen um 34 % kürzer als beim Standard. Sie wurde weniger durch Imidacloprid beeinflusst als die Wurzellänge, die nur 74 % der Länge des Standards erreichten. Daher veränderte sich das Spross/Wurzelverhältnis, das beim Standard (A) sowie bei der Variante B (1 mg/H<sub>2</sub>O) 0,6 betrug, auf einen Wert von 1,6 bei den Versuchsvarianten C (H<sub>2</sub>O/1 mg) und D (1mg Imidacloprid-Behandlung) (Tabelle 29). Der starke Einfluss auf das Wurzelwachstum führt zu einer Umkehr der Längenrelation der beiden Organe.

Es sei ausdrücklich betont, dass in diesen Versuchen zur Ursachenfindung extreme Bedingungen gewählt wurden, die nicht mit dem Wirkstoffverhalten bei einer Saatgutbehandlung verglichen werden können.

### 3.1.12.2.1 Lichtbedingungen

Imidacloprid verkürzte Spross- und Wurzellänge sowohl am Licht als auch im Dunkeln. Das Wachstum war, unabhängig von photosynthetischer Aktivität, bei beiden Lichtbedingungen gleichstark beeinflusst.

Dies zeigt, dass die Wirkung des Imidacloprid nicht in entscheidendem Maße bei photosynthetischen Prozessen, sondern bei anderen Reaktionen erfolgt. Am Licht war bei

Imidaclopridbehandlung, wie bereits aus Faltenfiltertests und Auflauftests berichtet, eine leicht gelblichgrüne, lichtere Blattfärbung erkennbar, während im Dunkeln keine Farbunterschiede auftraten.

### 3.1.13 *Imidacloprid, Mais, Zellstreckungswachstum*

Die Beobachtung des zeitlich begrenzten Einflusses auf das Auflaufverhalten legt eine Beeinflussung der Wachstumsprozesse nahe. Daher wurde ein biologisches System zur Untersuchung des Längenwachstums von Pflanzenorganen herangezogen. Hierzu wurde der klassische physiologische Test zum Wachstum von Koleoptilen gewählt, bei dem Segmente von Hypokotyl und Koleoptile vermessen werden. Wie bekannt beruht das Längenwachstum der Koleoptile ausschließlich auf Zellstreckungswachstum und nicht auf Zellteilungswachstum.

**Art:** Mais

**Anzahl:** 200 Karyopsen

**Behandlung:** Anzucht ungebeizt

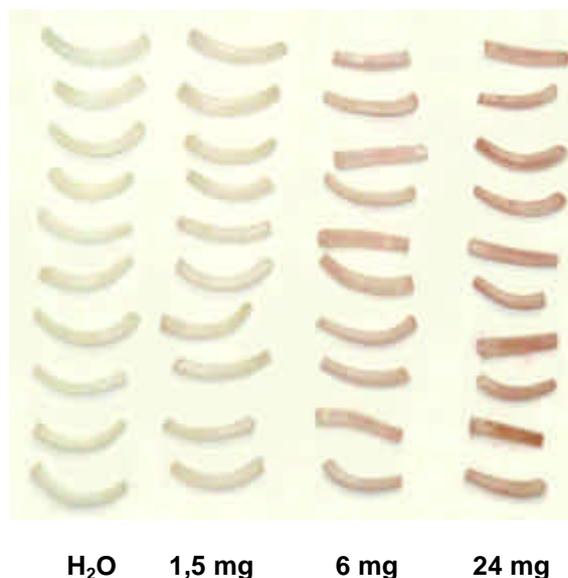
**Substrat:** Wasser als Standard, 1,5 mg/ml, 6 mg/ml, 24 mg/ml 70 WS Imidacloprid, bei 35 Segmenten je Ansatz entspricht dies 0 mg, 0,04 mg, 0,17 mg und 0,69 mg Imidacloprid je Koleoptile

**Inkubation:** 20°C, Wechsellicht

**Beobachtung:** Länge der Koleoptilen nach 0, 24, 48, 72, 96, 120, 144 Stunden

#### Koleoptilenlänge

In fünf Einzelversuchen, mit mindestens 200 Karyopsen je Versuchsvariante, wurden aus 4 Tage alten Maispflanzen, die ungebeizt in Sand bei 20°C mit Wechsellicht herangewachsen waren, 1 cm lange Koleoptilensegmente entnommen und die Primärblätter sorgfältig entfernt. Die Segmente wurden in Wasser (= Standard) sowie in Imidaclopridlösung unterschiedlicher Konzentration bei 20°C, im Dunkeln inkubiert. Ihre Länge wurde alle 24 Stunden bestimmt (Abbildung 52).



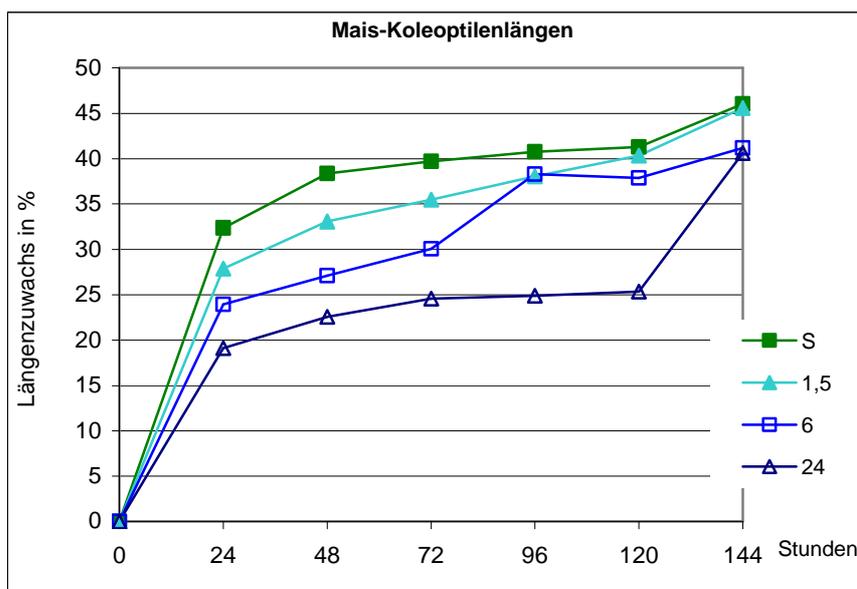
**Abbildung 52.** Koleoptilensegmente

Von links nach rechts: Wasser, 1,5; 6; 24 mg Imidacloprid je Koleoptile

		Imidacloprid [mg/ml]		
Zeit (h)	H <sub>2</sub> O	1,5	6	24
0	0	0	0	0
24	32,4	27,9	23,9	19,1
48	38,4	33,1	27,1	22,6
72	39,7	35,5	30,1	24,6
96	40,8	38	38,3	24,9
120	41,3	40,3	37,9	25,4
144	46,1	45,6	41,2	40,6
Differenzen zum Standard [%]				
0		0	0	0
24		-4,5	-8,5	-13,3
48		-5,3	-11,3	-15,8
72		-4,2	-9,6	-15,1
96		-2,8	-2,5	-15,9
120		-1	-3,4	-15,9
144		-0,5	-4,9	-5,5

**Tabelle 30.** Mittlerer Zuwachs von Mais-Koleoptilen aus fünf Wiederholungen in Prozent der Ausgangslänge, darunter Differenzen zum Standard. rot: Koleoptile ist um mehr als 5 % kürzer als beim Standard

Wie Tabelle 30, Abbildung 53 zu entnehmen ist, lässt sich ein Einfluss von Imidacloprid auf das Zellstreckungswachstum feststellen. Mit zunehmender Wirkstoffkonzentration war eine Verzögerung im Streckungswachstums der Koleoptilen erkennbar, ein Ergebnis das sich in fünf unabhängig voneinander durchgeführten Versuchswiederholungen bestätigte. Beim Standard war nach 24 Stunden der höchste Zuwachs mit 32 % der Ausgangslänge der Koleoptilensegmente zu verzeichnen. Bei 1,5 mg/ml Imidacloprid wurden nur 28 %, bei 6 mg/ml 24 % und bei 24 mg/ml nur 19 % Zuwachs erreicht. Die Länge der Koleoptilen ist der Wirkstoffkonzentration umgekehrt proportional. Nach 72 Stunden nahm der Einfluss des Imidacloprid ab, was aufgrund des natürlich begrenzten Koleoptilenwachstums zu erwarten war. Unterschiede zeigten sich nurmehr bei den höheren Konzentrationen. Dieser klare Einfluss auf das Zellstreckungswachstum erklärt die Effekte, wie sie bereits von den Keimpflanzen im Auflauftest (3.1.9) und den Wachstumsversuchen (3.1.12) als eine zeitlich begrenzte Wachstumsverzögerung bekannt waren. Die vorübergehende Beeinträchtigung des Längenwachstums auf zellulärer Ebene kann als eine wesentliche Ursache für das zeitlich verzögerte Auflaufen der Maiskeimlinge bei Imidacloprid-Behandlung festgehalten werden.



**Abbildung 53.** Zuwachs der Länge von Maiskoleptilen [%] in Wasser und Imidaclopridlösung der Konzentrationen 1,5; 6 und 24 mg/ml während einer Versuchsdauer von 0 bis 144 Stunden

Diese Beeinflussung des Zellstreckungswachstums, die zugleich eine Konzentrationsabhängigkeit besitzt, erklärt, warum nach beschleunigter Quellung zunächst am 4. Tag ein Rückstand im Auflauf sichtbar wird, der aber unmittelbar wieder eingeholt und sogar übertroffen wird.

Eine darüber hinaus gehende Beeinflussung von Zellteilungsprozessen durch Imidacloprid ist nicht auszuschließen, wird jedoch als unwahrscheinlich eingeschätzt.

### 3.1.14 *Imidacloprid, Mais, Auflauf bei reduziertem Sauerstoffgehalt*

Samen benötigen in der Phase II der Keimung, zum Abbau von Reservestoffen über Zellatmungsprozesse unabdingbar Sauerstoff, um die Energie für die beginnenden Wachstumsprozesse bereitzustellen. Auch ist bekannt, dass CO<sub>2</sub> Konzentrationen über 0,03 % die Keimung verzögern (Copeland L., Mc Donald M., 1995). So galt es abzuklären, ob Imidacloprid in den Gaswechsel der atmenden und keimenden Karyopsen eingreift und ob sich die festgestellten Wirkungen auf den Auflauf unter Sauerstoffmangelbedingungen verändern.

**Mais:** Marshall

**Behandlung:** Fungizidbehandlung (= Standard), Leerformulierung, 1 mg und 2 mg Imidacloprid

**Anzahl:** 20 Karyopsen

**Substrat:** Quarzsand 20 % und 50 % Wkmax

**Inkubation:** bei 20°C, im Wechsellicht, voller und reduzierter Sauerstoffgehalt

**Beobachtung:** Auflauf täglich vom 3. bis zum 7. Tag

**Auflauf**

Das Verhalten von Imidacloprid behandelten Karyopsen auf Sauerstoffmangel, sollte zeigen ob Imidacloprid in die Zellatmung eingreift. In diesem Falle sollte sich die Wirkung des Imidacloprid verstärken.

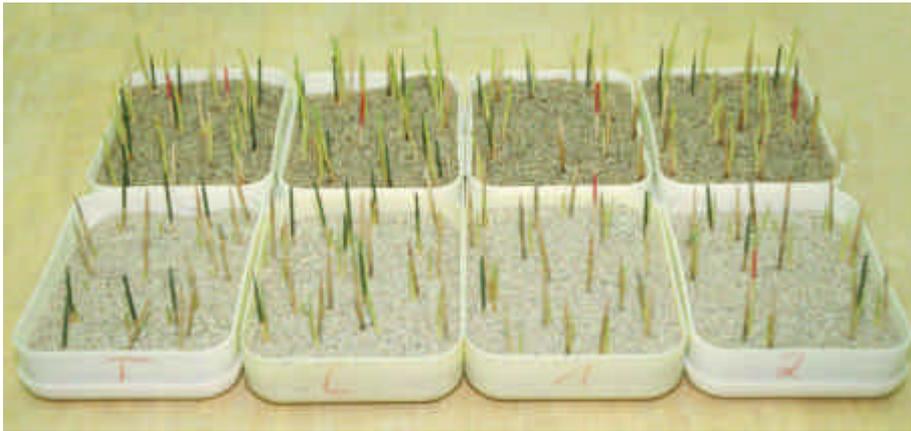
Diese Frage wurde mit je 20 Karyopsen im Auflauftest in Sand angegangen. Dabei wurde Quarzsand auf einen Feuchtigkeitsgehalt von 20 % Wkmax und 50 % Wkmax eingestellt und der Auflauftest mit Mais jeweils an der Fungizidbehandlung, Leerformulierung, 1 mg und 2 mg Imidacloprid durchgeführt. Die Hälfte der Proben wurde bei normalen Raumbedingungen inkubiert, die zweite Hälfte wurde unter Luftabschluss nach Sauerstoffentzug kultiviert. In beiden Fällen beeinflusst Imidacloprid den Auflauf. Er ist jedoch unter Sauerstoffstress in allen Fällen verzögert, im trockenen Keimbett, bei 20 % Wkmax, weniger als im Feuchten (Tabelle 31, Abbildung 54), was durch einen erschwerten Gasaustausch erklärt werden könnte. Zudem war der Auflauf in Sand unter Sauerstoffmangel unabhängig von der Saatgutbehandlung sowohl bei 20 % Wkmax als auch bei 50 % Wkmax um einen Tag verzögert.

Tage	Voller Sauerstoffgehalt								Reduzierter Sauerstoffgehalt								
	50 % Wkmax				20 % Wkmax				50 % Wkmax				20 % Wkmax				
	S	L	1	2	S	L	1	2	S	L	1	2	S	L	1	2	
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	50	45	30	20	35	40	10	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	85	85	60	90	100	100	95	80	55	50	30	10	85	50	25	20	20
6	95	90	65	95	100	100	100	85	90	80	60	55	100	95	100	90	90
7	95	90	65	100	100	100	100	85	90	85	70	75	100	95	100	95	95
Differenzen zum Standard [%]																	
	S	L	1	2	S	L	1	2	S	L	1	2	S	L	1	2	2
3		0	0	0		0	0	0		0	0	0		0	0	0	0
4		-5	-20	-30		5	-25	-15		0	0	0		0	0	0	0
5		0	-25	5		0	-5	-20		-5	-25	-45		-35	-60	-65	-65
6		-5	-30	0		0	0	-15		-10	-30	-35		-5	0	-10	-10
7		-5	-30	5		0	0	-15		-5	-20	-15		-5	0	-5	-5

**Tabelle 31.** Auflauf von Imidacloprid behandeltem Mais [%] in trockenem und feuchtem Sand bei vollem- sowie unter reduziertem Sauerstoffgehalt, darunter Differenzen zum Standard.

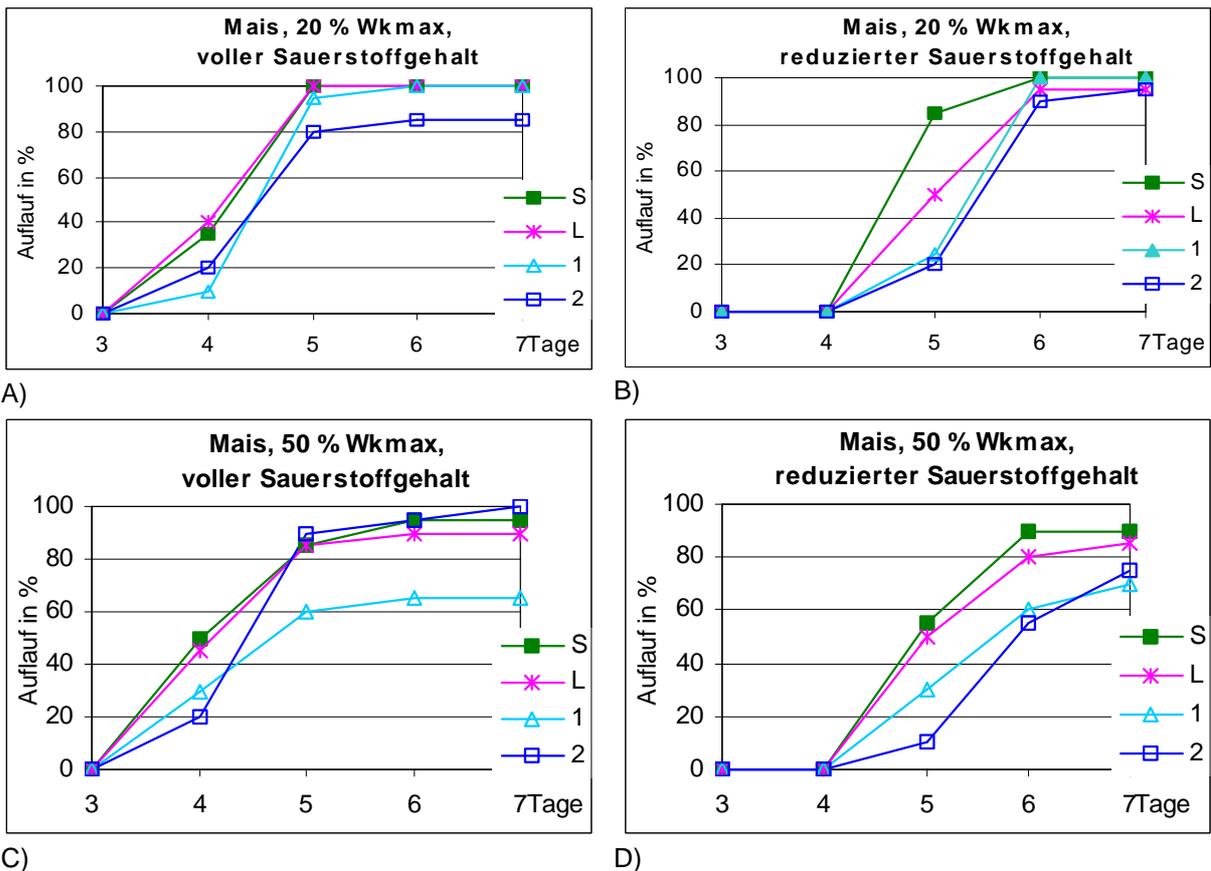
S = Fungizidbehandlung, L = Leerformulierung, 1 und 2 mg Imidacloprid je Karyopse

rot: Auflaufwert ist um mehr als 5 % geringer als der Standard, blau: Auflaufwert ist um mehr als 5 % größer als der Standard



**Abbildung 54.** Auflauf von Mais unter reduziertem Sauerstoffgehalt in Sand.  
 Von links nach rechts: Standard, Leerformulierung, 1 mg und 2 mg Imidacloprid, obere Reihe 50 % Wkmax, untere Reihe 20 % Wkmax

Aus Abbildung 54 und Abbildung 55 ist ersichtlich, dass Imidacloprid mit physiologischen Prozessen, welche Sauerstoff oder ATP verbrauchen dergestalt interagiert, dass es direkt in die Zellatmung eingreift oder mit bestimmten Stoffwechselreaktionen um den Sauerstoff konkurriert.



**Abbildung 55.** Auflauf von Imidacloprid behandeltem Mais in trockenem (A, B) und feuchtem (C, D) Sand bei vollem- (A, C) sowie unter reduziertem Sauerstoffgehalt (B, D).  
 S = Fungizidbehandlung, L = Leerformulierung, 1 und 2 mg Imidacloprid je Karyopse

**Spross- und Wurzellänge im Faltenfiltertest**

Bei einem weiteren Versuch wurden jeweils 100 Karyopsen in Faltenfilter untersucht, wobei die Sprosslängen am 5. Tag erfasst wurden. Hierbei zeigte sich sowohl an der Luft als auch bei Sauerstoffmangel eine fördernde Wirkung des Sprosswachstums durch Imidacloprid, die bei vollem Sauerstoffgehalt von mittlerer Stärke, bei reduziertem Sauerstoffgehalt an der Luft, aufgrund des insgesamt verzögerten Auflaufes, schwächer war. Ein Verhalten, das den überragenden Einfluss des Substrates nochmals herausstellt, sowie das Fehlen von Effekten unter optimalen Bedingungen (Vergleiche Versuch 3.1.4.1).

**Mais:** Marshall  
**Behandlung:** Fungizidbehandlung, Leerformulierung (= Standard), 1 mg und 2 mg Imidacloprid  
**Anzahl:** 100 Karyopsen  
**Substrat:** Faltenfilter, feuchtigkeitsgesättigt  
**Inkubation:** 20°C, im Wechsellicht, voller und reduzierter Sauerstoffgehalt  
**Beobachtung:** Sprosslänge nach 5 Tagen

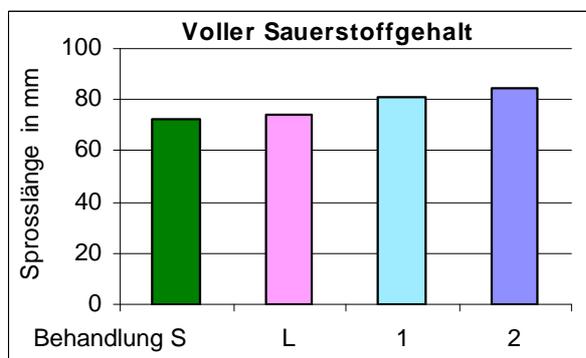
**Sprosslänge**

Die Sprosse unter vollem Sauerstoffgehalt gewachsener Keimlinge wiesen unabhängig von der Saatgutbehandlung größere Längen auf. Die Wirkeffekte des Insektizids waren jedoch auch bei Sauerstoffmangel leicht fördernd (Tabelle 32, Abbildung 56).

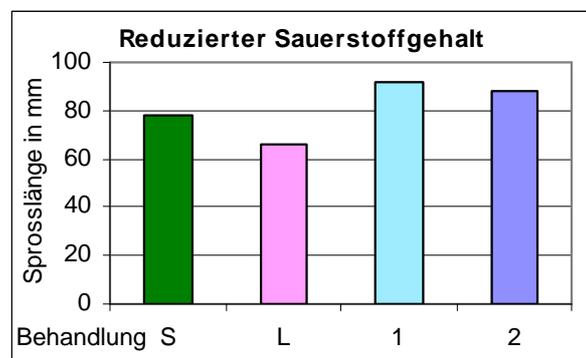
Voller Sauerstoffgehalt				Reduzierter Sauerstoffgehalt			
S	L	1	2	S	L	1	2
78	66	92	88	72	74	81	84
Differenzen zum Standard [%]				Differenzen zum Standard [%]			
S	L	1	2	S	L	1	2
12		26	22	-2		7	10

**Tabelle 32.** Sprosslänge von Imidacloprid behandeltem Mais [mm] an Luft bei vollem- (A) und bei reduziertem Sauerstoffgehalt (B), darunter Differenzen zum Standard.

S = Fungizidbehandlung, L = Leerformulierung (=Standard), 1 und 2 mg Imidacloprid je Karyopse  
 blau: Organ ist um mehr als 5 % länger als beim Standard



A)



B)

**Abbildung 56.** Sprosslänge von Imidacloprid behandeltem Mais [mm] bei vollem- (A) und bei reduziertem Sauerstoffgehalt (B).

S = Fungizidbehandlung, L = Leerformulierung (=Standard), 1 und 2 mg Imidacloprid je Karyopse

So ist bei einem Auflauftest in Quarzsand ein klarer verzögernder Einfluss erkennbar, während die Messung der Organlängen in Faltenfilter dies nicht widerspiegeln, -ein weiteres Beispiel für die Notwendigkeit angepasster Testsysteme. Die in Faltenfilterversuchen festgestellte Förderung des Sprosswachstums wird entsprechend den Substrateigenschaften auf eine geringere Wirkstoffaufnahme zurückgeführt.

Die im suboptimalen Testsystem beobachtete Verschärfung der Wirkung des Imidacloprid unter reduziertem Sauerstoffgehalt am 4. Tag lässt zumindest auf eine Konkurrenzsituation im Apoplasten schließen.

### **3.1.15 Imidacloprid, Einfluss auf die Plasmaströmung von *Elodea canadensis* Michx.**

Im Folgenden sollte untersucht werden, ob Imidacloprid einen Einfluss auf energieabhängige Vorgänge in der Pflanzenzelle ausübt.

Als Versuchsobjekt wurde die Kanadische Wasserpest (*Elodea canadensis*) gewählt und die Plasmaströmung, ein ATP abhängiger aktiver Transportprozess, beobachtet. Die Plasmaströmung ist an den stoffwechselaktiven Protoplasten gebunden und kommt bei Verletzung sowie Sauerstoffmangel zum Stillstand. Sie ist durch exogene und endogene Faktoren reguliert. So kann sie bei einigen Pflanzen durch Licht (Photodinese), durch Temperaturschock (Thermodinese), Chemikalien (Chemodinese) und Verwundung (Traumatodinese) ausgelöst oder beschleunigt werden (Haupt, 1977).

Das Blatt von *Elodea* besteht aus zwei Zellschichten die beide zahlreiche Chloroplasten enthalten. Die Zellen nahe der Mittelrippe zeigen meist spontane Plasmarotation und wurden daher für die Messungen ausgewählt.

Algenfreie Blättchen wurden abgezupft und mit der Blattoberseite nach oben in Lösung gelegt. Bei starker Belichtung setzte die Plasmaströmung ein, nach 10 Minuten wurde mit der Messung begonnen (Abbildung 57).

**Anzahl:** 80 Einzelmessungen an 10 Blättchen von *Elodea canadensis*

**Behandlung:** Wasser = Standard, 0,05, 0,1 und 0,5 mg 70 WS Formulierung von Imidacloprid/ml H<sub>2</sub>O

**Inkubation:** 10°C bei 8000 Lux und 20°C bei 5200 Lux

**Beobachtung:** Plasmaströmungen täglich vom 1. bis zum 9. Tag

### **Plasmaströmung**

Die durchschnittliche Geschwindigkeit der Plasmaströmung in Wasser betrug 8,4 bis 10,4 µm/s, was mit den Werten von 10 bis 15 µm/s in der Literatur vergleichbar ist (Kutschera, 1995).

Die Plasmaströmung setzte bei 10°C früher ein als bei 20°C und war geringfügig aber nicht messbar lebhafter. Sie wies bei Inkubation in Imidaclopridlösung die in Tabelle 33 gelisteten Geschwindigkeiten auf. Bei keiner der Konzentrationen und zu keinem Zeitpunkt der Untersuchung unterschied sich die Geschwindigkeit bei Imidacloprid-Behandlung wesentlich vom Standard.

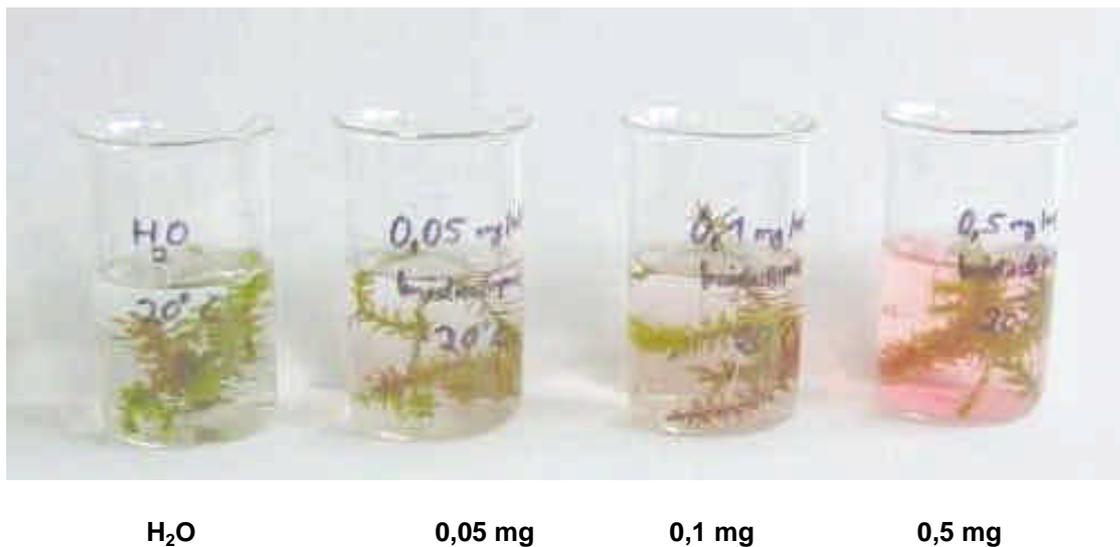
Die Plasmaströmung ist eine ATP-abhängige Bewegung, die durch Bündel von F-Actin, die wie Netzwerk das Cytoplasma durchziehen, vermittelt wird.

## Ergebnisse

Tage	Wasser		Imidacloprid					
			0,05 mg/ml		0,1 mg/ml		0,5 mg/ml	
	10°C	20°C	10°C	20°C	10°C	20°C	10°C	20°C
2	9,6	9,5	-	-	-	-	-	-
3	-	-	11,3	9,9	10,8	11,5	9,1	10,1
6	11,2	9,4	-	-	-	-	9,9	9,1
7	-	-	11,3	10,1	11,5	10,9	-	-
9	10,0	10,1	-	-	-	-	9,7	9,4

**Tabelle 33.** Geschwindigkeit der Plasmaströmung von *Elodea* in  $\mu\text{m/s}$  in Wasser bei verschiedenen Temperaturen und Imidaclopridkonzentrationen zu unterschiedlichen Versuchszeitpunkten

Da keine Verminderung der Plasmaströmung festgestellt werden konnte wird davon ausgegangen, dass Imidacloprid die ATP-liefernden Prozesse in der Pflanzenzelle nicht beeinflusst (Tabelle 33). Die Pflanzen unterschieden sich auch nach Versuchsabschluss äußerlich nicht von der Kontrolle. Gasbildung war an den Sprossen aller Ansätze zu erkennen, sowie eine Alkalisierung der Lösung messbar. Die Wasserpest scheidet nach der Umsetzung von Bikarbonat freies  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  aus, welches sich durch  $\text{CO}_2$ -Aufnahme aus dem Wasser wieder in Carbonat oder Bikarbonat umwandelt und die Alkalisierung erklärt (Jürges, 2002).



**Abbildung 57.** Sprosse von *Elodea canadensis* in unterschiedlich konzentrierter Lösung von Imidacloprid. H<sub>2</sub>O; 0,05 mg; 0,1 mg und 0,5 mg Imidacloprid/ml Wasser

In Wachstumsversuchen mit weiteren Pflanzenarten sollte überprüft werden, ob die bei Mais gefundene lichtere Grünfärbung der Blätter als Reaktion auf eine Behandlung mit Imidacloprid auch bei anderen Kulturarten, insbesondere bei Dikotylen beobachtet werden kann.

### 3.1.16 *Imidacloprid, Einfluss auf den sekundären Pflanzenstoffwechsel*

#### 3.1.16.1 *Wachstumsversuche mit sensiblen Pflanzenarten*

Kresse (*Lepidium sativum*), Senf (*Sinapis alba*) und Rotkohl (*Brassica oleracea* convar. *capitata* var. *capitata* f. *rubra*) zeigten beim Einsatz verschiedener Konzentrationen von Imidacloprid ebenfalls einen mit steigender Konzentration zunehmenden Einfluss des Wirkstoffes dergestalt, dass das Wachstum in Spross und Wurzel verzögert war. Auch hier war bei der Wurzel die stärkere Wirkung zu erkennen (Abbildung 61). Weitere Symptome für eine physiologische Beeinflussung zeigten sich in Veränderungen des Chlorophyll- sowie Anthocyangehalts.

##### 3.1.16.1.1 *Kresse (Lepidium sativum L.)*

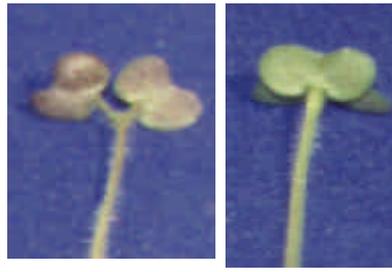
Versuche mit Kresse führten bei Imidacloprid-Behandlung zu kleineren Pflänzchen mit gelbgrünen Blättern (Abbildung 58).



**Abbildung 58.** Kressekeimlinge nach 8 Tagen. Links Kontrolle, rechts Anzucht auf Imidaclopridlösung

##### 3.1.16.1.2 *Senf (Sinapis alba L.)*

Unbehandelte Senfkeimlinge zeichneten sich durch eine blaugrün gefärbte Blattoberseite sowie eine violette Unterseite aus (Abbildung 59). Doch bei Anzucht auf Imidacloprid blieben die Blättchen oberseits im Vergleich zum Standard gelbgrün, wie es von den Versuchen mit Mais bekannt ist. Darüber hinaus waren sie an der Blattunterseite mit zunehmender Wirkstoff-Konzentration immer weniger durch Anthocyane violett gefärbt und ungleichmäßiger in ihrer Entwicklung. Die Wurzeln blieben bei der höchsten Konzentration nur kurz und schwach. Die Veränderungen in der Färbung der Pflanzen sind Hinweise auf einen Eingriff des Wirkstoffes in den Sekundärmetabolismus. Dieses Ergebnis wurde an stärker anthocyanhaltigen Pflanzen weiter verfolgt.



**Abbildung 59.** Senfkeimlinge 3 Tage alt. Links Kontrolle, rechts Anzucht auf Imidacloprid

### 3.1.16.1.3 Rotkohl (*Brassica oleracea* convar. *capitata* var. *capitata* f. *rubra* L.)

Rotkohl zeichnet sich, als eine Kulturart mit ausgeprägter Anthocyanbildung, bereits im Keimlingsstadium durch eine deutliche Violettfärbung des Hypokotyls sowie der Keimblättchen aus. Unter Lichtmangel weisen die etiolierten Keimlinge einen reduzierten Chlorophyllgehalt, jedoch deutlichen Anthocyangehalt in Hypokotyl und Blatt auf. (Abbildung 61).

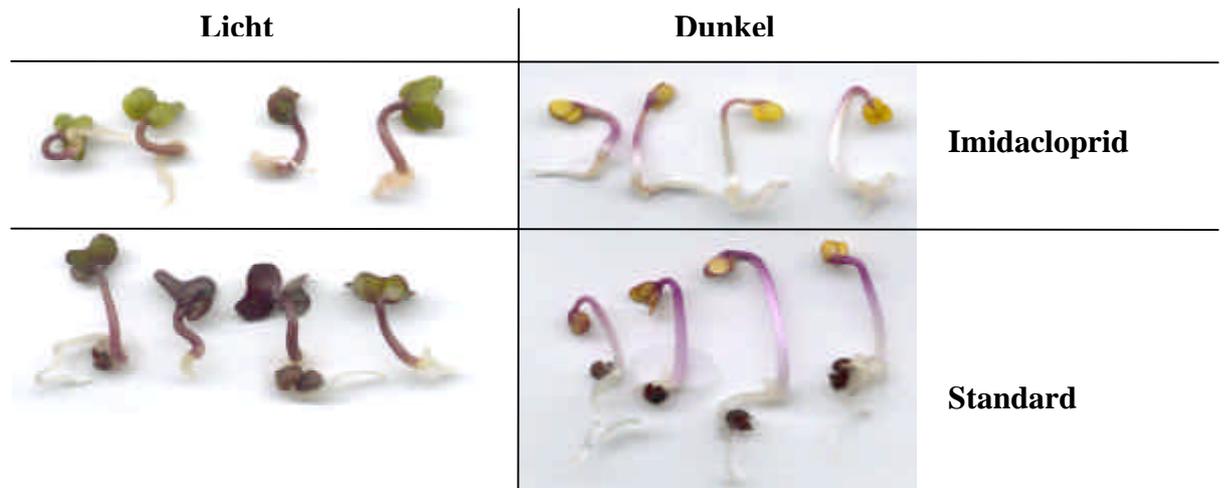


**Abbildung 60.** Rotkohlkeimlinge 7 Tage alt. Links am Licht, rechts im Dunkeln angezogen

Ein Versuchsansatz mit Rotkohl bestätigte den Einfluss von Imidacloprid auf die Ausprägung der Anthocyane. Nach 4 Tagen am Licht war sowohl bei Imidacloprid als auch beim Standard das Hypokotyl dunkelrot gefärbt, die Ober- und Unterseiten der Keimblätter wiesen jedoch nur beim Standard ihre charakteristische Anthocyanfärbung auf.

Grundsätzlich war die Reaktion bei belichteten und unbelichteten Keimlingen vergleichbar. Im Dunkeln waren nach 4 Tagen die Blättchen sowohl beim Standard als auch bei Imidacloprid weniger durch Anthocyane gefärbt als am Licht, doch war auch hier die Färbung beim Standard intensiver (Abbildung 61). Darüber hinaus ließ sich ein durch Imidacloprid verzögertes Wachstum von Spross und Wurzel erkennen.

## Ergebnisse



**Abbildung 61.** 4 Tage alte Keimlinge von Rotkohl bei Behandlung mit Imidacloprid am Licht und im Dunkeln angezogen. Obere Reihen = Imidacloprid-Behandlung, untere Reihen = Standard in Wasser

Als Ergebnis kann festgehalten werden, dass Imidacloprid in den pflanzlichen Sekundärstoffwechsel zumindest kurzfristig eingreift.

Aus all diesen Versuchen zur Ursachenfindung hat sich ergeben, dass Imidacloprid nicht als Antagonist der Phytohormone Gibberellinsäure oder Auxin wirkt. Jedoch konnte ein Einfluss auf die Zellatmung nicht aber auf den Energiestoffwechsel nachgewiesen werden. Imidacloprid zeigte eine klare Wirkung auf das Zellstreckungswachstum. Darüber hinaus wurde an der Pflanzenfärbung ein Einfluss auf den Chlorophyll- und Anthocyan-Haushalt festgestellt.

### **3.1.17 Imidacloprid, Einfluss verschiedener Böden**

Die bisherigen Versuche haben gezeigt, dass die Quellung und Keimung von Mais bei 25°C, einer Substratfeuchte von 35 Gewichtsprozent Wasser sowie in leicht verdichteter Erde optimal verläuft.

Zum Erfassen der Wirkung von Saatgutbehandlungen hat sich demgegenüber folgendes Testsystem als geeignet herausgestellt:

20°C, in lockerer Erde, Feuchte außerhalb des Optimums und Begießen der Probe. Dabei sind Untersuchungen in Faltenfilter weniger zielführend, während die Teststärke von Sand und Erde vergleichbar ist.

Die vorliegenden Ergebnisse belegen, dass jede Art einer Saatgutbehandlung die Quellung und Keimung beeinflusst, sowohl der Standard als auch die Leerformulierung und die verschiedenen Beizstärken. Dabei ist durch die physikalische Unterstützung der Wasseraufnahme eine Förderung zu erkennen.

Die Versuche zum Einfluss des Imidacloprid ergaben eine positive Wirkung auf Quellung und Keimung und eine verzögernde Wirkung auf die Keimlingsentwicklung am 3./4. Tag, deren Stärke von den Versuchsbedingungen abhängt. Während am 5. Tag eine positive Wirkung zu verzeichnen ist, lassen sich ab dem 7. Tag keine Einflüsse auf die Keimlingsentwicklung mehr feststellen.

Modifiziert wird die Wirkung durch die Temperatur – je niedriger umso stärker, die Feuchte – je weiter außerhalb des Optimums umso stärker und die Art der Befeuchtung, welche durch Förderung der Beizhofausbildung, die Konzentration des Wirkstoffs in der Pflanze bestimmt.

Es konnte festgestellt werden, dass diese Reaktionen bei allen Sorten und Saatgutkalibern vergleichbar sind. Mit dem standardisierten System suboptimaler Bedingungen sollte nun der Einfluss verschiedener Bodenarten untersucht werden, um zugleich Aussagen über Reaktionen für verschiedene regionaltypische Böden treffen zu können.

#### **3.1.17.1.1 Fünf Böden, 50 % $W_{kmax}$**

Das Maissaatgut wurde je nach Versuch mit 2 x 50 Karyopsen in 20 x 20 cm Pflanzschalen ausgesät. Als Substrat dienten Sand (I), Sandiger Lehm (II), Lehmiger Sand (III), Lehmiger Ton (IV) und Toniger Lehm (V). Nach dem Aussäen wurden die Karyopsen mit einer Schicht (2,0 cm) des entsprechenden Erdsubstrates abgedeckt.

Sandböden zeichnen sich durch günstige physikalische Eigenschaften aus, sie besitzen eine gute Wasserdurchlässigkeit, gute Durchlüftung und Bearbeitbarkeit, jedoch ist ihr Adsorptionsvermögen sowie ihr Speichervermögen für pflanzenverfügbares Wasser nur gering, was für die geringe Ertragsfähigkeit von Sandböden mitverantwortlich ist.

Lehmböden besitzen mit gutem Gefüge eine günstige Konstellation chemischer und physikalischer Bodeneigenschaften. Eine gute Pflanzenverfügbarkeit des Wassers, sowie ein hoher Nährstoffgehalt und günstiger Luft- und Wasserhaushalt ermöglichen eine gute Pflanzenentwicklung.

Tonböden besitzen das höchste Porenvolumen, jedoch ist der Anteil an Grobporen und Mittelporen, welche die pflanzenverfügbare Wassermenge bestimmen, nur gering.

## Ergebnisse

Eine schlechte Wasserführung, Durchlüftung und Durchwurzelbarkeit sind dem Pflanzenwachstum ebenso abträglich wie die starke Quellung und Schrumpfung tonhaltiger Böden bei wechselndem Feuchtigkeitsgehalt. Die Wasserleitfähigkeit wird durch die Anzahl, Größe und Form der Poren bestimmt (Scheffer und Schachtschabel, 2002) und charakterisiert so die Zwischentypen Lehmiger Sand, Sandiger Lehm.

**Mais:** Forum

**Behandlung:** Fungizidbehandlung, Leerformulierung (= Standard), 1 mg und 2 mg Imidacloprid

**Anzahl:** 2 x 50 Karyopsen

**Substrat:** Sand (I), Lehmiger Sand (II), Sandiger Lehm (III), Toniger Lehm (IV) und Lehmiger Ton (V), bei 50 % Wkmax, gegossen

**Inkubation:** 20°C, Wechsellicht

**Beobachtung:** Auflauf täglich vom 3. bis zum 7. Tag, sowie am 10. Tag

### Auflauf

Der Auflauf erfolgte in den fünf Böden trotz gleicher Feuchtigkeitseinstellung mit unterschiedlicher Geschwindigkeit. Er startete am 4. Tag und erreichte in den leichten Böden bereits Werte von 83 % im Sandigen Lehm (III), gefolgt vom Sand (II) mit 67 %, Lehmigen Sand (III) mit 62 % und Tonigem Lehm (IV) mit 58 %. Der niedrigste Auflaufwert wurde mit 27 % beim Lehmigen Ton, dem schwersten Boden verzeichnet. Doch auch hier lagen bereits am 5. Tag die Auflaufwerte, wie bei allen anderen Böden, über 92 % (Tabelle 34, Abbildung 62, Abbildung 63).

Tage	Boden																			
	I				II				III				IV				V			
	S	L	1	2	S	L	1	2	S	L	1	2	S	L	1	2	S	L	1	2
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	67	65	44	16	62	66	18	12	83	80	58	47	58	70	44	42	27	49	27	8
5	95	95	94	94	98	97	89	93	99	100	97	100	98	97	97	94	93	94	92	87
6	95	97	97	96	100	98	96	97	99	100	98	100	98	97	98	96	98	98	97	93
7	96	97	97	96	100	98	96	98	99	100	98	100	99	97	98	96	98	99	97	93
10	99	97	98	96	100	98	96	98	99	100	99	100	99	98	100	96	98	99	98	96

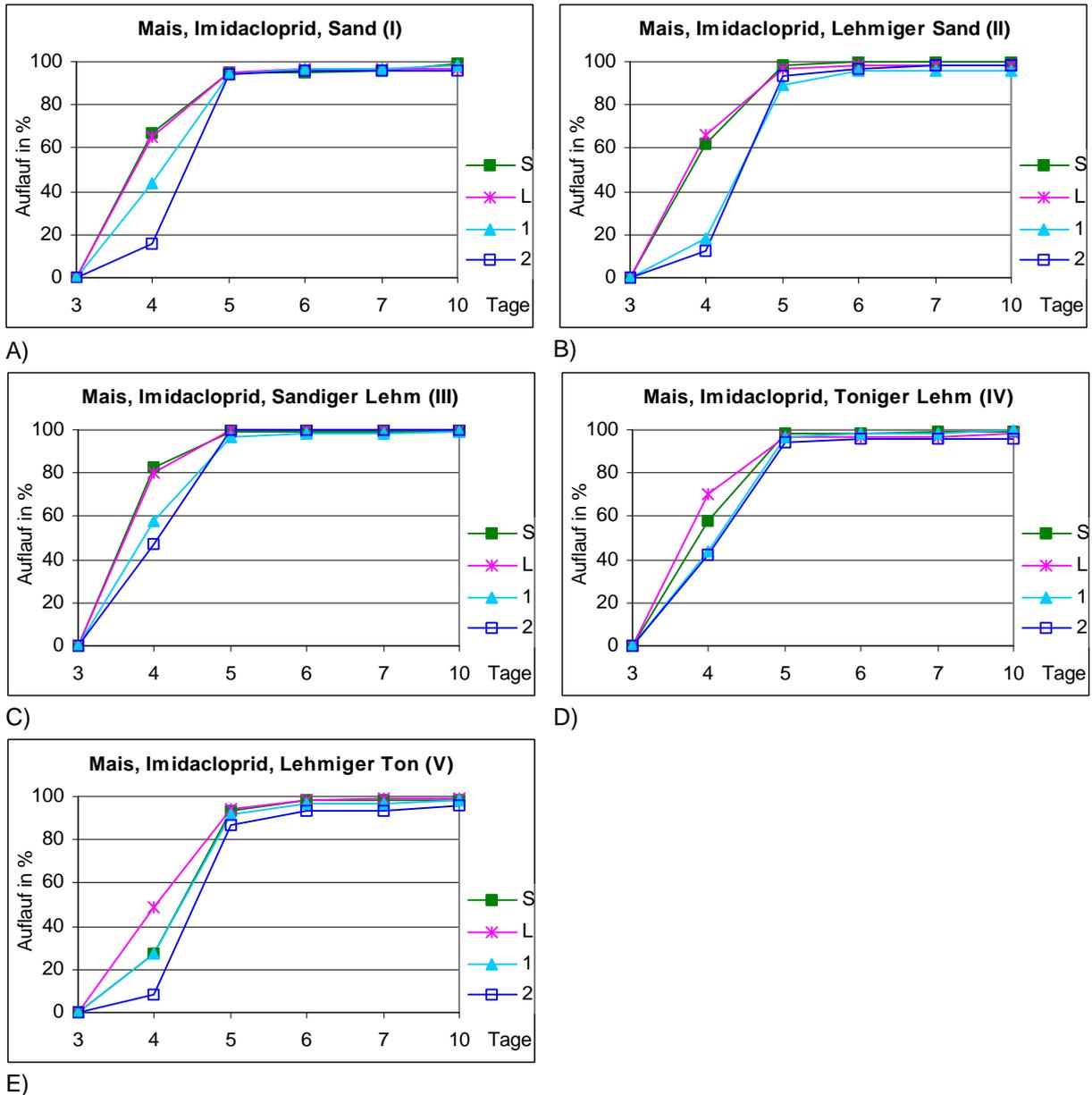
**Tabelle 34.** Auflauf von Imidacloprid behandeltem Mais [%] in fünf Böden bei 50 % Wkmax.  
S = Fungizidbehandlung, L = Leerformulierung (=Standard), 1 und 2 mg Imidacloprid je Karyopse

Die Wirkung des Imidacloprid zeigte sich überall am 4. Tag am deutlichsten. Hier wurden in allen Böden deutlich niedrigere Auflaufwerte als beim Standard festgestellt. Der Auflauf war im Boden II am stärksten gegenüber dem Standard verringert, mit Abstand gefolgt von Boden I. Die Wirkung war in Boden V geringer, während in Boden III und IV die geringsten Effekte durch Imidacloprid aufgetreten waren. Bereits am 5. Tag unterschieden sich die Imidacloprid-Varianten in Boden I, III und IV nicht mehr von der Leerformulierung.

## Ergebnisse



**Abbildung 62.** Fünf Standard-Bodenarten. Von links nach rechts Sand (I), Lehmiger Sand (II), Sandiger Lehm (III), Toniger Lehm (IV), Lehmiger Ton (V)



**Abbildung 63.** Aufwuchs von Imidacloprid behandeltem Mais in fünf Böden bei 50 % Wkmax. S = Fungizidbehandlung, L = Leerformulierung (= Standard), 1 und 2 mg Imidacloprid je Karyopse. Die Punkte von 1 und 2 in C), sowie die Punkte von S und 1 in E) sind nahezu identisch und liegen daher in der Grafik übereinander

Die Konzentration hatte nicht in allen Böden denselben Effekt. Starke Unterschiede zwischen den Behandlungen fanden sich bei den extremen Böden I, II und V, geringe in den Böden III und IV.

Die Wirkeffekte zeigten sich, wie in vorangegangenen Versuchen beobachtet, auch hier in allen fünf Böden nur kurzzeitig und waren bereits am 6. Tag nicht mehr erkennbar.

Nach ihrer Adsorptionsfähigkeit, ihrer Wasserverfügbarkeit geordnet, nimmt der Boden III einen mittleren Platz ein, der sich auch in der Wirkung widerspiegelt (Tabelle 35).

Adsorptionsfähigkeit		IV > IV > III > II > I
Wasserverfügbarkeit		I > II > III > IV > V
Wirkung des Imidacloprid bei	1 mg	II > IV > V > III > I
	2 mg	II > I > V > III > IV
	Mittelwert	II > I > V > III > IV

**Tabelle 35.** Bodeneigenschaften und Wirkungen des Imidacloprid von links nach rechts abnehmend

### 3.1.17.1.2 Fünf Böden, 40 %, 50 % und 60 % Wkmax

In vorangegangenen Versuchen (3.1.6.1, 3.1.9.2) konnte eine Abhängigkeit der Wirkung von Imidacloprid von der Substratfeuchtigkeit nachgewiesen werden. Daher sollte auch bei den fünf Böden geprüft werden, ob und wie der Feuchtigkeitsgehalt in Abhängigkeit von der Bodenart, das Auflaufverhalten von Imidacloprid behandeltem Mais beeinflusst.

Dazu wurden Auflauftests mit den Feuchtigkeitsstufen 40 %, 50 % und 60 % Wkmax angesetzt.

**Mais:** Forum

**Behandlung:** Fungizidbehandlung, Leerformulierung (= Standard), 1 mg und 2 mg Imidacloprid

**Anzahl:** 2 x 50 Karyopsen

**Substrat:** Sand (I), Lehmiger Sand (II), Sandiger Lehm (III), Toniger Lehm (IV) und Lehmiger Ton (V), bei 40 %, 50 % und 60 % Wkmax, gegossen

**Inkubation:** 20°C, Wechsellicht

**Beobachtung:** Auflauf täglich vom 3. bis zum 7. Tag, sowie am 10. Tag

### Auflauf

Der Auflauf begann in allen fünf Böden und bei allen drei Feuchtigkeitsgehalten am 4. Tag und erreichte hier im Durchschnitt bereits 80 %. Am 5. Tag waren sodann 95 % Auflauf erreicht, sodass auch hier die größten Unterschiede durch Imidacloprid, in allen Böden und bei allen Feuchtigkeiten am 4. Tag zu beobachten waren. Generell unabhängig von der Bodenart zeigte sich eine Zunahme der Auflaufgeschwindigkeit mit zunehmendem Feuchtigkeitsgehalt. So erzielte der Standard bei 40 % Wkmax mindestens einen Wert von 15 % bei 50 % Wkmax über 60 % und bei 60 % Wkmax am 4. Tag über 88 % Auflauf (Tabelle 36, Abbildung 64, Abbildung 65, Abbildung 66).



## Ergebnisse

Auflauf 60 % Wkmax																				
	Boden I				II				III				IV				V			
<b>3</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<b>4</b>	94	85	56	57	90	90	75	71	94	96	81	90	91	94	86	87	88	93	76	71
<b>5</b>	99	96	96	93	99	98	98	94	99	100	99	98	99	97	97	95	96	99	96	99
<b>6</b>	99	96	98	95	99	98	98	95	99	100	99	99	99	97	97	95	97	100	96	100
<b>7</b>	99	97	98	96	99	98	98	96	100	100	99	99	99	97	97	95	97	100	97	100
<b>10</b>	99	99	98	98	100	98	98	96	100	100	100	100	99	97	99	98	99	100	99	100
Differenzen zum Standard 40 % Wkmax																				
	Boden I				II				III				IV				V			
<b>3</b>	0		0	0	0		0	0	0		0	0	0		0	0	0		0	0
<b>4</b>	9		-29	-28	0		-15	-19	-2		-15	-6	-3		-8	-7	-5		-17	-22
<b>5</b>	3		0	-3	1		0	-4	-1		-1	-2	2		0	-2	-3		-3	0
<b>6</b>	3		2	-1	1		0	-3	-1		-1	-1	2		0	-2	-3		-4	0
<b>7</b>	2		1	-1	1		0	-2	0		-1	-1	2		0	-2	-3		-3	0
<b>10</b>	0		-1	-1	2		0	-2	0		0	0	2		2	1	-1		-1	0

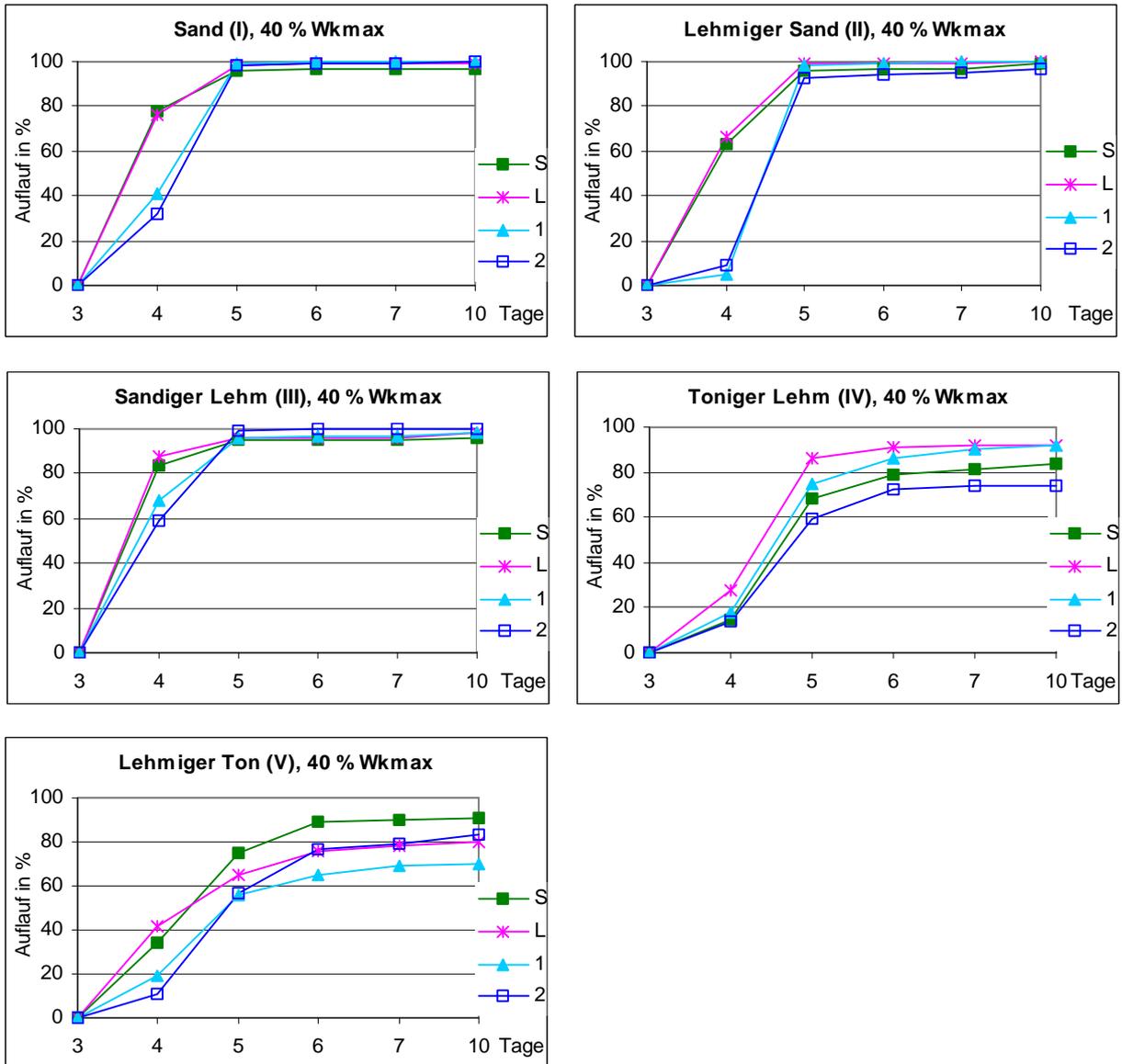
**Tabelle 36 B.** Auflauf von Imidacloprid behandeltem Mais [%] über 10 Tage, in fünf verschiedenen Böden, bei 60 % Wkmax. Darunter Differenzen zum Standard.

S = Fungizidbehandlung, L = Leerformulierung (=Standard), 1 und 2 mg Imidacloprid je Karyopse,

I = Sand, II = Lehmiger Sand, III = Sandiger Lehm, IV = Toniger Lehm, V = Lehmiger Ton

rot: Auflaufwert ist um mehr als 5 % geringer als der Standard, blau: Auflaufwert ist um mehr als 5 % größer als der Standard

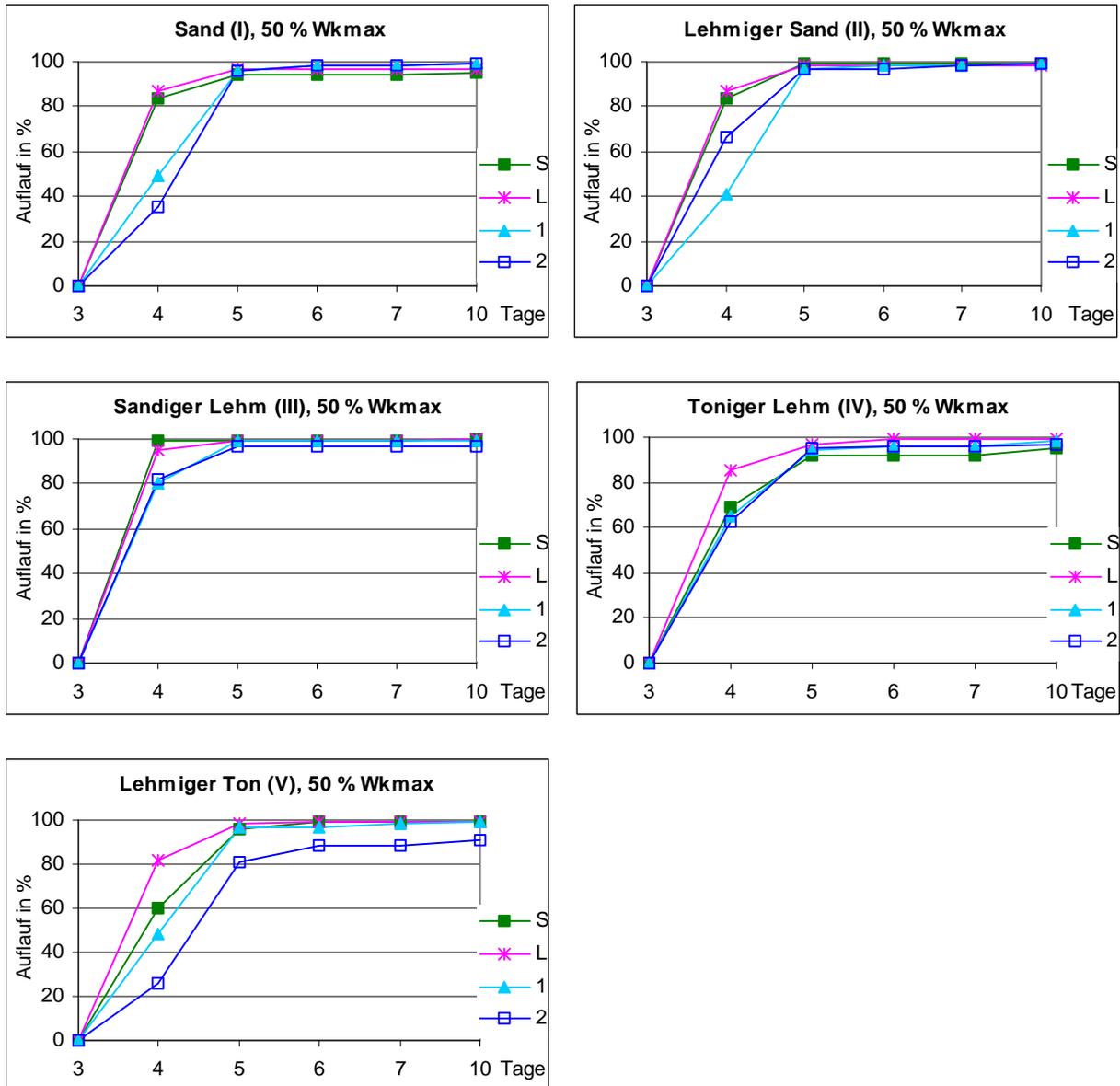
## Ergebnisse



**Abbildung 64.** Auflauf von Imidacloprid behandeltem Mais bei 40 % Wkmax, in fünf verschiedenen Böden.

S = Fungizidbehandlung, L = Leerformulierung (= Standard), 1 und 2 mg Imidacloprid je Karyopse

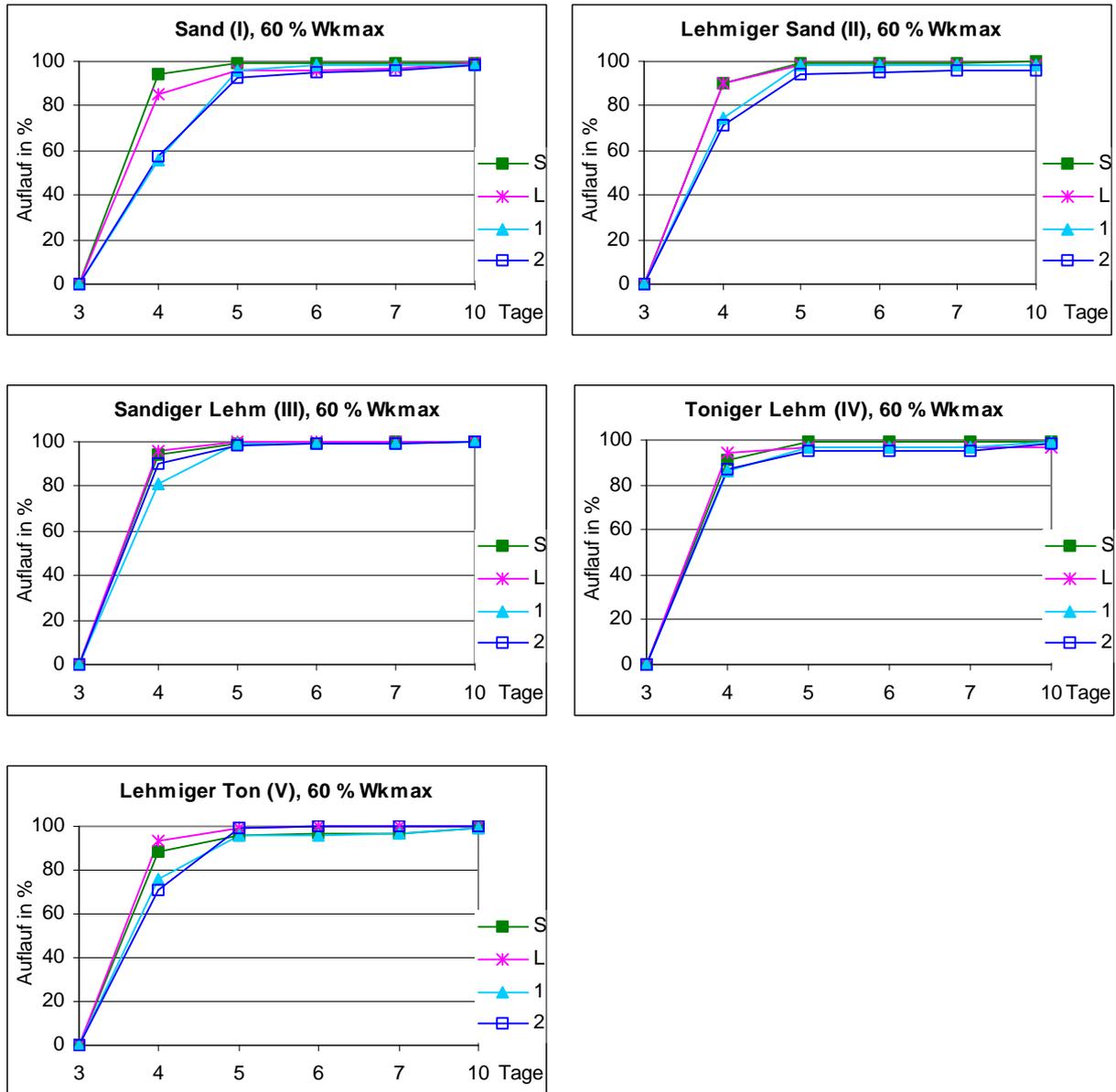
## Ergebnisse



**Abbildung 65.** Auflauf von Imidacloprid behandeltem Mais bei 50 % Wkmax, in fünf verschiedenen Böden.

S = Fungizidbehandlung, L = Leerformulierung (= Standard), 1 und 2 mg Imidacloprid je Karyopse

## Ergebnisse



**Abbildung 66.** Auflauf von Imidacloprid behandeltem Mais bei 60 % Wkmax, in fünf verschiedenen Böden.

S = Fungizidbehandlung, L = Leerformulierung (= Standard), 1 und 2 mg Imidacloprid je Karyopse

Die Leerformulierung zeigte in nahezu allen Fällen dieselben Werte wie die Fungizidvariante oder übertraf diese. Lediglich bei Boden V, 40 % Wkmax unterlag die Leerformulierung der Fungizidbehandlung. Unter diesen besonders trockenen Bedingungen konkurriert selbst die Leerformulierung in ihrer Hydratisierung mit der Karyopse um das vorhandene Wasser.

**Auflaufwerte in den 5 Böden am 4. Tag, bei 40 %, 50 % und 60 % Wkmax:**

40 %	III > I > II > V > IV
50 %	III > I > II > IV > V
60 %	III = I > IV ≥ II > V

Generell war der Auflauf in den leichten sandigen Böden I und III rascher als in den tonhaltigen. Die besten Werte lieferte Boden III, der Sandige Lehm, in welchem der Auflauf bei allen drei Feuchtigkeiten am raschesten erfolgte. Die Reihenfolge der Auflaufgeschwindigkeit in den fünf Böden war jedoch bei den verschiedenen Feuchten unterschiedlich.

Während Boden III und Boden I über alle Feuchten die besten Werte erzielten, wurde Boden IV mit zunehmender Feuchte immer besser, was sich aus der Bodenstruktur und der dadurch bestimmten Verfügbarkeit des Wassers erklärt.

Den stärksten Einfluss des Imidacloprid ließen die extremen Böden I, II und V erkennen. Die Wirkung des Imidacloprid unterschied sich in ihrer Intensität in Abhängigkeit von der Bodenart.

**Die Reihung zeigt eine abnehmende Wirkung von Imidacloprid in den Böden am 4. Tag**

40 %	1 mg	II > V > I > IV > III
40 %	2 mg	II > V > I > IV > III
50 %	1 mg	II > I > V > IV > III
50 %	2 mg	V > I > IV > II > III
60 %	1 mg	I > V > II > III > IV
60 %	2 mg	I > V > II > IV ≥ III

• **Bodeneinfluss**

Bei 40 % Wkmax ist bei 1 mg am 4. Tag in Boden I und II ein starker, in Boden III und V ein deutlicher, Einfluss des Imidacloprid erkennbar, während in Boden IV aufgrund der Substratbeschaffenheit die Wasserverfügbarkeit, Wirkstoffverfügbarkeit und somit der Wirkeffekt nur gering ist. Mit zunehmender Konzentration verstärkten sich die Wirkeffekte. Von den drei sandhaltigen Böden ließ der Lehmige Sand den höchsten Einfluss erkennen.

Im Gegensatz zu den leichten Böden, in denen sich nach dem 4. Tag keine Unterschiede mehr zeigten, dauerte der Wirkeffekt in den beiden schweren Böden länger an. Hier hielt die Verzögerung im Auflauf über den 4. Tag hinaus an und war beim Tonigen Lehm in der niedrigen Konzentration am 7. Tag aufgehoben, während diese im Lehmigen Ton bis zum Versuchsabschluss anhielt.

• **Feuchteinfluss**

Mit zunehmendem Feuchtigkeitsgehalt nimmt die Wirkung des Imidacloprid ab. Lediglich beim Lehmigen Ton ist das Gegenteil der Fall.

Bei 40 % Wkmax erreichte der Auflauf am 4. Tag bei Imidacloprid-Behandlung stets niedrigere Werte als der Standard. Diese Differenzen waren in allen Böden, außer beim Sandigen Lehm (1 mg und 2 mg) und beim Tonigen Lehm (1 mg) deutlich. Die Wirkintensität war am stärksten bei Boden II und nahm in der Reihenfolge II > V > IV > I > III ab. Im Laufe des Versuches verringerte sich die Wirkung des Imidacloprid sehr rasch, bereits am 5. Tag

waren in Boden I und III kaum, in Boden II und V keine Wirkeffekte mehr erkennbar. Lediglich im Boden IV traten noch Differenzen zwischen Imidacloprid und Leerformulierung auf, die aber nur in der hohen Wirkstoffkonzentration signifikant waren. Ab dem 6. Tag konnten nur noch in den beiden schweren Böden Unterschiede erkannt werden, die sich zum Versuchsabschluss noch auf 20 % und 13 % (Boden V, 1 mg) beliefen, sodass sich hier eine Reihenfolge der Wirkintensität von  $II > V > IV > I > III$ , abnehmend, erkennen lässt. In den schweren Böden zeigte sich also eine länger anhaltende Wirkung als in den leichten Böden.

Bei 50 % Wkmax wurde die deutlichste Wirkung des Imidacloprid im schweren Boden, dem Lehmigen Ton festgestellt, gefolgt von Boden I. Weitaus geringer zeichnete sich ein Einfluss in Boden IV ab, vergleichbar in Boden II, während in Boden III die Wirkung am schwächsten war. Auch bei 50 % Wkmax waren bereits am 5. Tag in den beiden leichteren Böden keine, in Boden III nur in der hohen Konzentration noch Wirkeffekte zu erkennen. Bei den beiden schweren Böden hielten diese, insbesondere bei 2 mg, bis zum 10. Tag an. Die Wirkeffekte nahmen in der Reihenfolge  $V > I > II > IV > III$  ab.

Bei der höchsten Feuchtigkeitsstufe mit 60 % Wkmax war der Einfluss durch Imidacloprid am geringsten, jedoch in allen Böden am 4. Tag über 5 %. Ab dem 5. Tag unterschieden sich die Imidacloprid-Konzentrationen nicht mehr vom Standard.

Die Wirkung des Imidacloprid verringerte sich also mit zunehmendem Feuchtigkeitsgehalt unabhängig von der Bodenart.

Die Unterschiede von Imidacloprid-Behandlung zur Leerformulierung waren bei 40 % Wkmax, also unter den trockeneren Bedingungen, stets am größten, die höchste Differenz wurde im Boden II bei 2 mg mit 86 % festgestellt. Diese Unterschiede verringerten sich in allen Böden mit zunehmendem Bodenfeuchtigkeitsgehalt.

Auffällig ist jedoch, dass im Boden III mit einer mittleren Partikelgröße und durchschnittlichen Adsorptionseigenschaften die Wirkung des Imidacloprid am geringsten ist. Zugleich entwickelte sich hier der Standard am schnellsten.

Aus alledem geht hervor, dass der Wirkeffekteinfluss wesentlich durch die substratabhängige Wasserverfügbarkeit gesteuert wird.

Im Folgenden sollte der Einfluss zweier weiterer Insektizide auf das Keimungsverhalten untersucht werden. Es wurde vermutet, dass in Abhängigkeit von den physikalisch-chemischen Eigenschaften unterschiedliche Reaktionen bei den Keimpflanzen hervorgerufen werden. Daher wurden aus der Stoffklasse der Chloronicotinyle, zu der Imidacloprid gehört, die chemisch nahe verwandten Wirkstoffe Clothianidin und Thiamethoxam gewählt. Diese beiden Insektizide befanden sich zum Zeitpunkt der Versuche im Zulassungsverfahren, sodass eine vergleichende Untersuchung mit Imidacloprid besonders interessant erschien.

### 3.2 Wirkstoffe Chloronicotinyne: Clothianidin, Imidacloprid und Thiamethoxam, Testorganismus Mais (*Zea mays* L.)

Die Pflanzenverträglichkeit der drei insektiziden Wirkstoffe wurde an Hand der Auflaufrate des Maissaatgutes im „Standardisierten Auflauftest“ mit sieben verschiedenen Substraten bei unterschiedlichen Feuchtigkeitsgehalten untersucht (3.1.10).

Zunächst wurde das Saatgut mit dem Fungizid Thiram (Tutan®, 1,5 mg ai /Samen) behandelt. In einem weiteren Schritt wurden Leerformulierung sowie gebrauchsfertige wasserdisergierbare Standardformulierungen (70WS) von Clothianidin, Imidacloprid und Thiamethoxam in Dosierungen von 1,0 mg ai /Samen auf das Saatgut aufgebracht.

Das Maissaatgut wurde je nach Versuch mit 2 x 50 Karyopsen in 20 x 20 cm Pflanzschalen in 2 cm Ablagetiefe ausgesät. Als Medium dienten Sand (I), Sandiger Lehm (II), Lehmiger Sand (III), Lehmiger Ton (IV) und Toniger Lehm (V), steriler Quarzsand, Standardlaborerde.

Die Feuchtigkeit der Erdsubstrate wurde durch Begießen auf Werte zwischen 30 % bis 60 % ihrer maximalen Wasserkapazität (Wkmax) eingestellt. Die Versuche wurden - sofern nicht anders beschrieben - routinemäßig bei einer Temperatur von 20° Celsius in Wechsellicht durchgeführt. Die Zahl der aufgelaufenen Maiskeimlinge wurde täglich erfasst.

#### 3.2.1 Chloronicotinyne, Mais, Auflauf in sterilem Quarzsand

**Mais:** Türkis

**Behandlung:** Fungizidbehandlung, Leerformulierung (= Standard), jeweils 1 mg und 2 mg Clothianidin, Imidacloprid und Thiamethoxam

**Anzahl:** 2 x 50 Karyopsen bei den Insektiziden, 6 x 50 bei Fungizid und Standard

**Substrat:** Steriler Quarzsand, 50 % Wkmax, gegossen

**Inkubation:** 20°C, Wechsellicht

**Beobachtung:** Auflauf täglich vom 3. bis zum 7. Tag, sowie am 10. Tag

#### Auflauf

In dem relativ feuchten Quarzsand entwickelte sich der Standard so rasch, dass bereits am 4. Tag 80 % und am 5. Tag nahezu 100 % Auflauf erreicht waren.

Die drei Insektizide folgten in allen Konzentrationen grundsätzlich dem gleichen Aufbaumuster mit der stärksten Differenzierung zum Standard am 4. Tag. An diesem Tag zeigte Clothianidin lediglich bei 2 mg eine schwache Verzögerung, während Imidacloprid um ein Mehrfaches verzögert war. Demgegenüber war die Wirkung des Thiamethoxam am 4. Tag doppelt so stark. Aus Tabelle 37 ergaben sich am 4. Tag Differenzen vom Standard zur 1 mg Beizung von 4 % bei Clothianidin, 23 % bei Imidacloprid, 48 % bei Thiamethoxam, die jedoch bereits am 5. Tag bei Clothianidin und Imidacloprid aufgehoben sind, was bei Thiamethoxam erst am 6. Tag der Fall ist. Bei allen drei Wirkstoffen verzögerte die höhere Konzentration den Auflauf stärker (Abbildung 67, Abbildung 68). Hier betrug die Differenz zum Standard bei Clothianidin 4 %, bei Imidacloprid 34 % und bei Thiamethoxam 67 %.

## Ergebnisse

Tage	MW		Clothianidin		Imidacloprid		Thiamethoxam	
	S	L	1	2	1	2	1	2
3	0	0	0	0	0	0	0	0
4	76	85	81	71	62	51	37	18
5	96	95	98	92	95	94	86	82
6	97	97	98	96	97	97	93	89
7	97	97	99	97	99	97	94	97
Differenzen zum Standard [%]								
3	0		0	0	0	0	0	0
4	-9		-4	-14	-23	-34	-48	-67
5	1		3	-3	0	-1	-9	-13
6	0		1	-1	0	0	-4	-8
7	0		2	0	2	0	-3	0

**Tabelle 37.** Auflauf von Mais [%] in Sand, 50 % Wkmax, bei Behandlung mit Clothianidin, Imidacloprid und Thiamethoxam, darunter Differenzen zum Standard.

S = Fungizidbehandlung, L = Leerformulierung (= Standard) 1 und 2 mg Imidacloprid je Karyopse, MW = Mittelwerte aus 3 x 100 Karyopsen, rot: Auflaufwert ist um mehr als 5 % geringer als der Standard

Interessanterweise waren die Blätter bei Imidacloprid weniger intensiv grün gefärbt, während die Färbung der mit Clothianidin und Thiamethoxam behandelten Keimlinge sich nicht vom Standard unterschieden.

In der Stärke ihres Einflusses folgen die Wirkstoffe ihrer Wasserlöslichkeit, vom schwerer löslichen Clothianidin über Imidacloprid zum gut löslichen Thiamethoxam.

Diese Daten stimmen mit den von Andersch (2003) für Lehmigen Sand gefundenen Werten überein. Versuche in Standardlaborerde bestätigten die in sterilem Quarzsand vorgefundenen Verhältnisse.



A)



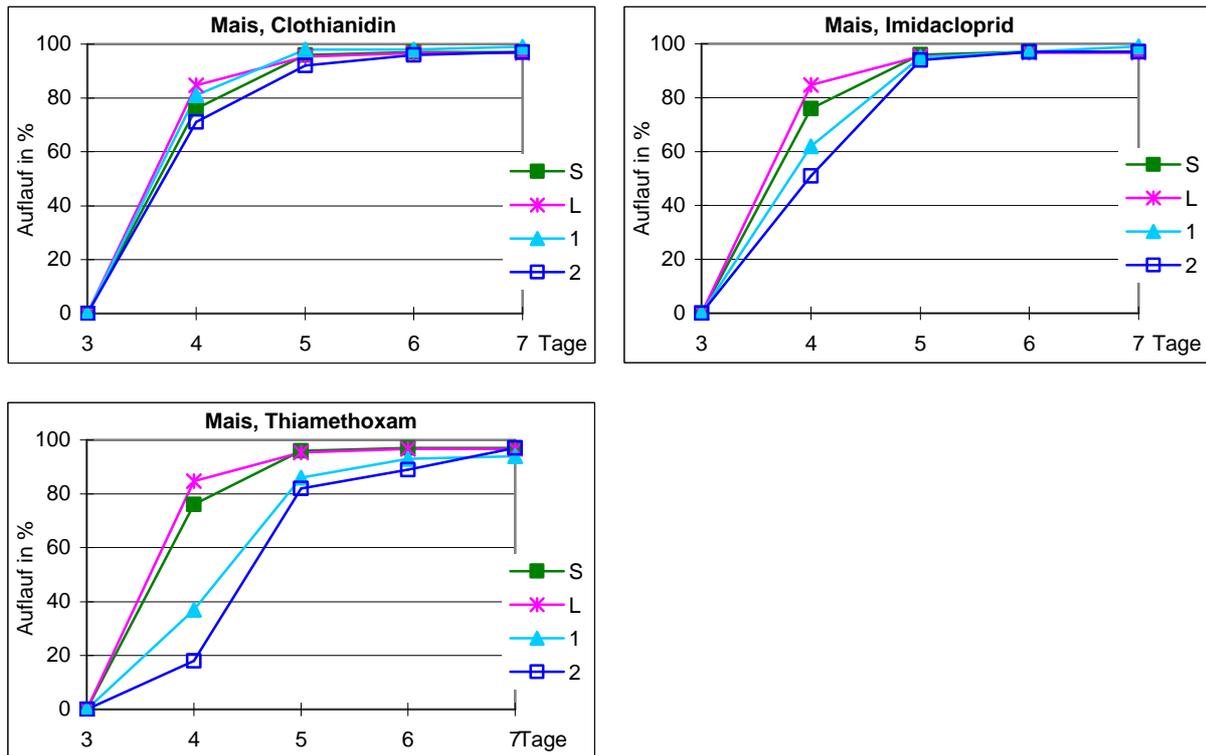
B)



C)

**Abbildung 67.** Auflauf von Mais in Sand, behandelt mit Chloronicotylen.  
A) nach 5 Tagen, B) nach 7 Tagen, C) nach 10 Tagen. Reihen von links nach rechts: Clothianidin, Imidacloprid, Thiamethoxam, von oben nach unten: 4 mg, 1 mg Wirkstoff, Standard, Fungizidbehandlung

In weiteren Versuchen sollte überprüft werden, wie sich die Auflaufraten unter verschiedenen Boden- und Feuchtigkeitsbedingungen darstellen und ob Abhängigkeiten des Verhaltens der Maiskeimlinge von der Saatgutbehandlung festgestellt werden können.



**Abbildung 68.** Auflauf von Mais in Sand, 50 % Wkmax, bei Behandlung mit Clothianidin, Imidacloprid und Thiamethoxam.

S = Fungizidbehandlung, L = Leerformulierung (=Standard), 1 und 2 mg Imidacloprid je Karyopse

### 3.2.2 Systematischer Vergleich verschiedener Böden und Feuchten im Auflaufverfahren

In der nun folgenden Versuchsserie sollte geprüft werden, ob in den verschiedenen Erdsubstraten bei jeweils unterschiedlicher Bodenfeuchtigkeit, Veränderungen im Auflauf von Mais auftreten und ob unter diesen Bedingungen weiterhin wirkstoffspezifische Unterschiede in der Saatgutbehandlung zu erkennen sind. Aus diesem Grund wurde die Bodenfeuchtigkeit der fünf verschiedenen Bodenarten von zunächst 30 % Wkmax schrittweise auf 60 % Wkmax erhöht.

**Mais:** Lussac

**Behandlung:** Fungizidbehandlung (=Standard), jeweils 1 mg und 2 mg Clothianidin, Imidacloprid und Thiamethoxam

**Anzahl:** 2 x 50 Karyopsen

**Substrat:** Sand, Lehmiger Sand, Sandiger Lehm, Toniger Lehm und Lehmiger Ton, bei 30 %, 40 %, 50 %, und 60 % Wkmax, gegossen

**Inkubation:** 20°C, Wechsellicht

**Beobachtung:** Auflauf täglich vom 3. bis zum 7. Tag, sowie am 10. Tag

### 3.2.2.1 Boden I - V, 30 % der maximalen Wasserkapazität

#### Auflauf

Unter diesen relativ trockenen Bodenverhältnissen hatte am dritten Tag noch in keinem Versuch ein Keimling die Substratoberfläche durchbrochen (Tabelle 38, Abbildung 69, Abbildung 70).

#### Boden I = Sand

Am 4. Tag war erst ein Auflauf unter 30 % zu erkennen. Dabei lag der Anteil aufgelaufener Keimpflanzen bei Clothianidin um 3 %, bei Imidacloprid um 9 % und bei Thiamethoxam um 24 % unter dem Standard (Tabelle 38, Abbildung 69). Aber bereits nach 5 Tagen Versuchsdauer waren nahezu alle Keimlinge aufgelaufen, zwischen den Behandlungen waren keine Unterschiede mehr festzustellen.

#### Boden II = Lehmiger Sand

Am 4. Tag unterschied sich der Auflauf des Standards mit 40 % nicht von Imidacloprid mit 43 %, während Clothianidin mit 33 %, Thiamethoxam mit 19 % deutlich niedrigere Werte aufwiesen (Tabelle 38, Abbildung 69). Der Endauflauf wurde bereits vor dem Standard am 5. Tag erreicht. Bis zum 7. Tag lagen die Werte mit bis zu 10 % leicht über dem Standard. Ein Gleichstand wurde erst am 10. Tag erreicht.

Tag	Boden																			
	I				II				III				IV				V			
	S	Clo	Imi	Thia	S	Clo	Imi	Thia	S	Clo	Imi	Thia	S	Clo	Imi	Thia	S	Clo	Imi	Thia
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	28	25	19	7	40	33	43	19	3	1	0	0	2	2	1	2	0	0	0	0
5	99	97	97	98	89	97	96	94	68	68	54	57	9	9	10	6	3	0	2	2
6	100	99	98	100	89	98	98	98	92	91	92	84	29	34	28	25	12	3	5	3
7	100	99	98	100	89	98	98	99	97	98	95	94	56	52	42	47	20	3	10	15
10	100	100	99	101	99	99	100	100	100	98	97	99	70	66	58	60	32	4	14	26
Differenzen zum Standard [%]																				
3		0	0	0		0	0	0		0	0	0		0	0	0		0	0	0
4		-3	-9	-21		-7	3	-21		-2	-3	-3		0	-1	0		0	0	0
5		-2	-2	-1		8	7	5		0	-14	-11		0	1	-3		-3	-1	-1
6		-1	-2	0		9	9	9		-1	0	-8		5	-1	-4		-9	-7	-9
7		-1	-2	0		9	9	10		1	-2	-3		-4	-14	-9		-17	-10	-5
10		0	-1	1		0	1	1		-2	-3	-1		-4	-12	-10		-28	-18	-6

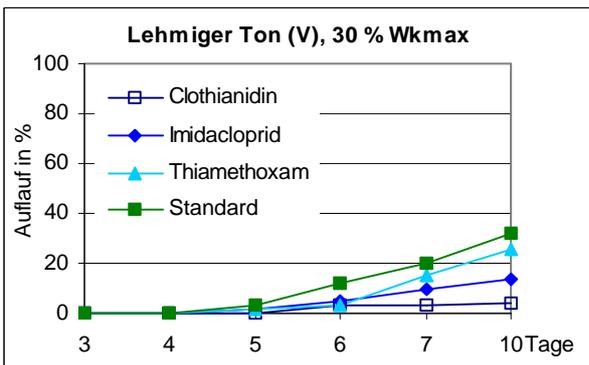
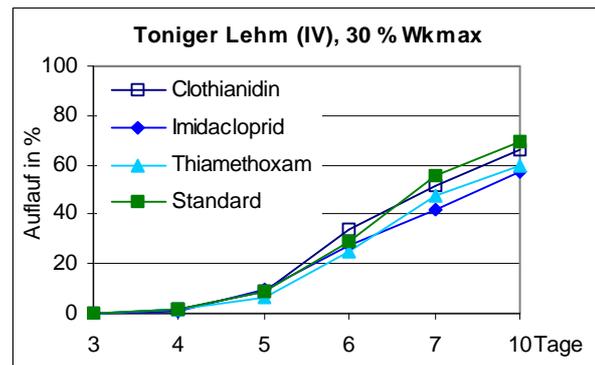
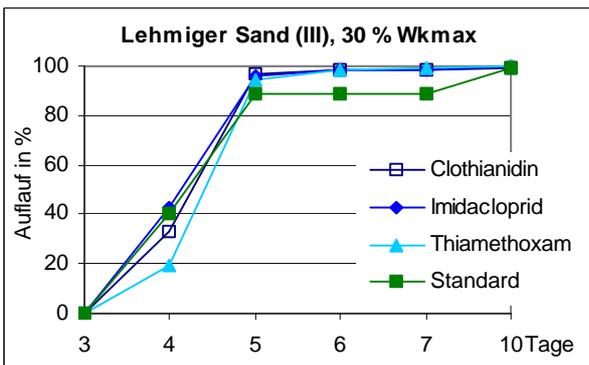
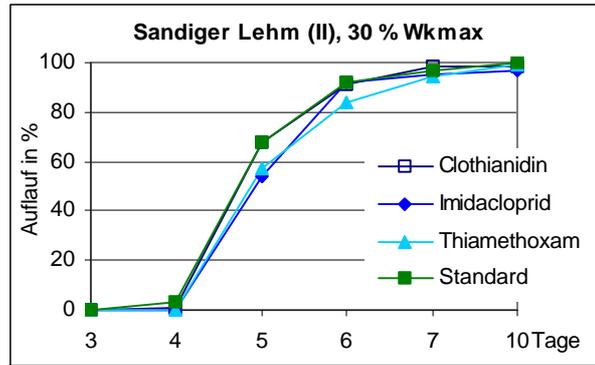
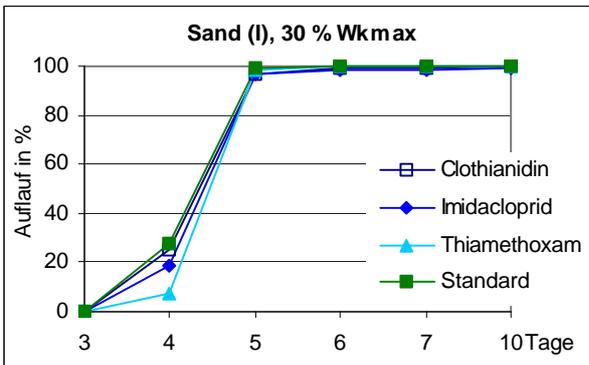
**Tabelle 38.** Auflauf von Mais [%] bei einer Bodenfeuchtigkeit von 30 % Wkmax in verschiedenen Erds substraten nach Behandlung mit Clothianidin, Imidacloprid und Thiamethoxam (1.0 mg ai/Karyopse), darunter Differenzen zum Standard.

I = Sand, II = Lehmiger Sand, III = Sandiger Lehm, IV = Toniger Lehm, V = Lehmiger Ton

rot: Auflaufwert ist um mehr als 5 % geringer als der Standard, blau: Auflaufwert ist um mehr als 5 % größer als der Standard

**Boden III = Sandiger Lehm**

Der Auflauf lag am 4. Tag bei allen Behandlungen unterhalb 5 %. Am 5. Tag waren beim Standard und Clothianidin 68 %, bei Thiamethoxam 57 % und bei Imidacloprid 54 % der Keimlinge aufgelaufen (Tabelle 38, Abbildung 69). Bereits am 6. Tag unterschieden sich die Werte von Imidacloprid und Clothianidin nicht mehr vom Standard, während Thiamethoxam mit 8 % noch schwach darunter lag. Am 7. Tag wurde der Endauflauf erreicht, zwischen den Behandlungen waren keine Unterschiede mehr zu erkennen.



**Abbildung 69.** Auflauf von Maissaatgut bei einer Bodenfeuchtigkeit von 30 % Wkmax in verschiedenen Erdsubstraten nach Behandlung mit Clothianidin, Imidacloprid und Thiamethoxam (1.0 mg ai/Karyopse)

### **Boden IV = Toniger Lehm**

Der Auflauf war unabhängig von der Saatgutbehandlung um einen Tag verschoben. In Boden IV waren am 4. Tag nur einzelne Keimlinge aufgelaufen (Tabelle 38, Abbildung 69). Auch an den folgenden Tagen entwickelten sich die Pflanzen nur langsam. Am 5. Tag erreichte der Auflauf 10 % bei Imidacloprid, 9 % beim Standard und Clothianidin und lediglich 6 % bei Thiamethoxam. Der Standard mit Differenzen von 4 % zu Clothianidin, 12 % zu Imidacloprid und 10 % zu Thiamethoxam lag auch am 10. Tag erst bei 70 %.

Die Insektizidvarianten verhielten sich gleichermaßen, jedoch mit geringeren Werten, wobei der Unterschied sich tageweise änderte, ebenso auch die Reihenfolge der Insektizide.

### **Boden V = Lehmiger Ton**

Bis zum 4. Tag waren noch keine Pflanzen aufgelaufen, am 5. Tag weniger als 5 % (Tabelle 38, Abbildung 69). Auch am 10. Tag betrug der Auflauf beim Standard erst 32 %, bei Thiamethoxam 26 %, bei Imidacloprid 14 % und bei Clothianidin 4 %. Damit war der Endauflauf bei Versuchsabschluss noch nicht erreicht.

Bei 30 % Wkmax zeigen sowohl der Standard, als auch die drei Chloronicotinyne deutliche Einflüsse der Bodenart. Mit zunehmender Schwere der Böden ist der Auflauf stark verzögert. Eine verlässliche Beurteilung des Stoffeinflusses ist bei derart trockenen Bedingungen daher nur in den leichten Böden möglich, in denen die bodenphysikalischen Verhältnisse das Verhalten der Wirkstoffe nicht zu stark überlagern. In den beiden tonhaltigen Böden zeigen bereits die Werte des Standards einen hohen Stress an, was erwarten lässt, dass auch das Verhalten der Wirkstoffe außerhalb und innerhalb der Pflanze beeinflusst wird.



**Abbildung 70.** Auflauf von Mais mit Chloronicotinylen behandelt bei 30 % Wkmax in verschiedenen Böden, am 4. Tag.

Von links nach rechts: I = Sand, II = Lehmiger Sand, III = Sandiger Lehm, IV = Toniger Lehm, V = Lehmiger Ton  
von oben nach unten: je 1 mg ai je Karyopse Thiamethoxam, Imidacloprid, Clothianidin, Standard

### 3.2.2.2 Boden I - V, 40 % der maximalen Wasserkapazität

#### Auflauf

Bei 40 % der maximalen Wasserkapazität war am 3. Tag in keinem der Böden ein Auflauf zu verzeichnen (Tabelle 39, Abbildung 72, Abbildung 71).

#### Boden I = Sand

In Boden I fanden sich klare Unterschiede zwischen den Versuchsansätzen nur am 4. Tag. Der Auflauf betrug dort 76 % bei Clothianidin, 58 % bei Imidacloprid und 43 % bei Thiamethoxam (Tabelle 39, Abbildung 72). Bereits am 5. Tag unterschieden sich die Auflaufwerte der Behandlungen nur noch geringfügig, wiesen aber die gleiche Reihenfolge wie am Vortag auf, 99 % beim Standard, 97 % bei Clothianidin, 95 % bei Imidacloprid und 93 % bei Thiamethoxam. Bereits am 5. Tag wurde bei allen Varianten der Endauflauf erreicht.

#### Boden II = Lehmiger Sand

Die Ergebnisse im Lehmigen Sand entsprachen den beim Sand vorgestellten. Lediglich bei Imidacloprid lag am 4. Tag ein 7 % höherer Auflaufwert vor (Tabelle 39, Abbildung 72).

Tage	Boden																			
	I				II				III				IV				V			
	S	Clo	Imi	Thia	S	Clo	Imi	Thia	S	Clo	Imi	Thia	S	Clo	Imi	Thia	S	Clo	Imi	Thia
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	75	76	58	43	78	74	65	47	34	26	18	14	34	27	12	16	11	11	6	5
5	99	97	95	93	97	97	93	97	97	96	91	93	87	85	86	84	81	76	70	70
6	99	97	97	99	97	97	96	98	99	99	97	97	94	95	97	95	94	92	94	98
7	99	97	98	99	97	97	96	98	99	99	97	97	95	96	97	97	95	95	95	98
10	99	98	99	99	98	99	97	100	99	99	99	98	98	97	98	100	97	97	96	100
Differenzen zum Standard [%]																				
3		0	0	0		0	0	0		0	0	0		0	0	0		0	0	0
4		1	-17	-32		-4	-13	-31		-8	-16	-20		-7	-22	-18		0	-5	-6
5		-2	-4	-6		0	-4	0		-1	-6	-4		-2	-1	-3		-5	-11	-11
6		-2	-2	0		0	-1	1		0	-2	-2		1	3	1		-2	0	4
7		-2	-1	0		0	-1	1		0	-2	-2		1	2	2		0	0	3
10		-1	0	0		1	-1	2		0	0	-1		-1	0	2		0	-1	3

**Tabelle 39.** Auflauf von Mais [%] bei einer Bodenfeuchtigkeit von 40 % Wkmax in verschiedenen Erds substraten nach Behandlung mit Clothianidin, Imidacloprid und Thiamethoxam (1.0 mg ai/Karyopse), darunter Differenzen zum Standard.

I = Sand, II = Lehmiger Sand, III = Sandiger Lehm, IV = Toniger Lehm, V = Lehmiger Ton  
 rot: Auflaufwert ist um mehr als 5 % geringer als der Standard

### **Boden III = Sandiger Lehm**

In Boden III differenzierten sich die Insektizidansätze vom Standard am 4. Tag. Clothianidin lag um 8 %, Imidacloprid um 16 % und Thiamethoxam um 20 % unterhalb des Standards (Tabelle 39 und Abbildung 72). Am 5. Tag waren alle Auflaufwerte mit ihm vergleichbar, lediglich Imidacloprid lag mit 6 % geringfügig darunter. Der Endauflauf wurde von allen Behandlungen am 6. Tag erreicht.

### **Boden IV = Toniger Lehm**

Im Tonigen Lehm zeigten sich dieselben Verhältnisse wie im Sandigen Lehm, sowohl bezüglich des zeitlichen Auflaufens als auch bezüglich der Differenzierung durch die Wirkstoffe am 4. Tag. Einzig am nächsten Tag waren alle Wirkstoffe vergleichbar, aber um 10 % niedriger und erreichten erst am 6. Tag den vollen Auflaufwert (Tabelle 39, Abbildung 72).

### **Boden V = Lehmiger Ton**

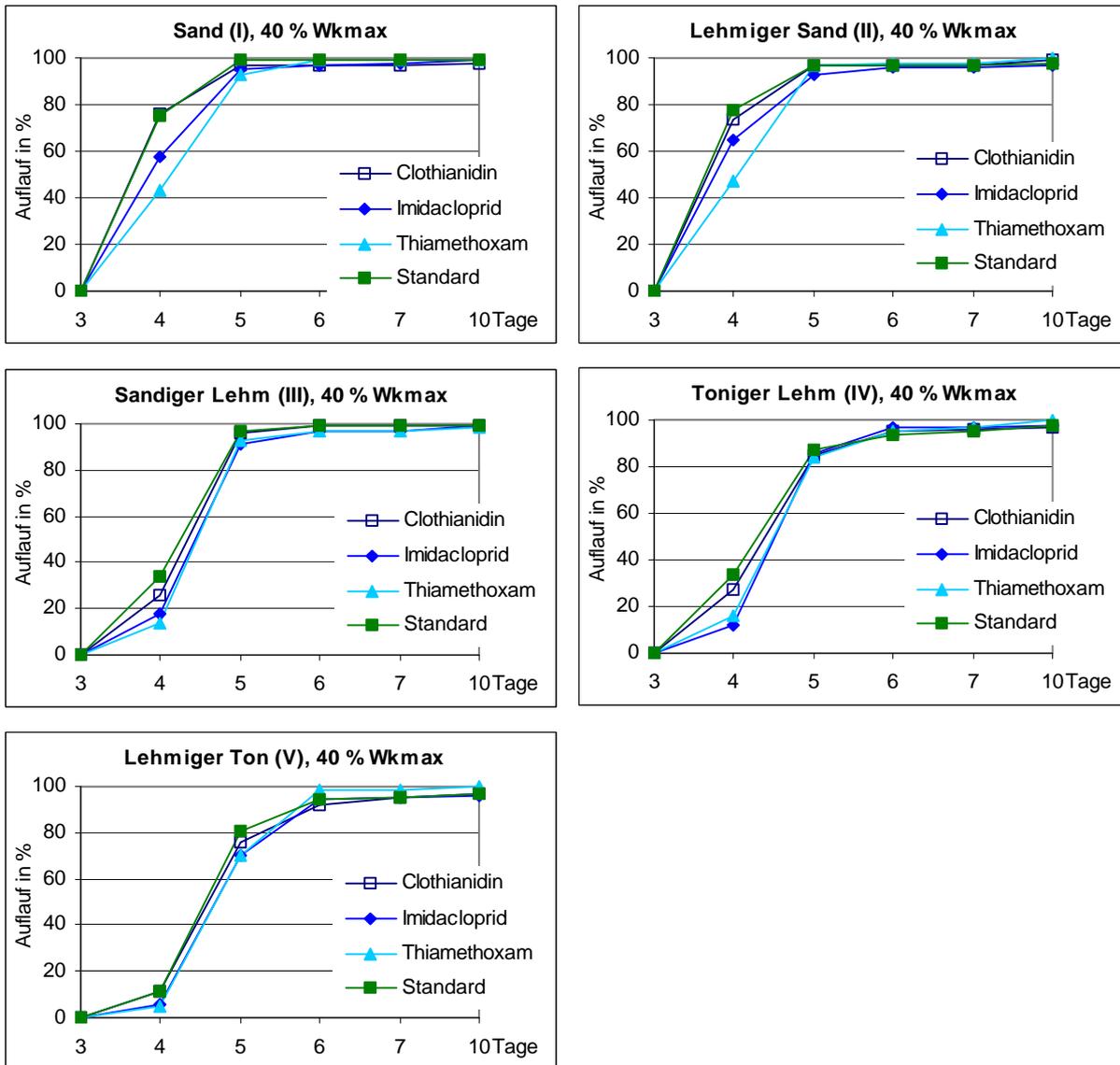
Am 4. Tag konnte in Boden V bei 40 % der maximalen Wasserkapazität, unabhängig von der Saatgutbehandlung nur ein Auflauf unter 12 % festgestellt werden (Tabelle 39, Abbildung 72). Der Standard erreichte am 5. Tag 80 %, dicht gefolgt von Clothianidin und in 10 % Abstand von Imidacloprid und Thiamethoxam. Am 6. Tag erreichte der Standard den Endauflauf und die Unterschiede zu den Wirkstoffen waren vollständig aufgehoben.



**Abbildung 71.** Auflauf von Mais mit Chloronicotinylen behandelt bei 40 % Wkmax in verschiedenen Böden am 4. Tag.

Von links nach rechts: I = Sand, II = Lehmiger Sand, III = Sandiger Lehm, IV = Toniger Lehm, V = Lehmiger Ton  
von oben nach unten: je 1 mg Thiamethoxam, Imidacloprid, Clothianidin, Standard

## Ergebnisse



**Abbildung 72.** Auflauf von Maissaatgut bei einer Bodenfeuchtigkeit von 40 % Wkmax in verschiedenen Erds substraten nach Behandlung mit Clothianidin, Imidacloprid und Thiamethoxam (1.0 mg ai/Karyopse)

Bei 40 % Wkmax zeigt sich ein deutlicher Einfluss der Böden, sowohl auf den Standard als auch auf die drei Chloronicotinyle.

Mit zunehmender Schwere der Böden ist der Auflauf generell verzögert, wobei die leichten Böden den Werkstoffeinfluss deutlich stärker und frühzeitiger erkennen lassen als die Schweren.

### 3.2.2.3 Boden I - V, 50 % der maximalen Wasserkapazität

#### Auflauf

Bei 50 % der maximalen Wasserkapazität waren in den Böden I, II und III bereits am 3. Tag erste Keimpflanzen aufgelaufen, während in den beiden schweren Böden IV und V noch keine Pflanzen die Erdoberfläche durchbrochen hatten (Tabelle 40, Abbildung 73, Abbildung 74).

#### Boden I

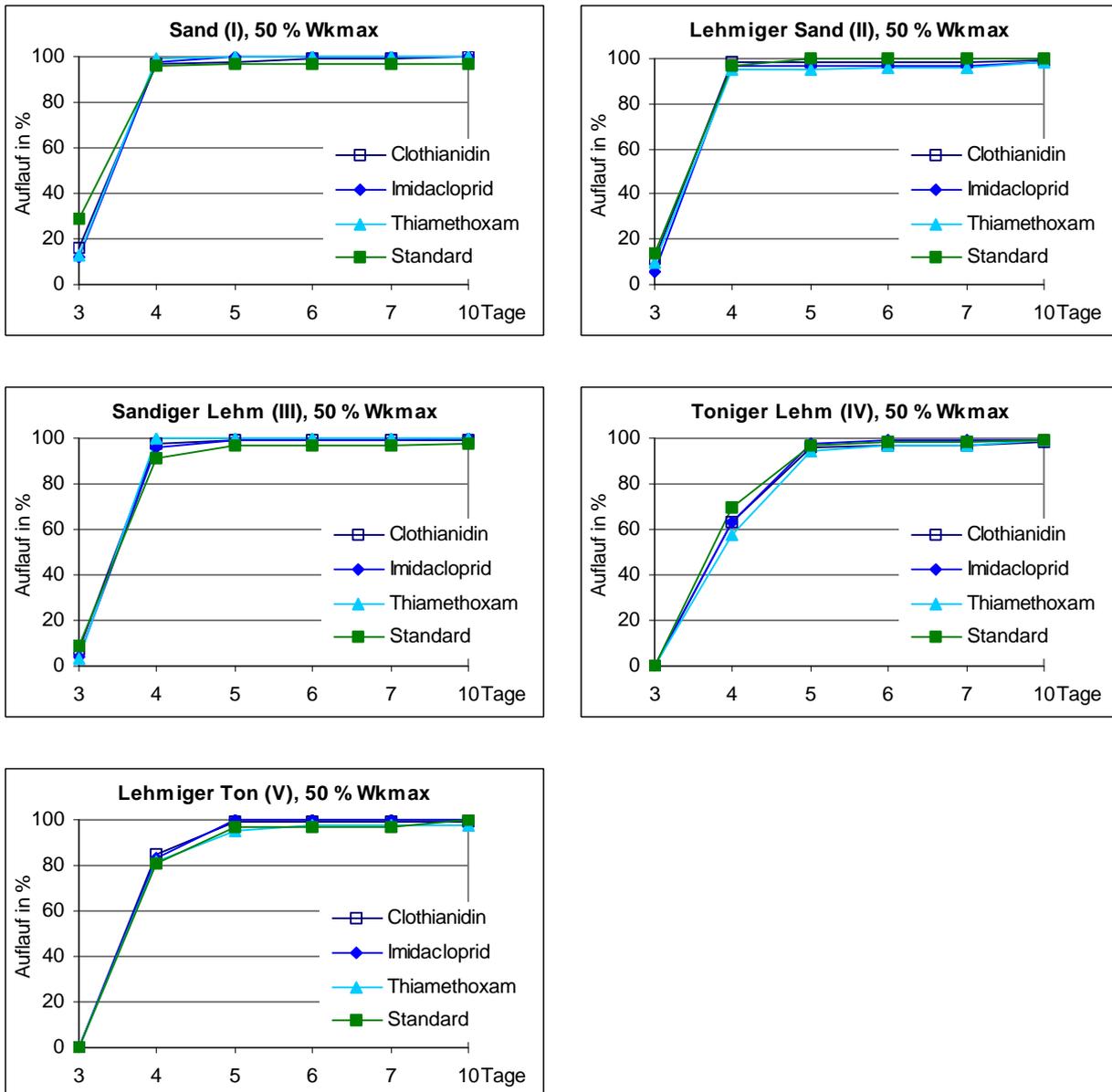
Die einzelnen Wirkstoffe erreichten bei 50 % Wkmax am 3. Tag einen unterschiedlichen Auflauf. Er betrug 29 % beim Standard, 16 % bei Clothianidin, 13 % bei Thiamethoxam und 12 % bei Imidacloprid (Tabelle 40, Abbildung 73). Bereits am 4. Tag wurden 100 % Auflauf erreicht, zwischen den Insektizidbehandlungen waren keine Unterschiede mehr festzustellen.

	Boden																			
	I				II				III				IV				V			
	S	Clo	Imi	Thia	S	Clo	Imi	Thia	S	Clo	Imi	Thia	S	Clo	Imi	Thia	S	Clo	Imi	Thia
<b>3</b>	29	16	12	13	14	11	6	10	9	7	4	3	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>4</b>	96	97	98	99	97	98	97	95	91	98	96	100	69	64	63	58	81	85	83	82
<b>5</b>	97	98	100	100	100	98	97	95	97	99	99	100	97	96	98	95	97	99	100	95
<b>6</b>	97	99	100	100	100	98	97	96	97	99	99	100	99	97	99	97	97	99	100	98
<b>7</b>	97	99	100	100	100	98	97	96	97	99	99	100	99	97	99	97	97	99	100	98
<b>10</b>	97	100	100	100	100	99	98	98	98	99	100	100	99	99	100	99	100	99	100	98
Differenzen zum Standard [%]																				
<b>3</b>		-13	-17	-16		-3	-8	-4		-2	-5	-6		0	0	0		0	0	0
<b>4</b>		1	2	3		1	0	-2		7	5	9		-5	-6	-11		4	2	1
<b>5</b>		1	3	3		-2	-3	-5		2	2	3		-1	1	-2		2	3	-2
<b>6</b>		2	3	3		-2	-3	-4		2	2	3		-2	0	-2		2	3	1
<b>7</b>		2	3	3		-2	-3	-4		2	2	3		-2	0	-2		2	3	1
<b>10</b>		3	3	3		-1	-2	-2		1	2	2		0	1	0		-1	0	-2

**Tabelle 40.** Auflauf von Mais [%] bei einer Bodenfeuchtigkeit von 50 % Wkmax in verschiedenen Erds substraten nach Behandlung mit Clothianidin, Imidacloprid und Thiamethoxam (1.0 mg ai/Karyopse), darunter Differenzen zum Auflauf.

I = Sand, II = Lehmiger Sand, III = Sandiger Lehm, IV = Toniger Lehm, V = Lehmiger Ton

rot: Auflaufwert ist um mehr als 5 % geringer als der Standard, blau: Auflaufwert ist um mehr als 5 % größer als der Standard



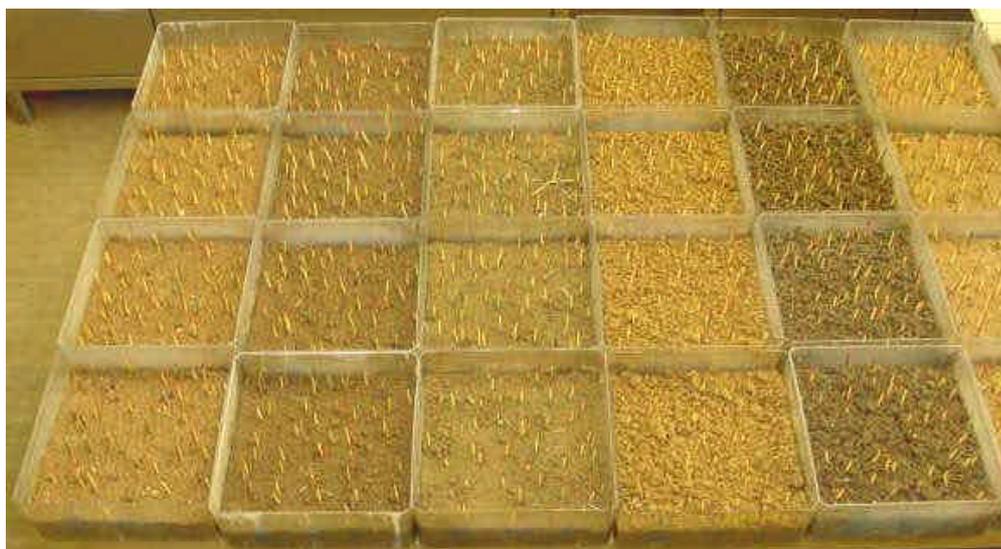
**Abbildung 73.** Auflauf von Maissaatgut bei einer Bodenfeuchtigkeit von 50 % Wkmax in verschiedenen Erds substraten nach Behandlung mit Clothianidin, Imidacloprid und Thiamethoxam (1.0 mg ai/Karyopse)

### Boden II = Lehmiger Sand

In Boden II waren bereits am 3. Tag Keimlinge aufgelaufen. Bei der Standardbehandlung waren dies 14 %, bei Clothianidin 11 %, bei Thiamethoxam 10 % und bei Imidacloprid 6 % (Tabelle 40 und Abbildung 73). Auch hier konnten ab dem 4. Tag keine Unterschiede zwischen den Behandlungen mehr festgestellt werden, der Auflauf erreichte beim Standard, Clothianidin und Imidacloprid bereits am 4. Tag 98 %, bei Thiamethoxam 92 %.

### Boden III = Sandiger Lehm

Der Auflauf erreichte am 3. Tag 9 % beim Standard, 7 % bei Clothianidin, 4 % bei Imidacloprid und 3 % bei Thiamethoxam (Tabelle 40, Abbildung 73). Am 4. Tag zeigte sich bei allen Behandlungen ein starker Anstieg mit Werten von 100 % bei Thiamethoxam, 98 % bei Clothianidin, 96 % bei Imidacloprid und 91 % beim Standard. Der Endauflauf wurde bei den Insektizid-Behandlungen bereits am 4. Tag erreicht und lag um 7 % leicht über dem Standard. Unabhängig von der Saatgutbehandlung wurden über 98 % Auflauf erreicht.



**Abbildung 74.** Auflauf von Mais mit Chloronicotinylen behandelt bei 50 % Wkmax in verschiedenen Böden am 4. Tag.

Von links nach rechts: I = Sand, II = Lehmiger Sand, III = Sandiger Lehm, IV = Toniger Lehm, V = Lehmiger Ton  
von oben nach unten: je 1 mg Thiamethoxam, Imidacloprid, Clothianidin, Standard

### Boden IV = Toniger Lehm

Am 3. Tag waren auch in Boden IV noch keine Keimlinge aufgelaufen. Der Wert des Standards lag am 4. Tag mit 68 % nur geringfügig über allen Insektizid-Behandlungen. Clothianidin hatte hier 64 %, Imidacloprid 63 % und Thiamethoxam 58 % erreicht (Tabelle 40, Abbildung 73).

Der Standard erzielte in Boden IV im Vergleich zu den anderen Böden am 4. Tag deutlich niedrigere Auflaufwerte, 100 % wurden hier von allen Varianten erst am 5. Tag erreicht. Dies zeigt, dass unter diesen Bedingungen die zur Quellung und Keimung erforderliche pflanzenverfügbare Wassermenge nicht dem optimalen Zustand entsprach. Die Höhe des Endaufbaus blieb in Boden IV jedoch unbeeinflusst.

### Boden V = Lehmiger Ton

Am 3. Tag waren in Boden V noch keine Pflanzen aufgelaufen. Doch bereits am folgenden Tag lagen bei allen Behandlungen nahezu gleichartig hohe Werte vor, 85 % bei Clothianidin, 83 % bei Imidacloprid, 82 % bei Thiamethoxam, womit alle dem Standard vergleichbar waren (Tabelle 40, Abbildung 73). Der Endauflauf wurde bei allen Behandlungen bereits am 5. Tag erreicht. Die Insektizide waren während der gesamten Versuchsdauer mit dem Standard vergleichbar.

## Ergebnisse

Bei 50 % der maximalen Wasserkapazität fand sich bei den Böden I, II, III und V nur ein geringer Einfluss der insektiziden Wirkstoffe. Nur im Tonigen Lehm war der Auflauf am 4. Tag geringer und durch die Wirkstoffe differenziert.

Das Auflaufen erfolgt bei 50 % Wkmax allgemein sehr rasch, da reichlich Wasser für die Quellung zur Verfügung steht. Dies hat zur Folge, dass der Gesamtauflauf bei allen Behandlungen bereits zu einem frühen Versuchszeitpunkt über 98 % liegt.

Bei dieser Bodenfeuchte wird ein deutlicher Einfluss der Bodenart erkennbar, indem der Auflauf bei den leichten Böden zunehmend vorverlegt und in den schweren Böden immer noch verzögert wird. Dementsprechend lassen sich Wirkstoffeinflüsse in den leichten Böden am 3. Tag und in den schweren Böden am 4. Tag erkennen. Auf die Verzögerung während der Quellungsphase folgt eine Förderung, sodass am fünften Tag alle Werte wieder gleichauf sind.

### 3.2.2.4 Boden I - V, 60 % der maximalen Wasserkapazität

#### Auflauf

Bei allen Böden, außer Boden III, waren bereits am 3. Tag Maiskeimlinge aufgelaufen, wobei sich Unterschiede in den Behandlungsvarianten beobachten ließen (Tabelle 41, Abbildung 75, Abbildung 76).

	Boden																			
	I				II				III				IV				V			
	S	Clo	Imi	Thia	S	Clo	Imi	Thia	S	Clo	Imi	Thia	S	Clo	Imi	Thia	S	Clo	Imi	Thia
3	11	18	15	9	32	44	42	18	1	0	0	0	2	23	18	9	4	12	9	3
4	98	96	98	94	97	95	91	95	93	95	91	70	96	97	97	92	96	94	92	91
5	98	97	100	97	97	97	96	96	96	98	97	94	98	99	98	92	98	97	96	95
6	99	97	100	97	97	98	96	96	97	98	97	95	98	99	98	92	98	97	97	96
7	99	98	100	97	97	98	96	96	98	98	97	96	98	99	98	92	98	98	97	96
10	99	99	100	97	99	98	96	98	99	98	98	97	98	99	99	100	99	98	99	98
Differenzen zum Standard [%]																				
3		7	4	-2		12	10	-14		-1	-1	-1		21	16	7		8	5	-1
4		-2	0	-4		-2	-6	-2		2	-2	-23		1	1	-4		-2	-4	-5
5		-1	2	-1		0	-1	-1		2	1	-2		1	0	-6		-1	-2	-3
6		-2	1	-2		1	-1	-1		1	0	-2		1	0	-6		-1	-1	-2
7		-1	1	-2		1	-1	-1		0	-1	-2		1	0	-6		0	-1	-2
10		0	1	-2		-1	-3	-1		-1	-1	-2		1	1	2		-1	0	-1

**Tabelle 41.** Auflauf von Mais bei einer Bodenfeuchtigkeit von 60 % Wkmax in verschiedenen Erdsubstraten nach Behandlung mit Clothianidin (Clo), Imidacloprid (Imi) und Thiamethoxam (Thia) (1.0 mg ai/Karyopse), darunter Differenzen zum Standard.

I = Sand, II = Lehmiger Sand, III = Sandiger Lehm, IV = Toniger Lehm, V = Lehmiger Ton

rot: Auflaufwert ist um mehr als 5 % geringer als der Standard, blau: Auflaufwert ist um mehr als 5 % größer als der Standard

#### Boden I = Sand

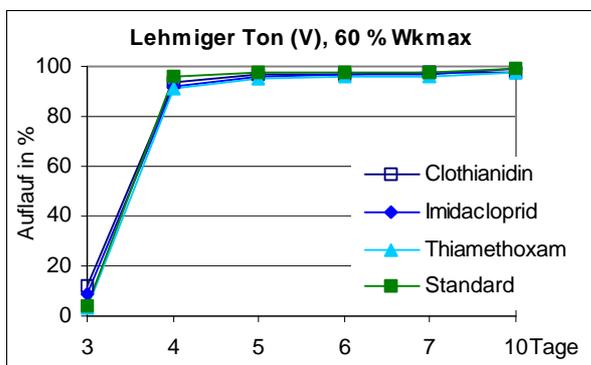
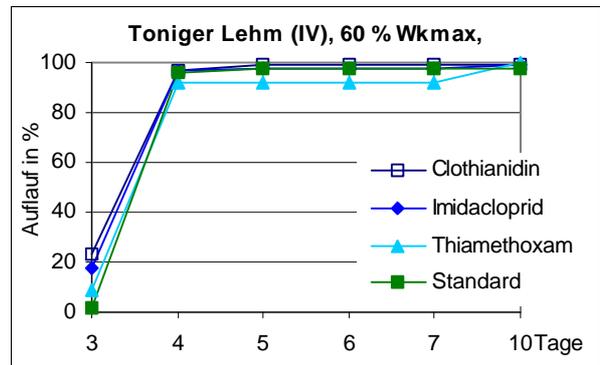
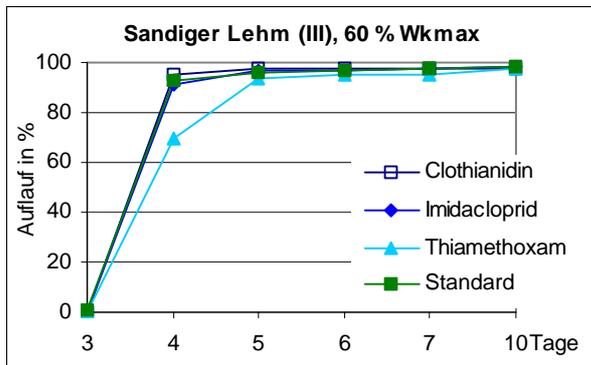
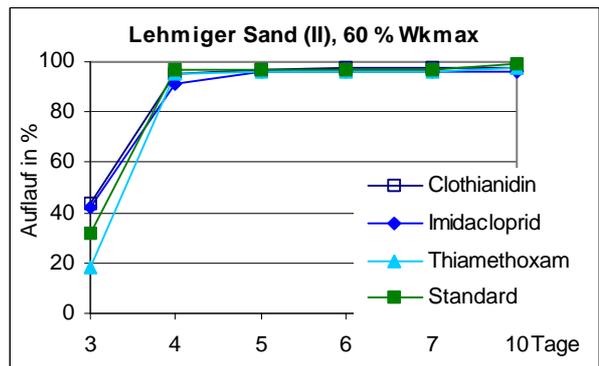
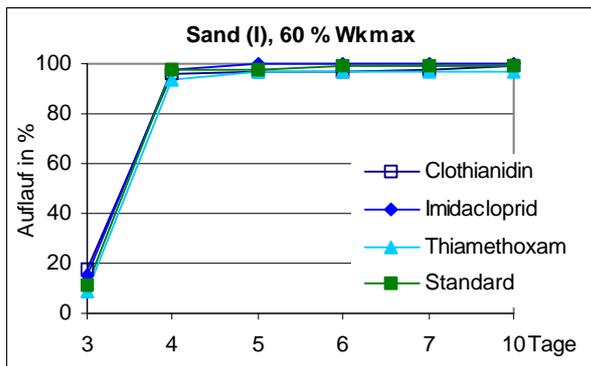
Am 3. Tag waren nur geringfügige Unterschiede im Auflauf sichtbar, wobei Clothianidin mit 18 % den höchsten Wert erreichte, gefolgt von Imidacloprid mit 15 %, dem Standard mit 11 % und Thiamethoxam mit 9 % (Tabelle 41, Abbildung 75). Am 4. Tag waren nahezu keine

Unterschiede zwischen den Behandlungsvarianten zu erkennen. Alle Proben hatten bereits am 5. Tag einen Gesamtauflauf über 97 % erreicht.

**Boden II = Lehmiger Sand**

Am 3. Tag konnten leichte Unterschiede zwischen den Behandlungen erkannt werden. Der Auflauf betrug 44 % bei Clothianidin, 42 % bei Imidacloprid, 32 % beim Standard und 18 % bei Thiamethoxam (Tabelle 41, Abbildung 75).

Der Standard erreichte am 4. Tag 97 %, Clothianidin und Thiamethoxam 95 % und Imidacloprid 91 %. Bereits am 5. Tag wurden keinerlei Unterschiede mehr zwischen den insektizidbehandelten Varianten und dem Standard verzeichnet, der Endauflauf war hier bereits erreicht.



**Abbildung 75.** Auflauf von Maissaatgut bei einer Bodenfeuchtigkeit von 60 % Wkmax in verschiedenen Erds substraten nach Behandlung mit Clothianidin, Imidacloprid und Thiamethoxam (1.0 mg ai/Karyopse)

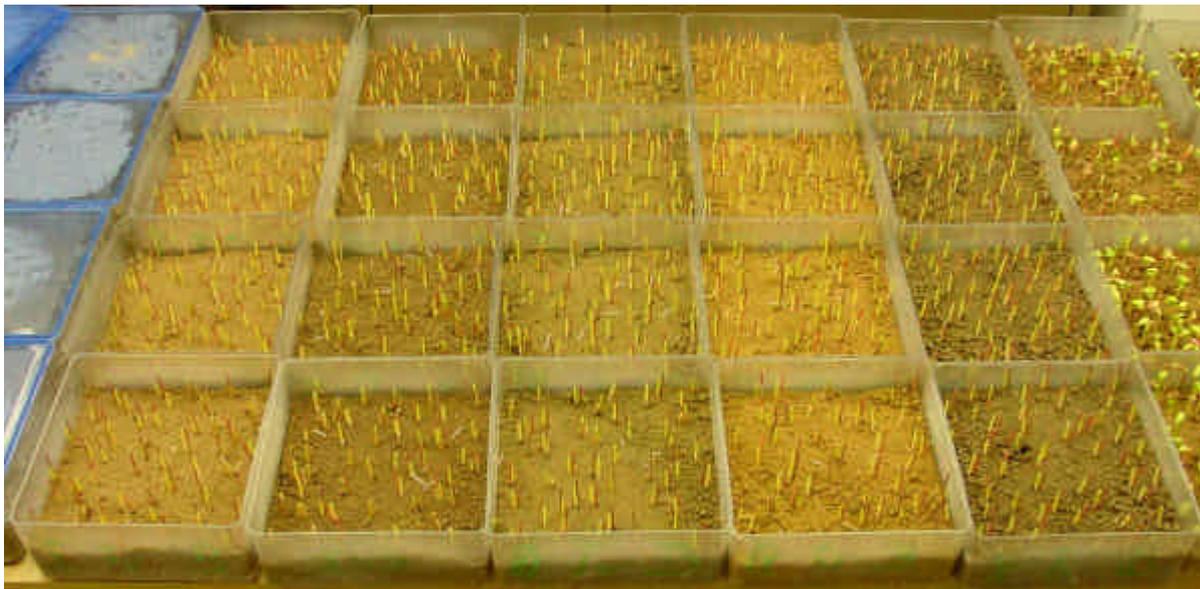
### Boden III = Sandiger Lehm

Während am 3. Tag noch keine Keimlinge zu sehen waren, wurde bereits am 4. Tag der Endauflauf erreicht (Tabelle 41, Abbildung 75). Dabei konnte ein Auflauf von 95 % bei Clothianidin, 93 % beim Standard, 91 % bei Imidacloprid festgestellt werden, während er bei Thiamethoxam nur 70 % betrug und sich deutlich differenzierte. Bereits am 5. Tag schloss sich jedoch Thiamethoxam den anderen Werten an. An diesem Tag wurde, unabhängig von der Behandlung, mit mehr als 94 % der Gesamtauflauf von allen Proben erreicht.

### Boden IV = Toniger Lehm

In Boden IV waren am 3. Tag bereits Unterschiede im Auflauf der Proben zu beobachten. Clothianidin lag mit einem Auflaufwert von 23 % und Imidacloprid mit 18 % deutlich, Thiamethoxam mit 9 % geringfügig über dem Wert des Standards (Tabelle 41, Abbildung 75).

Der Auflauf stieg zum 4. Tag sprunghaft an und erreichte mit 97 % bei Imidacloprid und Clothianidin, 96 % beim Standard und 92 % bei Thiamethoxam vergleichbare Werte. Der am 5. Tag festgestellte Endauflauf lag für alle Behandlungen, außer Thiamethoxam über 98 %. Dieser Wirkstoff erreichte den Wert des Standards erst am 10. Tag.



**Abbildung 76.** Auflauf von Mais mit Chloronicotinylen behandelt bei 60 % Wkmax in verschiedenen Böden, am 4. Tag.

Von links nach rechts: I = Sand, II = Lehmiger Sand, III = Sandiger Lehm, IV = Toniger Lehm, V = Lehmiger Ton  
von oben nach unten: je 1 mg Thiamethoxam, Imidacloprid, Clothianidin, Standard

### Boden V = Lehmiger Ton

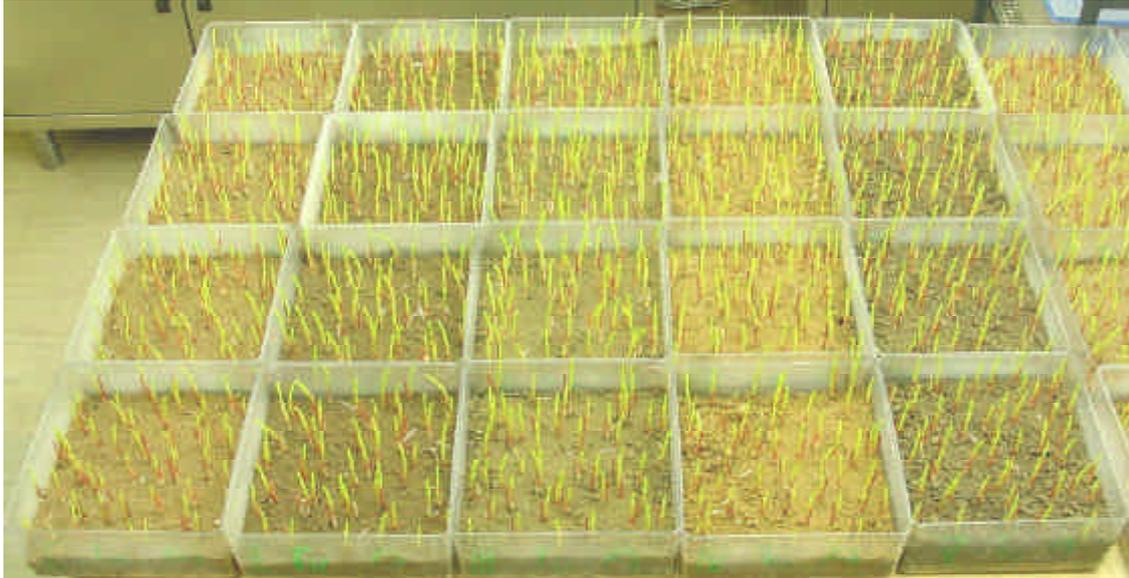
Auch in Boden V war am 3. Tag bei Clothianidin mit 12 % ein leicht höherer Auflauf als beim Standard mit 4 % zu verzeichnen, während sich Imidacloprid und Thiamethoxam nicht von diesem unterschieden (Tabelle 41, Abbildung 75).

Bei 60 % der maximalen Wasserkapazität erfolgte das Auflaufen in allen Böden und bei allen Behandlungen aufgrund der guten Wasserversorgung der quellenden Karyopsen und jungen Keimlinge sehr rasch. Der Endauflauf erreichte bei allen Behandlungen und in allen Böden über 98 %.

## Ergebnisse

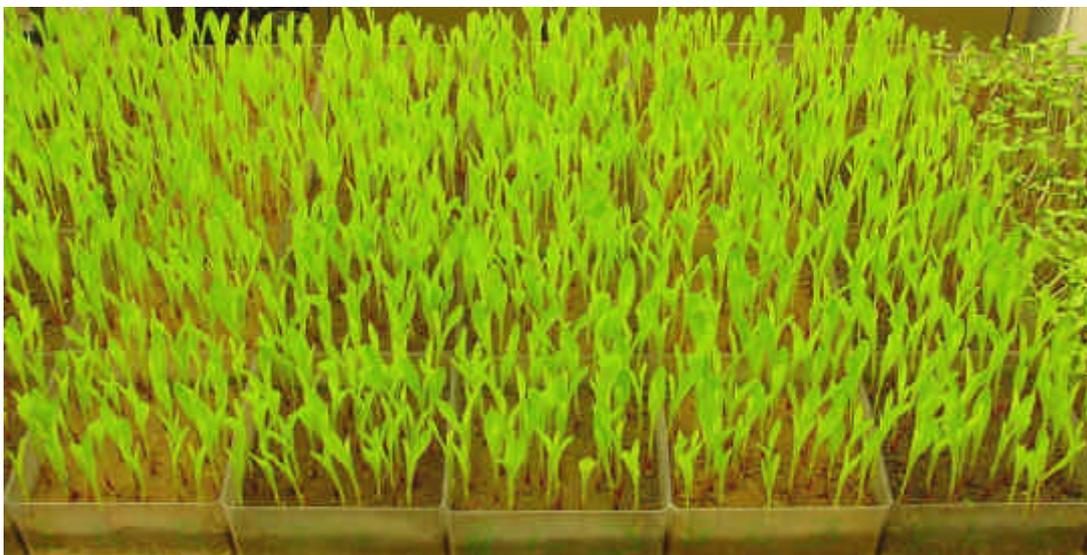
Bei dieser Feuchte ließen sich bei den fünf Böden nur sehr geringe Unterschiede zwischen den verschiedenen insektiziden Wirkstoffen erkennen. Mit Ausnahme des Thiamethoxam förderten alle Insektizide den Auflauf der Keimlinge geringfügig.

Die Unterschiede waren fallweise am 3. Tag, nur beim Sandigen Lehm am 4. Tag, deutlich ausgeprägt. Wie (Abbildung 75, Abbildung 77) zu entnehmen ist wurden mit Ausnahme des Tonigen Lehms bereits am 5. Tag in allen Varianten die Endauflaufwerte erreicht.



**Abbildung 77.** Auflauf von Mais mit Chloronicotylen behandelt bei 60 % Wkmax in verschiedenen Böden, am 5. Tag.

Von links nach rechts: I = Sand, II = Lehmiger Sand, III = Sandiger Lehm, IV = Toniger Lehm, V = Lehmiger Ton  
von oben nach unten: je 1 mg Thiamethoxam, Imidacloprid, Clothianidin, Standard



**Abbildung 78.** Auflauf von Mais mit Chloronicotylen behandelt bei 60 % Wkmax in verschiedenen Böden, am 7. Tag.

Von links nach rechts: I = Sand, II = Lehmiger Sand, III = Sandiger Lehm, IV = Toniger Lehm, V = Lehmiger Ton  
von oben nach unten: je 1 mg Thiamethoxam, Imidacloprid, Clothianidin, Standard

Bei 60 % Wkmax ist eine gute Wasserversorgung gewährleistet, lediglich im Sandigen Lehm (III) kann eine kurzzeitige Auflaufverzögerung durch Thiamethoxam festgestellt werden, die jedoch sehr rasch wieder ausgeglichen ist (Abbildung 78). Bei 50 % Wkmax fördert

Clothianidin in allen Böden, bis auf III, den Auflauf leicht. Ebenso fördert Imidacloprid oder ist ohne Einfluss, während Thiamethoxam bei Boden II, III und IV eine deutliche und bei V eine geringfügige verzögernde Wirkung auf das Auflaufergebnis hat. Bei 40 % und 30 % Wkmax kommt der Trockenstress zum Tragen, der fallweise die Werkstoffeinflüsse überlagert.

### Auflauf zu Versuchsabschluss

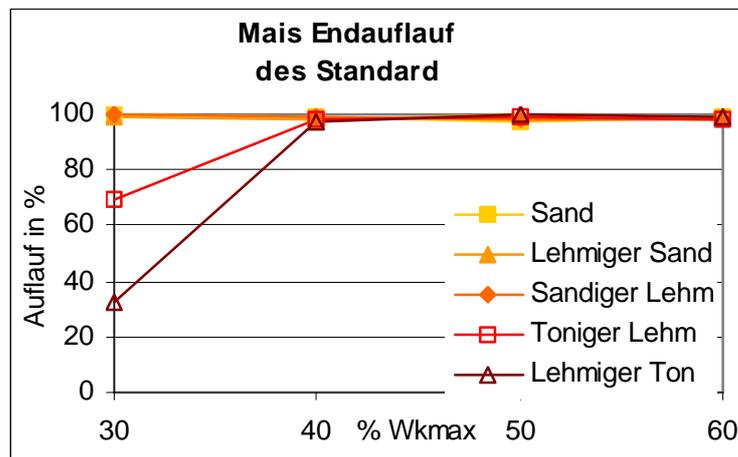


Abbildung 79. Auflaufwerte von Mais Standard zu Versuchsabschluss am 10. Tag

Der Einfluss des Bodens und der Feuchtigkeit zeigt sich deutlich im Gesamtauflauf des Standards (Abbildung 79). So konnte der Mais unter den trockeneren Bedingungen in den schweren tonhaltigen Böden seine volle Pflanzenzahl nicht erreichen. Erst bei 40 % Wkmax war in allen fünf Bodenarten ausreichend pflanzenverfügbares Wasser vorhanden.

### 3.3 Wirkstoffe Chloronicotinyle: Clothianidin, Imidacloprid und Thiamethoxam, Testorganismus Sonnenblume (*Helianthus annuus* L.)

#### 3.3.1 Systematischer Vergleich mit verschiedenen Böden und Feuchten im Auflaufverfahren

Die Sonnenblume wurde als Vertreter der dikotylen Pflanzen wegen ihres Keimungstyps herangezogen, den auch andere große Kulturarten wie *Brassica*, *Glycine* und *Phaseolus* aufweisen. Von besonderem Interesse war hier, ob sich Unterschiede der Reaktion von Monokotylen und Dikotylen auf die Behandlung mit den Insektiziden zeigen.

Die Samen der Sonnenblume sind Achänen ohne Endosperm bei denen der Embryo fleischige Speicherkotyledonen besitzt. Bei dieser epigäisch keimenden dikotylen Pflanze verbleibt die Samenschale nicht im Boden, sondern erhebt sich durch die Streckung des Hypokotyls

während der Keimung zusammen mit den Kotyledonen über die Erdoberfläche und wird bei der Entfaltung der Kotyledonen von diesen abgestreift.

Bei dieser Art ist die Wahl der Saatchichte produktionstechnisch von größter Bedeutung, da die Einzelpflanzen auf eine zunehmende Konkurrenzsituation mit einer Abnahme des Achänengewichtes und der Achänenzahl reagieren. Der Flächenertrag steigt mit zunehmender Pflanzendichte bis zu einem Optimum, um sodann wieder abzufallen (Diepenbrock et al., 1999). Daher ist es hier von besonderer Bedeutung den zu erwartenden Auflauf möglichst exakt zu planen.

Imidacloprid ist im Sonnenblumenanbau seit über 10 Jahren erfolgreich im Einsatz und erwies durch seine gute wurzelsystemische Eigenschaft eine gute Eignung zur Bekämpfung solcher virenübertragenden Blattläuse, die sich einer Behandlung mit Pyrethroiden entziehen (Schmuck, 1999).

Auch die Sonnenblume gedeiht in sehr unterschiedlichen Bodenarten gut. So sind alle mineralischen Böden, mit Ausnahme sehr flachgründiger oder extrem kalter und schwerer Böden für den Anbau von Sonnenblume geeignet (Krüger, 2003). Daher sollte auch mit der Sonnenblume die Wirkung der Chloronicotinyne sowie die Abhängigkeiten derselben von Bodenart und Feuchtigkeit auf die Frühentwicklung untersucht werden.



**Abbildung 81.** Entwicklung der epigäisch keimenden Sonnenblume mit gut entwickelter Hauptwurzel und kräftigen Nebenwurzeln, vom 2. bis zum 5. Tag. Nach dem Öffnen des Hypokotylhakens streift die Sonnenblume die Testa oberirdisch ab, um sodann ihre Keimblätter zu entfalten

Zur Prüfung des Wirkstoffeinflusses der Chloronicotinyne auf das Auflaufverhalten wurde dasselbe Testsystem wie bei Mais eingesetzt. Im Erdschalentest wurden die fünf Bodenarten Sand (Boden I), Lehmiger Sand (Boden II), Sandiger Lehm (Boden III), Toniger Lehm (Boden IV) und Lehmiger Ton (Boden V) verwendet. Der Einfluss des Wirkstoffs wurde für jede Bodenart bei einem Wassergehalt von 30 %, 40 %, 50 % und 60 % der maximalen Wasserkapazität ( $W_{kmax}$ ) untersucht. Angesetzt wurden jeweils 1 x 100 Sonnenblumen-Achänen. Die Wirkstoffapplikation betrug 1 mg Wirkstoff/Achäne.

**Sonnenblume:** Capella  
**Behandlung:** Fungizidbehandlung (= Standard), jeweils 1 mg Clothianidin, Imidacloprid und Thiamethoxam  
**Anzahl:** 100 Achänen  
**Substrat:** Sand, Lehmiger Sand, Sandiger Lehm, Toniger Lehm und Lehmiger Ton, bei 30 %, 40 %, 50 % und 60 % Wkmax, gegossen  
**Inkubation:** 20°C, Wechsellicht  
**Beobachtung:** Auflauf täglich vom 3. bis zum 7. Tag, sowie am 10. Tag

### 3.3.1.1 Boden I - V, 30 % der maximalen Wasserkapazität

#### Auflauf

Unter diesen recht trockenen Versuchsbedingungen lief die Sonnenblume mit zunehmender Schwere der Böden immer stärker verzögert auf. Die geringe Wasserverfügbarkeit bei dieser Feuchtigkeitsstufe führte dazu, dass die Keimlinge in allen Versuchen erst am vierten Tag erschienen (Tabelle 42, Abbildung 82, Abbildung 83) und eine deutliche Differenzierung nur im Boden V erkennen ließen.

	Boden																			
	I				II				III				IV				V			
	S	Clo	Imi	Thia	S	Clo	Imi	Thia	S	Clo	Imi	Thia	S	Clo	Imi	Thia	S	Clo	Imi	Thia
4	78	85	67	80	56	58	50	37	9	4	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0
5	87	89	85	88	90	91	93	83	66	71	56	60	0	1	0	0	3	0	0	0
6	87	89	89	92	90	91	93	87	79	86	79	80	1	1	1	0	3	0	5	3
7	88	89	89	92	90	92	94	90	82	89	82	83	0	4	1	3	8	0	7	4
10	90	91	89	92	96	95	96	93	95	94	91	94	31	28	35	34	14	0	8	6
Differenzen zum Standard [%]																				
4		7	-11	2		2	-6	-19		-5	-8	-7		0	0	0	0	0	0	0
5		2	-2	1		1	3	-7		5	-10	-6		1	0	0	-3	-3	-3	-3
6		2	2	5		1	3	-3		7	0	1		0	0	-1	-3	2	0	-3
7		1	1	4		2	4	0		7	0	1		4	1	3	-8	-1	-4	-8
10			-1	2		-1	0	-3			-4	-1		-3	4	3	-14	-6	-9	-14

**Tabelle 42.** Auflauf von Sonnenblumensaatgut [%] bei einer Bodenfeuchtigkeit von 30 % Wkmax in verschiedenen Erdsubstraten nach Behandlung mit Fungizid (=Standard), Clothianidin, Imidacloprid und Thiamethoxam (je 1.0 mg ai/Achäne), darunter Differenzen zum Standard.

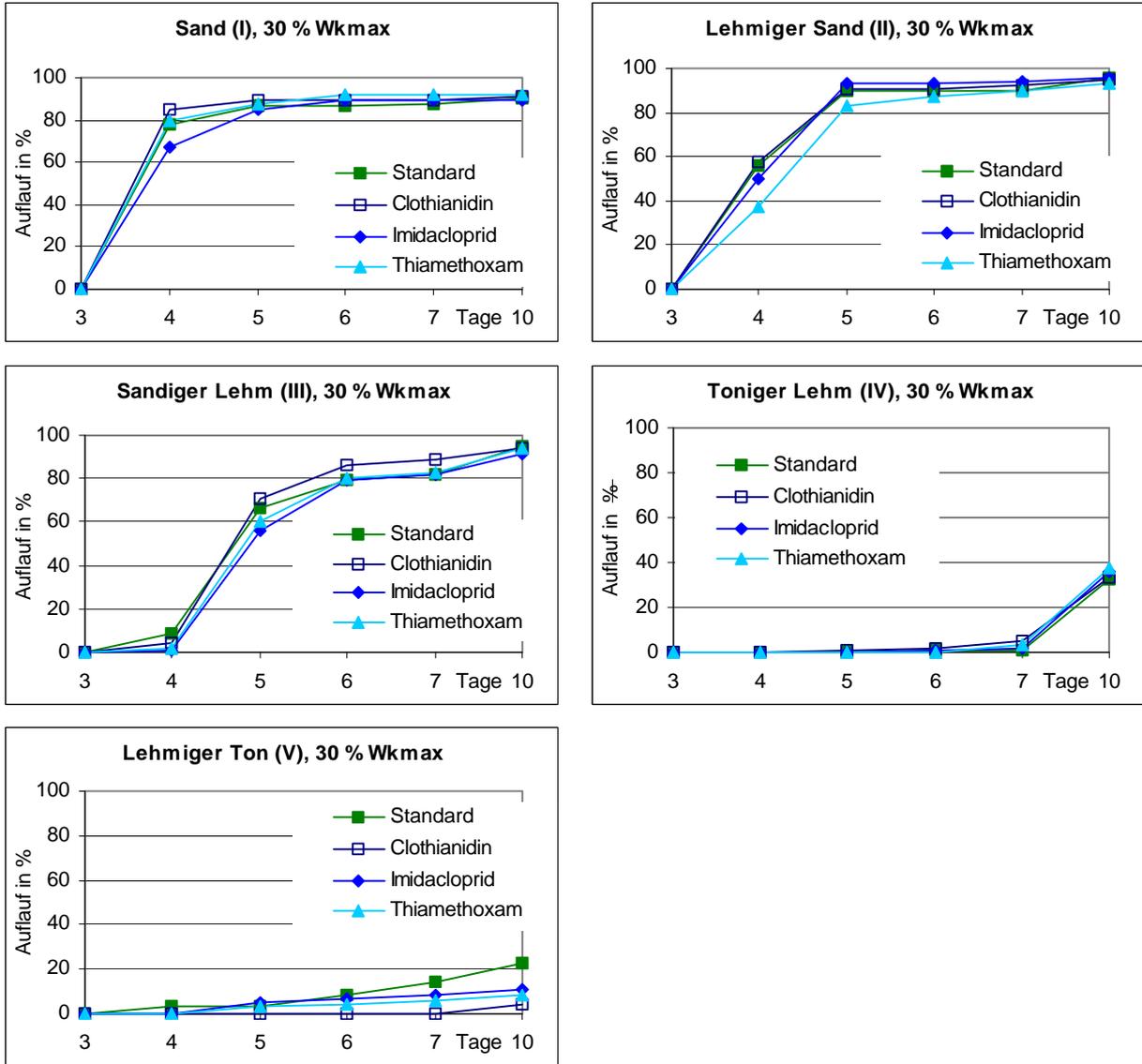
I = Sand, II = Lehmiger Sand, III = Sandiger Lehm, IV = Toniger Lehm, V = Lehmiger Ton  
 rot: Auflaufwert ist um mehr als 5 % geringer als der Standard, blau: Auflaufwert ist um mehr als 5 % größer als der Standard

#### Boden I = Sand

Der Standard erreichte am 4. Tag 78 %, ein Wert der von Clothianidin um 7 % leicht übertroffen wurde, während Thiamethoxam vergleichbar war und Imidacloprid um 11 % geringfügig darunter lag. Bereits ab dem nächsten Tag betrug der Unterschied zum Standard von 87 % maximal 10 Prozentpunkte nach oben und unten und zum Versuchsende fand sich kein Unterschied mehr (Tabelle 42, Abbildung 82).

**Boden II = Lehmiger Sand**

Im Lehmigen Sand ließ sich ein vergleichbares Muster wie im Sand erkennen, jedoch lagen die Werte am 4. Tag etwa 30 % niedriger. Die Differenzen zum Standard von 56 % betragen + 2 % bei Clothianidin, - 16 % bei Imidacloprid und - 19 % bei Thiamethoxam (Tabelle 42, Abbildung 82). Am 5. Tag erzielten alle Varianten außer Thiamethoxam (-10 %) den Wert des Standard mit 90 %.



**Abbildung 82.** Auflauf von Sonnenblumensaatgut bei einer Bodenfeuchtigkeit von 30 % Wkmax in verschiedenen Erdsubstraten nach Behandlung mit Fungizid (=Standard), Clothianidin, Imidacloprid und Thiamethoxam (je 1.0 mg ai/Samen)

**Boden III = Sandiger Lehm**

Im Vergleich zu Boden II war der Auflauf hier um einen weiteren Tag verzögert, da selbst der Standard am 4. Tag nur 9 % erreichte. Folglich zeigte sich erst am 5. Tag eine leichte Differenzierung. Der Standard erreichte 66 %, Clothianidin lag 5 % darüber und Thiamethoxam sowie Imidacloprid 6 % bzw. - 10 % darunter (Tabelle 42, Abbildung 82). Am 6. Tag hatte der Standard 79 % erreicht, denselben Wert wie Imidacloprid und

Thiamethoxam, während Clothianidin mit 86 % schwach darüber lag. Am 7. Tag waren die Werte noch dichter beieinander und betrug zu Versuchsende zwischen 91 % und 95 %.



**Abbildung 83.** Auflauf von Sonnenblume mit Chloronicotylen behandelt bei 30 % Wkmax in verschiedenen Böden, am 4. Tag.

Von links nach rechts: I = Sand, II = Lehmiger Sand, III = Sandiger Lehm, IV = Toniger Lehm, V = Lehmiger Ton  
von oben nach unten: je 1 mg Thiamethoxam, Imidacloprid, Clothianidin, Standard

### **Boden IV = Toniger Lehm**

In diesem Boden hatte bei 30 % der maximalen Wasserkapazität am 5. Tag erst ein einziger Keimling die Substratoberfläche durchbrochen (Tabelle 42, Abbildung 82, Abbildung 83). Zu Versuchsabschluss waren beim Standard 31 % und bei allen Insektizidbehandlungen vergleichbar viele Keimlinge aufgelaufen.



**Abbildung 84.** Auflauf von Sonnenblume mit Chloronicotylen behandelt bei 30 % Wkmax in verschiedenen Böden, am 7. Tag.

Von links nach rechts: I = Sand, II = Lehmiger Sand, III = Sandiger Lehm, IV = Toniger Lehm, V = Lehmiger Ton  
von oben nach unten: je 1 mg Thiamethoxam, Imidacloprid, Clothianidin, Standard

### **Boden V = Lehmiger Ton**

Die Entwicklung ist mit Boden IV vergleichbar, nur dass die Auflaufverzögerungen hier noch drastischer waren. Am 4. Tag wurden beim Standard nur 3 % aufgelaufene Keimlinge

verzeichnet. Bei Versuchsabschluss hatte dieser gerade 23 % erreicht, gefolgt von Imidacloprid mit 11 %, Thiamethoxam 9 % und Clothianidin 4 % (Tabelle 42, Abbildung 82, Abbildung 83).

Bei 30 % Wkmax war in allen Böden außer dem Sand eine generelle Wachstumsverzögerung festzustellen, die sich mit zunehmender Schwere der Böden verstärkte. Die trockenen Versuchsbedingungen wurden durch die bodenabhängige Pflanzenverfügbarkeit des Wassers noch verschärft, sodass bis zum Versuchsabschluss Unterschiede im Auflauf erkennbar waren (Tabelle 42, Abbildung 84).

### 3.3.1.3 Boden I - V, 40 % der maximalen Wasserkapazität

#### Auflauf

Grundsätzlich finden sich bei allen Böden vergleichbare Auflaufkurven, die eine Verzögerung mit zunehmender Schwere der Böden erkennen lassen (Tabelle 43, Abbildung 85, Abbildung 86).

	Boden																			
	I				II				III				IV				V			
	S	Clo	Imi	Thia	S	Clo	Imi	Thia	S	Clo	Imi	Thia	S	Clo	Imi	Thia	S	Clo	Imi	Thia
3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	83	73	54	57	83	78	71	73	87	89	81	76	46	49	45	28	47	42	22	33
5	91	81	82	81	91	88	88	92	91	92	90	86	76	82	70	67	79	84	71	77
6	93	84	84	85	94	91	92	94	91	93	93	88	84	90	86	80	89	92	86	85
7	93	85	86	86	94	91	94	94	92	93	93	88	86	91	91	82	91	92	89	86
10	93	89	89	89	94	91	95	94	94	95	94	90	89	94	91	89	92	94	89	95
Differenzen zum Standard [%]																				
3		0	0	0		0	0	0		-1	-1	-1		0	0	0		0	0	0
4		-10	-29	-26		-5	-12	-10		2	-6	-11		3	-1	-18		-5	-25	-14
5		-10	-9	-10		-3	-3	1		1	-1	-5		6	-6	-9		5	-8	-2
6		-9	-9	-8		-3	-2	0		2	2	-3		6	2	-4		3	-3	-4
7		-8	-7	-7		-3	0	0		1	1	-4		5	5	-4		1	-2	-5
10			-4	-4		-3	1	0			0	-4		5	2	0		2	-3	3

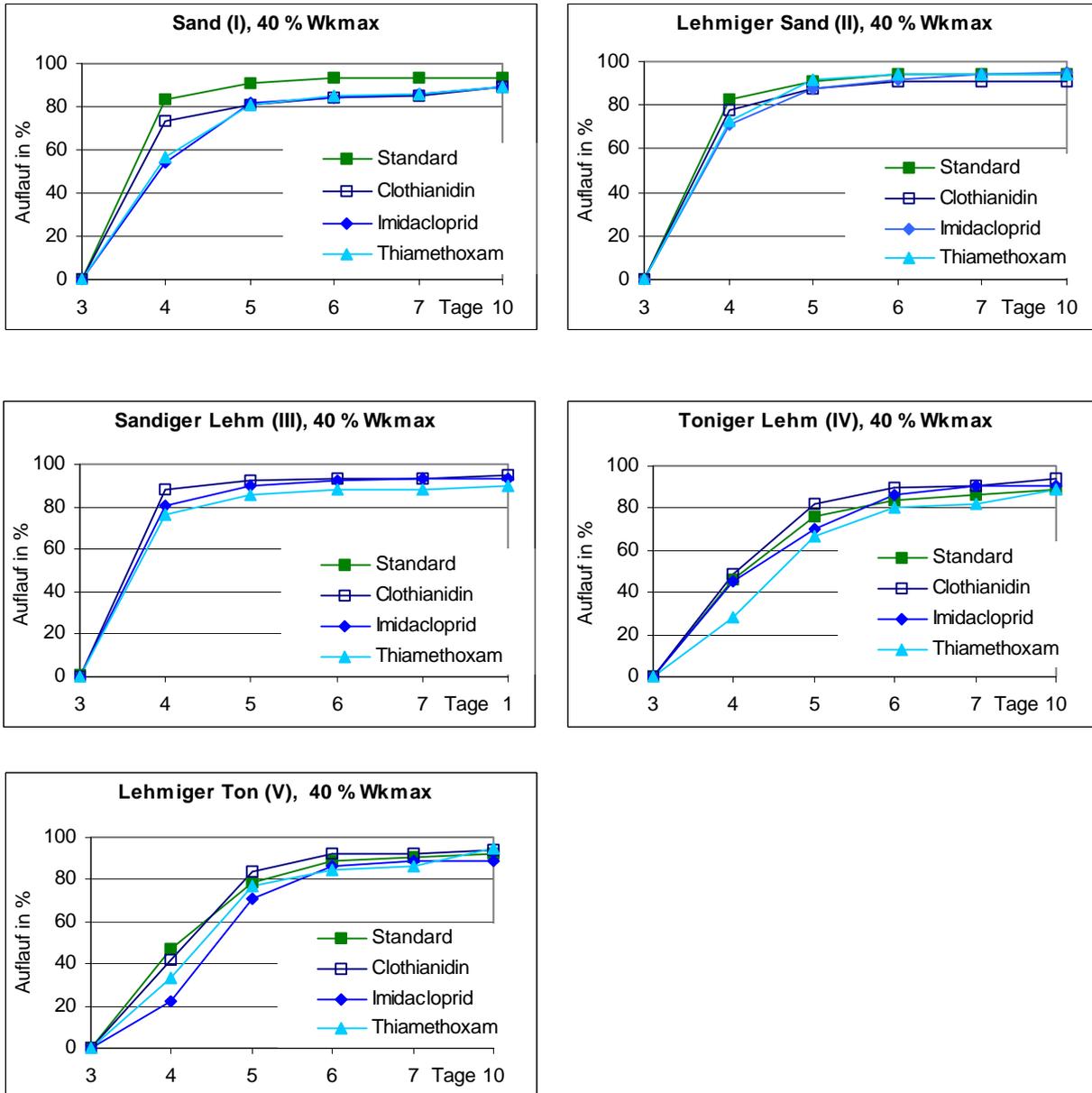
**Tabelle 43.** Auflauf von Sonnenblumensaatgut [%] bei einer Bodenfeuchtigkeit von 40 % Wkmax in verschiedenen Erdsubstraten nach Behandlung mit Fungizid (=Standard), Clothianidin, Imidacloprid und Thiamethoxam (je 1.0 mg ai/Achäne), darunter Differenzen zum Standard.

I = Sand, II = Lehmiger Sand, III = Sandiger Lehm, IV = Toniger Lehm, V = Lehmiger Ton

rot: Auflaufwert ist um mehr als 5 % geringer als der Standard, blau: Auflaufwert ist um mehr als 5 % größer als der Standard

#### Boden I = Sand

Am 4. Tag erreichte der Standard einen Auflaufwert von 83 %, mit einer geringen Differenz von 10 % zu Clothianidin, 26 % zu Thiamethoxam und 29 % zu Imidacloprid (Tabelle 43, Abbildung 85). Am 5. Tag lagen die Insektizide immer noch leicht (10 %) unter dem Standard (91 %). Bis zum 10. Versuchstag steigerte sich der Auflauf, sodass zu Versuchsende, an dem der Standard 93 % erreichte, keine Differenzen mehr vorlagen.



**Abbildung 85.** Auflauf von Sonnenblumensaatgut bei einer Bodenfeuchtigkeit von 40 % Wkmax in verschiedenen Erdsubstraten nach Behandlung mit Fungizid (= Standard), Clothianidin, Imidacloprid und Thiamethoxam (je 1.0 mg ai/Achäne)

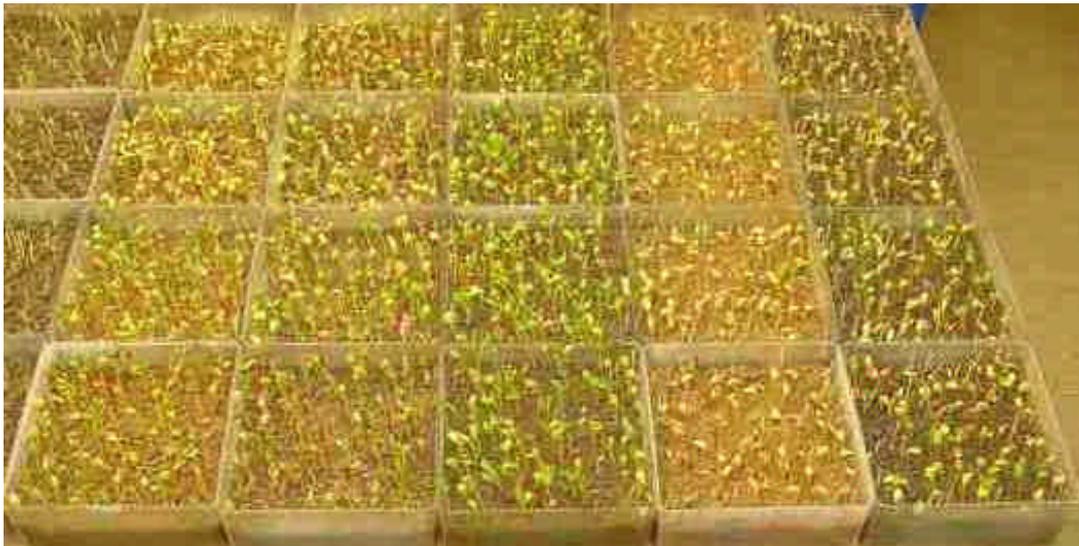
### Boden II = Lehmiger Sand

In Boden II verlief die Keimlingsentwicklung zügiger als in Boden I. So wurden am 4. Tag beim Standard 83 % festgestellt, gleichauf lag Clothianidin mit einer Differenz von 5 % während Thiamethoxam mit 10 % und Imidacloprid mit 12 % leicht darunter lagen (Tabelle 43, Abbildung 85). Vom 5. Tag an waren die Unterschiede zwischen Standard und

Insektizidvarianten mit maximal 4 % unerheblich. Ab dem 6. Tag erschienen nur noch einzelne Pflanzen, sodass ein Endauflauf über 91 % erreicht wurde.

### **Boden III = Sandiger Lehm**

Insgesamt glich das Auflaufverhalten stark dem bei Boden II beschriebenen. Am 4. Tag wurden nur geringe Unterschiede zwischen den Behandlungsvarianten Imidacloprid und Thiamethoxam erkennbar, mit 87 % beim Standard einer Differenz von + 2 % bei Clothianidin, - 6 % bei Imidacloprid und - 11 % bei Thiamethoxam (Tabelle 43, Abbildung 85). Ab dem 5. Tag war der Auflauf bei allen Varianten ausgeglichen. Zu Versuchsende, am 10. Tag, hatten alle drei Chloronicotinylen mit 94 % einen vergleichbaren Wert wie der Standard..



**Abbildung 86.** Auflauf von Sonnenblume mit Chloronicotinylen behandelt bei 40 % Wkmax in verschiedenen Böden, am 5. Tag.

Von links nach rechts: I = Sand, II = Lehmiger Sand, III = Sandiger Lehm, IV = Toniger Lehm, V = Lehmiger Ton  
von oben nach unten: je 1 mg Thiamethoxam, Imidacloprid, Clothianidin, Standard

### **Boden IV = Toniger Lehm**

Die Behandlungsvarianten unterschieden sich am 4. Tag klar, mit 46 % beim Standard, vergleichbar mit Clothianidin und Imidacloprid, während Thiamethoxam um 18 % darunter lag (Tabelle 43, Abbildung 85). Am 5. Tag hatte der Auflauf des Standard 76 % erreicht und wurde durch Clothianidin mit 6 % geringfügig übertroffen, während ihm Imidacloprid mit 6 % Unterschied und Thiamethoxam mit 9 % niedrigeren Werten folgten. Mit 84 % erzielte der Standard ab dem 6. Tag einen mit Imidacloprid und Thiamethoxam vergleichbaren Wert und wurde von Clothianidin abermals um 6 % leicht übertroffen. Am 7. Tag verringerten sich die Unterschiede zwischen den Behandlungen noch weiter, sodass am 10. Tag der Endauflaufwert des Standards von 89 %, mit allen drei Insektiziden vergleichbar war.

### **Boden V = Lehmiger Ton**

Wie in Boden IV war auch hier eine generelle Verzögerung erkennbar. Jedoch war die Wirkstoffdifferenzierung am 4. Tag deutlicher ausgeprägt, indem zum Standard mit 47 % zunächst Clothianidin mit 5 %, dann Thiamethoxam mit 14 % und Imidacloprid mit 25 % Differenz folgte (Tabelle 43, Abbildung 85). Diese verringerte sich am folgenden Tag, sodass

## Ergebnisse

sie maximal noch 8 % betrug und nahm im weiteren Versuchsverlauf stetig ab. So zeigten der Auflauf des Standard und der Insektizide am 10. Tag vergleichbare Werte um 92 %.

War bei 40 % Wkmax am 3. Tag erst ein einziger Keimling aufgelaufen, so erreichten die drei leichteren Böden am 4. und die Schweren am 5. Tag Werte über 80 %. Auch bei 40 % der maximalen Wasserkapazität machte sich also die unterschiedliche Wasserhaltefähigkeit der Böden deutlich bemerkbar. In Boden I, II und III wurde am 4. Tag schon ein Auflauf zwischen 60 % und 80 % erreicht, während in Boden IV und V dieses Niveau unabhängig von der Behandlung erst nach 5 Tagen erzielt werden konnte (Tabelle 43, Abbildung 85). Eine deutliche Wirkung der Insektizide zeigte sich in Boden I und V, länger anhaltende Unterschiede waren aber auch in den Böden I, IV und V erkennbar.

### 3.3.1.4 Boden I - V, 50 % der maximalen Wasserkapazität

#### Auflauf

Bei dieser Feuchtigkeitsstufe waren in den leichten Böden I, II und III bereits am 3. Tag Keimlinge an der Erdoberfläche sichtbar, während der Auflauf bei den schweren Böden verzögert war (Tabelle 44, Abbildung 87, Abbildung 88).

	Boden																			
	I				II				III				IV				V			
	S	Clo	Imi	Thia	S	Clo	Imi	Thia	S	Clo	Imi	Thia	S	Clo	Imi	Thia	S	Clo	Imi	Thia
<b>3</b>	39	18	14	17	27	21	6	9	7	24	6	5	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>4</b>	85	84	73	82	89	80	68	79	77	73	64	58	68	73	74	71	81	76	46	73
<b>5</b>	88	85	83	88	91	85	83	85	87	83	79	72	82	86	86	83	88	83	78	90
<b>6</b>	88	85	84	89	93	86	85	86	92	87	79	77	88	90	89	86	89	85	81	91
<b>7</b>	88	85	87	90	93	86	85	86	93	88	85	81	89	93	91	87	91	87	81	93
<b>10</b>	88	85	89	92	93	86	85	86	97	99	96	91	95	95	95	94	96	90	85	95
Differenzen zum Standard [%]																				
<b>3</b>		-21	-25	-22		-6	-21	-18		17	-1	-2		0	0	0		0	0	0
<b>4</b>		-1	-12	-3		-9	-21	-10		-4	-13	-19		5	6	3		-5	-35	-8
<b>5</b>		-3	-5	0		-6	-8	-6		-4	-8	-15		4	4	1		-5	-10	2
<b>6</b>		-3	-4	1		-7	-8	-7		-5	-13	-15		2	1	-2		-4	-8	2
<b>7</b>		-3	-1	2		-7	-8	-7		-5	-8	-12		4	2	-2		-4	-10	2
<b>10</b>		-3	1	4		-7	-8	-7		2	-1	-6		0	0	-1		-6	-11	-1

**Tabelle 44.** Auflauf von Sonnenblumensaatgut [%] bei einer Bodenfeuchtigkeit von 50 % Wkmax in verschiedenen Erds substraten nach Behandlung mit Fungizid (= Standard), Clothianidin, Imidacloprid und Thiamethoxam (je 1.0 mg ai/Achänen), darunter Differenzen zum Standard.

I = Sand, II = Lehmgiger Sand, III = Sandiger Lehm, IV = Toniger Lehm, V = Lehmgiger Ton

rot: Auflaufwert ist um mehr als 5 % geringer als der Standard,

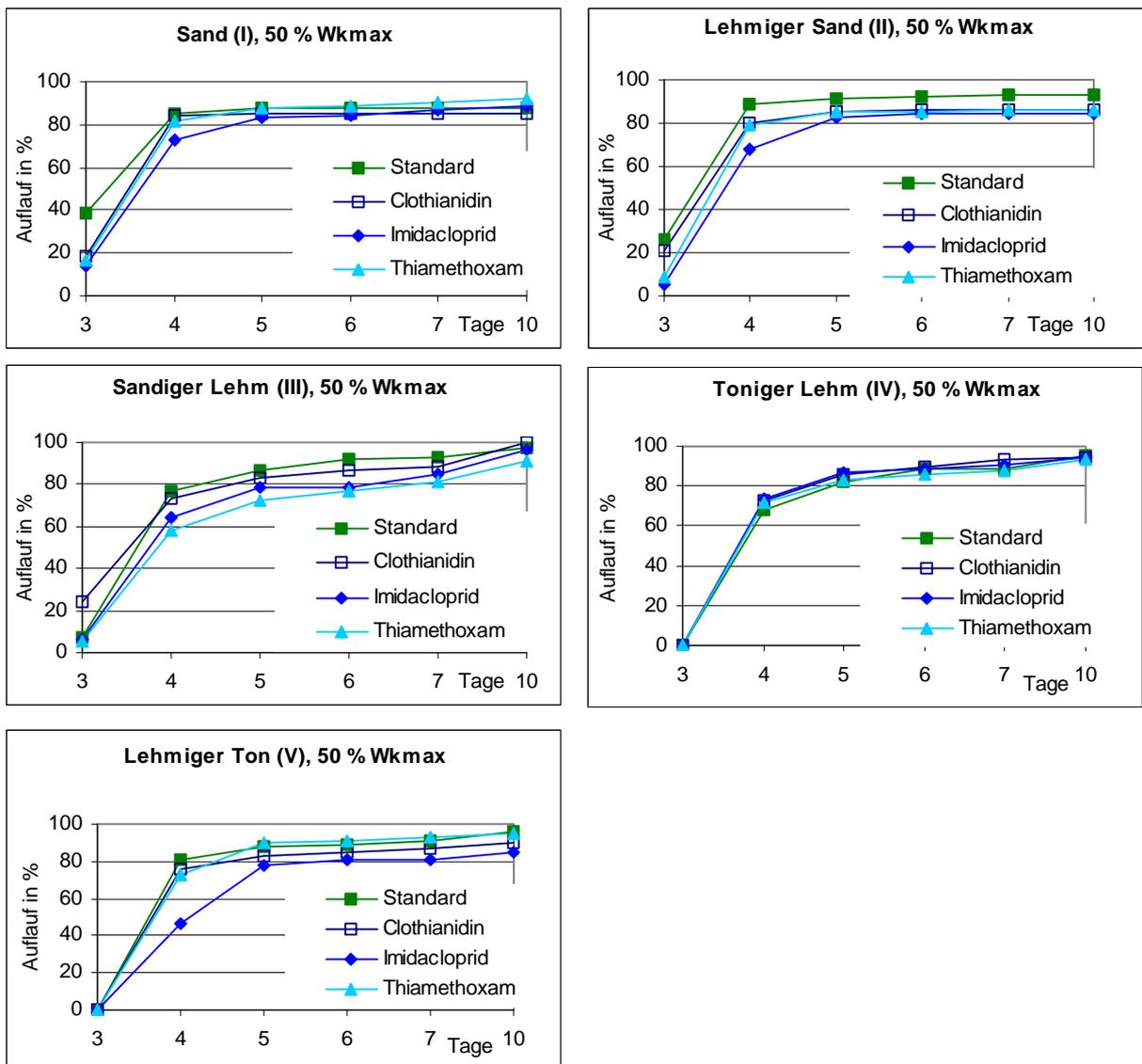
blau: Auflaufwert ist um mehr als 5 % größer als der Standard

#### Boden I = Sand

Am 3. Tag hatte der Standard bereits 39 % Auflauf erreicht, während sich die Chloronicotinyle deutlich differenzierten. Clothianidin und Thiamethoxam erreichten lediglich einen halb so hohen Wert und Imidacloprid lag noch tiefer (Tabelle 44, Abbildung 87). Am 5. Tag stiegen die Auflaufwerte rasch auf vergleichbar hohe Werte mit 85 % beim Standard an, der einen Endauflauf von 88 % erzielte.

**Boden II = Lehmiger Sand**

Auch in Boden II waren am 3. Tag schon Keimlinge aufgelaufen und erzielten beim Standard mit 27 %, höhere Werte als bei den Insektiziden, deren Auflaufhöhe in der Reihenfolge Clothianidin, Thiamethoxam, Imidacloprid abnahm; eine Reihe, die bis zum Versuchsabschluss eingehalten wurde. Vom 5. Tag an lagen alle drei Insektizide geringfügig unterhalb des Standards, der am 10. Tag mit 93 % abschloss (Tabelle 44, Abbildung 87).



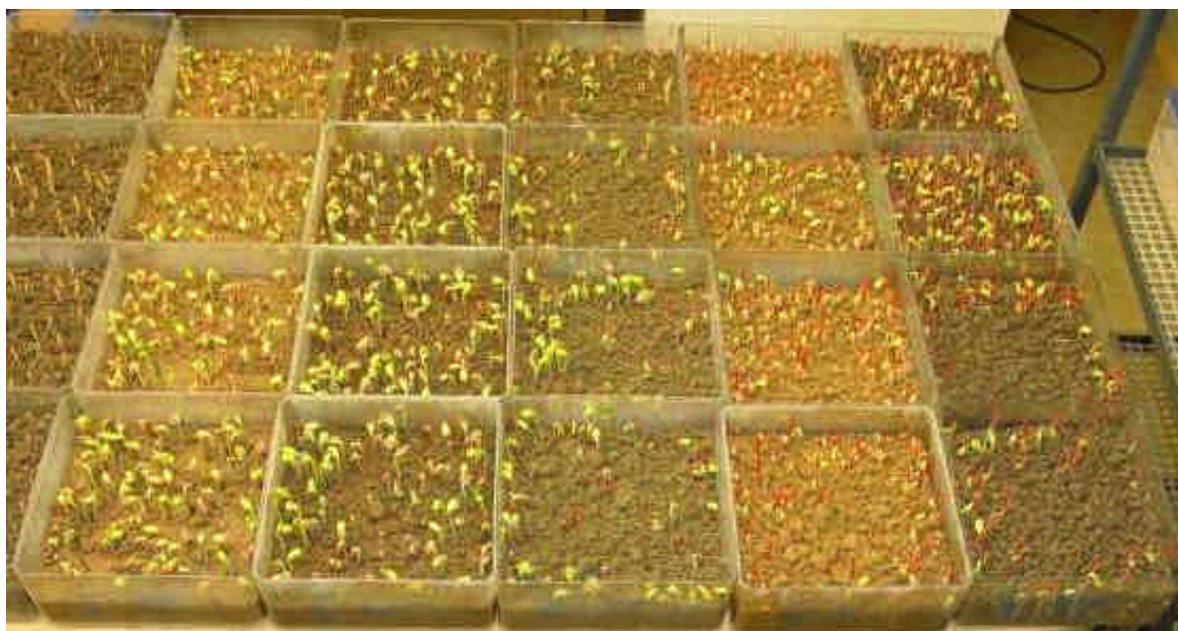
**Abbildung 87.** Auflauf von Sonnenblumensaatgut bei einer Bodenfeuchtigkeit von 50 % Wkmax in verschiedenen Erdsubstraten nach Behandlung mit Fungizid (=Standard), Clothianidin, Imidacloprid und Thiamethoxam (je 1.0 mg ai/Achänen)

### Boden III = Sandiger Lehm

Am 3. Tag zeigte der Standard einen Wert von 7 %, vergleichbar mit Imidacloprid und Thiamethoxam, während Clothianidin ihn mit 17 % deutlich übertraf. Am 4. Tag glichen sich der Standard (77 %) und Clothianidin (73 %) an, während Imidacloprid und Thiamethoxam weiterhin um 13 % und 19 % darunter lagen. Die Reihenfolge blieb an den nächsten Versuchstagen erhalten, während sich die absoluten Werte langsam erhöhten, sodass der Standard am 10. Tag 97 % erreichte und nur noch Thiamethoxam schwach darunter lag (Tabelle 44, Abbildung 87).

### Boden IV = Toniger Lehm

Bei dem tonhaltigen Boden IV war am 3. Tag noch kein Auflauf zu erkennen. Am 4. Tag konnten bereits bei allen Behandlungen vergleichbar hohe Werte um 70 % festgestellt werden. Auch an den folgenden Tagen glichen die Werte der Chloronicotinylen denen des langsam ansteigenden Standards, der am 10. Tag 95 % erreichte.



**Abbildung 88.** Auflauf von Sonnenblume mit Chloronicotinylen behandelt bei 50 % Wkmax in verschiedenen Böden, am 4. Tag.

Von links nach rechts: I = Sand, II = Lehmiger Sand, III = Sandiger Lehm, IV = Toniger Lehm, V = Lehmiger Ton  
von oben nach unten: je 1 mg Thiamethoxam, Imidacloprid, Clothianidin, Standard

### Boden V = Lehmiger Ton

Auch im schwersten Boden V war am 3. Tag noch kein Auflauf zu erkennen. Am 4. Tag konnten 81 % beim Standard, 76 % bei Clothianidin, 73 % bei Thiamethoxam und 46 % bei Imidacloprid gezählt werden. Am 5. Tag lag lediglich Clothianidin und Imidacloprid mit 10 % Abstand leicht unterhalb des Standards. Diese Verhältnisse blieben bis zum Versuchsabschluss bestehen (Tabelle 44, Abbildung 87).

Bei 50 % Wkmax war mit Endauflaufwerten zwischen 88 % und 97 % in allen Böden, außer dem Sand, ein optimaler Feuchtigkeitsgehalt eingestellt. Hier wurde in allen Böden der höchste Endauflauf erzielt.

### 3.3.1.5 Boden I - V, 60 % der maximalen Wasserkapazität

#### Auflauf

Bei einer Bodenfeuchtigkeit von 60 % der maximalen Wasserkapazität ist die Wasserversorgung in allen Böden so gut, dass bereits am 3. Tag erste Keimlinge die Substratoberfläche erreicht haben (Tabelle 45, Abbildung 89, Abbildung 90).

Tag	Boden																			
	I				II				III				IV				V			
	S	Clo	Imi	Thia	S	Clo	Imi	Thia	S	Clo	Imi	Thia	S	Clo	Imi	Thia	S	Clo	Imi	Thia
3	55	46	7	17	51	35	13	14	19	26	1	4	18	23	8	5	1	0	0	0
4	80	95	62	74	86	70	61	68	82	88	73	77	77	83	77	71	39	44	16	35
5	82	96	73	79	89	75	79	80	86	89	84	78	86	89	83	81	72	60	46	63
6	83	97	77	82	90	76	83	82	88	90	86	84	86	93	84	85	80	73	68	77
7	84	97	79	84	90	77	85	83	89	91	87	86	87	93	87	85	81	76	71	79
10	87	98	100	85	90	84	93	86	90	92	93	90	89	95	90	93	83	85	79	81
Differenzen zum Standard [%]																				
3		-9	-48	-38		-16	-38	-37		7	-18	-15		5	-10	-13		-1	-1	-1
4		15	-18	-6		-16	-25	-18		6	-9	-5		6	0	-6		5	-23	-4
5		14	-9	-3		-14	-10	-9		3	-2	-8		3	-3	-5		-12	-26	-9
6		14	-6	-1		-14	-7	-8		2	-2	-4		7	-2	-1		-7	-12	-3
7		13	-5	0		-13	-5	-7		2	-2	-3		6	0	-2		-5	-10	-2
10		11	13	-2		-6	3	-4		2	3	0		6	1	4		2	-4	-2

**Tabelle 45.** Auflauf von Sonnenblumensaatgut [%] bei einer Bodenfeuchtigkeit von 60 % Wkmax in verschiedenen Erdsubstraten nach Behandlung mit Fungizid (= Standard), Clothianidin, Imidacloprid und Thiamethoxam (je 1.0 mg ai/Achänen), darunter Differenzen zum Standard.

I = Sand, II = Lehmiger Sand, III = Sandiger Lehm, IV = Toniger Lehm, V = Lehmiger Ton

rot: Auflaufwert ist um mehr als 5 % geringer als der Standard, blau: Auflaufwert ist um mehr als 5 % größer als der Standard

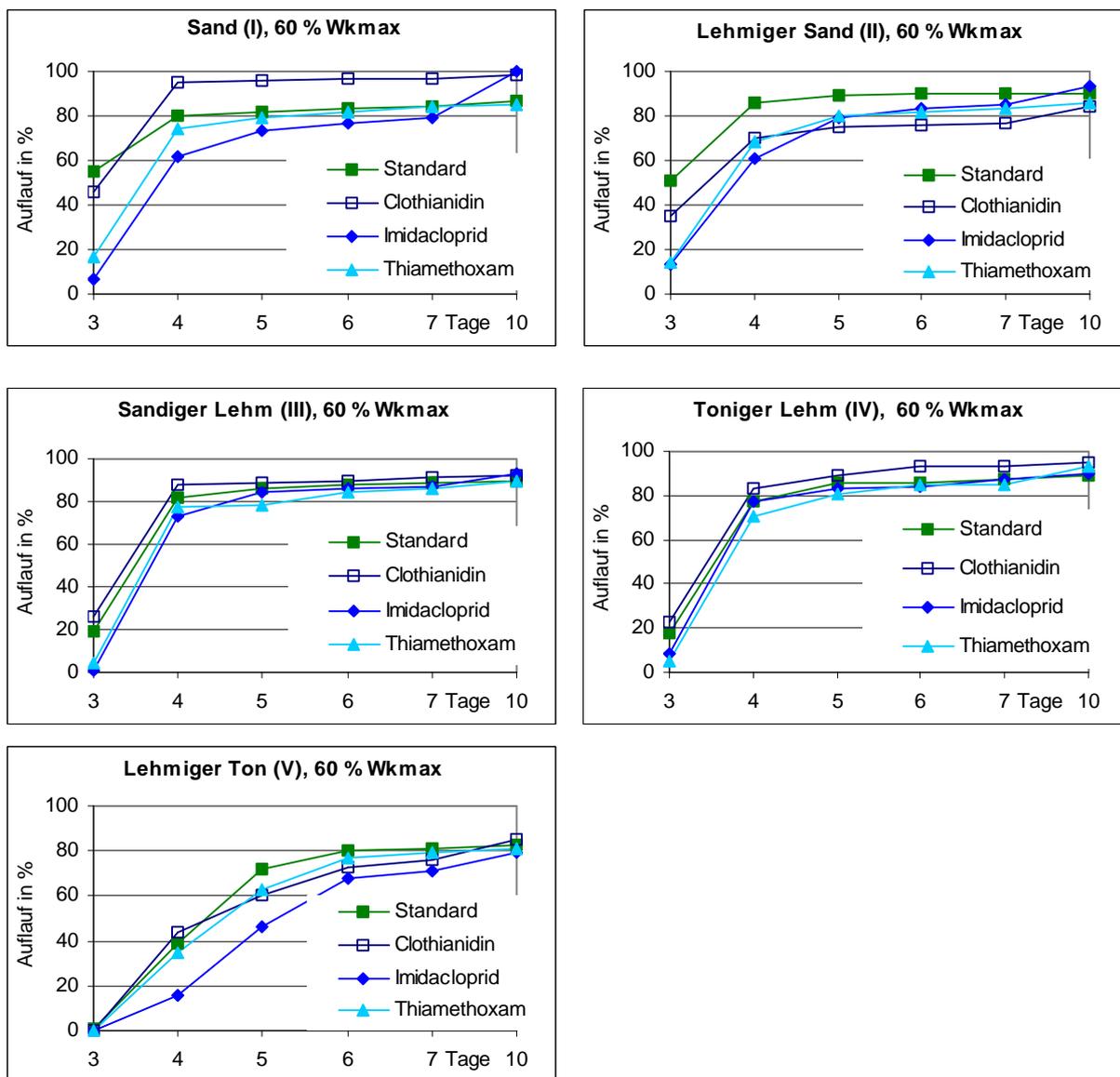
#### Boden I = Sand

Am 3. Tag waren bei der Standardbehandlung bereits 55 % der Keimlinge aufgelaufen, bei Clothianidin 9 % und bei Thiamethoxam 38 % weniger. Imidacloprid zeigte mit 48 % Differenz zum Standard den geringsten Wert. Rasch erhöhte sich der Auflauf zum 5. Tag auf 80 % beim Standard, der von Clothianidin um 15 % leicht übertroffen wurde, während die Werte von Thiamethoxam geringfügig um 6 % und Imidacloprid deutlich um 18 % darunter lagen. Diese Reihenfolge blieb bis zum 7. Tag erhalten. Am 10. Tag wurde der Endauflauf von 87 % beim Standard mit 100 % von Imidacloprid und 98 % von Clothianidin übertroffen, während Thiamethoxam einen vergleichbaren Wert erzielte (Tabelle 45, Abbildung 89).

#### Boden II = Lehmiger Sand

Im Boden II waren ebenfalls bereits am 3. Tag hohe Auflaufwerte mit 51 % beim Standard, 35 % bei Clothianidin, 13 % bei Imidacloprid und 14 % bei Thiamethoxam festzustellen, die sich am 5. Tag auf 86 % beim Standard, 70 % bei Clothianidin, 68 % bei Thiamethoxam und

61 % bei Imidacloprid erhöhten, eine Reihe, die bis zum 7. Tag erhalten blieb (Tabelle 45, Abbildung 89). Der vom Standard am 10. Tag erzielte Endauflaufwert von 90 % lag bei Imidacloprid und Thiamethoxam vergleichbar hoch, lediglich Clothianidin blieb um 6 % geringfügig darunter.



**Abbildung 89.** Auflauf von Sonnenblumensaatgut bei einer Bodenfeuchtigkeit von 60 % Wkmax in verschiedenen Erdsubstraten nach Behandlung mit Fungizid (= Standard), Clothianidin, Imidacloprid und Thiamethoxam (je 1.0 mg ai/Achäne)

### Boden III = Sandiger Lehm

Im Boden III wurden am 3. Tag beim Standard 19 % Auflauf erzielt. Clothianidin übertraf diesen Wert um 7 %, während Thiamethoxam um 15 % und Imidacloprid um 18 % darunter blieben. Clothianidin lag auch am 4. Tag noch oberhalb des Standardwertes von 82 %, Thiamethoxam war dem Standard vergleichbar und Imidacloprid zeigte nur leicht verringerte Werte (Tabelle 45, Abbildung 89).

Die Auflaufwerte stiegen über die weiteren Versuchstage noch leicht an. Zu Versuchsabschluss am 10. Tag wurde mit 90 % beim Standard ein hoher, mit allen Behandlungen vergleichbarer Endauflauf erzielt.

### Boden IV = Toniger Lehm

Auch in Boden IV waren am 3. Tag bereits Keimpflanzen aufgelaufen, sie erreichten Werte von 18 % beim Standard, 23 % bei Clothianidin, 8 % bei Imidacloprid und 5 % bei Thiamethoxam. Bei allen Behandlungen stieg der Auflauf zum 4. Tag um etwa 60 % an. Auch hier lag Clothianidin 5 % über dem Standard, während Imidacloprid und Thiamethoxam leicht darunter lagen. Am 5. Tag unterschieden sich die Insektizidvarianten kaum noch vom Standard, was sich bis zum Versuchsabschluss fortsetzte, an dem alle Werte bei 93 % lagen (Tabelle 45, Abbildung 89).



**Abbildung 90.** Auflauf von Sonnenblume mit Chloronicotynlen behandelt bei 60 % Wkmax in verschiedenen Böden, am 4. Tag.

Von links nach rechts: I = Sand, II = Lehmiger Sand, III = Sandiger Lehm, IV = Toniger Lehm, V = Lehmiger Ton  
von oben nach unten: je 1 mg Thiamethoxam, Imidacloprid, Clothianidin, Standard

### Boden V = Lehmiger Ton

In Boden V ist am 3. Tag nur ein einziger Keimling aufgelaufen. Grundsätzlich entsprach der Kurvenverlauf mit eintägiger Verzögerung dem der anderen Böden. Am 4. Tag war der Auflauf von Clothianidin und Thiamethoxam mit dem Standard vergleichbar, während Imidacloprid um 23 % deutlich darunter lag. Am 4. Tag war der Auflauf verglichen mit den leichteren Böden noch recht gering mit 39 % beim Standard, ebenso hoch bei Clothianidin und Thiamethoxam. Imidacloprid erzielte einen um 16 % deutlich niedrigeren Wert. Vom 6. Tag an holte auch die Imidacloprid-Variante im Auflaufwert auf, blieb jedoch mit 68 % immer noch am niedrigsten. Diese Reihenfolge blieb am 6. und 7. Tag erhalten.

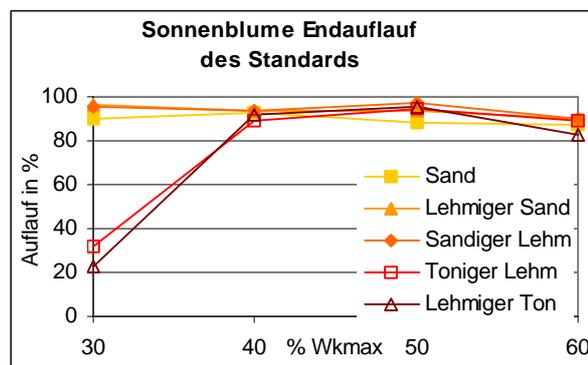
Am 10. Tag erreichten alle Insektizidvarianten mit dem Standard von 83 % vergleichbare Werte (Tabelle 45, Abbildung 89).

Auflauf zu Versuchsabschluss

Erde	Wkmax	Clo	Imi	Thia	Standard	MW	MW
I	30	91	89	92	90	91	
I	40	89	89	89	93	90	
I	50	85	89	92	88	89	
I	60	98	100	85	87	93	90
II	30	95	96	93	96	95	
II	40	91	95	94	94	94	
II	50	94	85	96	94	92	
II	60	84	93	86	90	88	92
III	30	94	91	94	95	94	
III	40	95	94	90	94	93	
III	50	100	96	91	97	96	
III	60	92	93	90	90	91	93
IV	30	42	71	62	74	62	
IV	40	94	91	89	89	91	
IV	50	95	95	94	95	95	
IV	60	95	90	93	89	92	85
V	30	4	11	9	23	12	
V	40	94	89	95	92	93	
V	50	90	85	95	96	91	
V	60	85	79	81	83	82	69

**Tabelle 46.** Endauflaufwerte von Sonnenblumen mit Chloronicotinylen behandelt in verschiedenen Böden, bei unterschiedlichen Feuchtigkeitsgehalten

Der Einfluss von Bodenart und Feuchtigkeitsgehalt ist besonders gut an den Endauflaufwerten des Standards erkennbar. Daher wurden die am 10. Versuchstag ermittelten Werte herangezogen, die zeigen, wie viele Achänen unter den gegebenen Bedingungen in der Lage waren zu keimen und aufzulaufen. Sie geben jedoch keine Informationen über den zeitlichen Verlauf (Abbildung 91).



**Abbildung 91.** Auflaufwert des Standard von Sonnenblumen zu Versuchsende in Abhängigkeit vom Feuchtigkeitsgehalt der fünf Böden

So ist der Endauflauf der Sonnenblume in den drei leichteren Böden, Sand, Lehmiger Sand und Sandiger Lehm bei keiner der Feuchtigkeitseinstellungen wesentlich beeinträchtigt (Tabelle 46, Abbildung 91. Überall werden Auflaufwerte zwischen 90 % und 96 % erreicht,

was mit den Keimfähigkeitswerten des unbehandelten Saatgutes (92 %) vergleichbar ist. In diesen Böden steht bereits ab 30 % Wkmax ausreichend Wasser für eine vollständige Quellung und Keimung zur Verfügung. Bei höherer Feuchte wird eine leichte Depression erkennbar (Abbildung 92).



A)



B)

**Abbildung 92.** Auflauf von Sonnenblume mit Chloronicotinylen behandelt in verschiedenen Böden und Feuchten am 7. Tag A) 30 % Wkmax, B) 60 % Wkmax.

Von links nach rechts: I = Sand, II = Lehziger Sand, III = Sandiger Lehm, IV = Toniger Lehm, V = Lehziger Ton  
von oben nach unten: je 1 mg Thiamethoxam, Imidacloprid, Clothianidin, Standard

In den beiden tonhaltigen Böden IV und V dagegen wird das Auflaufen der Pflanzen im trockenen Versuchsansatz von 30 % Wkmax deutlich verzögert. Bereits ab 40 % Wkmax sind diese Probleme vollständig behoben und die pflanzenverfügbare Wassermenge ermöglicht einen vollständigen Auflauf bis zum 10. Tag. Doch auch hier lässt sich ein Optimum bei 50 % Wkmax erkennen (Abbildung 91).

Grundsätzlich zeigte die Sonnenblume bei den verschiedenen Insektizidbehandlungen in allen fünf Böden ein vergleichbares Auflaufverhalten. Dabei fiel Clothianidin durch tendenziell höhere Werte, also geringeren negativen Einfluss auf. Zum Versuchsabschluss lagen die Auflaufergebnisse stets vergleichbar hoch. In Anbetracht der zeitlichen Verzögerung um

einen Tag lässt Boden V erwarten, dass auch hier am 11. Tag mit den anderen Böden vergleichbare Werte erreicht werden.

Da die drei Chloronicotinyle in den Auflauftests unter verschiedenen Boden- und Feuchtigkeitsbedingungen eine jeweils andersartige Wirkung auf das Wachstum der Mais- und Sonnenblumenkeimlingen zeigten, sollte mit Hilfe von Wachstumsversuchen den Ursachen hierfür nachgegangen werden (3.1.12).

### 3.4 Chloronicotinyne, Mais, Einfluss auf Entwicklung und Wachstum

#### 3.4.1 Chloronicotinyne auf Flüssigsubstrat

**Mais:** Marshall

**Behandlung:** Standard = Anzucht auf H<sub>2</sub>O, sowie 1 mg 70 WS Imidacloprid, Clothianidin und Thiamethoxam

**Anzahl:** 50 Karyopsen

**Substrat:** auf Filterpapier

**Inkubation:** 20°C, Wechsellicht

**Beobachtung:** Spross- und Wurzellänge nach 6 Tagen

Eine vergleichende Untersuchung der drei insektiziden Wirkstoffe sollte zeigen, ob grundsätzliche Unterschiede in der Einflussnahme auf die Keimlingsentwicklung vorliegen. Da die Wirkstoffe verschieden hydrophil sind, wurden auch diesbezügliche Einsichten erwartet.

Dazu wurde die 70 WS Formulierung der drei Wirkstoffe mit 1 mg/Samen vorgelegt und in 20 ml Wasser gelöst. Als Standard diente ein Ansatz mit Wasser.

#### Spross- und Wurzellänge

Nach 30 Stunden waren beim Standard 36 % der Karyopsen gekeimt, während Thiamethoxam und Imidacloprid 32 % erreichten und Clothianidin mit 42 % leicht darüber lag.

Nach 6 Tagen hatten der Standard und Clothianidin dieselbe Sprosslänge. Imidacloprid erreichte lediglich 88 % und Thiamethoxam 61 % (Tabelle 47, Abbildung 93). Auch die Wurzellänge war beim Standard und der Behandlung mit Clothianidin am 6. Tag gleich, blieb jedoch bei Thiamethoxam um 39 % kürzer und erreichte bei Imidacloprid-Behandlung nur 24 %.

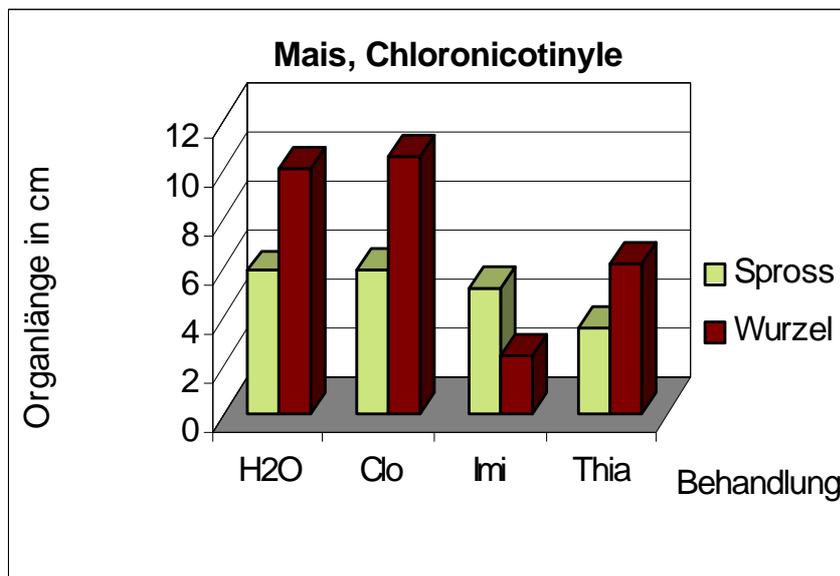
Länge	Spross				Wurzel			
	Wasser	Clo.	Imi.	Thia.	Wasser	Clo.	Imi.	Thia.
6. Tag								
[cm]	5,9	5,9	5,2	3,6	10	10,5	2,4	6,1
[%]	100	100	88	61	100	105	24	61
Differenzen zum Standard [%]								
[cm]		0,1	-0,7	-2,3	0	0,5	-7,6	-3,9
[%]		0	-12	-39	0	5	-76	-39
Verhältnis Spross/Wurzel	0,6	0,6	2,2	0,6				

**Tabelle 47.** Spross und Wurzellänge [cm] von 6 Tage alten Maiskeimlingen bei Behandlung mit Clothianidin (Clo), Imidacloprid (Imi) und Thiamethoxam (Thia), darunter Differenzen zum Standard. rot: Organ ist um mehr als 5 % kürzer als der Standard

### Chloronicotinye, Spross- und Wurzelentwicklung

Die vergleichende Untersuchung der drei Chloronicotinye zeigt also eine differenzierte Einflussnahme auf das Wachstum der Organe Spross und Wurzel. Beim Spross nimmt die Länge in der Reihenfolge der Wasserlöslichkeit der Wirkstoffe ab, bei der Wurzel ist dies nicht der Fall.

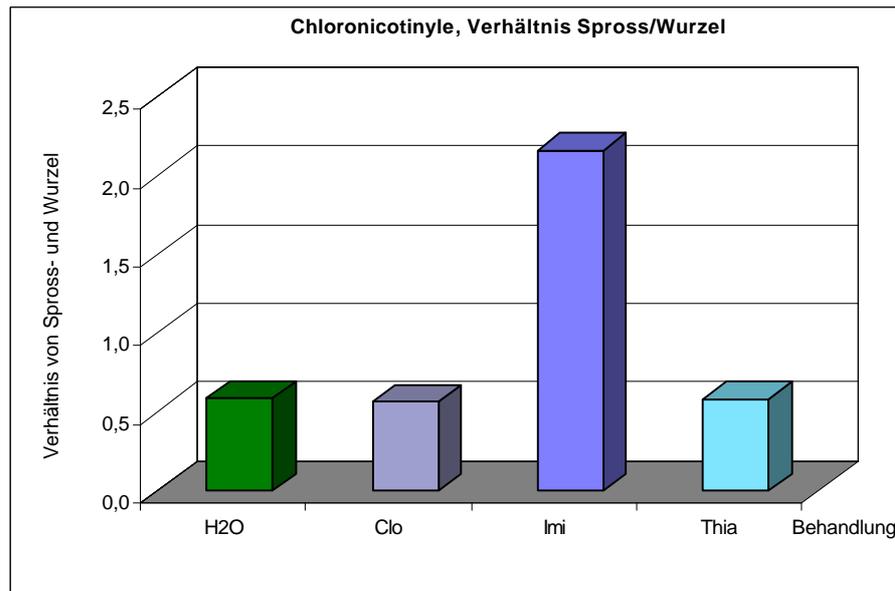
Das Verhältnis von Spross- und Wurzellänge ist beim Standard und dem wenig wasserlöslichen Clothianidin mit 0,6 genau gleich – die Wurzeln sind etwa doppelt so lang wie die Sprosse (Abbildung 93, Abbildung 94).



**Abbildung 93.** Spross und Wurzellänge [cm] von 6 Tage alten Maiskeimlingen bei Behandlung mit den Chloronicotinylen Clo = Clothianidin, Imi = Imidacloprid, Thia = Thiamethoxam

Bei dem sehr gut wasserlöslichen Thiamethoxam findet sich trotz Einfluss auf Spross- und Wurzelwachstum dasselbe Verhältnis wie beim Standard; Spross- und Wurzelwachstum wurden gleichermaßen um 39 % verringert, sodass sich am Verhältnis der beiden Organe zueinander nichts verändert. Anders ist dies bei dem moderat wasserlöslichen Imidacloprid, wo ein weitaus größerer Einfluss auf die Wurzel (-76 %) als auf den Spross (-12 %) festzustellen ist, was sich in einer starken Veränderung des Verhältnisses der beiden Organe zeigt. Der Spross ist mehr als doppelt so lang wie die Wurzel (Abbildung 93, Abbildung 94, Abbildung 95).

Diese Beobachtung legt den Schluss nahe, dass sich die drei Chloronicotinye in ihren physiologischen Wirkmechanismen unterscheiden. Die oben hervorgehobene unterschiedliche Wasserlöslichkeit ist für die Konzentration der Stoffe in der Pflanze verantwortlich, erklärt aber nicht zwangsläufig darüber hinausgehende Effekte auf das Wachstum von Spross und Wurzel.



**Abbildung 94.** Verhältnis der Spross- und Wurzellänge bei Behandlung mit Wasser (H<sub>2</sub>O), Clothianidin (Clo), Imidacloprid (Imi) und Thiamethoxam (Thia)



**Abbildung 95.** 6 Tage alte Maiskeimlinge auf Flüssigsubstrat, von links nach rechts: Standard auf Wasser, Clothianidin, Imidacloprid, Thiamethoxam

### Ausblick

Unabhängig davon hat das standardisierte Testsystem bewiesen, dass es in der Lage ist, den Einfluss von Wirkstoffen auf die Keimlingsentwicklung bei verschiedenen Kulturarten zu erfassen.

Aufgrund der bisherigen Erkenntnisse über die Abhängigkeit der verschiedenartigen Wirkung der drei chemisch nahe verwandten Chloronicotinyne von ihrer Löslichkeit wurde das Untersuchungsspektrum auf vier weitere Insektizide unterschiedlicher Stoffklassen ausgedehnt, um zu untersuchen, ob sich auch hier generelle Beziehungen zwischen den physikalisch-chemischen Eigenschaften der Wirkstoffe und den wirkstoffspezifischen Effekten auf das Keimlingswachstum ableiten lassen.

### 3.5 Insektizide Wirkstoffe aus verschiedenen chemischen Stoffklassen

#### 3.5.1 *Mais, 5 Insektizide, Keimung und Entwicklung, optimale Bedingungen*

Die Wirkstoffe Acephate (P-Ester) und Carbofuran (Carbamat) verhalten sich auf Grund ihrer physikalisch-chemischen Eigenschaften hinsichtlich ihrer Aufnahme in die Pflanze über die Wurzeln ähnlich wie die zuvor vorgestellten Chloronicotinyne und werden ebenfalls als systemisch bezeichnet. Andere Wirkstoffe, wie Fipronil (Pyrazol) oder Tefluthrin (Pyrethroid) werden auf Grund ihrer geringen Wasserlöslichkeit nur sehr langsam oder gar nicht in die Pflanze aufgenommen und werden als teil- bzw. nicht wurzelsystemisch bezeichnet.

**Mais:** Helga, Marshall, Pedro und Prinz

**Behandlung:** Fungizidbehandlung, Leerformulierung (= Standard), 0,5 mg; 1 mg; 2 mg; 4 mg  
Acephate, Imidacloprid, Carbofuran, Fipronil und Tefluthrin

**Anzahl:** 100 Karyopsen

**Substrat:** Faltenfilter, feuchtigkeitsgesättigt

**Inkubation:** 3 Tage 25°C, 4 Tage 20 °C, Wechsellicht

**Beobachtung:** tägliche Längenmessung von Spross und Wurzel vom 3. bis zum 7. Tag

Um die gesamten Versuche einschließlich der vier Maissorten miteinander vergleichen zu können, wurden die Ergebnisse der Leerformulierung als Standard zu Grunde gelegt und als 100 % definiert. Die Längen der mit Insektiziden behandelten Keimlingsorgane wurden als Prozent der Länge des Standards berechnet.

#### **Sprosslänge**

Eine vergleichende Betrachtung aller fünf Versuchsansätze lässt bei den fünf Insektiziden Unterschiede in der Art ihrer Wirkung erkennen und zeigt dabei sowohl fördernde als auch verzögernde Einflüsse auf das Wachstum von Maiskeimlingen. Das Wachstum des Sprosses war generell stärker beeinflusst als das der Wurzel (Abbildung 96, Abbildung 97).

Da auch in diesen Versuchen keine grundsätzlichen oder systematischen Unterschiede zwischen den Sorten festgestellt werden konnten, wurden für diese Betrachtung die Mittelwerte der Sorten herangezogen.

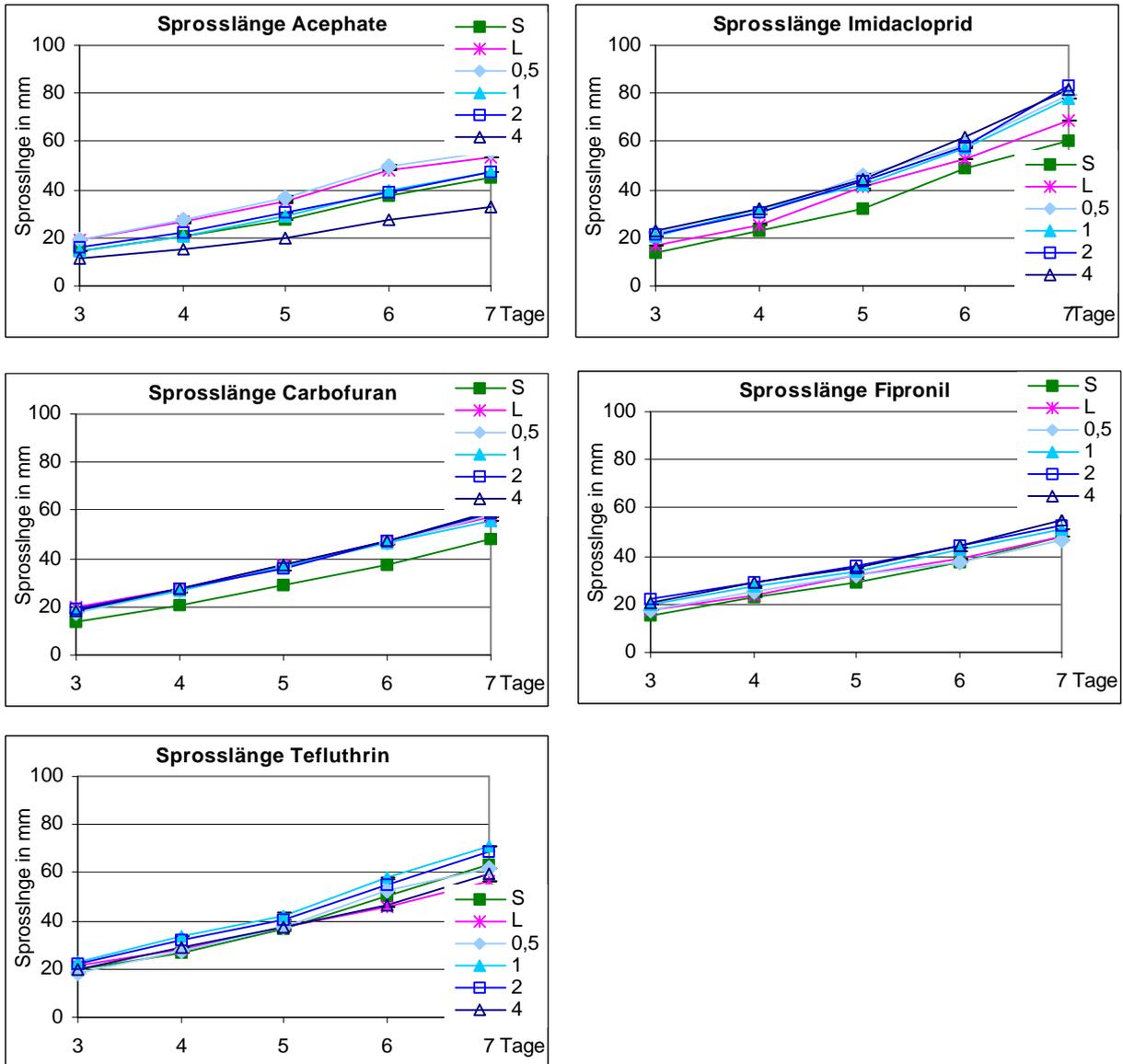
## Ergebnisse

Tag	Imidacloprid						Acephate						Carbofuran					
	S	L	0,5	1	2	4	S	L	0,5	1	2	4	S	L	0,5	1	2	4
3	14	17	22	20	21	23	14	19	19	14	16	11	14	20	18	19	19	19
4	23	25	31	32	31	32	21	26	27	21	22	15	21	28	27	27	27	28
5	32	41	46	42	43	44	27	35	36	29	30	20	29	38	36	36	36	38
6	49	53	59	57	58	62	38	48	50	40	39	27	38	47	47	46	47	48
7	60	69	79	78	83	82	45	54	55	48	47	33	48	57	58	56	59	59
Differenzen zum Standard (Standard = 100%)																		
3	-17		33	24	30	40	-23		3	-23	-15	-40	-11		2	14	24	17
4	-8		21	25	22	28	-22		3	-21	-15	-42	-2		6	15	24	23
5	-21		12	2	6	8	-22		4	-18	-13	-44	-10		-1	3	10	9
6	-7		12	9	10	18	-22		3	-17	-19	-43	-5		-3	9	13	13
7	-13		15	13	21	18	-16		4	-11	-12	-39	0		-3	7	10	15

Tag	Fipronil						Tefluthrin					
	S	L	0,5	1	2	4	S	L	0,5	1	2	4
3	16	18	18	20	22	21	20	22	18	23	23	20
4	23	24	25	27	29	29	27	28	27	33	32	29
5	29	32	32	33	36	35	37	38	37	42	41	37
6	37	39	38	43	44	44	51	46	52	58	55	47
7	48	48	46	51	53	55	63	57	62	71	69	60
Differenzen zum Standard (Standard = 100%)												
3	-28		-10	-6	-4	-5	-9		-14	5	4	-8
4	-25		-4	-4	-1	0	-5		-4	17	13	1
5	-23		-4	-3	-4	0	-2		-1	12	8	0
6	-20		0	-1	0	1	11		15	27	20	3
7	-16		2	-2	3	4	12		9	26	21	5

**Tabelle 48.** Sprosslänge [mm] von Mais, behandelt mit Acephate, Imidacloprid, Carbofuran, Fipronil und Tefluthrin, Faltenfilter bei 25/20°C, Mittelwerte von 4 Sorten, darunter Differenzen zum Standard. S = Fungizidbehandlung, L = Leerformulierung (= Standard), 0,5; 1; 2 und 4 = mg Wirkstoff je Karyopse  
rot: Spross ist um mehr als 5 % kürzer als beim Standard,  
blau: Spross ist um mehr als 5 % länger als beim Standard

## Ergebnisse



**Abbildung 96.** Sprosslänge von Mais, behandelt mit Acephate, Imidacloprid, Carbofuran, Fipronil und Tefluthrin im Faltenfilter bei 25/20°C, Mittelwerte von 4 Sorten.  
S = Fungizidbehandlung, L = Leerformulierung, 0,5; 1; 2 und 4 mg Wirkstoff je Karyopse

Die Wirkstoffe reihen sich nach zunehmender Förderung des

	--	0	+	++	+++
Sprosswachstums:	Acephate <	Carbofuran <	Tefluthrin <	Fipronil <	Imidacloprid
sowie der					
Wirkintensität	Carbofuran <	Tefluthrin <	Fipronil <	Acephate <	Imidacloprid

Im Vergleich zum Standard lässt nur Acephate eine deutliche Verzögerung erkennen, während durch Carbofuran, Tefluthrin und Imidacloprid eine zunehmende Förderung erfolgt. Eine Anordnung nach ihrer Wirkintensität startet dagegen bei Imidacloprid im positiven Bereich und schwächt sich über Acephate, Fipronil und Tefluthrin hin zum Carbofuran ab. Auch hier waren die Wirkstoffeinflüsse am 3. Versuchstag am deutlichsten, weshalb dieser Tag zur Beurteilung herangezogen wurde (Tabelle 48, Abbildung 96).

Die Versuche mit Acephate zeigten die deutlichsten negativen Wirkeffekte. Bei 0,5 mg zeigte sich kein Einfluss, während sich die Sprosslänge mit steigender Konzentration bereits ab dem 3. Tag stetig verringerte. Die Wirkung des Acephate nahm bei 1 mg und 2 mg im Versuchsverlauf bis zum 7. Tag ab, blieb jedoch bei 4 mg konstant.

Bei Behandlung mit Imidacloprid konnte in allen Konzentrationen sogar eine starke Förderung des Sprosswachstums festgestellt werden, die sich erst zum Versuchsabschluss abschwächte (Tabelle 48, Abbildung 96).

Carbofuran blieb über die gesamte Versuchsdauer ohne jeden Einfluss auf das Sprosswachstum.

Fipronil wies lediglich am 3. Tag eine geringe Verzögerung des Sprosswachstums auf. Während Tefluthrin ausschließlich am 3. Tag eine leichte Verzögerung des Sprosswachstums erkennen ließ, bewirkte dieses Insektizid in den Konzentrationen von 0,5 mg, 1 mg und 2 mg eine leichte Förderung, die sich auffälligerweise ab dem 6. Tag verstärkte. Eine Abhängigkeit der Effekte von der Wirkstoffkonzentration konnte nicht festgestellt werden.

Über all diese Versuche im Faltenfilter sind beim Standard durchschnittlich 6 % anomal gekeimte Karyopsen aufgetreten. Während bei Carbofuran und Fipronil unter optimalen Bedingungen dieser Wert nicht überschritten wurde, zeigten sich unter stark erhöhten Konzentrationen bei 4 mg Imidacloprid 11 % Anomalien und bei 4 mg Acephate 16 %. Dabei wurden bei Acephate vornehmlich Anomalien am Spross festgestellt. Bei Tefluthrin erhöhte sich die Anzahl anomaler Keimlinge bereits bei 2 mg auf 15 %, bei 4 mg sogar auf 25 %, wobei hauptsächlich glasig erscheinende Keimlinge auftraten.

### **Wurzellänge**

Das Wachstum der Maiswurzel zeigte ebenfalls am 3. Versuchstag die deutlichsten Effekte (Tabelle 49, Abbildung 97).

Acephate führte an allen Versuchstagen, insbesondere bei 1 mg und 4 mg zu einer deutlichen Verzögerung des Wurzelwachstums. Während dies durch Imidacloprid deutlich und mit steigender Konzentration zunehmend gefördert wurde, blieb Carbofuran jedoch ohne Wirkung.

Bei Imidacloprid zeigte sich in allen Konzentrationen und bei Fipronil ab 1 mg, ein stark fördernder Einfluss auf das Wurzelwachstum (Tabelle 49, Abbildung 97), der jedoch im Versuchsverlauf bei Imidacloprid ab- und bei Fipronil zunahm.

Bei Tefluthrin ist eine differenzierte Reaktion in Abhängigkeit von der Konzentration festzustellen. Hier wurde bei niedrigen Konzentrationen ab dem 4. Tag eine anhaltende, sich sogar verstärkende Förderung, bei 4 mg jedoch am 3. Tag eine schwache zum 6. Tag immer geringer werdende, kurzzeitige Verzögerung des Wurzelwachstums festgestellt.

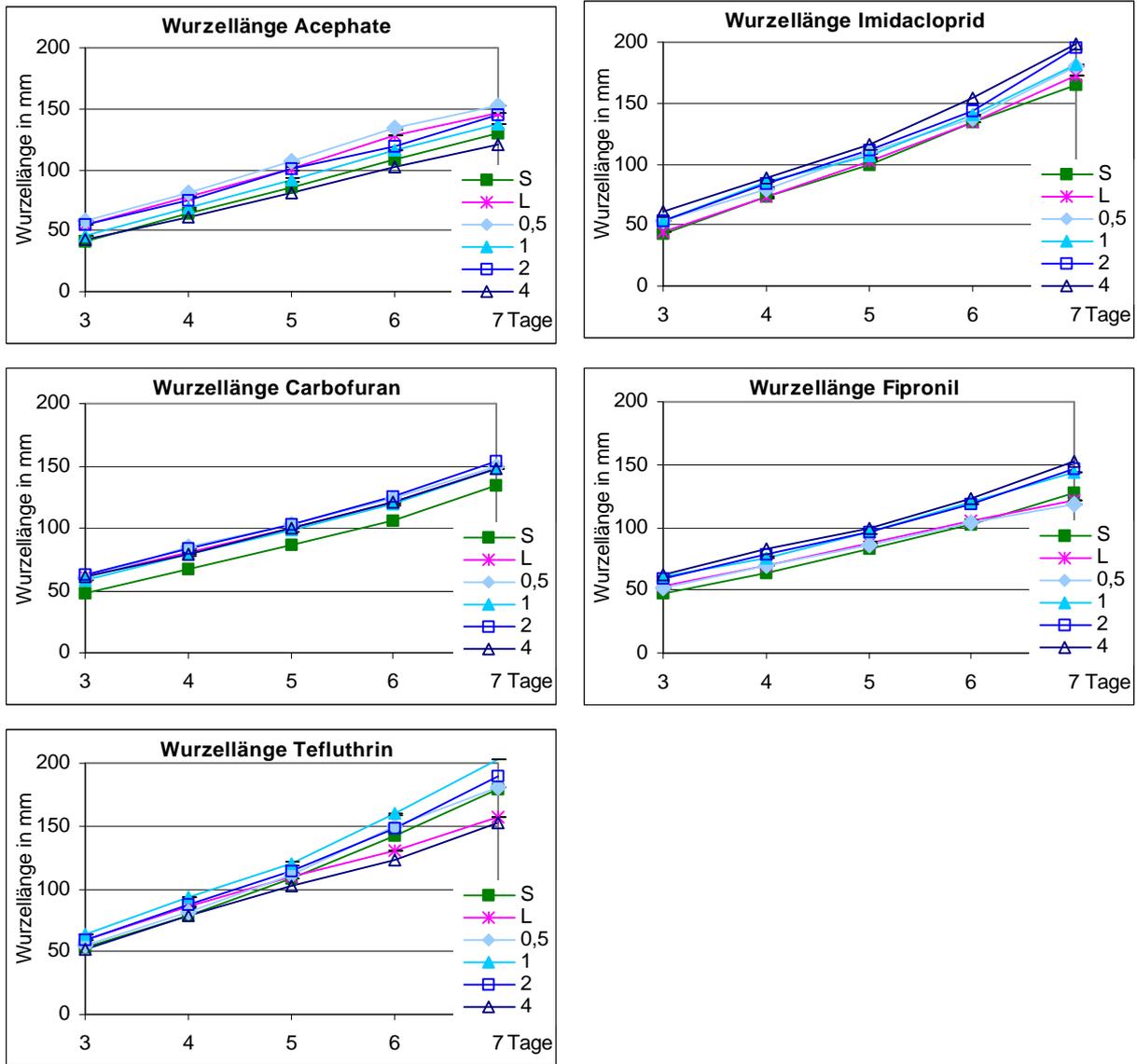
## Ergebnisse

	Imidacloprid						Acephate						Carbofuran					
	S	L	1	1	2	4	S	L	1	1	2	4	S	L	1	1	2	4
<b>3</b>	42	44	53	53	54	61	41	55	59	46	55	42	48	61	60	59	63	61
<b>4</b>	73	73	80	86	84	89	64	78	81	68	75	62	67	81	85	79	84	79
<b>5</b>	99	103	110	107	111	116	85	101	106	92	100	81	86	101	104	99	104	100
<b>6</b>	134	134	138	140	143	154	109	128	134	116	120	102	105	120	124	119	125	121
<b>7</b>	165	172	181	182	196	199	130	147	153	137	144	121	135	147	150	147	154	147
Differenzen zum Standard (Standard = 100%)																		
<b>3</b>	-4		21	21	23	40	-25		6	-17	-2	-24	-22		-1	-3	3	1
<b>4</b>	1		10	18	16	22	-17		4	-12	-3	-21	-18		4	-3	4	-2
<b>5</b>	-4		7	4	8	13	-15		6	-9	0	-20	-14		3	-2	3	-1
<b>6</b>	0		3	5	7	15	-15		4	-10	-7	-20	-13		3	-1	4	1
<b>7</b>	-4		5	6	13	15	-11		4	-7	-1	-17	-8		2	0	5	0

	Fipronil						Tefluthrin					
	S	L	1	1	2	4	S	L	1	1	2	4
<b>3</b>	48	53	51	60	60	62	54	59	55	63	59	52
<b>4</b>	64	70	70	76	78	82	78	85	82	93	88	78
<b>5</b>	83	87	86	96	97	100	108	110	112	120	113	103
<b>6</b>	102	106	104	119	119	123	143	130	149	160	149	123
<b>7</b>	127	121	119	144	147	152	180	157	180	203	190	153
Differenzen zum Standard (Standard = 100%)												
<b>3</b>	-10		-4	13	12	16	-9		-7	7	0	-13
<b>4</b>	-9		-1	8	11	17	-9		-4	9	3	-8
<b>5</b>	-5		-1	10	11	14	-1		2	10	3	-6
<b>6</b>	-3		-2	13	12	16	10		15	23	14	-5
<b>7</b>	5		-2	19	22	26	14		15	29	21	-3

**Tabelle 49.** Wurzellänge [mm] von Mais, behandelt mit Acephate, Imidacloprid, Carbofuran, Fipronil und Tefluthrin, Faltenfilter bei 25/20°C, Mittelwerte von 4 Sorten, darunter Differenzen zum Standard. S = Fungizidbehandlung, L = Leerformulierung (= Standard), 0,5; 1; 2 und 4 = mg Wirkstoff je Karyopse  
rot: Wurzel ist um mehr als 5 % kürzer als beim Standard,  
blau: Wurzel ist um mehr als 5 % länger als beim Standard

## Ergebnisse



**Abbildung 97.** Wurzellänge von Mais, behandelt mit Acephate, Imidacloprid, Carbofuran, Fipronil und Tefluthrin in Faltenfilter bei 25/20°C, Mittelwerte über 4 Sorten.  
S = Fungizidbehandlung, L = Leerformulierung (=Standard), 0,5; 1; 2 und 4 = mg Wirkstoff je Karyopse

Eine Reihung der Wirkstoffe nach zunehmender Förderung des Wurzelwachstums und der Wirkintensität:

	-	0	+	++	+++
Wurzelwachstum	Acephate	< Carbofuran	< Tefluthrin	< Fipronil	< Imidacloprid
Wirkintensität:	Carbofuran	< Tefluthrin	< Fipronil	< Acephate	< Imidacloprid

Um den Einfluss der Insektizide unter leichtem Temperaturstress zu beobachten, wurde ein weiterer Versuch in Faltenfilter, bei suboptimalen Temperaturbedingungen durchgeführt. Es wird erwartet, dass sich hierbei intensivere oder gar weitere Wirkeffekte zeigen.

### 3.5.2 *Mais, 5 Insektizide, Keimung und Entwicklung, suboptimale Bedingungen*

**Mais:** Helga, Marshall, Pedro, Prinz

**Anzahl:** 100 Karyopsen

**Behandlung:** Fungizidbehandlung, Leerformulierung (= Standard), 1 mg, 4 mg Acephate, Imidacloprid, Carbofuran, Fipronil, und Tefluthrin

**Inkubation:** Faltenfilter, Vorkühlung 7 Tage 8°C, 3 Tage 25°C, 4 Tage 20°C, in Wechsellicht

**Beobachtung:** Keimung, Spross-, Mesokotyl-, und Wurzellänge, sowie Frischmasse am 7. Tag

#### Keimung

Die Keimung erfolgte nach Überführung der Ansätze in die Warmphase sehr schnell, sodass bereits nach einem Tag alle Karyopsen gekeimt waren. Zwischen den Saatgutbehandlungen ließen sich keinerlei Unterschiede erkennen, ebenso wenig fanden sich Unterschiede in den Reaktionen der Sorten.

Die Entwicklung der Keimlinge war bei allen Behandlungen gleichmäßig, es zeigten sich keine offensichtlichen Unterschiede, sodass die Längenmessungen und die Bestimmung der Frischmasse am 7. Tag durchgeführt wurden.

Bei Acephate und Tefluthrin führte bereits die Leerformulierung zu stark verkürzten Wurzeln, weshalb diese Versuche nicht ausgewertet wurden.

#### Sprosslänge

Weder bei Imidacloprid noch bei Carbofuran zeigte sich ein Einfluss auf das Sprosswachstum am 7. Tag, während bei Fipronil eine leichte Förderung zu beobachten war (Tabelle 50, Abbildung 98).

Die Sorten unterschieden sich bei den Behandlungen nicht.

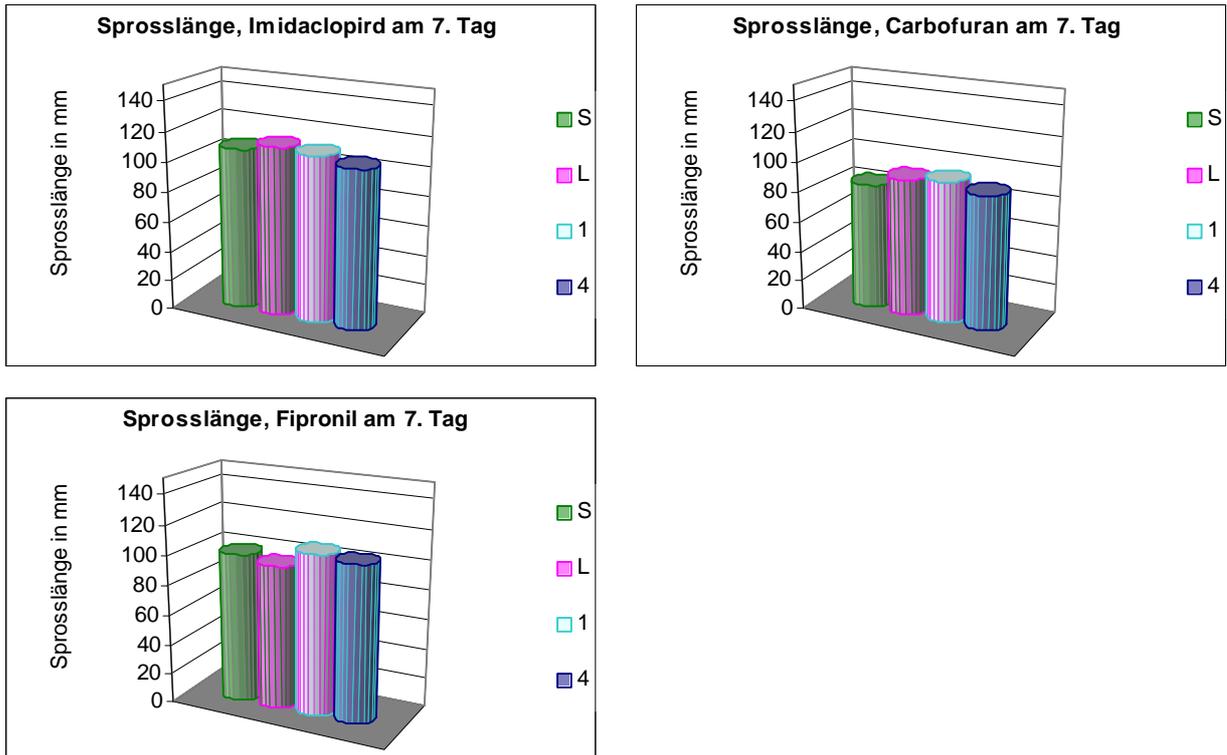
Imidacloprid				Carbofuran				Fipronil			
S	L	1	4	S	L	1	4	S	L	1	4
109	113	111	107	85	92	94	90	101	96	108	105
Differenzen zum Standard [%]											
-4		-2	-6	-7		2	-2	5		12	9

**Tabelle 50.** Sprosslänge von Maiskeimlingen [mm] nach 7 Tagen im Faltenfilter, behandelt mit den Insektiziden, Imidacloprid, Carbofuran und Fipronil, Mittelwerte von 4 Sorten, darunter Differenzen zum Standard.

S = Fungizidbehandlung, L = Leerformulierung (= Standard), 1 und 4 mg Wirkstoff je Karyopse

rot: Auflaufwert ist um mehr als 5 % geringer als der Standard,

blau: Auflaufwert ist um mehr als 5 % größer als der Standard



**Abbildung 98.** Sprosslänge von Mais nach 7 Tagen, bei Behandlung mit unterschiedlichen Insektiziden, Mittelwerte von 4 Sorten.  
 S = Fungizidbehandlung, L = Leerformulierung (= Standard), 1 und 4 mg Wirkstoff je Karyopse

**Wurzellänge**

Die durchschnittliche Wurzellänge des Standards betrug 26 cm. Dieser Wert wurde von der Fipronilbehandlung übertroffen, während Carbofuran und Imidacloprid in dieser Reihenfolge immer kürzere Wurzeln aufwiesen.

Imidacloprid				Carbofuran				Fipronil			
S	L	1	4	S	L	1	4	S	L	1	4
224	232	214	208	194	208	186	187	200	206	208	203
Differenzen zum Standard											
-8		-18	-24	-14		-22	-21	-6		2	-3

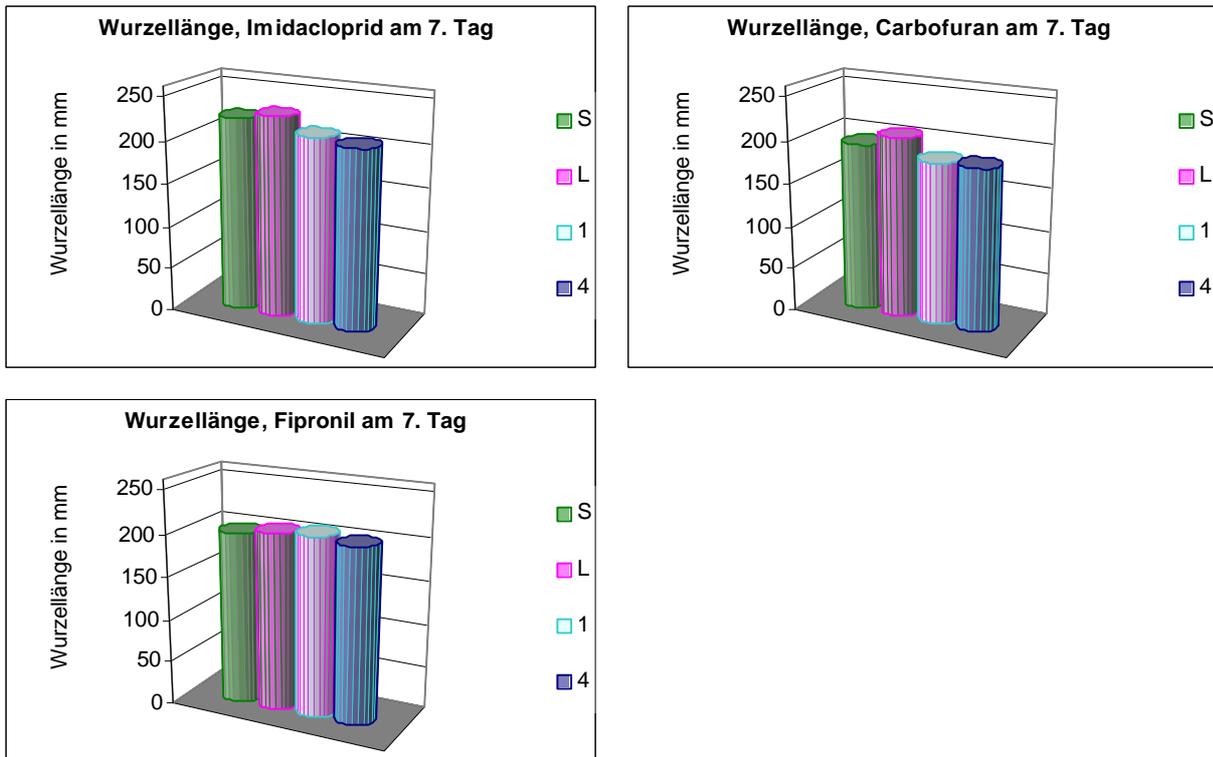
**Tabelle 51.** Wurzellänge von Maiskeimlingen [mm] nach 7 Tagen im Faltenfilter, behandelt mit den Insektiziden, Imidacloprid, Carbofuran und Fipronil, Mittelwerte von 4 Sorten, darunter Differenzen zum Standard.

S = Fungizidbehandlung, L = Leerformulierung (= Standard), 1 und 4 mg Wirkstoff je Karyopse  
 rot: Wurzel ist um mehr als 5 % kürzer als beim Standard

Die Wurzel reagierte unter suboptimalen Bedingungen am 7. Tag deutlicher auf die Insektizidbehandlung als der Spross. Imidacloprid bewirkte hier eine deutliche Verzögerung, die sich mit zunehmender Konzentration verstärkte. Gleichstark war die Wirkung von Carbofuran, welches jedoch keine Konzentrationsabhängigkeit zeigte (Tabelle 51, Abbildung 99).

## Ergebnisse

Bei Fipronil war keinerlei Einfluss auf das Wurzelwachstum erkennbar. Auch hier unterschieden sich die Sorten im Verhalten ihrer Wurzel nicht.



**Abbildung 99.** Wurzellänge von Mais nach 7 Tagen, bei Behandlung mit den Insektiziden, Imidacloprid, Carbofuran und Fipronil, Mittelwerte von 4 Sorten.  
S = Fungizidbehandlung, L = Leerformulierung (= Standard), 1 und 4 mg Wirkstoff je Karyopse

## Mesokotylllänge

Bei beiden Konzentrationen ließ sich weder bei Imidacloprid und Carbofuran, noch bei Fipronil ein Stoffeinfluss auf das Mesokotylwachstum erkennen (Tabelle 52).

Imidacloprid				Carbofuran				Fipronil			
S	L	1	4	S	L	1	4	S	L	1	4
13	12	13	13	22	21	22	20	19	20	17	20
Differenzen zum Standard											
1		1	1	1		1	-1	-1		-3	0

**Tabelle 52.** Mesokotylllänge von Maiskeimlingen [mm] nach 7 Tagen im Faltenfilter, behandelt mit Imidacloprid, Carbofuran und Fipronil, Mittelwerte von 4 Sorten, darunter Differenzen zum Standard.  
S = Fungizidbehandlung, L = Leerformulierung (= Standard), 1 und 4 mg Wirkstoff je Karyopse

**Frischmasse**

Die Frischmasse der Keimpflanzen war durch Carbofuran geringfügig und durch Imidacloprid deutlicher verringert, während Fipronil eine leichte Erhöhung bewirkte (Tabelle 53).

	Imidacloprid				Carbofuran				Fipronil			
	S	L	1	4	S	L	1	4	S	L	1	4
<b>[g]</b>	1,3	1,5	1,3	1,2	1,1	1,1	1,1	1	1,1	1	1,1	1,2
	Differenzen zum Standard											
<b>[g]</b>	-0,2		-0,2	-0,3	-0,1		-0,1	-0,1	0,1		0,1	0,1
<b>% der Leerformulierung</b>	-13		-14	-19	-4		-5	-9	12		5	14

**Tabelle 53.** Frischmasse [g] von Maiskeimlingen nach 7 Tagen in Faltenfiltern, behandelt mit den Insektiziden Imidacloprid, Carbofuran und Fipronil, darunter Differenzen zum Standard.  
 S = Fungizidbehandlung, L = Leerformulierung (= Standard), 1 und 4 mg Wirkstoff je Karyopse  
 rot: Masse ist um mehr als 5 % geringer als der Standard,  
 blau: Masse ist um mehr als 5 % größer als der Standard

So zeigen Spross, Mesokotyl und Wurzel unterschiedlich starke Reaktionen auf die Insektizidbehandlung. Die deutlichsten Wirkeffekte werden bei der Wurzel erkennbar, die geringsten beim Mesokotyl. Bei Imidacloprid zeigte sich beim Spross eine leichte, bei der Wurzel eine deutliche Verzögerung des Wachstums.

Im Gegensatz zu 1 mg Carbofuran, welches beim Spross keine Reaktion und bei der Wurzel eine leichte Beeinträchtigung hervorruft, ist bei Behandlung mit Fipronil für keines der Organe eine Reaktion nachgewiesen.

Imidacloprid lässt bei optimaler Temperatur im Faltenfilter eine deutliche Förderung des Wachstums von Spross und Wurzel erkennen, unter Temperaturstress ist jedoch das Gegenteil der Fall. Hier wird eine deutliche verzögernde Wirkung auf das Wurzelwachstum erkennbar.

In Anbetracht der Tatsache, dass die Wasserlöslichkeit der Wirkstoffe in der Reihenfolge Acephate > Imidacloprid > Carbofuran > Fipronil > Tefluthrin abnimmt, während die Lipophilie in der umgekehrten Reihung zunimmt, lässt sich ein Zusammenhang zwischen diesen physikalisch-chemischen Eigenschaften und der Wirkung der Insektizide aus unterschiedlichen Wirkstoffklassen nicht feststellen.

### 3.5.3 **Mais, Auflauf verschiedener Sorten in gegossener Standardlaborerde**

Nach den Labortests in Faltenfilter sollte die Pflanzenverträglichkeit dieser Wirkstoffe vergleichend mit dem standardisierten Auflauftest in Sandigem Lehm bei Wkmax 50 % untersucht werden. Es wurde vermutet, dass sich auch hier unter praxisnahen Bedingungen in Erde eine Beziehung zwischen den systemischen Eigenschaften und den Auflaufraten herstellen lässt.

In einer ersten Versuchsserie wurde der Einfluss der Untersuchungsprobe (Sorte und Keimfähigkeit) geprüft. Dabei konnten keine generellen Unterschiede zwischen den Proben festgestellt werden, sodass in den weiteren Versuchen Mais der Sorte Prinz mit jeweils 1 mg und 2 mg der fünf Wirkstoffe behandelt und im Auflauftest untersucht wurde.

**Mais:** Helga, Pedro, Prinz

**Anzahl:** 100 Karyopsen

**Behandlung:** Fungizidbehandlung, Leerformulierung (= Standard), je 1 mg und 4 mg Acephate, Imidacloprid, Carbofuran, Fipronil und Tefluthrin

**Substrat:** Standardlaborerde, 50 % Wkmax, gegossen

**Inkubation:** 20°C, Wechsellicht

**Beobachtung:** Auflauf täglich vom 3. bis zum 7. Tag sowie am 10. Tag

#### **Auflauf**

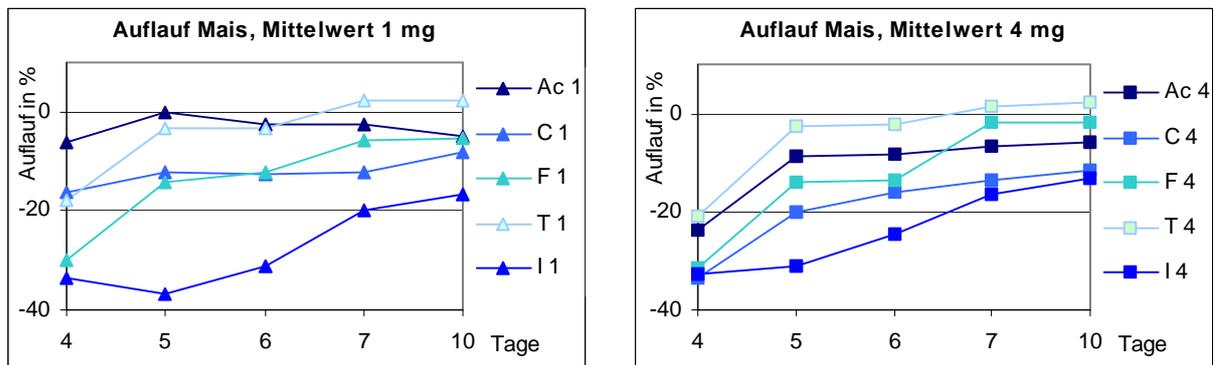
Der Auflauf begann am 4. Tag und betrug beim Standard 53 %. Er zeigte im Mittel über die drei Sorten eine deutliche Verzögerung bei Behandlung mit Imidacloprid, gefolgt von Carbofuran und Fipronil. Acephate wies eine geringere Verzögerung auf, während die Wirkung von Tefluthrin nur schwach war. Zu diesem Zeitpunkt traten also die Wirkeffekte der fünf Insektizide am deutlichsten in Erscheinung. Sie nahmen im Versuchsverlauf stetig ab, sodass am 10. Tag nur noch in Einzelfällen eine leichte Wirkung auf das Auflaufverhalten erkennbar war. Mit zunehmender Konzentration wurden die Effekte der insektiziden Wirkstoffe stärker (Tabelle 54, Abbildung 100).

Die verzögernde Wirkung war im Falle von Imidacloprid und Fipronil in beiden Konzentrationen, sowie bei Acephate mit 4 mg deutlich, während dies bei Tefluthrin nur bei 4 mg der Fall war.

## Ergebnisse

Tag	S	L	Acephate		Imidacloprid		Carbofuran		S	L	Fipronil		Tefluthrin	
			1 mg	4 mg	1 mg	4 mg	1 mg	4 mg			1 mg	4 mg	1 mg	4 mg
4	53	51	47	17	19	29	37	20	34	28	4	2	16	13
5	85	82	85	62	68	77	73	65	92	88	78	78	89	90
6	90	87	87	72	75	82	77	74	93	89	80	79	89	91
7	91	90	89	74	76	84	79	77	95	95	89	93	97	96
10	98	96	93	82	85	92	90	87	95	95	89	93	97	97
Differenzen zum Standard [%]														
4	2		-4	-34	-32	-21	-14	-31	5		-25	-26	-12	-16
5	3		3	-20	-14	-5	-9	-17	5		-9	-9	1	2
6	3		0	-15	-12	-6	-10	-13	4		-9	-10	0	2
7	1		-2	-16	-14	-6	-12	-13	0		-6	-2	2	1
10	3		-2	-14	-11	-3	-5	-9	0		-6	-2	2	2

**Tabelle 54.** Mittelwert des Aufbaus [%] von drei Sorten Mais bei Behandlung mit Acephate, Imidacloprid, Carbofuran, Fipronil und Tefluthrin, darunter Differenzen zum Standard. Daten aus zeitgleichen Versuchen sind farbgleich gelb oder blau unterlegt. S = Fungizidbehandlung, L = Leerformulierung (= Standard), 1 und 4 mg Wirkstoff je Karyopse rot: Aufbaufwert ist um mehr als 5 % geringer als der Standard, blau: Aufbaufwert ist um mehr als 5 % größer als der Standard

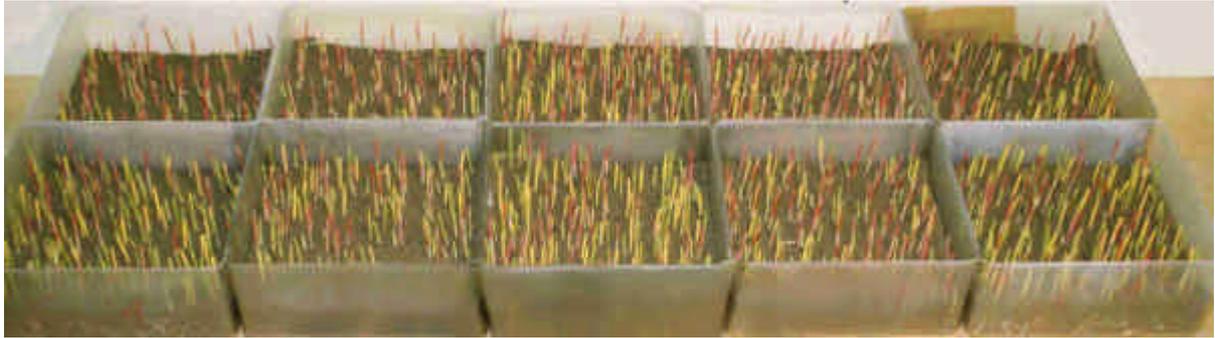


**Abbildung 100.** Differenzen des Aufbaus von Mais am 4. Tag, bei Behandlung mit 1 mg und 4 mg Acephate (Ac), Imidacloprid (I), Carbofuran (C), Fipronil (F) und Tefluthrin (T) zum Standard

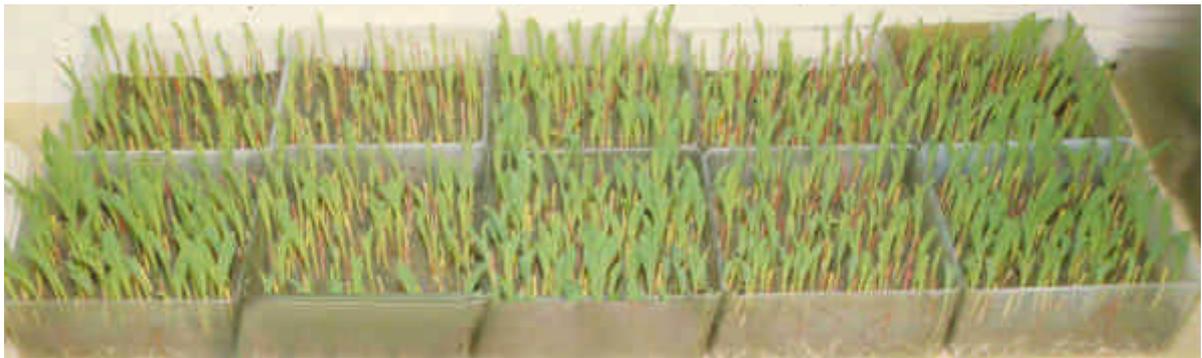
Die aufbauverzögernde Wirkung der fünf Insektizide nimmt also in folgender Reihe ab:

<b>Mittelwert</b> (1 mg,4mg)	Carbofuran	>	Imidacloprid	>>	Fipronil	=	Acephate	>	Tefluthrin
<b>1 mg</b>	Imidacloprid	>	Fipronil	>	Tefluthrin	>	Carbofuran	>>	Acephate
<b>4 mg</b>	Acephate	>	Carbofuran	>	Fipronil	>	Imidacloprid	>	Tefluthrin

Die Wasserlöslichkeit nimmt in folgender Reihung ab  
 Acephate > Imidacloprid > Carbofuran > Fipronil > Tefluthrin  
 die Lipophilie nimmt in der umgekehrten Reihenfolge zu.



5 Tage



6 Tage



8 Tage

**Abbildung 101.** Auflauf von Insektizid behandeltem Mais.

Obere Reihe 4 mg, untere Reihe 1 mg Insektizid,  
von links nach rechts: Carbofuran, Imidacloprid, Acephate, Fipronil, Tefluthrin

Es lässt sich erkennen, dass die Wirkung der Insektizide von der applizierten Wirkstoff-Konzentration abhängt (Abbildung 100, Abbildung 101). Jedoch lässt sich weder bei 1 mg noch bei 4 mg Wirkstoff eine eindeutige Beziehung zwischen der auflaufverzögernden Wirkung und der Wasserlöslichkeit / Lipophilie oder Systemizität der Wirkstoffe herstellen. Da die fünf untersuchten Insektizide völlig unterschiedlichen Stoffklassen angehören ist ein solches Ergebnis nicht überraschend. Vielmehr ist zu erwarten, dass die Stoffe jeweils spezifische physiologische Wirkungen auslösen.

### 3.5.4 Vergleichende Betrachtung der fünf Wirkstoffe

#### Wachstumstest unter optimalen Bedingungen

Die fünf Wirkstoffe zeigten unter optimalen Bedingungen einen gleichartigen Einfluss auf Spross und Wurzel, der jedoch in seiner Intensität variierte. Der Spross reagierte sensibler als die Wurzel. Grundsätzlich zeigte sich die stärkste Wachstumsbeeinträchtigung bei Acephate, während eine deutliche Wachstumsförderung bei Imidacloprid auftrat. Fipronil folgte in seiner Wirkung derjenigen von Imidacloprid. Während Tefluthrin die beiden Organe zumeist leicht förderte, war Carbofuran stets ohne Einfluss.

#### Wirkintensität der 5 Insektizide auf Spross und Wurzel unter optimalen Bedingungen im Faltenfilter

Die Wirkintensität ist in der folgenden Reihung von links nach rechts abnehmend.

<b>Spross:</b>						
---	--	-	0	+	++	+++
Acephate >			Carbofuran <	Tefluthrin <	Fipronil <	Imidacloprid
<b>Wurzel:</b>						
---	--	-	0	+	++	+++
Acephate >	Tefluthrin >	Carbofuran >		Fipronil <		Imidacloprid <

0 = ohne Einfluss, + = fördernde-, - = verzögernde Wirkung

#### Wachstumstest unter suboptimalen Bedingungen

- Längenmessungen**

Unter suboptimalen Bedingungen fand sich grundsätzlich dieselbe Reihenfolge der Wirkintensität wie unter optimalen Bedingungen. Hierbei reagierte die Wurzel jedoch sensibler als der Spross, was auf eine längere Expositionsdauer der Karyopsen an den Wirkstoff in der Kaltphase zurückgeführt wird.

Acephate bewirkte beim Spross bei beiden Versuchsbedingungen gleichermaßen Wachstumsverzögerungen, während die Wurzel bei suboptimalen Bedingungen weniger sensibel reagierte.

Imidacloprid führte bei optimalen Temperaturen zu einer deutlichen Wachstumsförderung bei beiden Organen, bei suboptimalen Temperaturbedingungen war dagegen sowohl beim Spross als auch bei der Wurzel eine leichte Wachstumsverzögerung erkennbar.

Carbofuran bewirkte lediglich unter suboptimalen Bedingungen und hier nur bei der Wurzel eine leichte Wachstumsbeeinträchtigung, alle weiteren Ergebnisse waren nicht durch Carbofuran beeinflusst.

Fipronil förderte unter optimalen Bedingungen die Wurzel stärker als den Spross. Ebenso wird der Spross bei suboptimalen Bedingungen gefördert, während die Wurzel unbeeinflusst bleibt.

Tefluthrin fördert bei optimaler Temperatur das Wachstum von Spross und Wurzel in allen Fällen, nur bei der hohen Konzentration von 4 mg ist die Wurzel beeinträchtigt,

Grundsätzlich kann also für die Wirkstoffe Imidacloprid, Fipronil und Tefluthrin bei optimalen Bedingungen eine fördernde Wirkung auf Spross und Wurzel festgestellt werden, während Acephate wachstumsverzögernd wirkt und Carbofuran ohne Einfluss ist. Der Kältestress bewirkte bei Imidacloprid bei beiden Organen eine geringere Förderung oder sogar die Umkehr in eine Wachstumsverzögerung.

Bei Fipronil lässt sich vergleichbares für die Wurzel beobachten, während der Spross unter beiden Bedingungen gleichartig reagiert.

Acephate, Carbofuran und Tefluthrin wiesen generell gleichartige Wirkungen bei optimalen und suboptimalen Bedingungen auf.

Imidacloprid weist als einziges der fünf Insektizide eine deutliche Beeinflussung seiner Wirkung durch die Temperaturbedingungen im Faltenfiltertest auf.

### • **Auflauf**

Beim standardisierten Auflauftest führen die Wirkstoffe zu kurzzeitigen Verzögerungen des Auflaufes, die sich in einzelnen Fällen (Acephate, Carbofuran, Tefluthrin) konzentrationsabhängig verstärken. Generell nahm die Wirkung aller untersuchten Insektizide im Versuchverlauf ab.

Acephate, der am besten wasserlösliche Wirkstoff, zeigt deutliche Verzögerungen im Auflauftest, die den bereits im Faltenfilter, bei 4 mg, als Wachstumsverzögerungen an Spross und Wurzel gefundenen Wirkungen entsprechen.

Das gut wasserlösliche und systemische Carbofuran verzögerte den Auflauf, während im Faltenfiltertest lediglich unter suboptimalen Bedingungen eine wachstumsfördernde Wirkung zu erkennen war.

Bei Fipronil und Tefluthrin kehrte sich die im Faltenfiltertest gefundene wachstumsfördernde Wirkung bei den praxisnäheren Versuchsbedingungen in Erde in eine vorübergehende Auflaufverzögerung um.

Imidacloprid zeigte die am meisten differenzierte Reaktion auf die Versuchsbedingungen. Während bei optimalen Bedingungen im Faltenfilter eine Förderung des Wachstums von Spross und Wurzel zu verzeichnen ist, tritt eine solche unter suboptimalen Bedingungen nicht mehr auf, es kommt bei 4 mg sogar zu einer Wachstumsverzögerung. Im Auflauftest wird diese kurzzeitig wirksame Verzögerung des Wachstums noch deutlicher.

Diese Unterschiede in der Reaktion der Maiskeimlinge auf die Versuchsbedingungen verdeutlichen das äußerst komplexe Wechselspiel von Stoffeigenschaften und Versuchsbedingungen, welches die letztendlich auftretenden Wirkeffekte bei einer Saatgutbehandlung ausmacht.

Der Auflauftest in Erde erwies sich also bei allen Wirkstoffen als das am besten geeignete Versuchssystem, um die Auswirkungen einer Insektizidbehandlung auf die Keimlingsentwicklung zu untersuchen.

Bei sieben verschiedenen Insektiziden wurde die Wirkung einer Beizbehandlung geprüft und bei Mais ein komplexes Zusammenspiel äußerer Einflüsse auf die Ausprägung von Wachstumsvorgängen gefunden. So stellt sich die Frage, ob solche Abhängigkeiten bei weiteren, insbesondere dikotylen Kulturarten gleichermaßen auftreten, oder ob es generelle Unterschiede in der Reaktion verschiedener Kulturarten auf Insektizidbehandlungen gibt.

Als eine weltweit bedeutende Kulturart sollte daher die Zuckerrübe, welche einen intensiven Insektizideinsatz in der Keimungs- und Jugendphase erfährt, herangezogen werden.

### 3.6 Wirkstoff Imidacloprid, Testorganismus Zuckerrübe (*Beta vulgaris* var. *altissima* Döll)

Die Zuckerrübe wurde als weltwirtschaftlich bedeutende Vertreterin der Dikotylen epigäischen Keimungstyps ausgewählt, die kein Endosperm besitzt, sondern Perisperm als Speichergewebe nutzt.

Saatgut von Zuckerrüben durchläuft bis zu seiner Fertigstellung eine Vielzahl von Aufbereitungsschritten. In der saarfertigen Pille ist der Same von einer Hüllmasse umgeben, deren wesentlichste Aufgabe eine gesicherte Einzelkornablage ist. Die Pille soll bei Befeuchtung den Samen freisetzen und dabei selbst möglichst wenig Wasser aufnehmen. Im Handel finden sich unterschiedliche Pilliermassen, die nach firmeneigenen Rezepturen erstellt sind. Diesen Hüllmassen werden je nach Auftrag Fungizide, Insektizide und Nährstoffe beigegeben.

Die Keimung der Zuckerrübe erfolgt epigäisch, wobei der Same und die Pille im Boden verbleiben und nur der verhältnismäßig kleine Spross mit den beiden Keimblättern die Oberfläche durchbricht (Abbildung 103). Dadurch ist eine Wirkstoffnachlieferung von der Pille in den Beizhof gegeben ist, aus dem die wachsende Keimwurzel mit Wirkstoff versorgt wird.



**Abbildung 103.** Auflaufende Zuckerrübenkeimlinge am 4. Tag. Die epigäisch keimenden Samen erheben ihre Kotyledonen durch Streckung des Hypokotyls über die Substratoberfläche

Aus der Saatgutprüfung ist bekannt, dass für die Keimung der Zuckerrübe die exakte Einhaltung optimaler Feuchtebedingungen wesentlich ist, da die Zuckerrübe bei zu geringer Feuchtigkeit nur sehr zögerlich keimt und auf höhere Wassergehalte im Keimbett sehr empfindlich reagiert.

Ein durch Schädlingsbefall verursachter lückiger Bestand führt im Zuckerrübenanbau zu empfindlichen Ertragseinbußen, weshalb eine effektive Insektizidbehandlung unerlässlich ist. Dabei wird die konventionelle Flächenbehandlung zunehmend von der Saatgutbehandlung abgelöst.

Diese Umstellung ermöglichte im Zuckerrübenanbau eine starke Reduktion der Aufwandmengen sowie eine Reduktion der behandelten Fläche um 99 %. Saatgutbehandlung war bei Zuckerrübe bis Anfang der 80er Jahre die Mesurool-Pille, danach die Carbofuran-Pille, die seit 1994 von Kombinationspräparaten aus Chloronicotylen und Pyrethroiden abgelöst wird. So wird seit 1994 das Insektizid Imidacloprid auch bei der Pillierung von Zuckerrüben mit einer Aufwandmenge von 90 g/unit, das ist die Saatgutmenge, die für 1 Hektar benötigt wird, eingesetzt. Seit 2002 steht im Zuckerrübenanbau eine neue Formulierung zur Verfügung, die

nur 10 g Imidacloprid und 2,7 g Tefluthrin enthält (Ziegler und Petersen, 2001). Jedoch sind auch bei der als sensibel geltenden Zuckerrübe Entwicklungsverzögerungen nach Herbizideinsatz bekannt, die insbesondere nach höherer Dosierung oder bei suboptimalen Anwendungsbedingungen auftreten können. Oftmals beeinflussen diese Stoffe zeitlich begrenzt Wachstum und Ertrag sowie die Qualität der Ernte (Beißner et al., 1999).

Daher wurde in den folgenden Versuchen wurde der Einfluss der fünf bei Mais getesteten Insektizide Acephate, Imidacloprid, Carbofuran, Fipronil und Tefluthrin auf den Auflauf untersucht.

### **3.6.1 Imidacloprid, Zuckerrübe Auflauftest in Standardlaborerde, 50 % Wkmax**

**Zuckerrübe:** Granada, Impuls, Tatjana und Wiebke

**Anzahl:** 300 Pillen bei Tatjana und Granada, 200 Pillen bei Impuls und 100 Pillen bei Wiebke

**Behandlung:** Fungizidpille (= Standard), 0,3, 0,9 und 1,8 mg Imidacloprid je Pille

**Substrat:** Standardlaborerde, 50 % Wkmax

**Inkubation:** 20°C, Wechsellicht

**Beobachtung:** Auflauf vom 3. bis zum 7. Tag täglich sowie am 10. Tag

Um festzustellen, ob sortenspezifische Unterschiede im Verhalten der Zuckerrübe vorliegen, wurde der Auflauftest in Erde mit den vier Sorten Granada, Impuls, Tatjana, und Wiebke, alle mit Keimfähigkeitswerten von 97 % und 98 %, durchgeführt. Dabei wurden bei Granada und Tatjana 300-, bei Impuls 200- und bei Wiebke 100 Pillen geprüft.

#### **Auflauf**

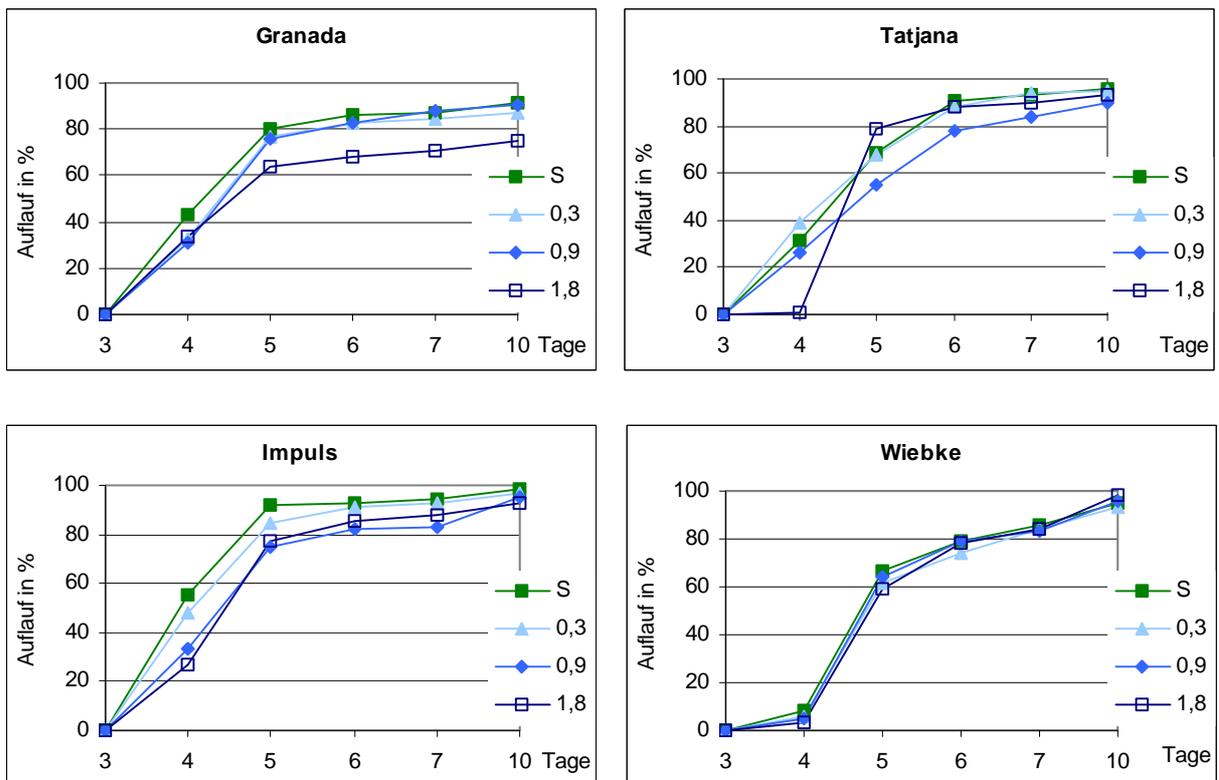
Die monogermen, als Pillen aufbereiteten Rübenknäuel, in denen das Fungizid Thiram mit 0,2 mg je Pille bereits enthalten ist, wurden als Standard verwendet. Die Imidaclopridvarianten wurden mit 0,3; 0,9 und 1,8 mg Wirkstoff je Pille gebeizt. Als Substrat diente Sandiger Lehm, eingestellt auf 50 % Wkmax, in Erdschalen. Für Zuckerrüben wird insbesondere bei leicht verschlammenden Böden eine flache Ablage empfohlen, weshalb eine Ablagetiefe von 2 cm gewählt wurde. Nach Begießen wurden die Schalen geschlossen und bei 20°C in Wechsellicht inkubiert. Die Auswertung des Auflaufes erfolgte täglich vom 3. bis zum 7. Tag und abschließend am 10. Tag.

Der Auflauf in Erde führte bei allen Sorten nach 10 Tagen zu Werten die mit der Keimfähigkeit vergleichbar sind. Dabei wird ersichtlich, dass der Einfluss des Wirkstoffs im Verlauf der Keimlingsentwicklung bei den einzelnen Sorten verschieden ist, jedoch grundsätzlich ein gleichartiges Verhalten aufweist. So war bei allen Sorten die Konzentration von 0,3 mg dem Standard vergleichbar, während 0,9 mg und 1,8 mg sich anders verhalten. Während bei der Sorte Wiebke nur eine ganz geringe Verzögerung im Vergleich zum Standard festgestellt werden konnte, zeigten die anderen in der Reihenfolge Impuls, Tatjana, Granada mit der höchsten Wirkstoffkonzentration die stärksten Abweichungen (Tabelle 55, Abbildung 104).

## Ergebnisse

	Granada				Impuls				Tatjana				Wiebke				Mittelwert			
Tag	S	0,3	0,9	1,8	S	0,3	0,9	1,8	S	0,3	0,9	1,8	S	0,3	0,9	1,8	S	0,3	0,9	1,8
4	43	33	31	34	52	52	32	30	42	52	35	37	8	6	5	3	46	46	33	34
5	80	76	76	64	92	89	73	79	89	89	72	68	67	62	64	59	87	85	74	70
6	86	83	83	68	94	94	82	87	91	92	79	78	79	74	79	78	90	90	81	78
7	87	85	88	71	95	96	82	89	93	95	82	82	86	84	83	84	92	92	84	81
10	92	87	90	75	99	100	96	94	96	96	89	86	95	93	96	98	95	94	92	85
Differenzen zum Standard [%]																				
4		-10	-12	-9		0	-20	-23		10	-7	-5		-2	-3	-5		0	-13	-12
5		-4	-5	-17		-3	-19	-13		1	-17	-21		-5	-3	-8		-2	-13	-17
6		-3	-3	-18		1	-12	-7		1	-12	-13		-5	0	-1		-1	-9	-13
7		-3	1	-16		2	-13	-6		2	-11	-11		-2	-3	-2		0	-8	-11
10		-5	-1	-17		1	-3	-5		0	-7	-10		-2	1	3		-1	-4	-11

**Tabelle 55.** Auflauf von Zuckerrübe [%] vom 3. bis zum 10. Tag im Erdtest, bei Behandlung mit Imidacloprid unterschiedlicher Konzentrationen, darunter Differenzen zum Standard.  
 S = Fungizidbehandlung (= Standard); 0,3; 0,9 und 1,8 mg Imidacloprid je Knäuel  
 rot: Auflaufwert ist um mehr als 5 % geringer als der Standard,  
 blau: Auflaufwert ist um mehr als 5 % größer als der Standard



**Abbildung 104.** Auflauf von vier Sorten von Zuckerrübe vom 3. bis zum 10. Tag im Erdtest bei 50 % Wkmax nach Behandlung mit Imidacloprid unterschiedlicher Konzentrationen.  
 S = Fungizidbehandlung (= Standard), 0,3; 0,9 und 1,8 mg Imidacloprid je Knäuel

Interessanterweise glich sich die 0,9 mg Variante bei Granada bereits am 5. Tag an den Standard an, während diese Konzentration bei Impuls dem Verlauf der Hochkonzentrierten folgte und bei Tatjana bis zum 7. Tag unter dem Standard lag. Es zeigt sich also, dass bei der praxisüblichen Aufwandmenge von 0,9 mg Wirkstoff je Pille am 7. Versuchstag keine der Sorten mehr einen Unterschied zum Standard erkennen lässt. Dies bedeutet jedoch, dass die Keimlinge nach der Verzögerung am 4. Tag nicht mit normaler Geschwindigkeit weiterwachsen, sondern dass der Auflauf nun schneller als beim Standard erfolgt, also durch den Wirkstoff gefördert wird. Am 10. Tag waren nur noch bei der überhöhten Aufwandmenge von 1,8 mg je Pille Wirkeffekte zu erkennen. Bei einer Wirkstoffkonzentration bis zu 0,9 mg je Pille entspricht der Endauflauf am 10. Tag überall dem Standard.

Die vier Proben erwiesen sich als unterschiedlich empfindlich gegen den Wirkstoff. Während die stärksten Auflaufverzögerungen bei der Probe Impuls festgestellt wurden, blieb die Wirkung bei Granada schwächer, bei Tatjana noch geringer und bei Wiebke am geringsten, wobei die Wirkeffekte bei den drei Proben nicht zeitgleich auftreten (Tabelle 55, Abbildung 104). Bei der Probe Impuls wurde am 10. Tag auch bei einer Wirkstoffkonzentration von 1,8 mg ein dem Standard vergleichbarer Auflauf erreicht, während die beiden anderen Proben noch Differenzen aufwiesen.

Die Gleichartigkeit des Verhaltens der vier Sorten lässt den Schluss zu, dass hier nicht ein Sorteneinfluss vorliegt, sondern die unterschiedliche Qualität der Einzelproben ausschlaggebend ist.

### **3.6.2 Imidacloprid, Zuckerrübe, Auflauftest in Standardlaborerde, 40 % und 50 % Wkmax Feuchtigkeitsgehalt**

Zum Vergleich des Wirkstoffeinflusses bei unterschiedlichen Feuchtigkeitsgehalten wurden die Sorten Granada, Impuls und Tatjana im Erdaufauftests herangezogen. Die Behandlung erfolgte wie beim Sortenvergleich, die Erde wurde mit 50 ml Wasser auf 40 % Wkmax und mit 200 ml auf 50 % Wkmax eingestellt. Es wurden zwei Versuche mit 2 x 50 Pillen angesetzt.

**Zuckerrübe:** Granada, Impuls, Tatjana

**Anzahl:** 100 Pillen

**Behandlung:** Standard, 0,3, 0,9 und 1,8 mg Imidacloprid je Pille

**Substrat:** Standardlaborerde 40 % und 50 % Wkmax

**Inkubation:** 20°C, Wechsellicht

**Beobachtung:** Auflauf vom 3. bis zum 7. Tag täglich sowie am 10. Tag

#### **Auflauf**

Beim Standard wurden in den beiden Feuchtigkeitsstufen vergleichbare Auflaufwerte erreicht. In der Entwicklung eilte die trockenere Variante am 4. Tag voraus, wurde aber am 5. Tag von der feuchten Variante überholt (Tabelle 56, Abbildung 105). Die Auflaufkurve entsprach dem gewohnten Bild. Bei den beiden niedrigen Wirkstoffkonzentrationen, 0,3 mg und 0,9 mg Imidacloprid je Pille, waren keine Unterschiede zwischen den beiden Feuchtigkeiten zu erkennen. Erst eine Verdoppelung auf 1,8 mg je Pille ließ unter den feuchteren Bedingungen eine Verzögerung vom 4. bis zum 10. Tag erkennen. Bei beiden Feuchtigkeitsgehalten war

## Ergebnisse

mit zunehmender Wirkstoffkonzentration eine zunehmende, den Auflauf verzögernde Wirkung zu erkennen, die bei 1,8 mg auch am 10. Tag noch anhält.

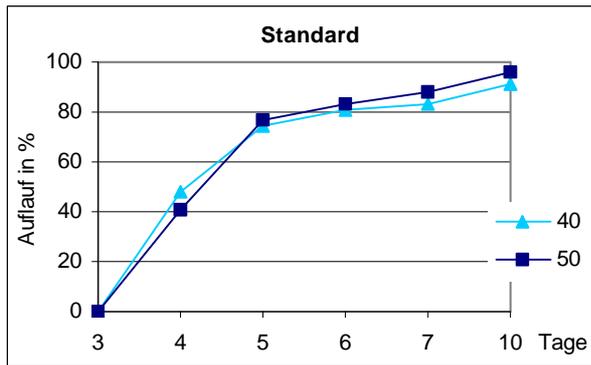
<b>40 % Wkmax</b>																
	<b>Granada</b>				<b>Impuls</b>				<b>Tatjana</b>				<b>Mittelwert</b>			
<b>Tage</b>	<b>S</b>	<b>0,3</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>S</b>	<b>0,3</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>S</b>	<b>0,3</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>S</b>	<b>0,3</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
<b>4</b>	50	40	44	52	38	42	29	28	56	57	40	41	48	46	38	40
<b>5</b>	75	64	66	62	67	66	53	59	83	76	65	57	75	68	61	59
<b>6</b>	80	70	73	64	78	76	64	68	86	83	70	62	81	76	69	65
<b>7</b>	83	71	77	64	81	79	67	74	87	85	74	69	84	78	73	69
<b>10</b>	88	79	85	68	94	93	78	84	93	92	88	81	92	88	83	78
<b>Differenzen zum Standard [%]</b>																
<b>4</b>		-11	-6	2		4	-10	-10		1	-16	-15		-2	-11	-8
<b>5</b>		-11	-9	-13		-2	-14	-8		-7	-18	-26		-6	-13	-16
<b>6</b>		-10	-7	-17		-3	-15	-10		-3	-16	-24		-5	-13	-17
<b>7</b>		-12	-7	-19		-2	-14	-7		-2	-13	-19		-5	-11	-15
<b>10</b>		-10	-3	-21		-1	-16	-10		-2	-6	-12		-4	-8	-14
<b>50 % Wkmax</b>																
	<b>Granada</b>				<b>Impuls</b>				<b>Tatjana</b>				<b>Mittelwert</b>			
<b>Tage</b>	<b>S</b>	<b>0,3</b>	<b>0,9</b>	<b>1,8</b>	<b>S</b>	<b>0,3</b>	<b>0,9</b>	<b>1,8</b>	<b>S</b>	<b>0,3</b>	<b>0,9</b>	<b>1,8</b>	<b>S</b>	<b>0,3</b>	<b>0,9</b>	<b>1,8</b>
<b>4</b>	53	40	37	42	27	25	11	9	44	51	35	34	41	39	27	28
<b>5</b>	82	70	78	56	67	55	38	49	82	80	62	48	77	68	59	51
<b>6</b>	84	75	83	57	77	66	53	63	89	87	70	54	83	76	69	58
<b>7</b>	87	76	89	62	84	81	62	74	93	90	75	62	88	82	75	66
<b>10</b>	92	79	93	68	99	96	93	91	99	96	88	76	96	90	91	78
<b>Differenzen zum Standard [%]</b>																
<b>4</b>		-13	-16	-11		-2	-16	-18		7	-10	-11		-3	-14	-13
<b>5</b>		-13	-5	-26		-13	-29	-18		-3	-20	-35		-9	-18	-26
<b>6</b>		-9	-1	-27		-11	-24	-14		-3	-19	-35		-7	-15	-25
<b>7</b>		-11	2	-25		-3	-22	-10		-3	-19	-31		-6	-13	-22
<b>10</b>		-13	1	-24		-3	-6	-8		-4	-11	-23		-6	-5	-18

**Tabelle 56.** Auflauf von drei Proben von Zuckerrübe [%] nach Behandlung mit Imidacloprid in Standardlaborerde mit 40 % und 50 % Wkmax., darunter jeweils Differenzen zum Standard.

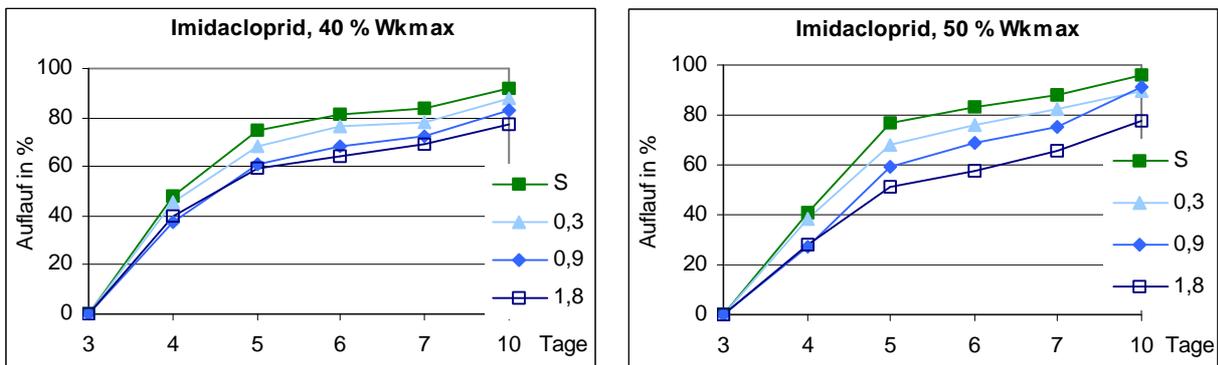
0,3; 0,9 und 1,8 mg Imidacloprid je Knäuel

rot: Auflaufwert ist um mehr als 5 % geringer als der Standard, blau: Auflaufwert ist um mehr als 5 % größer als der Standard

## Ergebnisse



**Abbildung 105.** Auflauf des Zuckerrüben Standard bei 40 % und 50 % Wkmax



**Abbildung 106.** Wirkung von Imidacloprid unterschiedlicher Konzentration in Standardlaborerde bei 40 % und 50 % Wkmax. S = Fungizidbehandlung (= Standard), 0,3, 0,9 und 1,8 mg Imidacloprid je Knäuel



**Abbildung 107.** Feuchtigkeitsempfindlichkeit bei der Zuckerrübe, Auflauf standardbehandelter Zuckerrüben am 6. Tag.

Von links nach rechts: ohne Wasserzugabe, mit 100 ml, mit 200 ml Wasser gegossen

Die Sensibilität der Zuckerrübe gegenüber der Bodenfeuchte wird durch diese Ergebnisse bestätigt. Der Unterschied der beiden Feuchtigkeitsgehalte ist nur gering. Aber es ist bekannt, dass die Zuckerrübe in der Keimung sehr sensibel auf höhere Feuchtigkeit reagiert. Da höhere Feuchte eine verstärkte Wirkstoffaufnahme ermöglicht, können die beobachteten Effekte auch auf einer erhöhten Wirkstoffakkumulation im Keimling beruhen (Tabelle 56, Abbildung 106, Abbildung 107). Im Gegensatz zu den Beobachtungen an den anderen Kulturarten blieb der Einfluss am 4. Tag nur gering, verstärkte sich jedoch im weiteren Versuchsverlauf, um erst gegen Ende wieder abzuflachen.

### 3.7 Imidacloprid, Zuckerrübe, Auflauftest in unterschiedlichen Böden und Feuchtigkeiten

**Zuckerrüben:** Wiebke

**Behandlung:** Standard und 0,9 mg Imidacloprid

**Anzahl:** 100 Pillen

**Substrat:** Sand (I), Lehmgiger Sand (II), Sandiger Lehm (III), Toniger Lehm (IV) und Lehmgiger Ton (V) bei 40 % und 50 % Wkmax

**Inkubation:** 20°C, Wechsellicht

**Beobachtung:** Auflauf täglich vom 3. bis zum 7. Tag, sowie am 10. Tag

Je 100 Zuckerrübenpillen der Sorte Wiebke (Keimfähigkeit 97 %), behandelt mit Standard und 0,9 mg Imidacloprid wurden in Sand (I), Lehmgigem Sand (II), Sandigem Lehm (III), Tonigem Lehm (IV) und Lehmgigem Ton (V) bei jeweils 40 % und 50 % Wkmax im Auflauftest untersucht. Die Ablagetiefe der Zuckerrüben betrug 2 cm, die Einstellung des Feuchtigkeitsgehaltes der Böden erfolgte durch Begießen.

#### Auflauf

Gemeinsam ist allen Versuchen, dass beim Standard die ersten Pflanzen am 4. Tag erschienen und nach bodenabhängigem Verlauf beide Feuchtigkeitswerte am 10. Tag den selben Endwert erreichten.

Bei den einzelnen Böden waren die Werte vom Bodentyp und der Feuchte dergestalt abhängig, dass sich die Auflaufwerte von den leichten Böden I und II bis zum Sandigen Lehm im trockenen Milieu zunehmend verbesserten, dagegen im Feuchteren stets niedriger lagen. Bei den schweren Böden IV und V habe sich die Verhältnisse zugunsten der höheren Feuchten umgekehrt. Die besten Auflauf-Bedingungen fanden sich im Sandigen Lehm, in dem der Standard bei beiden Feuchtigkeitsvarianten über die gesamte Zeit gleichwertige Ergebnisse erzielte.

#### Sand I

In Sand war der Auflauf im Trockenen durch Imidacloprid am 4. Tag leicht und ab dem 6. Tag über die gesamte Versuchsdauer deutlich verringert. Die feuchte Variante lief bis zum 7. Tag mit nahezu gleichen Werten wie ihr Standard auf, die jedoch geringer waren als derjenige bei der trockeneren Variante. Aus der Tatsache, dass die Werte des Auflaufs im Feuchten mit dem Standard übereinstimmten, lässt sich ableiten, dass diese Verzögerung allein auf den Feuchteinfluss zurückzuführen ist (Tabelle 57, Tabelle 58, Abbildung 108, Abbildung 109).

Da aufgrund der Bodenstruktur das Wasser im Sand nicht adsorbiert wird und somit unmittelbar die Zuckerrübenpille umgeben kann, ist im Vergleich zu den anderen Böden eine höhere Menge pflanzenverfügbaren Wassers gegeben. Wie oben bereits dargelegt (3.6.2) reagiert die Zuckerrübe darauf bereits mit dem Standard sehr sensibel und unter diesem Stress stark auf eine Imidacloprid-Behandlung. Für einen Zuckerrübenanbau wären solche Böden als Extremstandort nicht geeignet.

## Ergebnisse

40 % Wkmax												
Boden	MW Boden		I		II		III		IV		V	
Tage	S	0,9	S	0,9	S	0,9	S	0,9	S	0,9	S	0,9
3	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
4	31	19	20	13	63	36	62	37	7	9	4	1
5	86	60	59	35	90	56	98	76	89	63	92	71
6	91	71	79	47	91	62	100	89	92	85	94	71
7	95	76	84	55	92	64	100	89	97	93	100	81
10	98	85	95	65	94	75	100	100	100	97	100	88
Differenzen zum Standard [%]												
3		0		0		1		0		0		0
4		-12		-7		-27		-25		2		-3
5		-25		-24		-34		-22		-26		-21
6		-20		-32		-29		-11		-7		-23
7		-18		-29		-28		-11		-4		-19
10		-13		-30		-19		0		-3		-12

**Tabelle 57.** Auflauf von Zuckerrüben [%], behandelt mit Imidacloprid in 5 verschiedenen Böden, bei 40 % Wkmax. S = Standard, darunter Differenzen zum Standard. 0,9 = 0,9 mg Imidacloprid je Knäuel, rot: Auflaufwert ist um mehr als 5 % geringer als der Standard,

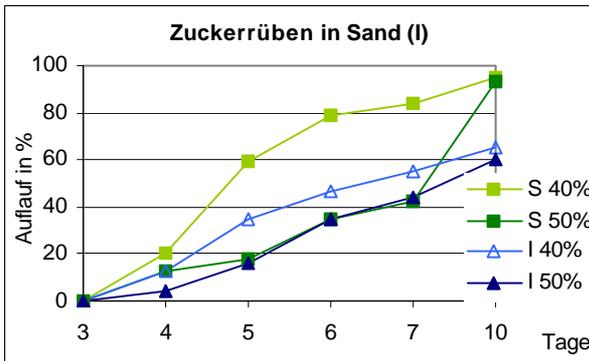
50 % Wkmax												
Boden	MW Boden		I		II		III		IV		V	
Tage	S	0,9	S	0,9	S	0,9	S	0,9	S	0,9	S	0,9
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	34	16	13	4	24	10	56	36	27	9	52	20
5	67	41	18	16	60	26	90	61	84	51	84	50
6	74	55	35	35	71	33	92	66	84	85	89	58
7	80	60	42	44	78	38	92	66	95	89	91	64
10	95	72	93	60	96	63	93	73	99	93	95	71
Differenzen zum Standard [%]												
3		0		0		0		0		0		0
4		-18		-9		-14		-20		-18		-32
5		-26		-2		-34		-29		-33		-34
6		-19		0		-38		-26		1		-31
7		-19		2		-40		-26		-6		-27
10		-23		-33		-33		-20		-6		-24

**Tabelle 58.** Auflauf von Zuckerrüben [%], behandelt mit Imidacloprid in 5 verschiedenen Böden, bei 50 % Wkmax. S = Standard, darunter Differenzen zum Standard. 0,9 = 0,9 mg Imidacloprid je Knäuel, rot: Auflaufwert ist um mehr als 5 % geringer als der Standard,

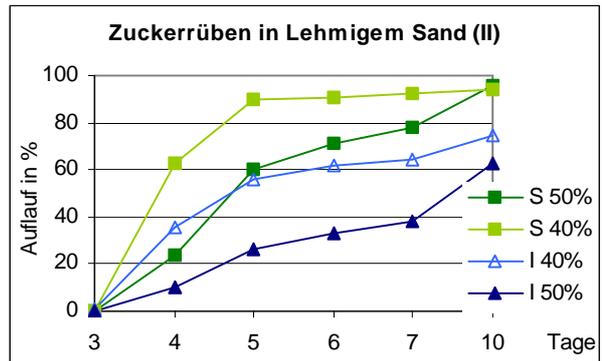
### Lehmiger Sand II

Im Lehmigen Sand zeigten beide Feuchtevarianten deutliche Differenzen zu ihrem jeweiligen Standard. Dabei lagen die Werte der feuchteren Wirkstoffvariante tiefer und ließen somit neben der Feuchte auch eine zusätzliche Imidaclopridwirkung erkennen (Tabelle 57, Tabelle 58).

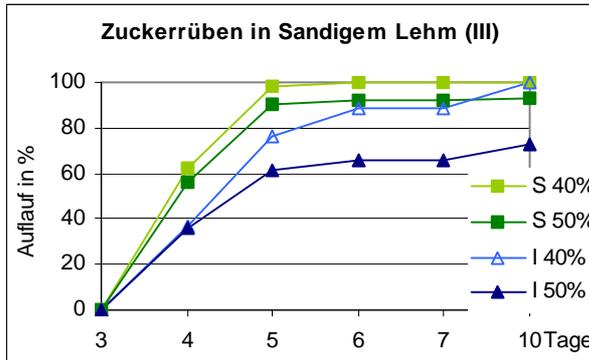
Die Gründe sind hier dieselben wie bei Sand I, dass durch die noch relativ schwachen Adsorptionskräfte zu viel freies Wasser die Entwicklung des Standards beeinträchtigt. Dabei ist hier schon festzustellen, dass bei 40 % Wkmax gegenüber 50 % Wkmax ein deutlich besserer Auflauf erfolgt. Die immer noch vorliegende Stresssituation bewirkt aber auch hier noch starke Effekte des Imidacloprid.



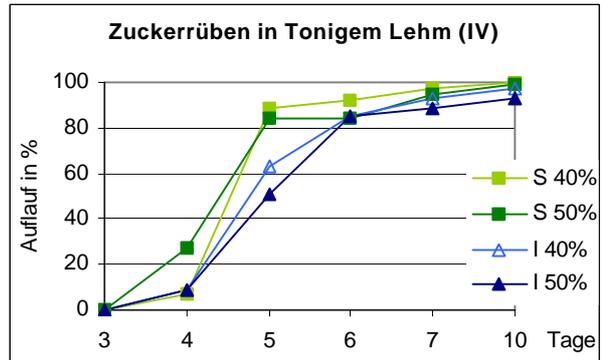
A)



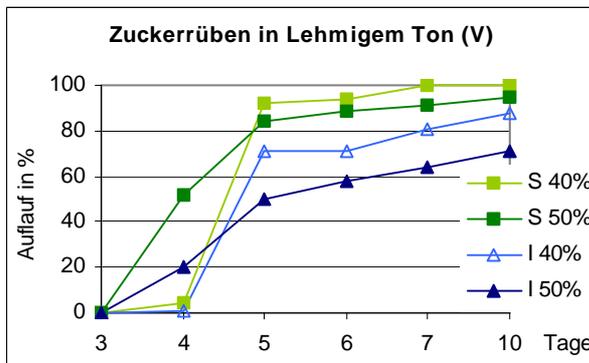
B)



C)



D)



E)

**Abbildung 108.** Auflauf von Zuckerrüben. Standard (S) sowie behandelt mit 0,9 mg Imidacloprid (I) je Pille in fünf verschiedenen Böden bei 40 % und 50 % Wkmax

### Sandiger Lehm III

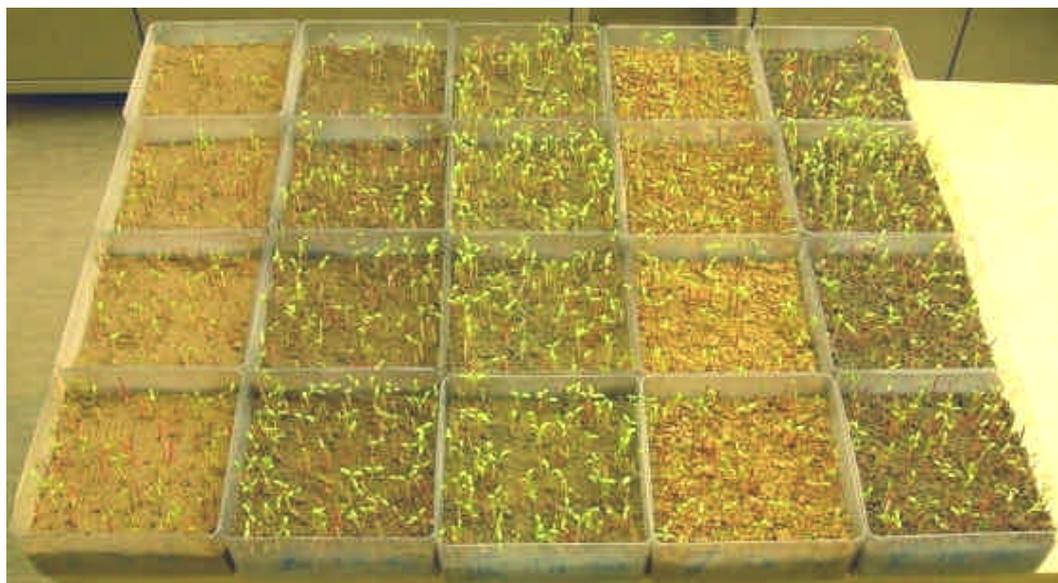
Beide Feuchtevarianten wiesen im Sandigen Lehm Differenzen vom Standard auf, die im Trockeneren geringer waren als im Feuchten. Zu Versuchsende hatte nur die trockenere Variante ihren Standardwert erreicht (Tabelle 57, Tabelle 58).

### Toniger Lehm IV

Im Tonigen Lehm erfuhren beide Feuchten einen vergleichbaren Wirkstoffeinfluss. Sie unterschieden sich nur am 4. und 5. Tag deutlich vom Standard. Die Entwicklung der auflaufenden Pflanzen ab dem 6. Tag wurde von den unterschiedlichen Feuchten nicht mehr beeinflusst (Tabelle 57, Tabelle 58).

### Lehmiger Ton V

Der Lehmige Ton ließ im Trockenen eine deutliche-, im Feuchten eine starke Wirkung des Imidacloprid gegenüber dem Standard erkennen. Diese zeigte sich unter feuchten Bedingungen früher, unter trockeneren erst am 5. Tag, an dem die Werte zugleich diejenigen der feuchten Variante überholten, sodass nun bis zum Versuchsende gleichlaufend bei beiden Feuchten Auflaufverzögerungen gegenüber dem Standard vorlagen. Zugleich zeigten sich unter feuchteren Bedingungen die niedrigeren Auflaufwerte (Tabelle 57, Tabelle 58).



**Abbildung 109.** Auflauf von Imidacloprid behandelten Zuckerrüben in 5 verschiedenen Bodenarten bei 40 % und 50 % Wkmax am 4. Tag.

Von links nach rechts: Sand, Lehmiger Sand, Sandiger Lehm, Toniger Lehm, Lehmiger Ton.

Von oben nach unten: 50 % Wkmax, 0,9 mg Imidacloprid; 50 % Wkmax, Fungizid;

40 % Wkmax, 0,9 mg Imidacloprid; 40 % Wkmax Fungizid

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die Behandlung mit Imidacloprid unter optimalen Bedingungen, wie sie im Tonigen Lehm bei Feuchten von 40 % und 50 % Wkmax gegeben sind, nur einen kurzfristigen Einfluss (5. Tag) auf den Auflauf ausüben, der in allen anderen Böden länger anhält und selbst am 10. Tag noch keineswegs abgeschlossen ist. Die Verzögerungen sind unter den feuchteren Verhältnissen mit Ausnahme von Boden I stärker als im trockeneren Bereich. Der Wirkstoffeinfluss war im Tonigen Lehm unter trockenen Bedingungen am geringsten, während dies in Sand bei den feuchten Bedingungen der Fall war. Bei allen anderen Böden sind komplexere Zusammenhänge in Boden - Feuchte - Wirkstoffsystem zu erwarten.

### 3.7.1 Imidacloprid, Zuckerrübe, Einfluss der Pillierung

#### 3.7.1.1 Auflauftest in Standardlaborerde, 40 % Wkmax

**Zuckerrübe:** Impuls

**Anzahl:** 100 Pillen, 100 depillierte Samen

**Behandlung:** Standard, 0,3; 0,9 und 1,8 mg Imidacloprid je Pille

**Substrat:** Standardlaborerde 40 % Wkmax

**Inkubation:** 20°C, Wechsellicht

**Beobachtung:** Auflauf vom 3. bis zum 7. Tag täglich sowie am 10. Tag

Mit diesem Versuch sollte der Einfluss der Pillenmasse auf die Wirkung von Imidacloprid im Auflaufverhalten untersucht werden. Die Pillierungsmasse wurde bei einer Versuchshälfte entfernt und das Saatgut mit Fungizid und Insektizid der Konzentrationen 0,3 mg, 0,9 mg und 1,8 mg Imidacloprid je Pille gebeizt. Bei dem pillierten Ansatz ist das Fungizid in der Pillierungsmasse bereits vorhanden, daher wurde dieses Saatgut nur noch mit Insektizid der selben Konzentrationen gebeizt. Als Standard dienten die nur mit Fungizid behandelten Varianten. Die Versuche wurden mit Saatgut der Sorte Impuls an 2 x 50 Samen in Sandigem Lehm mit 40 % Wkmax durchgeführt. Die Ablagetiefe betrug 2 cm, die Ansätze wurden gegossen und in verschlossenen Schalen bei 20°C im Wechsellicht inkubiert. Der Auflauf wurde vom 3. bis zum 7. Tag und am 10. Tag beurteilt.

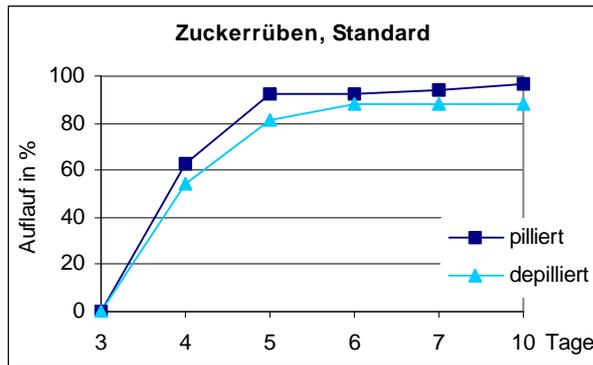
#### Auflauf

Eine Pillierung begünstigte die Keimlingsentwicklung und den Auflauf, zeigte jedoch im Endergebnis keine höheren Werte als die depillierte Variante.

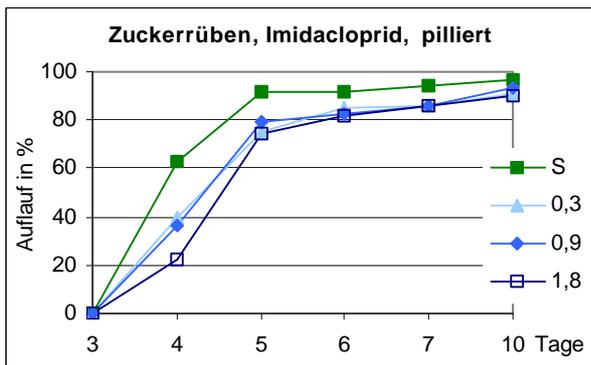
So lief das pillierte Saatgut in Erde rascher auf als Depilliertes und erzielt bereits am 5. Tag einen 10 % höheren Auflauf, eine Differenz, die bis zum 10. Tag erhalten blieb. Dies wird dem verbesserten Kontakt zwischen der Saatgutoberfläche und dem umgebenden Medium zugeschrieben, der eine Wasseraufnahme erleichtert (Tabelle 59, Abbildung 110, Abbildung 111).

Tag	pilliert				depilliert				Differenzen zum Standard [%]							
	S	0,3	0,9	1,8	S	0,3	0,9	1,8	pilliert				depilliert			
	S	0,3	0,9	1,8	S	0,3	0,9	1,8	S	0,3	0,9	1,8	S	0,3	0,9	1,8
3	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0		0	0	0
4	63	40	36	22	54	44	52	38		-23	-27	-41		-10	-2	-16
5	92	75	79	74	81	73	78	77		-17	-13	-18		-8	-3	-4
6	92	85	83	82	88	78	85	85		-7	-9	-10		-10	-3	-3
7	94	86	86	86	88	81	87	88		-8	-8	-8		-7	-1	0
10	97	91	93	90	88	90	92	91		-6	-4	-7		2	4	3

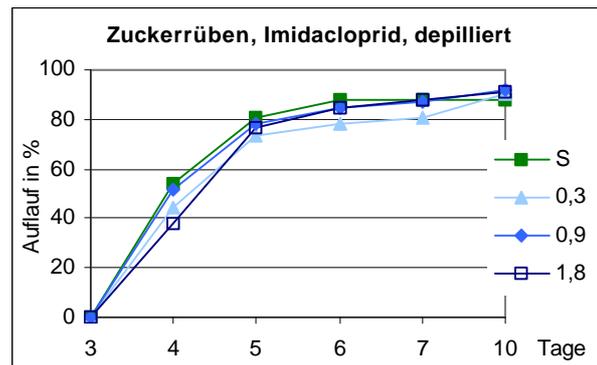
**Tabelle 59.** Auflauf von pilliertem und depilliertem Zuckerrübensaatgut [%] bei Behandlung mit Imidacloprid, rechte Seite Differenzen zum Standard  
 S = Fungizidbehandlung (= Standard), 0,3; 0,9 und 1,8 mg Imidacloprid je Knäuel,  
 rot: Auflaufwert ist um mehr als 5 % geringer als der Standard,



A)



B)



C)

**Abbildung 110.** Auflauf von pilliertem und depilliertem Zuckerrübensaatgut bei Behandlung mit Imidacloprid. A) Standard bei verschiedenen Feuchten, B) pilliertes und C) depilliertes Saatgut S = Fungizidbehandlung (= Standard), 0,3; 0,9 und 1,8 mg Imidacloprid je Knäuel



**Abbildung 111.** Auflauf von Imidacloprid behandelter Zuckerrübe am 4. Tag. Verschiedenfarbige Markierungen zeigen den Tag des Auflaufs der Keimlinge an. Obere Reihe pilliert, untere Reihe depilliert, von links nach rechts: Standard; 0,3; 0,9; 1,8 mg Imidacloprid

Durch Imidacloprid erfährt pilliertes Saatgut in allen Konzentrationen einen auflaufverzögernden Einfluss, der am 4. Tag am stärksten ist. Nach dem 5. Tag erfolgt eine

langsame Angleichung an den Standard (Tabelle 59, Abbildung 110), dessen Wert am 10. Tag erreicht ist.

Beim depillierten Ansatz ist nur am 4. Tag ein schwacher jedoch deutlicher Einfluss erkennbar, der zunehmend aufgehoben wird und am 5. Tag nicht mehr besteht (Tabelle 59, Abbildung 110 C).

### 3.7.1.2 Einfluss der Pillierung, Wachstumsbeobachtung

Bei dieser Untersuchung wurden jeweils 100 Zuckerrübenpillen der Sorte Impuls wie im Erdaufauftest beschrieben, pilliert und depilliert mit Wirkstoff behandelt und in Faltenfiltern inkubiert. Die Hypokotyl- und Wurzellänge wurden mittels elektronischer Schieblehre bestimmt.

**Zuckerrübe:** Impuls

**Anzahl:** 100 Pillen, 100 depillierte Samen

**Behandlung:** Standard; 0,3; 0,9 und 1,8 mg Imidacloprid je Pille

**Substrat:** Faltenfilter, je Filter 50 Pillen und 35 ml Wasser

**Inkubation:** 20°C, Wechsellicht

**Beobachtung:** Hypokotyllänge am 5. und 6. Tag, Wurzellänge täglich vom 3. bis zum 7. Tag

### Hypokotyl- und Wurzellänge

Die Hypokotyllänge war mit 7 mm beim pillierten Standard und 6 mm beim depillierten Saatgut vergleichbar. Die Pillierung hatte demnach keinen Einfluss auf die Sprossentwicklung.

Bei Imidacloprid-Behandlung zeigte sich am 6. Tag nur in den höchsten Konzentrationen eine leichte Verzögerung im Hypokotylwachstum, die beim depillierten Saatgut bei allen drei Konzentrationen, jedoch erst einen Tag später erkennbar war (Tabelle 60, Abbildung 112).

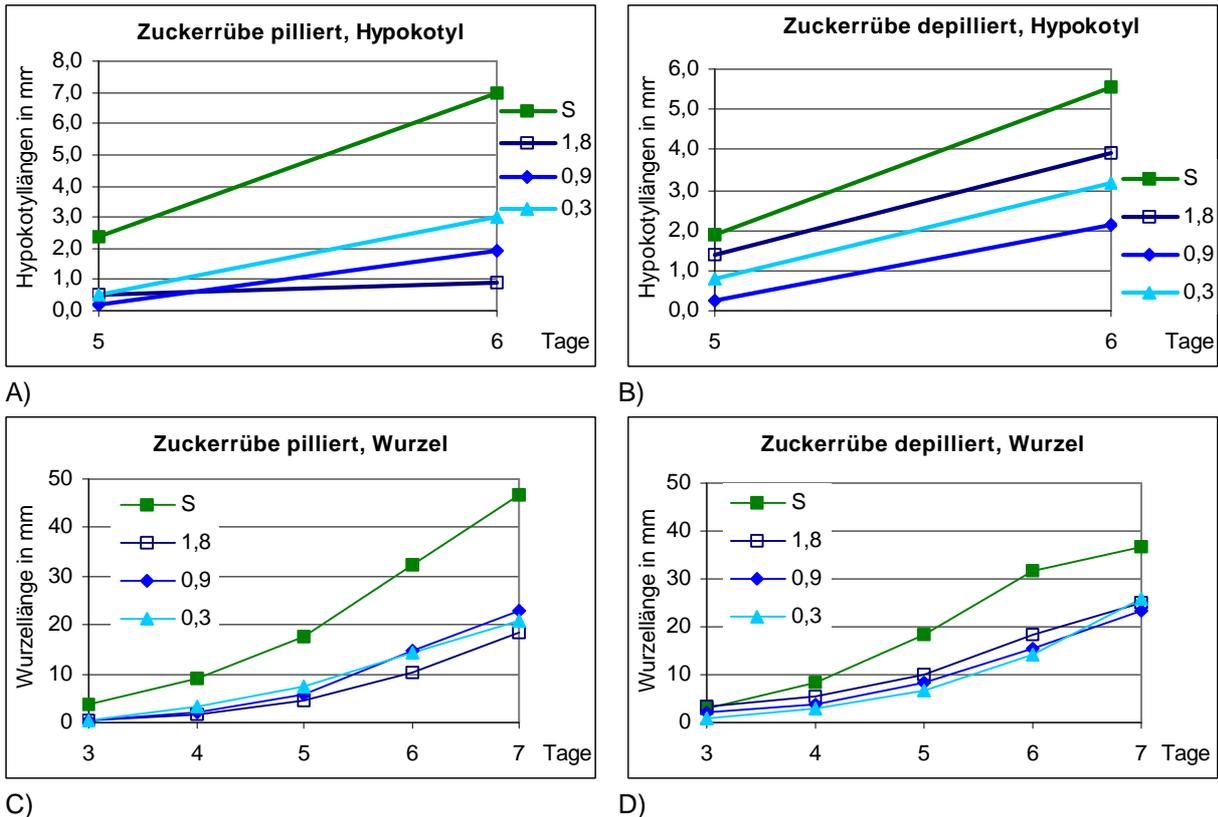
Tage	Hypokotyllänge [mm]								Wurzellänge [mm]							
	pilliert				depilliert				pilliert				depilliert			
	S	0,3	0,9	1,8	S	0,3	0,9	1,8	S	0,3	0,9	1,8	S	0,3	0,9	1,8
3									4	1	0	1	3	1	2	3
4									9	3	2	2	8	3	4	5
5	2	1	0	0	2	1	0	1	18	7	6	5	18	7	8	10
6	7	3	2	1	6	3	2	4	32	15	15	10	31	14	15	18
7					10	3	2	4	47	21	23	18	37	26	23	25
Differenzen zum Standard [%]								Differenzen zum Standard [%]								
3										-3	-4	-3		-2	-1	1
4										-6	-7	-7		-6	-5	-3
5		-2	-2	-2		-1	-2	-1		-10	-12	-13		-11	-10	-8
6		-4	-5	-6		-2	-3	-2		-18	-18	-22		-17	-16	-13
7						-7	-8	-6		-26	-24	-28		-11	-13	-12

**Tabelle 60.** Hypokotyl- und Wurzellänge [mm] bei Imidacloprid behandelter Zuckerrübe, pilliert und depilliert, darunter Differenzen zum Standard.

S = Fungizidbehandlung (= Standard); 0,3; 0,9 und 1,8 mg Imidacloprid je Knäuel

rot: Aufaufwert ist um mehr als 5 % geringer als der Standard

Die Wurzellängen von standardbehandeltem, pilliertem und depilliertem Saatgut unterschieden sich bis zum 6. Tag nicht. Am 7. Tag jedoch erreichten die Wurzeln der pillierten Samen einen Vorsprung von 10 mm (Tabelle 60, Abbildung 112).. Sowohl beim pillierten als auch beim depillierten Saatgut war eine wachstumsverzögernde Wirkung durch Imidacloprid auf die Wurzeln erkennbar, die sich mit zunehmender Wirkstoffkonzentration verstärkte. Dies war bei 0,3 mg und 0,9 mg bei pilliertem und depilliertem Saatgut bis zum 6. Tag gleich. Am 7. Tag nahm die Wirkung beim pillierten Saatgut weiter zu, während sie sich beim Depillierten bereits wieder verringerte. Die Konzentration von 1,8 mg verhielt sich grundsätzlich ebenso, aber die Differenzen waren hier ab dem 6. Tag noch höher.



**Abbildung 112.** Hypokotyl- und Wurzellänge bei Imidacloprid behandelter Zuckerrübe, pilliert und depilliert. S = Fungizidbehandlung (= Standard); 0,3; 0,9 und 1,8 mg Imidacloprid je Knäuel

Sowohl das Spross- als auch das Wurzelwachstum zeigte beim pillierten wie beim depillierten Saatgut durch Imidacloprid eine reduzierte Entwicklung, von ungleicher Intensität.

Bei dem pillierten Saatgut verstärkte sich die Wachstumsreduktion mit zunehmender Konzentration, was beim Depillierten nicht der Fall war. Die Unterschiede zwischen den Konzentrationen sind beim Hypokotyl und bei der Wurzel vergleichbar.

### 3.8 Insektizide Wirkstoffe aus verschiedenen chemischen Stoffklassen

#### 3.8.1 Einfluss auf Wachstum und Entwicklung von Zuckerrübe

Auch bei Zuckerrübe sollte mittels Auflauftests in Erde und Versuchen in Faltenfiltern die Pflanzenverträglichkeit der fünf Insektizide aus unterschiedlichen Stoffklassen geprüft werden. Dabei galt besonderes Augenmerk den Abhängigkeiten von den physikalischen und chemischen Eigenschaften der Wirkstoffe. Zum Einsatz kamen Imidacloprid, Acephate, Carbofuran, Fipronil und Tefluthrin. Die Beizung erfolgte an den bereits fungizidhaltigen Pillen mit jeweils 0,3 mg, 0,9 mg und 1,8 mg Wirkstoff je Pille. Als Standard wurden die fungizidhaltigen Pillen mitgeführt.

##### 3.8.1.1 Auflauftest in Standardlaborerde, 50 % Wkmax

**Zuckerrübe:** Impuls

**Anzahl:** 100 Pillen

**Behandlung:** Standard; 0,3; 0,9 und 1,8 mg je Pille Imidacloprid, Acephate, Carbofuran, Fipronil und Tefluthrin

**Substrat:** Standardlaborerde 50 % Wkmax, gegossen

**Inkubation:** 20°C, Wechsellicht

**Beobachtung:** Auflauf täglich vom 3. bis zum 7. Tag

Der Ansatz erfolgte mit jeweils 2 x 50 Pillen der Sorte Impuls in Sandigem Lehm, der auf 50 % Wkmax eingestellt war. Die Ablagetiefe der Pillen betrug 2 cm. Nach Begießen und Inkubation in geschlossenen Schalen bei Wechsellicht und 20°C wurde der Auflauf täglich vom 3.- bis zum 7. Tag und am 10. Tag registriert.

Eine Behandlung von Zuckerrüben zeigte bei allen Wirkstoffen Acephate (A), Carbofuran (C), Fipronil (F), Imidacloprid (I) und Tefluthrin (T) in höheren Konzentrationen die stärksten Wirkungen am 4. und fallweise am 5. Tag.

#### Auflauf

Die Zuckerrübe reagierte in ihrem Auflaufverhalten auf die Behandlung mit den fünf insektiziden Wirkstoffen unterschiedlich. Dabei waren die klarsten Wirkeffekte am 4. Tag festzustellen und nahmen im Laufe des Versuches jeweils ab (Tabelle 61, Abbildung 113, Abbildung 114).

## Ergebnisse

	Acephate				Imidacloprid				Carbofuran				Fipronil				Tefluthrin			
	S	0,3	0,9	1,8	S	0,3	0,9	1,8	S	0,3	0,9	1,8	S	0,3	0,9	1,8	S	0,3	0,9	1,8
<b>4</b>	51	50	42	37	51	38	37	30	51	37	48	51	51	54	55	19	51	63	61	57
<b>5</b>	87	83	83	73	87	75	82	82	87	79	90	81	87	77	89	69	87	87	86	87
<b>6</b>	90	88	87	84	90	83	88	86	90	88	94	87	90	84	91	78	90	91	87	91
<b>7</b>	90	89	87	84	90	85	92	88	90	91	95	89	90	85	91	79	90	91	88	93
Differenzen zum Standard [%]																				
<b>4</b>		-1	-9	-14		-13	-14	-21		-14	-3	0		3	4	-32		12	10	6
<b>5</b>		-4	-4	-14		-12	-5	-5		-8	4	-6		-10	3	-18		1	-1	1
<b>6</b>		-2	-3	-6		-7	-2	-4		-2	5	-3		-6	2	-12		2	-3	2
<b>7</b>		-1	-3	-6		-5	2	-2		1	5	-1		-5	1	-11		1	-2	3

**Tabelle 61.** Auflauf von Zuckerrübe [%] in Laborerde bei Behandlung mit Insektiziden unterschiedlicher Stoffklassen, darunter Differenzen zum Standard.

S = Fungizidbehandlung (= Standard), 0,3, 0,9 und 1,8 mg Wirkstoff je Knäuel

rot: Auflaufwert ist um mehr als 5 % geringer als der Standard,

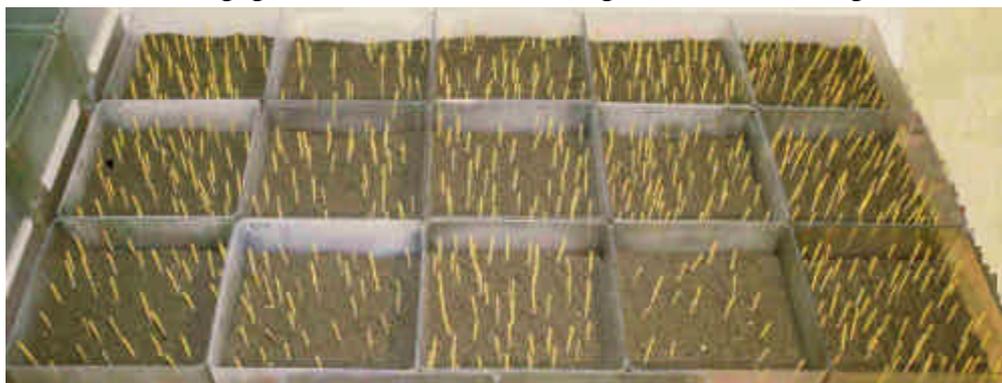
blau: Auflaufwert ist um mehr als 5 % größer als der Standard

Generell lagen die Auflaufwerte bei Acephate sehr nahe am Standard und zeigten in Abhängigkeit von der Konzentration am 4. Tag geringe Differenzen, die nur in der hohen Konzentration längerfristig erkennbar waren.

Der Einfluss des Imidacloprid wurde am 4. Tag mit zunehmender Konzentration deutlicher, nahm aber im Versuchsverlauf dergestalt ab, sodass überraschenderweise nur die niedrige Konzentration geringfügig niedrigere Auflaufwerte zeigte.

Bei Carbofuran war lediglich am 4. und 5. Tag 0,3 und 1,8 mg eine Auflaufverzögerung erkennbar, während 0,9 mg keinen Effekt hervorrief.

Bei der praxisüblichen Aufwandmenge von 0,9 mg je Pille zeigten Carbofuran und Fipronil keinerlei Wirkung, während Acephate den Auflauf am 4. Tag leicht und Imidacloprid deutlich verzögerte. Tefluthrin dagegen bewirkte eine kurzzeitige Auflaufförderung.



Carbofuran

Imidacloprid

Acephate

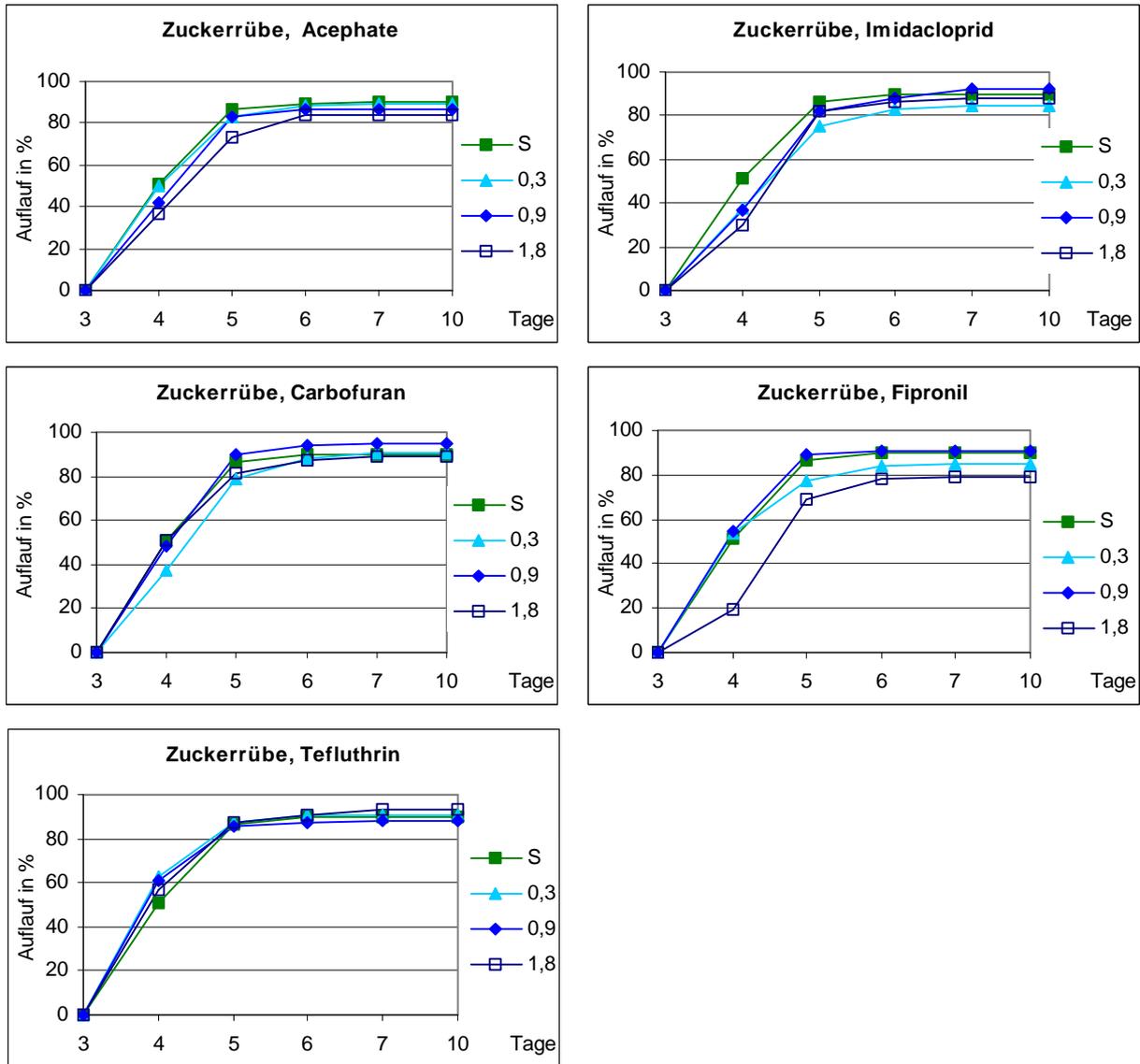
Fipronil

Tefluthrin

**Abbildung 113.** Auflauf von Zuckerrübe bei Behandlung mit Insektiziden unterschiedlicher Stoffklassen am 4. Tag.

Von links nach rechts: Carbofuran, Imidacloprid, Acephate, Fipronil, Tefluthrin

Von oben nach unten; 1,8 mg; 0,9 mg; 0,3 mg Insektizid



**Abbildung 114.** Auflauf von Zuckerrübe bei Behandlung mit Insektiziden unterschiedlicher Stoffklassen. S = Fungizidbehandlung (= Standard), 0,3, 0,9 und 1,8 mg Wirkstoff je Knäuel

Eine vergleichende Betrachtung der fünf Wirkstoffe am 7. Versuchstag ließ nur bei Fipronil in der hohen Konzentration einen schwachen Unterschied erkennen. Bei der praxisüblichen Aufwandmenge war zu diesem Versuchszeitpunkt bei keinem Insektizid eine Wirkung festzustellen (Tabelle 61, Abbildung 114).

### 3.8.1.2 Wachstumsbeobachtung im Faltenfilter

**Zuckerrübe:** Impuls, Tatjana, Granada  
**Anzahl:** 100 Pillen  
**Behandlung:** Standard; 0,15; 0,3, 0,9 und 1,8 mg Imidacloprid, Acephate, Carbofuran, Fipronil und Tefluthrin je Pille  
**Substrat:** Faltenfilter, je Filter 50 Pillen und 35 ml Wasser  
**Inkubation:** 20°C, Wechsellicht  
**Beobachtung:** Hypokotyllänge täglich vom 5. bis zum 7. Tag, Wurzellänge täglich vom 4. bis zum 7. Tag, Frischmasse am 10. Tag

Zur Untersuchung der Wirkung der Insektizide auf das Hypokotyl- und Wurzelwachstum wurden jeweils 100 Pillen der Sorte Impuls, Tatjana und Granada, wie für den Erdaufbau beschrieben, pilliert vorbehandelt und in Faltenfiltern inkubiert.

Die Auswirkungen der fünf Insektizide auf das Wachstum von Hypokotyl und Wurzel sind unterschiedlich, wobei die drei Rübensorten grundsätzlich ein einheitliches Verhalten gegenüber den Wirkstoffen zeigen. Als Ergebnisse sind im Folgenden die Mittelwerte aller drei Sorten dargestellt.

#### Hypokotyllänge

Die Messung der Hypokotyllänge zeigte eine unterschiedliche Reaktion auf die Behandlung mit den fünf Insektiziden (Tabelle 62, Abbildung 116).

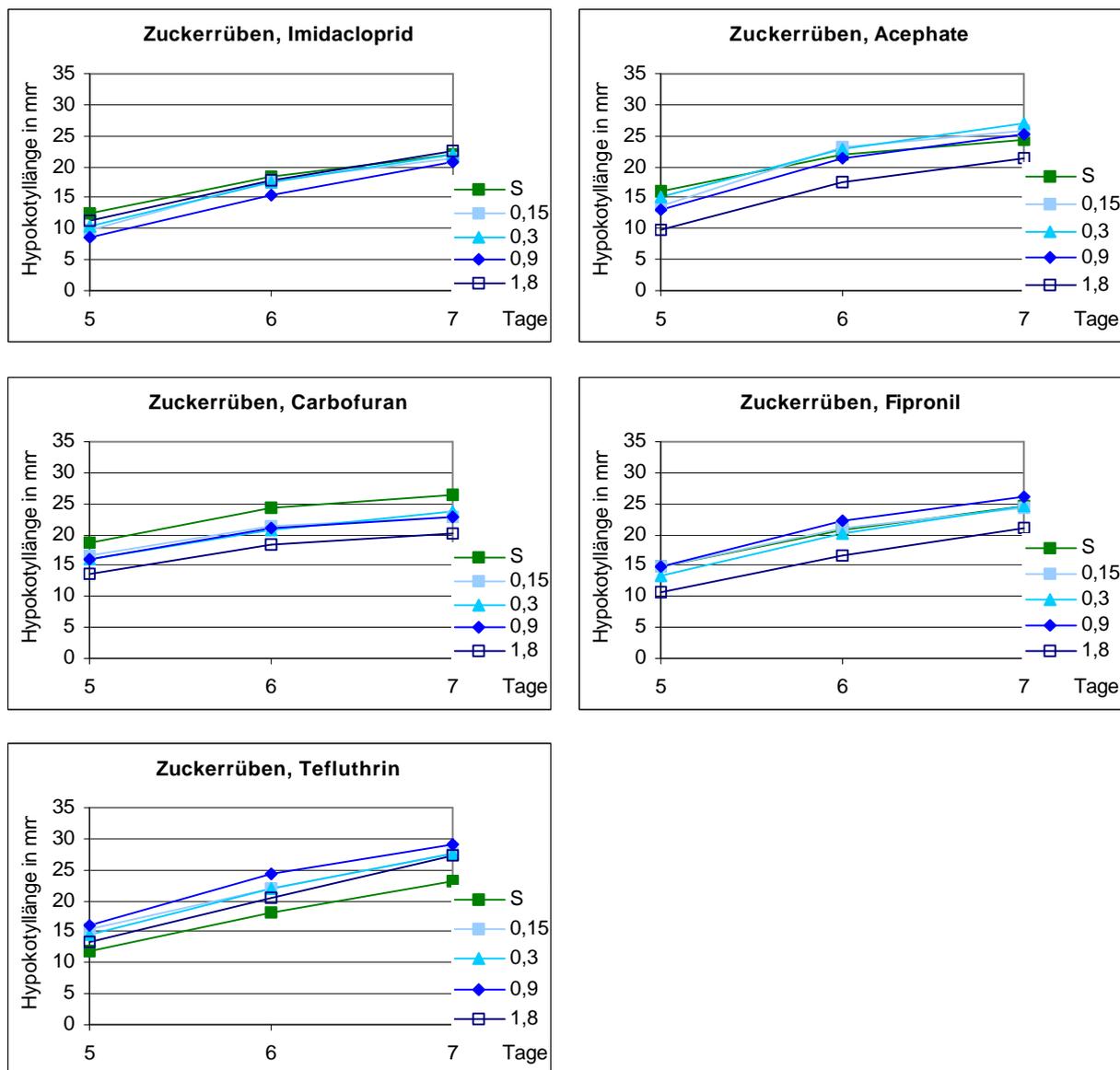
	Acephate					Imidacloprid					Carbofuran					Fipronil					Tefluthrin				
	S	0,15	0,3	0,9	1,8	S	0,15	0,3	0,9	1,8	S	0,15	0,3	0,9	1,8	S	0,15	0,3	0,9	1,8	S	0,15	0,3	0,9	1,8
5	16	14	15	13	10	12	10	10	9	11	19	17	16	16	14	15	15	13	15	11	12	15	14	16	13
6	22	23	23	22	18	18	18	17	15	18	24	21	21	21	19	21	21	20	22	17	18	22	22	24	20
7	24	26	27	25	21	22	21	22	21	23	26	23	24	23	20	25	24	25	26	21	23	27	28	29	27
Differenzen zum Standard [%]																									
5		-3	-1	-3	-6		-3	-2	-4	-1		-2	-3	-3	-5		0	-1	0	-4		3	2	4	1
6		1	1	-1	-5		-1	-1	-3	-1		-3	-4	-3	-6		0	-1	1	-4		4	4	6	2
7		1	3	1	-3		-1	0	-1	1		-4	-3	-4	-6		0	0	1	-4		4	4	6	4

**Tabelle 62.** Hypokotyllänge von Zuckerrübe, behandelt mit Standard, 0,15 mg, 0,3 mg, 0,9 mg und 1,8 mg der Insektizide Imidacloprid, Acephate, Carbofuran, Fipronil und Tefluthrin vom 5. bis zum 7. Tag, darunter Differenzen zum Standard.

rot: Hypokotyl ist um mehr als 5 % kürzer als beim Standard,  
 blau: Hypokotyl ist um mehr als 5 % länger als beim Standard

Am 4. Tag war die Hypokotyllänge noch nicht messbar, da das Hypokotyl gerade erst aus der Pille herausragt. Am 5. Tag zeigte sich kein Einfluss der Wirkstoffe. Erst ab dem 6. Tag konnten geringe Wirkeffekte festgestellt werden.

## Ergebnisse



**Abbildung 116.** Hypokotyllänge von Zuckerrübe, behandelt mit Standard, 0,15 mg, 0,3 mg, 0,9 mg und 1,8 mg Imidacloprid, Acephate, Carbofuran, Fipronil und Tefluthrin vom 5. bis zum 7. Tag

Lediglich bei der Behandlung mit Acephate und Carbofuran war eine geringe wachstumsverzögernde Wirkung und diese nur in den höchsten Konzentrationen zu erkennen. Die Insektizide Imidacloprid und Fipronil hatten keinerlei Einfluss auf die Hypokotyllänge, während bei Tefluthrin eine schwache Förderung festzustellen war.

### Wurzellänge

Die Wurzel der Zuckerrübe reagierte stärker auf die Insektizidbehandlung als das Hypokotyl, wobei die Reaktionen am 6. Tag am deutlichsten waren und in der Reihenfolge Acephate > Imidacloprid > Fipronil > Carbofuran > 0 < Tefluthrin abnahm.

Der stärkste wachstumsverzögernde Einfluss zeigte sich bei Acephate mit schwachen Unterschieden bei 0,15 mg, 0,3 mg und 0,9 mg und deutlichen Unterschieden bei 1,8 mg,

## Ergebnisse

gefolgt von Imidacloprid in allen Konzentrationen. Eine schwächere Wirkung war bei Fipronil und hier nur bei den Konzentrationen 0,3 mg und 1,8 mg zu erkennen. Carbofuran bewirkte lediglich bei 1,8 mg eine geringe Wachstumsverzögerung, während Tefluthrin bei 0,9 mg sogar eine leichte Wachstumsförderung hervorrief (Tabelle 63, Abbildung 117).

Tefluthrin verhielt sich über die gesamte Versuchsdauer gleichartig, bei Fipronil verringerte sich die Wirkung am 5. und 7. Tag. Die Wirkung von Imidacloprid und Acephate nahm während der Versuchsdauer stetig zu.

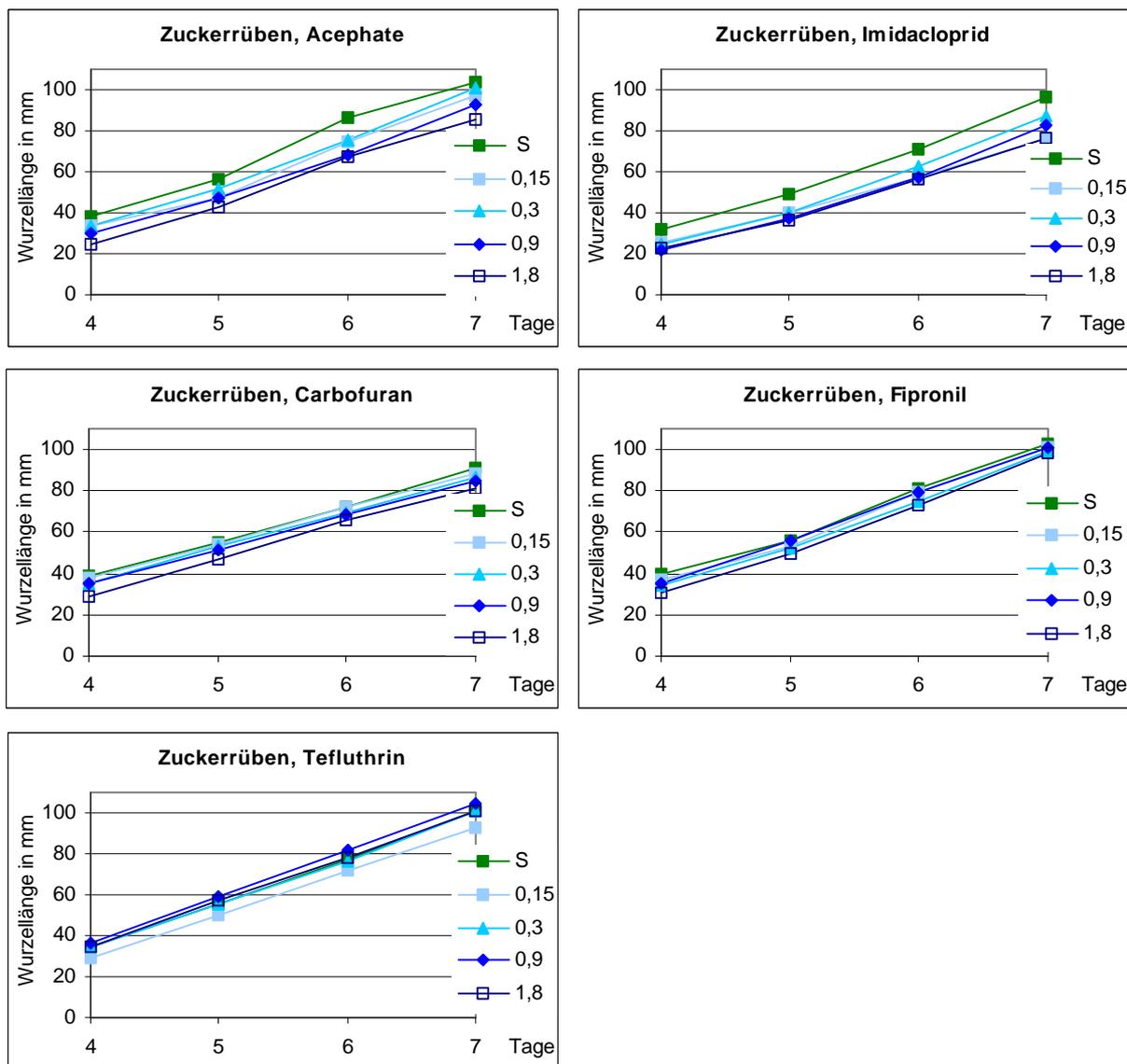
	Acephate					Imidacloprid					Carbofuran				
	S	0,15	0,3	0,9	1,8	S	0,15	0,3	0,9	1,8	S	0,15	0,3	0,9	1,8
4	38	33	34	30	25	32	25	25	21	23	38	38	35	35	29
5	56	47	52	48	43	49	40	40	37	37	55	54	53	52	47
6	86	75	76	69	67	71	57	62	57	56	72	72	69	69	65
7	103	97	101	93	86	97	76	87	83	76	91	88	86	84	81
Differenzen zum Standard [%]															
	S	0,15	0,3	0,9	1,8	S	0,15	0,3	0,9	1,8	S	0,15	0,3	0,9	1,8
4		-5	-4	-8	-14		-6	-7	-10	-9		-1	-3	-3	-9
5		-9	-4	-8	-13		-9	-10	-12	-13		-1	-2	-4	-9
6		-11	-10	-18	-19		-14	-9	-14	-15		0	-3	-4	-7
7		-6	-2	-11	-18		-20	-9	-14	-20		-3	-5	-6	-10

	Fipronil					Tefluthrin				
	S	0,15	0,3	0,9	1,8	S	0,15	0,3	0,9	1,8
4	39	37	34	36	31	35	29	34	37	35
5	56	53	52	56	50	55	50	55	59	57
6	81	79	75	79	73	77	72	76	82	78
7	103	101	99	101	98	101	93	101	105	101
Differenzen zum Standard [%]										
	S	0,15	0,3	0,9	1,8	S	0,15	0,3	0,9	1,8
4		-2	-6	-4	-9		-6	-1	2	0
5		-3	-4	0	-6		-6	0	4	2
6		-3	-7	-2	-8		-5	-1	5	1
7		-2	-4	-2	-5		-8	0	4	0

**Tabelle 63.** Wurzellänge von Zuckerrübe, behandelt mit Standard, 0,15 mg, 0,3 mg, 0,9 mg und 1,8 mg der Insektizide Imidacloprid, Acephate, Carbofuran, Fipronil und Tefluthrin vom 5. bis zum 7. Tag, darunter Differenzen zum Standard.

S = Fungizidbehandlung (= Standard), 0,15; 0,3; 0,9 und 1,8 mg Wirkstoff je Karyopse

rot: Wurzel ist um mehr als 5 % kürzer als beim Standard, blau: Wurzel ist um mehr als 5 % länger als beim Standard



**Abbildung 117.** Wurzellänge von Zuckerrübe, behandelt mit Standard, 0,15 mg, 0,3 mg, 0,9 mg und 1,8 mg der Insektizide Imidacloprid, Acephate, Carbofuran, Fipronil und Tefluthrin vom 4. bis zum 7. Tag.

S = Fungizidbehandlung; 0,15; 0,3; 0,9 und 1,8 mg Wirkstoff je Karyopse

### Frischmasse

Die Bestimmung der Frischmasse erfolgte am 10. Tag an den Keimlingen, die für die Längenmessungen im oben beschriebenen Faltenfilterversuch verwendet worden waren. Sie zeigte bei allen Wirkstoffen einen deutlichen Einfluss, der mit steigender Wirkstoffkonzentration zunahm (Abbildung 118 A).

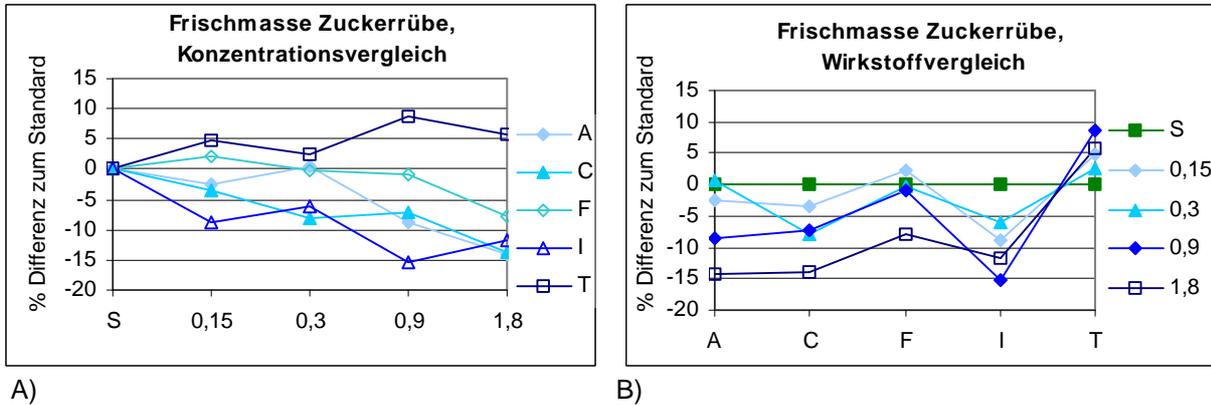
Bei 0,15 mg und 0,3 mg zeigte sich bei Imidacloprid und Carbofuran eine um mehr als 5 % geringere Frischmasse, dies traf bei 0,9 mg auf Acephate sowie bei 1,8 mg auch bei Fipronil zu. Im Gegensatz hierzu glichen sich die Werte von Tefluthrin dem Standard an und ab einer Konzentration von 0,9 mg ließ sich hier sogar eine Erhöhung der Frischmasse feststellen.

Die Wirkungen nahmen in der Reihenfolge von

Imidacloprid > Carbofuran > Acephate > Fipronil > 0 < Tefluthrin

ab. Wie Abbildung 118 B zeigt, verstärkte sich die Wirkung generell mit zunehmender Konzentration.

Die geringste Frischmasse findet sich bei den weniger lipophilen Stoffen Imidacloprid, Carbofuran und Acephate, die höchste bei dem am stärksten lipophilen Tefluthrin.



**Abbildung 118.** Zuckerrübenkeimlinge am 10. Tag, Differenzen der Frischmasse zum Standard bei Behandlung mit Insektiziden, Mittelwert aus drei Sorten mit 0,15; 0,3; 0,9 und 1,8 mg Wirkstoff je Pille. Acephate (A), Carbofuran (C), Fipronil (F), Imidacloprid (I), Tefluthrin (T), S = Fungizidbehandlung (= Standard)

Nach ihren Eigenschaften werden Tefluthrin als „nicht systemisch“, Fipronil als „teilweise systemisch“ und Carbofuran, Acephate und Imidacloprid als „systemisch“ eingestuft.

Die stärksten verzögernden Wirkungen auf Wachstum und Entwicklung sind bei den gut systemischen und wasserlöslichen Wirkstoffen erkennbar. Schwächer sind die Wirkungen bei dem nur teilweise systemischen Wirkstoff Fipronil. Die geringsten, oft andersgerichteten Effekte treten bei dem nicht systemisch wirkenden Tefluthrin auf. Dies zeigt, dass bei der Zuckerrübe das Aufnahmeverhalten der Stoffe in die Pflanzen maßgeblich an der Reaktion auf den Wirkstoff beteiligt ist.

### 3.8.1.3 Zusammenfassung Zuckerrüben

Bei der Zuckerrübe ist, wie auch bei Mais und bei der Sonnenblume, eine Wachstumsverzögerung durch Imidacloprid am 4. Tag festzustellen. Durch nachfolgend verstärktes Wachstum gleichen sich die Auflafraten der behandelten Pillen innerhalb weniger Tage an den Standard an. Die Wirkung des Imidacloprid zeigt sich am deutlichsten in der Auflafrate, wird jedoch auch am Wachstum der Wurzel und der Frischmasse erkennbar.

Beobachtung	abnehmende Wachstumsbeeinträchtigung von links nach rechts
Auflafrate, Erde, 4. Tag	Imidacloprid > Acephate > Carbofuran > 0 < Fipronil < Tefluthrin
Hypokotyllänge, Faltenfilter, 5. Tag	Imidacloprid > Acephate > Carbofuran > Fipronil = 0 < Tefluthrin
Wurzellänge, Faltenfilter, 4. Tag	Imidacloprid > Acephate > Carbofuran = Fipronil > 0 < Tefluthrin
Frischmasse, Faltenfilter, 10. Tag	Imidacloprid ≥ Acephate > Carbofuran > Fipronil = 0 < Tefluthrin

In den vorgestellten Versuchen lassen sich wohl geringe Unterschiede in der Reaktion der Sorten, aber keine generellen Unterschiede in der Reaktionsweise der Art, feststellen. Stärkere Einflüsse sind bei unterschiedlichen Feuchtigkeitsgehalten der Erde zu beobachten. Hier verzögert Imidacloprid im feuchteren Medium den Auflauf zusätzlich.

Bei einem Vergleich von fünf verschiedenen Böden in zwei verschiedenen Feuchtestufen erwies sich Toniger Lehm als das Substrat in dem unabhängig von der Feuchte, das Imidacloprid seine geringste Wirkung entfaltet. Ebenso verhält sich der Sandige Lehm bei 40 % Wkmax. Die stärksten Einflüsse über einen längeren Zeitraum liefern die Böden in der Reihenfolge Sandiger Lehm, Lehmiger Ton, Lehmiger Sand und Sand. Unter den feuchteren Bedingungen bewirkt das Imidacloprid in allen diesen Fällen eine stärkere Verzögerung des Auflaufs.

Pilliertes Saatgut zeigt einen rascheren Auflauf als depilliertes. Die Wirkung von Imidacloprid entfaltet sich bei Pillierung deutlicher und führt auch zu stärkeren Wirkeffekten auf das Wachstum der Wurzel.

### 3.9 Wirkstoff Imidacloprid, Testorganismus Baumwolle (*Gossypium hirsutum* L.)

Als vierte Kulturart wurde Baumwolle (*Gossypium hirsutum*) untersucht. Sie ist eine weltweit bedeutende Kulturart, weist als Dikotyle mit Speicherkotyledonen eine epigäische Keimung auf und wird in der landwirtschaftlichen Praxis wegen des hohen Schaderregerspektrums intensiv mit Insektiziden behandelt.

Baumwollsamens besitzen einen großen Embryo mit Speicherkotyledonen, ein Endosperm ist nicht vorhanden. Nach der Keimung verweilt die gebeizte Samenschale nur kurze Zeit im Boden. Sie durchbricht mit den Keimblättern die Erde und wird danach abgestoßen. Die Ausbildung einer kräftigen Hauptwurzel mit der sie rasch in tiefere Bodenschichten vordringt prägt die Jugendentwicklung der Baumwollpflanze (Abbildung 119).



Abbildung 119. Keimung und Entwicklung der Baumwolle

Bei einer Saatgutbehandlung mit Imidacloprid kann auf eine toxikologisch weniger günstige Spritzbehandlung mit Organophosphaten verzichtet werden. Im Baumwollanbau lassen sich dadurch mindestens zwei Blattspritzungen einsparen, was ökonomische und ökologische Vorteile hat (Bayer, 2000).

Daher wurden auch Untersuchungen zur Wirkung von Imidacloprid auf Keimung, Wachstum und Auflauf von Baumwollsamens an gestellt.

Eine sortenbedingt unterschiedliche Reaktion lässt sich bei der Baumwolle nicht ausschließen. So beschreiben Nauen und Elbert (1994) ein unterschiedliches Verhalten verschiedener Sorten von Baumwolle, die sich in Gruppen mit und ohne Drüsen einteilen lassen. Während bei den drüsenlosen Sorten eine homogene Verteilung der Wirkstoffe erfolgt, beobachteten sie bei solchen mit lysigenen Drüsen eine Kompartimentierung, die zu einer inhomogenen Verteilung führt. Daraus kann ein sortenspezifisches Verhalten durchaus abgeleitet werden.

### **3.9.1 Auflauf**

Zur Abklärung der Frage eines Stoffeinflusses von Imidacloprid wurden, nach dem gleichen Verfahren wie bei Mais, Sonnenblume und Zuckerrübe, Samen von Baumwolle der drei Sorten Zeta (Z), Coker 310 (C 310) und Coker 312 (C 312) mit dem Fungizid Thiram, Leerformulierung und Imidacloprid in den Konzentrationen 1mg- und 2 mg Wirkstoff je Same gebeizt und im Auflauftest untersucht. Die praxisübliche Aufwandmenge beträgt 1 mg/ai je Same.

Die Probe Zeta wies eine Keimfähigkeit von 91 %, Coker 310 von 82 % und Coker 312 von 85 % auf.

Angesetzt wurden je 2 Schalen mit 50 Samen, die Ablagetiefe betrug 2 cm in Sand oder Standardlaborerde, die durch Giessen auf den entsprechenden Feuchtigkeitsgehalt eingestellt wurde. Die Anzucht erfolgte bei 20°C unter suboptimalen- sowie bei 25°C unter optimalen Bedingungen im Wechsellicht. Vom 3. bis zum 7. Tag sowie am 10. Tag wurde der Auflauf bonitiert.

#### **3.9.1.1 Versuche ohne Fungizidbehandlung**

Eine Abklärung des Fungizidbedarfs erfolgte bei 25°C in Standardlaborerde mit 40 % Wkmax für alle drei Sorten ungebeizt, mit Leerformulierung sowie mit 1 mg und 2 mg Imidacloprid.

**Baumwolle:** Zeta, C 310, C 312

**Behandlung:** ungebeizt, Leerformulierung, 1 mg und 2 mg Imidacloprid

**Anzahl:** 50 Samen

**Substrat:** Standardlaborerde, 40 % Wkmax

**Inkubation:** 25°C, Wechsellicht

**Beobachtung:** Auflauf vom 3. bis zum 7. Tag

### **Auflauf**

Zwischen den drei Proben zeigten sich geringfügige Unterschiede, erste Keimpflanzen erschienen nach 4 Tagen. Nach 5 Tagen waren 50 -80 % der Pflanzen aufgelaufen, deren Zahl sich in den folgenden Tagen weiter erhöhte.

Ungebeizt und Leerformulierung zeigten einen Vorsprung der Letzteren, während die gebeizten Varianten langsamer aufliefen. Von diesen blieben die Sorten Zeta und C 10 geringfügig und C 312 stark im Auflauf zurück. Während bei den ersten beiden Sorten keine Unterschiede zwischen den Beizgraden erkennbar waren, zeigte die Probe C 312 eine deutliche Depression bei 2 mg Imidacloprid. Die Leerformulierung allein bewirkte eine Förderung des Auflaufs, die bei Imidacloprid mit zunehmender Konzentration wieder verringert wurde.

Es konnte ein Zusammenhang zwischen der Qualität des Saatgutes und dem Einfluss des Imidacloprid festgestellt werden. Auffällig war die große infektionsbedingte Schwankungsbreite der Ergebnisse in den Einzelversuchen aus der geschlossen wird, dass für einen exakten Vergleich mit den Wirkstoffen auf eine Fungizidbehandlung nicht verzichtet werden kann. Alle folgenden Versuche wurden daher mit Fungizidbeizung durchgeführt.

### 3.9.1.2 Versuche mit Fungizidbehandlung

#### 3.9.1.2.1 Auflauftest, steriler Quarzsand, 50 % Wkmax, suboptimale Temperatur

**Baumwolle:** Zeta, C 310, C 312

**Behandlung:** Fungizidbehandlung (= Standard), 1 mg und 2 mg Imidacloprid

**Anzahl:** 100 Samen

**Substrat:** Quarzsand, 50 % Wkmax

**Inkubation:** 20°C, Wechsellicht

**Beobachtung:** Auflauf vom 3. bis zum 7. und 10. Tag

#### Auflauf

Alle drei Sorten wurden im Auflauftest in Sand geprüft. Wie anhand des Standards erkennbar, unterschieden sich die drei Proben von Baumwolle in der Geschwindigkeit und Höhe des Auflaufs (Tabelle 64, Abbildung 120). Die ersten Samen waren am 4. Tag aufgelaufen.

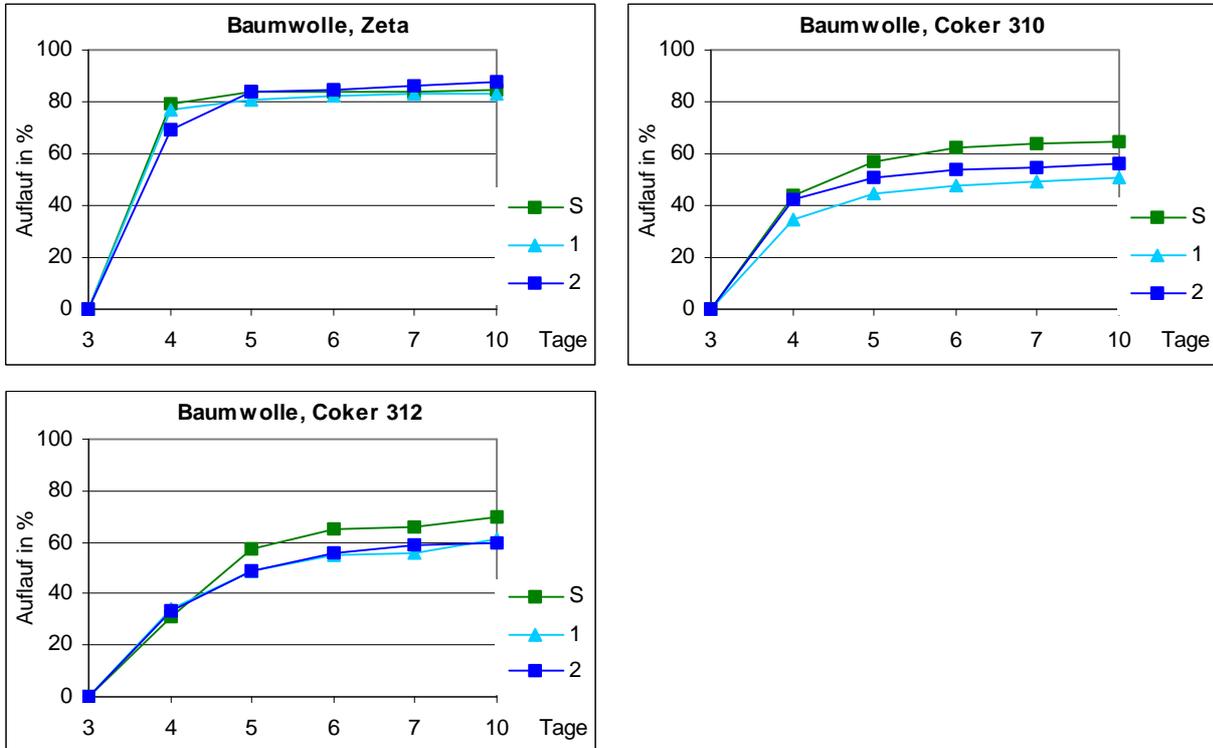
Tage	Zeta			Coker 310			Coker 312		
	S	1	2	S	1	2	S	1	2
4	79	77	69	44	35	42	31	34	33
5	84	81	84	57	45	51	57	49	49
6	84	82	85	62	48	54	65	55	56
7	84	83	86	64	49	55	66	56	59
Differenzen zum Standard [%]									
4		-2	-10		-9	-2		3	2
5		-3	0		-12	-6		-8	-8
6		-2	1		-14	-8		-10	-9
7		-1	2		-15	-9		-10	-7

**Tabelle 64.** Auflauf von Imidacloprid behandelten Baumwollsamens [%] in Sand, darunter Differenzen zum Standard.

S = Fungizidbehandlung (= Standard), 1 und 2 = mg Imidacloprid je Same  
rot: Auflaufwert ist um mehr als 5 % geringer als der Standard

## Ergebnisse

Zeta entwickelte sich am raschesten und erzielte den höchsten Endauflauf mit 85 %, Coker 312 folgte mit 70 % und Coker 310 erreichte den Endauflauf von 64 % am langsamsten. Diese Reihenfolge entsprach den Keimfähigkeiten der Proben und steht in Einklang mit der Erfahrung, dass zum einen Saatgut geringer Qualität an seinem langsameren Auflauf erkannt werden kann, zum anderen, dass bei solchem Saatgut verstärkte Effekte von Beizmitteln beobachtet werden können.



**Abbildung 120.** Auflauf von Imidacloprid behandelten Baumwollsamens in Sand.  
S = Fungizidbehandlung (= Standard), 1 und 2 mg Imidacloprid je Same

So zeigte sich qualitätsabhängig eine unterschiedliche Reaktion der Proben gegenüber dem Wirkstoff Imidacloprid. Während bei der hochkeimfähigen Zeta nur am 4. Tag eine geringe Differenzierung erkennbar war, lagen bei den geringeren Keimfähigkeiten die Werte nach dem 4. Tag anhaltend unter dem Standard.



**Abbildung 121.** Auflauf von Imidacloprid behandelter Baumwolle der Sorte Zeta in Sand.  
Von links oben nach rechts unten: Leerformulierung, 2 mg Imidacloprid, Standard, 1 mg Imidacloprid

### 3.9.1.2.2 *Auflauftest, Standardlaborerde, 50 % Wkmax, suboptimale Temperatur*

Mit diesem Versuch sollte geprüft werden, ob die im Quarzsand vorgefundene verzögernde Wirkung des Imidacloprid auch bei den praxisnäheren Bedingungen im Erdtest auftreten.

**Baumwolle:** Zeta, C 310, C 312

**Behandlung:** Fungizidbehandlung (= Standard), 0,5 mg und 2 mg Imidacloprid

**Anzahl:** 100 Samen

**Substrat:** Standardlaborerde, 50 % Wkmax

**Inkubation:** 20°C, Wechsellicht

**Beobachtung:** Auflauf vom 3. bis zum 7. Tag

#### **Auflauf**

Auch hier unterschieden sich die Proben qualitätsbedingt in ihrem Auflaufverhalten. Bei 20°C waren am 4. Tag die ersten Keimlinge aufgelaufen. Zeta lief, genau wie im Sandversuch, zügiger auf als Coker 310 und Coker 312. Ihr Endauflauf war mit 90 % dem Wert in Quarzsand vergleichbar, während die Probe C 310 nur 62 % und C 312 nur 54 % erzielte (Tabelle 65, Abbildung 123).

## Ergebnisse

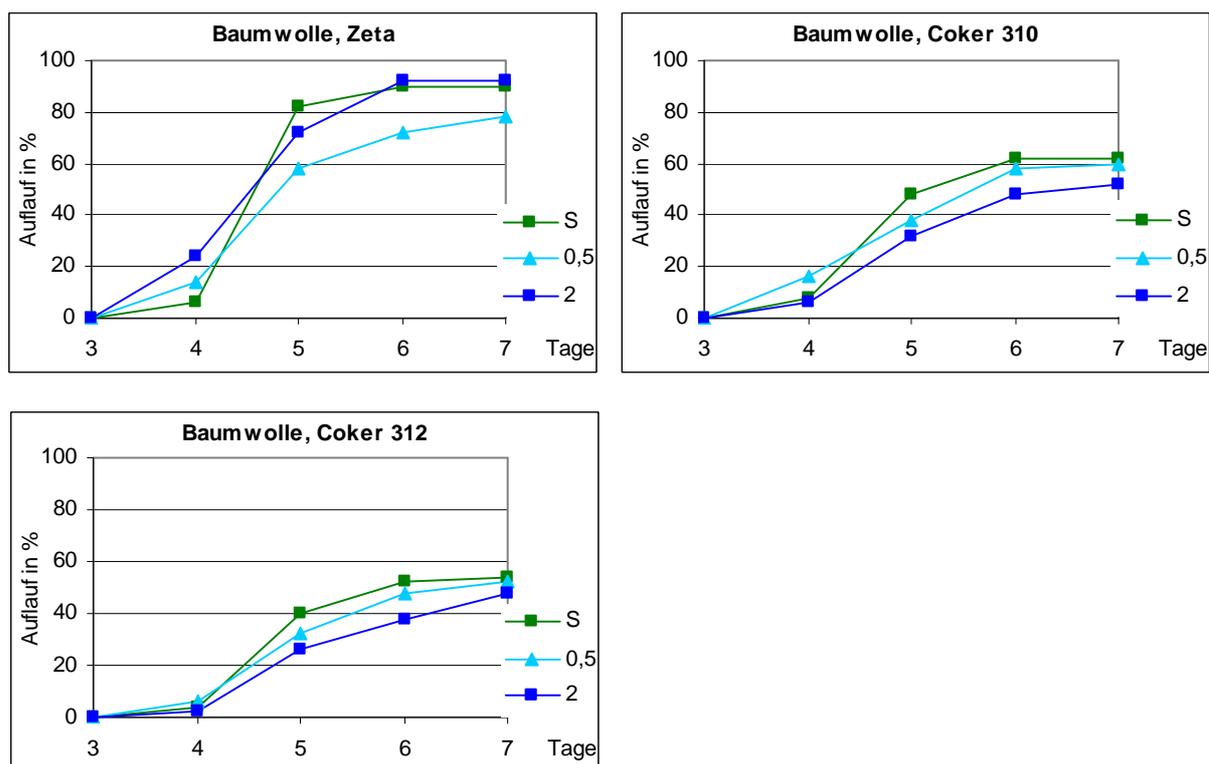
Tag	Auflauf [%]									Differenzen zum Standard [%]								
	Zeta			Coker 310			Coker 312			Zeta			Coker 310			Coker 312		
	S	0,5	2	S	0,5	2	S	0,5	2	S	0,5	2	S	0,5	2	S	0,5	2
4	6	14	24	8	16	6	4	6	2		8	18		8	-2		2	-2
5	82	58	72	48	38	32	40	32	26		-24	-10		-10	-16		-8	-14
6	90	72	92	62	58	48	52	48	38		-18	2		-4	-14		-4	-14
7	90	78	92	62	60	52	54	52	48		-12	2		-2	-10		-2	-6

**Tabelle 65.** Auflauf von Imidacloprid behandelten Baumwollsemen in Laborerde bei 50 % Wkmax, rechts Differenzen zum Standard.

S = Fungizidbehandlung (= Standard); 0,5 und 2 mg Imidacloprid,  
 rot: Auflaufwert ist um mehr als 5 % geringer als der Standard,  
 blau: Auflaufwert ist um mehr als 5 % größer als der Standard



**Abbildung 122.** Qualitätsbedingte Unterschiede beim Auflauf von Baumwolle nach 6 Tagen.  
 Von links nach rechts: Zeta, C312; C310,  
 von oben nach unten: Standard, Leerformulierung, 0,5 mg und 1 mg Imidacloprid



**Abbildung 123.** Auflauf von Baumwolle in Erde bei Behandlung mit Imidacloprid. S = Fungizidbehandlung, 0,5 und 2 = mg Imidacloprid je Same

Am 4. Tag war bei Zeta und Coker 310 bei Behandlung mit Imidacloprid bei 0,5 mg eine leichte und bei Zeta bei 2 mg eine deutliche Auflaufförderung zu verzeichnen, die sich am 5. Tag in allen Fällen in eine leichte Verzögerung umkehrte. Danach blieb die leichte Beeinträchtigung bei C 310 und C 312 in der hohen Konzentration erhalten, während sich die geringere Konzentration schon am 6. Tag dem Standard anglich.

Bei Zeta erreichte die Fungizidbehandlung vom 4. auf den 5. Tag fast den Endwert von 90 %. Die 2 mg Behandlung mit Imidacloprid startete zügiger als der Standard und erzielte gleichzeitig mit diesem am 6. Tag den höchsten Wert, während 0,5 mg, insgesamt zurückbleibend, am 7. Tag erst 78 % erreichte. Bei den weniger keimfähigen Proben C 310 und C 312 zeigten die beiden Wirkstoffkonzentrationen ein grundsätzlich vergleichbares Verhalten, jedoch auf niedrigerem Niveau, (Abbildung 122).

Während die Samen in Quarzsand sehr rasch aufziefen, geschah dies in der Erde deutlich langsamer, wobei die Wirkung des Imidacloprid in beiden Medien vergleichbar war (Abbildung 120, Abbildung 123).

### 3.9.1.2.3 Auflauftest, Standardlaborerde, 50 % Wkmax, optimale Temperatur

Hier sollen die Einflüsse des Imidacloprid bei optimalen Bedingungen in Erde, bei 25°C geprüft werden. Dafür wurde ausschließlich die qualitativ beste Sorte Zeta in fünf Versuchen mit jeweils 2 x 50 Samen untersucht.

**Baumwolle:** Zeta  
**Behandlung:** Fungizidbehandlung, Leerformulierung (= Standard), 1 mg und 2 mg Imidacloprid  
**Anzahl:** 100 Samen, in 5 Einzelversuchen  
**Substrat:** Standardlaborerde, 50 % Wkmax  
**Inkubation:** 25°C, Wechsellicht  
**Beobachtung:** Auflauf vom 3. bis zum 7. Tag

**Auflauf**

Die Feuchtigkeitseinstellung auf 50 % Wkmax erfolgte durch Begießen nach der Aussaat. Unter diesen für die Baumwolle optimalen Versuchsbedingungen mit hoher Feuchtigkeit und Temperatur entwickelten sich die Keimlinge rasch und zügig, sodass am 4. Tag bereits 70 % aufgelaufen waren. Zu keinem Zeitpunkt war ein negativer Einfluss des Wirkstoffes erkennbar.

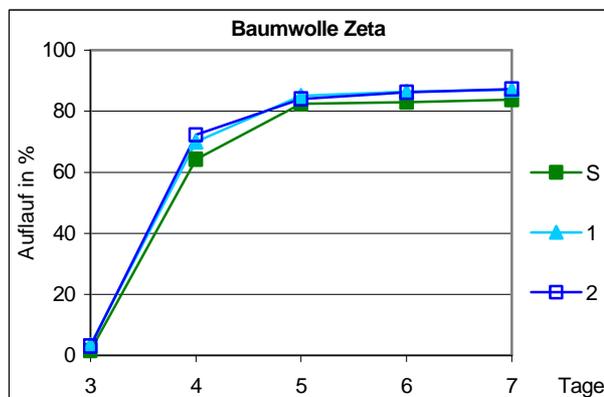
Diese Versuche zeigten, dass bei guter Saatgutqualität unter optimalen Keimungsbedingungen in Erde kein negativer Einfluss des Imidacloprid auftritt, im Gegenteil kann bei hoher Konzentration eine leichte Förderung beobachtet werden (Tabelle 66, Abbildung 124).

Tage	Auflauf [%]				Differenzen zum Standard [%]			
	S	L	1	2	S	L	1	2
3	2	4	3	3	-2		-1	-1
4	64	66	70	72	-2		4	6
5	82	86	85	84	-4		-1	-2
6	83	87	86	86	-4		-1	-1
7	84	87	87	87	-3		0	0

**Tabelle 66.** Auflauf von Imidacloprid behandelter Baumwolle bei 25°C in Erde, 50 % Wkmax, rechts Differenzen zum Standard.

S = Fungizidbehandlung, L = Leerformulierung, 1 und 2 = mg Imidacloprid je Same  
 blau: Auflaufwert ist um mehr als 5 % größer als der Standard

Ein Vergleich mit den Versuchen bei 20°C lässt erkennen, dass unter leichtem Temperaturstress nicht nur ein langsamerer Auflauf erfolgt, sondern auch eine stärkere Differenzierung durch das Insektizid bewirkt wird (Abbildung 124).



**Abbildung 124.** Auflauf von Imidacloprid behandelten Baumwollsamens bei 25°C in Erde. 50 % Wkmax, S = Fungizidbehandlung, L = Leerformulierung, 1 und 2 = mg Imidacloprid je Same

3.9.1.2.4 *Auflauftest, Standardlaborerde, 40 % Wkmax, optimale Temperatur*

**Baumwolle:** Zeta

**Behandlung:** Fungizidbehandlung (= Standard), 1 mg und 2 mg Imidacloprid

**Anzahl:** 100 Samen

**Substrat:** Standardlaborerde, 40 % Wkmax

**Inkubation:** 25°C, Wechsellicht

**Beobachtung:** Auflauf vom 3. bis zum 7. Tag

Die Aussaatbedingungen sind in den Anbauregionen der Baumwolle bezüglich der Substratfeuchtigkeit selten optimal, sondern eher zu trocken. Daher wurde der Einfluss von Imidacloprid bei optimalen Temperatur- jedoch suboptimalen Feuchtigkeitsbedingungen in Erde untersucht. Die Auflaufraten wurden in zwei Versuchen mit jeweils 2 x 50 Samen der Probe Zeta in Erde, bei 40 % Wkmax geprüft, die Ansätze wurden nicht gegossen.

**Auflauf**

Nach zügigem Auflauf haben alle Varianten am 5. Tag nahezu ihren Endwert erreicht. Auffällig war dabei eine große Uneinheitlichkeit in der Pflanzenentwicklung und so liegen die Unterschiede der Behandlungen im Schwankungsbereich der Einzelversuche. Dadurch lässt sich kein gesicherter Einfluss gegenüber dem Standard ableiten (Tabelle 67, Abbildung 125).

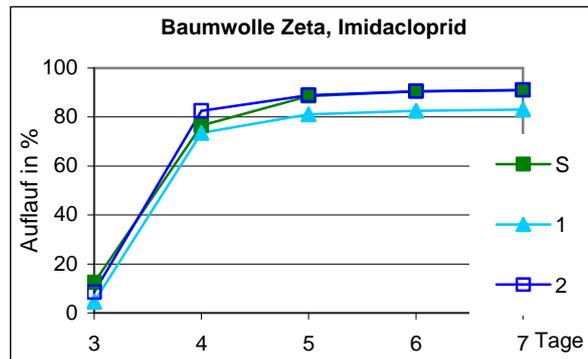
Tage	Auflauf [%]			Differenz zum Standard [%]		
	S	1	2	S	1	2
3	13	5	9		-8	-4
4	77	74	83		-3	6
5	89	81	89		-8	0
6	91	83	91		-8	0
7	91	83	91		-8	0

**Tabelle 67.** Auflauf von Imidacloprid behandelte Baumwolle [%] bei 25°C in Erde, 40 % Wkmax, rechts Differenzen zum Standard.

S = Standard, 1 und 2 = mg Imidacloprid je Same

rot: Auflaufwert ist um mehr als 5 % geringer als der Standard, blau: Auflaufwert ist um mehr als 5 % größer als der Standard

Während eine Änderung der Temperatur eine direkte Reaktion der Wirkstoffe auf die Keimlinge hervorrief, zeigte die Herabsetzung der Feuchte keine vergleichbaren Effekte. An den Schwankungen der Einzelergebnisse lässt sich dennoch erkennen, dass diese Versuchsbedingungen für die Baumwolle nicht mehr optimal waren (Abbildung 125, Abbildung 126).



**Abbildung 125.** Auflauf von Imidacloprid behandelten Baumwollsamens bei 25°C in Erde. 40 % Wkmax, S = Standard, 1 und 2 mg Imidacloprid je Same



**Abbildung 126.** Auflauf von Imidacloprid behandelter Baumwolle bei unterschiedlichem Erdfeuchtegehalt nach 5 Tagen. Obere Reihe 50 % Wkmax, untere Reihe 40 % Wkmax, von links nach rechts Fungizid, Leerformulierung, 1 mg, 2 mg Imidacloprid

### Entwicklung und Wachstum

**Baumwolle:** Zeta, C 310, C 312

**Behandlung:** Fungizidbehandlung (= Standard), 0,5 mg und 2 mg Imidacloprid

**Anzahl:** 100 Samen

**Substrat:** Faltenfilter feuchtigkeitsgesättigt

**Inkubation:** 20°C, Wechsellicht

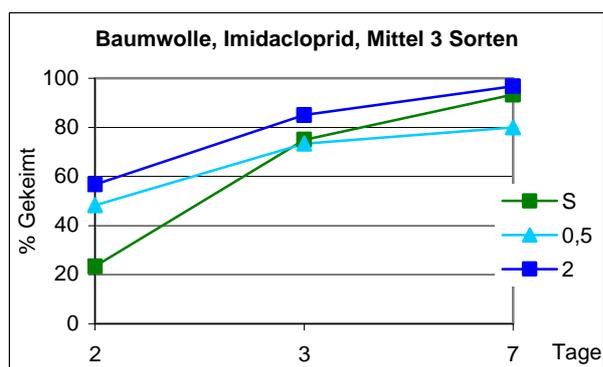
**Beobachtung:** Keimung am 2., 3. und 7. Tag, sowie Wurzellänge täglich vom 2. bis zum 6. Tag

In Faltenfiltern wurde der Einfluss von Imidacloprid auf die Keimung und das Wurzelwachstum untersucht. Dazu wurde Saatgut von Proben der drei Sorten Zeta, Coker 310 und Coker 312 mit Leerformulierung und gebeizt mit 0,5 mg und 2 mg Imidacloprid angesetzt. Als Standard diente die nur mit Fungizid behandelte Probe. Die Inkubation von

jeweils 20 Samen erfolgte in feuchtigkeitsgesättigtem Filterpapier bei 20°C im Wechsellicht. Die Anzahl gekeimter Samen sowie die Wurzellänge wurden zu definierten Versuchszeitpunkten bestimmt.

### Keimung

Die Keimung, als Austreten der Wurzelspitze, erfolgte sowohl beim Standard als auch bei den Behandlungen mit Imidacloprid bereits nach 2 Tagen (Tabelle 68, Abbildung 127). Während die 0,5 mg Variante am 3. Tag den Wert des Standards zeigte und am 7. Tag deutlich niedriger lag, übertraf die 2 mg Konzentration den Standard an allen Messtagen.



**Abbildung 127.** Keimung von Baumwolle bei Behandlung mit Imidacloprid in Faltenfilter. S = Standard, 0,5 und 2 = mg Imidacloprid je Same

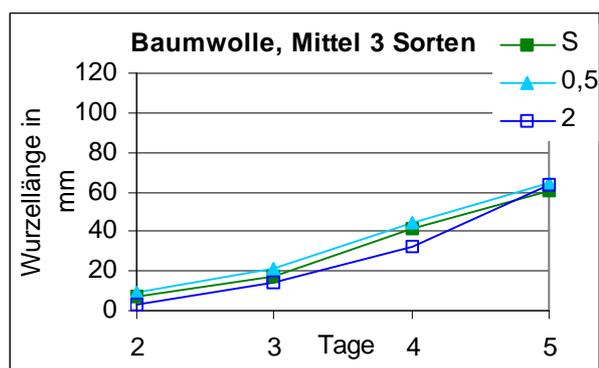
### Wurzellänge

Tag										Differenzen zum Standard [%]								
	Zeta			Coker 310			Coker 312			Zeta			Coker 310			Coker 312		
	S	0,5	2	S	0,5	2	S	0,5	2	S	0,5	2	S	0,5	2	S	0,5	2
2	10	10	4	6	8	3	7	9	2	0	-6		2	-3		2	-5	
3	22	24	17	16	22	15	15	19	11	2	-5		6	-1		4	-4	
4	62	50	42	33	40	33	29	43	20	-12	-20		7	0		14	-9	
5	86	76	79	52	61	64	44	58	48	-10	-7		9	12		14	4	
6	106	70	85	77	86	73	-	-	-	-36	-21		9	-4		-	-	

**Tabelle 68.** Wurzellänge von Imidacloprid behandelter Baumwolle im Faltenfilter, rechts Differenzen zum Standard.

S = Standard, 0,5 und 2 mg Imidacloprid je Same

rot: Wurzel ist um mehr als 5 % kürzer als beim Standard, blau: Wurzel ist um mehr als 5 % länger als beim Standard



**Abbildung 128.** Wurzellänge von Baumwolle in Faltenfilter bei Behandlung mit Imidacloprid. S = Standard, 0,5 und 2 mg Imidacloprid je Same

Der im Faltenfilter untersuchte Einfluss von Imidacloprid auf die Keimung und das Wurzelwachstum zeigte eine Förderung der Keimung am 2. Versuchstag (Abbildung 127).

Die drei Sorten erreichten bei Standardbehandlung verschiedene Wurzellängen, wobei die Sorte Zeta in allen Behandlungen die längsten und C 312 die kürzesten Wurzeln entwickelte (Tabelle 68, Abbildung 128).

Im Mittelwert unterschieden sich die Wurzellängen bei Imidacloprid-Behandlung am 2. Tag nicht vom Standard. Während das Wurzelwachstum in der niedrigen Konzentration bis zum 3. Tag dem Standard entsprach und sich dann verlangsamt, zeigte die höhere Konzentration von Beginn an eine Differenzierung, die am 4. Tag ihre stärkste Ausprägung aufwies.

Insgesamt konnte festgestellt werden, dass keine deutlichen Veränderungen im Wachstum zu beobachten waren.

Im Gegensatz zu den anderen untersuchten Arten gestalteten sich die Wirkungsmessungen bei der Baumwolle schwierig, da ihre kräftigen Primärwurzeln sich nicht in den Falten verankerten, sodass die Längenmessungen wegen ungerichteten Wachstums bereits am 5. Tag eingestellt werden mussten.

### 3.9.2 Zusammenfassung der Versuche mit Baumwolle

Für die Untersuchung des Einflusses von Imidacloprid standen drei Sorten mit Proben unterschiedlicher Ausgangsqualität zur Verfügung.

Insgesamt zeigten die Versuchsergebnisse bei der Baumwolle deutlich größere Schwankungen als bei Mais, Sonnenblume und Zuckerrübe, was eine Auswertung und Beurteilung der Effekte sehr erschwerte.

Auch hier erwies sich, dass für zuverlässige, sicher auswertbare Ergebnisse in Auflaufversuchen ebenso wenig wie bei den anderen Arten auf eine Behandlung mit Fungiziden verzichtet werden kann.

Die Auflaufversuche in Erde ließen unter optimalen Temperatur- und Feuchtigkeitsbedingungen weder einen Einfluss des Insektizids auf die Keimung noch auf die Entwicklung erkennen. Dies erklärt sich aus dem Wachstumsverhalten der Baumwollsamens. Die Primärwurzel wächst hier schnell aus dem kleinen, zudem niedrig konzentrierten Beizhof heraus. Die Samenschalen werden bei der Keimung aus der Erde emporgehoben und unterbrechen damit die Wirkstoffnachlieferung in den Wurzelbereich. Darüber hinaus werden die Samenschalen bei hoher Feuchtigkeit des Substrates und der Luft frühzeitig abge-

stoßen, sodass auch keine Wirkstoffnachlieferung über die Kotyledonen, wie von Tröltzsch, et al. (1994) beschrieben, möglich ist. Es steht also nur sehr kurzfristig eine relativ geringe Wirkstoffmenge zur Aufnahme zur Verfügung.

Beim Auflauf in sterilem Quarzsand zeigt sich unter Temperaturstress eine qualitätsbedingt unterschiedliche Reaktion der Proben gegenüber Imidacloprid. Mit zunehmender Keimfähigkeit der Proben werden die auflaufverzögernden Wirkungen immer schwächer (3.9.1.2.1.1). Diese Reaktion ist bei den Versuchen in Erde nicht so gegeben, hier ist fallweise eine Auflaufförderung zu beobachten. Ebenso zeigt sich erst bei der suboptimalen Temperatur, wie zuvor beim Sand, durch Imidacloprid eine deutlichere Verzögerung zu Versuchsende. Verschiedene Feuchtigkeiten ergaben keine wesentlichen Wirkunterschiede ().

In keinem Versuch war unter optimalen Bedingungen, vor allem bezüglich der Feuchte und Temperatur, bei guter Probenqualität ein Einfluss des Imidacloprid festzustellen. Unter Stressbedingungen führen verschiedenartige physiologische und morphologische Mechanismen zur Ausprägung von meist zeitlich begrenzten Wuchshemmungen.



## 4 Diskussion

Bei der steten Steigerung der pflanzlichen Produktion kommt neben der Züchtung, Düngung und Bodenbearbeitung dem Pflanzenschutz eine entscheidende Bedeutung zu. Dabei ist zu beobachten, dass neben der Bekämpfung pilzlicher Schaderreger die Bekämpfung von Insekten eine zunehmend größere Rolle spielt.

Bei der Auswahl der Fungizide und Insektizide für die Behandlung ihres hochwertigen Saatgutes ist für die Züchter neben der biologischen Wirkung die Pflanzenverträglichkeit von Wirkstoffen ein zentrales Kriterium. Nach den EPPO Richtlinien für Wirksamkeitsprüfungen von Pflanzenschutzmitteln zur Bewertung der Phytotoxizität, sind sowohl vorübergehende als auch langanhaltende Schädigungen an Pflanzen als phytotoxische Erscheinung zu bewerten.

Prinzipiell lassen sich bei der Phytotoxizitätsprüfung zwei unterschiedliche Strategien verfolgen:

- 1.) Prüfung unter optimalen Bedingungen, die eine maximale Keimfähigkeits- oder Auflauftrate erwarten lassen. In einem solchen Testsystem sind nur starke Stoffeinflüsse zu erfassen, die sich in einer Verminderung der Keimfähigkeit oder in einem verstärkten Auftreten anomaler Keimlinge zeigen. Lassen sich im Labortest unter optimalen Bedingungen bereits Unverträglichkeiten erkennen, so sind diese unter Praxisbedingungen noch verstärkt zu erwarten.
- 2.) Unter suboptimalen Bedingungen, die eine Stresssituation für die Pflanze darstellen, lassen sich auch schwächere Wirkeffekte von Pflanzenschutzmitteln erkennen. Stress kann dabei gezielt durch geeignete Temperatur und Substrate ausgelöst werden. Um den wirkstoffspezifischen Stress gesondert beurteilen zu können, ist das Mitführen von Standards unerlässlich.

Ziel der vorgestellten Untersuchungen war es festzustellen, ob insektizide Wirkstoffe einen Einfluss auf die Keimung und Keimlingsentwicklung haben und welcher Art dieser ist. Hierzu wurden die vier bedeutenden Kulturpflanzenarten Mais, Sonnenblume, Zuckerrübe und Baumwolle herangezogen.

Da keine systematischen Untersuchungen über das Verhalten in dem sensiblen Lebensabschnitt von Quellung und Keimung vorliegen, sollten möglichst alle Einflüsse durch ein weites Netz von Versuchen abgedeckt werden. Ziel war es dabei nicht feinste Differenzen herauszuarbeiten, sondern die einzelnen Faktoren auf ihren generellen Einfluss zu überprüfen und die Ursachen hierfür zu erkennen. Daher wurden die Einzeluntersuchungen der 1350 Versuchsansätze, wo immer möglich mit 100 Samen durchgeführt.

Als Wirkstoffe wurden sieben Insektizide aus verschiedenen Stoffklassen geprüft, die sich hinsichtlich ihrer physikalisch-chemischen Eigenschaften deutlich unterscheiden. Besonderes Augenmerk wurde drei Wirkstoffen aus der Klasse der Chloronicotinyle geschenkt. Neben Versuchsansätzen in sterilem Filterpapier, Quarzsand, sowie einer Standardlaborerde wurden die unterschiedlichen Bodenarten Sand, Lehmiger Sand, Sandiger Lehm, Toniger Lehm und Lehmiger Ton für die Keimfähigkeits- und Auflaufuntersuchungen herangezogen.

## **4.1 Erfassung insektizider Wirkstoffeinflüsse und Entwicklung eines Testsystems**

### **4.1.1 Wirkstoffe in der Literatur, allgemein**

Die Wirkung von Pflanzenbehandlungsmitteln auf die Keimlingsentwicklung von Kulturpflanzen wird in der Literatur kontrovers diskutiert. Von zahlreichen Insektiziden und Akariziden ist eine Wirkung auf die Physiologie, das Wachstum und den Ertrag von Kulturpflanzen bekannt. Dabei werden sowohl Ertragssteigerungen als auch Ertragsminderungen berichtet. So wird beispielsweise beschrieben, dass eine Behandlung von Baumwolle mit Organophosphaten einmal zu höheren ein andermal zu niedrigeren Erträgen führt. Dabei zeigten Freilandversuche von Youngman et al. (1990) mit ausgewählten Insektiziden an Baumwolle signifikante Beeinflussungen von Gasaustausch, Pflanzenwachstum, Knospenanzahl und Trockenmasse, deren Ausprägung unterschiedlich gerichtet waren.

Nijenstein und Ester (1990) beschreiben die Vielgestaltigkeit phytotoxischer Effekte, die sich bei verschiedenen Pflanzenarten, Saatgutqualitäten, Feuchtigkeitsgehalten, Temperaturen, Lagerungsdauer, Keimsubstraten und Bodenfeuchtigkeitsgehalten dosisabhängig und in Abhängigkeit vom Entwicklungsstadium zum Zeitpunkt der Beurteilung unterschiedlich äußern können. Eine Beurteilung der Kulturpflanzenverträglichkeit ermöglichen nur solche Ergebnisse, die unabhängig von Schädlingsdruck zustande kommen. Die verschiedenen Insektizide entfalten ihre Wirkungsstärke bei unterschiedlichen Erregern in Abhängigkeit von Art und Befallsstärke. Zusätzlich wurden Wechselwirkungen mit anderen Pflanzenschutzmitteln beschrieben, was eine Feststellung und Beurteilung phytotoxischer Wirkungen noch schwieriger gestaltet. Fallweise werden nur bestimmte Pflanzenorgane beeinträchtigt, während andere unbeeinflusst bleiben oder sogar in ihrer Entwicklung gefördert werden. Auch konzentrationsabhängig können Wirkstoffe sowohl entwicklungsverzögernden als auch fördernden Einfluss haben. Die phytotoxischen Wirkungen sind im Feld fallweise auch weniger stark ausgeprägt als im Laborversuch. So zeigten sich Wirkungen der Insektizide Benfuracarb, Carbofuran, Chlorenvinfos, Chlorpyrifos, Dichlofenthion, Etrimfos, Fonofos, Furathiocarb, Methiocarb, und Tefluthrin bei *Vicia faba* im Medium Sand aufgrund der geringeren Adsorptionsfähigkeit stets deutlicher als in einem Gemisch aus Sand und Kompost.

Wenn auch die Behandlung von Saatgut mit systemischen Wirkstoffen als vielversprechende Pflanzenschutzmaßnahme gilt, berichtet Mote (1978), dass verschiedene insektizide Wirkstoffe in Laborversuchen konzentrationsabhängige Effekte auf die Keimfähigkeit, die Wurzellänge, das Wachstum der Plumula sowie die Wurzelhaarausbildung haben.

Von systemischen Insektiziden wie Aldicarb sind phytotoxische Wirkungen wie reduziertes Wurzelwachstum, beeinträchtigte Wasseraufnahme sowie toxische Effekte auf das Vaskularsystem bekannt, während Formulierungsexperimente anderer Arbeitsgruppen eine positive Wachstumsbeeinflussung erkennen lassen (Womack und Schuster, 1986).

#### 4.1.2 Wirkstoffe in der Literatur, Imidacloprid

Imidacloprid ist ein Breitbandinsektizid aus der Wirkstoffklasse der Chloronicotinyne, das seit den neunziger Jahren in zahlreichen Kulturen als Saatgutbeizung (Gauch<sup>®</sup>) appliziert im Fröhsaatschutz Anwendung findet. Als Spritzmittelanwendung (Admire<sup>®</sup>) sowie als Bodenbehandlungsmittel ist mit Imidacloprid ein wirksames Kontakt- und Fraßgift im Einsatz das durch seine guten systemischen Eigenschaften einen hohen Wirkungsgrad sowohl gegen Fröhschädlinge bietet, als auch einen Langzeitschutz. Der Wirkstoff wird nach Saatgut- oder Bodenapplikation in der Pflanze akropetal verteilt (Mittnacht, 1994).

Auch über die Wirkung von Imidacloprid wird in der Literatur Unterschiedliches berichtet. So soll der Wirkstoff unter bestimmten Bedingungen das Wachstum und die Entwicklung fördern, während bei anderen Bedingungen fallweise Verzögerungen auftreten.

So bietet Imidacloprid nach Deall et al. (1993) bei Mais als Beizmittel appliziert der heranwachsenden Jungpflanzen einen Schutz bis zu 7 Wochen (), bei Zuckerrübe hält die Wirkungsdauer für 3 - 4 Monate an (Rouchaud et al., 1994). Vergleichbar ist dies mit der Wirkung gegen den Reiswasserkäfer (*Lissorhoptrus oryzophilus*) (80 - 90 Tage) bei sehr guter Pflanzen-verträglichkeit (Iwaya und Tsuboi, 1992 und Ishii et al., 1994).

Bedeutsam ist insbesondere der Schutz gegen Bodenschädlinge und Blattläuse, welche durch Virenübertragung häufig massive Sekundärschäden verursachen. Darüber hinaus ist Imidacloprid gegen die bedeutendsten Lagerschädlinge wirksam (Deall et al., 1993). Vor allem Insekten, die gegen die verbreiteten Acetylcholinesterase-Inhibitoren, aus der Stoffklasse der Organophosphate und Carbamate resistent geworden sind, wie die Grüne Pfirsichblattlaus (*Myzus persicae*), lassen sich mit diesem neuartigen Wirkstoff erfolgreich bekämpfen (Woodford, 1992; Methfessel, 1992). Unregelmäßigkeiten beim Abreifeverhalten von Tomaten, die auf den Befall mit der Weißen Fliege (*Bemisia argentifolii*) zurückzuführen sind, können nach Powell und Stoffela (1998) durch eine Behandlung mit Imidacloprid abgemildert werden.

In mehrjährigen Feldversuchen stellten Schöberlein et al. (1999) bei drei Sorten von Winterweizen nach Imidacloprid-Behandlung eine positive Wirkung auf den Ertrag durch prophylaktischen Schutz der Keimpflanzen vor tierischen Schaderregern und Virusinfektionen fest.

Wachstums- und Ertragssteigerungen bei *Cucumis melo* nach Imidacloprid-Behandlung führten zu Spekulationen über eine fördernde Wirkung des Imidacloprid, die über eine positive Wirkung aufgrund der Schädlingsbekämpfung hinausgeht. Gewächshaus- und Freilandversuche mit und ohne Befall der Weißen Fliege zeigten jedoch, dass die Wachstumsförderung in der positiven Wirkung der Bekämpfung der Weißen Fliege und nicht in einer physiologischen Wirkung des Insektizids begründet ist (Palumbo und Sanchez, 1995). Imidacloprid beeinträchtigte in Untersuchungen von Natwick et al. (1996) sowohl bei Wurzel- als auch bei Bodenbehandlung das Wachstum von Blumenkohlkeimlingen.

An Tabak dagegen konnte weder im Saatbeet noch im Feldversuch eine phytotoxische Wirkung durch Imidacloprid festgestellt werden (Seith und Billenkamp, 1998).

Eberdorfer (2001) stellte bei Ölkürbissen, deren Saatgut mit Imidacloprid behandelt war, in Jahren ungünstiger Keimbedingungen einen deutlich verzögerten Aufgang fest, während kein Einfluss auf den Ertrag zu erkennen war.

Während Deall et al. (1993) in den ersten 10 Wochen der Maisentwicklung im Feld keine Beeinflussung von Aussehen, Robustheit und Auflauf der Maispflanzen bei Behandlung mit Imidacloprid vorfanden und diese Ergebnisse von Epperlein und Jaschewski (1997) beim Feldaufgang von Mais bestätigt wurden, zeigten sich bei Gewächshausuntersuchungen an unterschiedlich gelagertem Saatgut von Drinkwater (1997) dennoch Verzögerungen in der Entwicklung junger Maispflanzen. Drinkwater erkannte die Komplexität der Abhängigkeiten und forderte Untersuchungen bei extremen Temperatur- und Feuchtebedingungen, sowie eine Prüfung der Wechselwirkungen zwischen Insektizid- und Fungizidbehandlung. Versuche von Kuhar et al. (2002) bestätigen die oben beschriebene phytotoxische Wirkung von Imidacloprid, die sich im Laborversuch als Verzögerung auf das Keimungsverhalten von gebeiztem überlagertem Maissaatgut zeigt.

### 4.1.3 Keimung und Entwicklung von Saatmais

Die Modellpflanze Mais wurde als typischer Vertreter für monokotyle Kulturpflanzen mit großer weltwirtschaftlicher Bedeutung, stellvertretend für Weizen, Reis, Gerste und *Sorghum* ausgewählt. Als eine ursprünglich rein tropische Art wird Mais heute, nach intensiver züchterischer Bearbeitung, auch in gemäßigten Gebieten angebaut. Eine Erinnerung an seine Heimat ist der hohe Wärmebedarf von Mais, der erst ab 8°C keimen kann (Zscheischler, 1990). Dieser Vorgang ist bekanntermaßen ein dreiphasiger Prozess, in dem auf die Quellung eine lag-Phase und mit dem Erscheinen der Keimwurzel die eigentliche Keimung erfolgt. Das Durchbrechen der Substratoberfläche wird als Auflauf bezeichnet, der Keimling ergrünt und beginnt mit der Assimilation seine selbstständige Entwicklung (Bewley und Black, 1978).

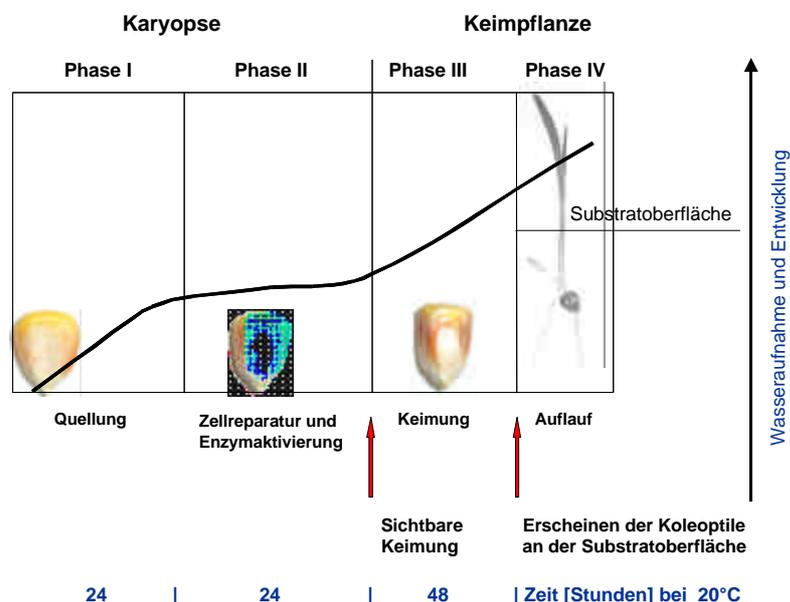


Abbildung 130. Phasen der Entwicklung von Mais, verändert nach Bewley und Black, 1978

Entsprechend der Zielstellung galt es in dieser sensiblen Entwicklungsphase den Wirkungseinfluss zu prüfen, sodass die Versuche überwiegend nach 7-10 Tagen abgeschlossen wurden.

#### **4.1.3.1 Wasseraufnahme bei der Quellung mit und ohne Imidacloprid-Beizung**

Die Keimung kann erst bei einem bestimmten Mindestfeuchtigkeitsgehalt im Samen erfolgen, der bei Mais und Zuckerrübe 32 % beträgt. Unterhalb dieses Wertes kann keine Keimung stattfinden (Baskin, 1998).

In Übereinstimmung mit dem von Bewley and Black (1978) beschriebenen Modell der Wasseraufnahme quellender und keimender Samen ist diese bei ungebeizten wie an gebeizten Maiskaryopsen mit 18 % Massenzunahme in der ersten Stunde am stärksten. Wie in Abbildung 5 zu erkennen ist, sinkt die stündliche Wasseraufnahme nach 12 Stunden auf 5 % und weiterhin stetig ab, bis in der letzten Versuchsphase nur noch 1 % Zuwachs je Stunde registriert werden kann. Diese Ergebnisse spiegeln die ersten beiden Phasen der Keimung, die Quellung und die lag-Phase wieder (Abbildung 130).

In der lag-Phase bleibt die Reihenfolge der Wasseraufnahme, wie in Phase I, von ungebeizt bis zu 4 mg Imidacloprid gebeizt zunehmend, erhalten, die Abstände dazwischen vergrößern sich jedoch (Abbildung 131). Auch die Keimung selbst zeigt diese Reihung, die in der weiteren Entwicklung zunächst erhalten bleibt, sodass hier eine hohe Imidacloprid-Konzentration sogar zu verbesserten Werten führt .

Die Geschwindigkeit der Wasseraufnahme in den einzelnen Geweben unterscheidet sich abhängig von der Zusammensetzung derselben. So beschreiben Bewley and Black (1978) für quellende Maiskaryopsen mit einem Feuchtigkeitsgehalt von 75 % beim Embryo einen fünffach höheren Wassergehalt als in den übrigen Geweben.

Die Wasseraufnahme bei der Quellung ist abhängig von der Wasserverfügbarkeit. So berichtet Simon (1984) über eine nach 12 Stunden abgeschlossene Quellung von Erbsen in Wasser im Vergleich zu 24 Stunden bei der Quellung zwischen feuchtem Papier, was die Bedeutung des Oberflächenkontaktes von Same und umgebendem Substrat für die Wasserverfügbarkeit und damit verbunden die Wirkstoffaufnahme unterstreicht.

Die zur Quellung und Keimung erforderliche Wassermenge kann, wie von Wuest (2002) gezeigt, auch aus der Dampfphase aufgenommen werden, es ist also nicht grundsätzlich ein Samen-Substratkontakt erforderlich. Für die Wirkstoffaufnahme spielt dies in unseren Betrachtungen nur eine untergeordnete Rolle, da unter solchen Bedingungen, wegen des niedrigen Dampfdrucks von Imidacloprid, keine Wirkstoffaufnahme zu erwarten ist (Krohn und Hellpointner, 2002).

Wilson und Geneve (2004) beschreiben für die Wasseraufnahme bei Zahnmais, dass zunächst der Embryo und danach das Endosperm hydratisiert wird.

Nach Copeland und McDonald (1995) werden die Proteine des Embryos rascher hydratisiert als die Stärkemoleküle im Endosperm und der Wasserstrom in der frühen Phase der Quellung erfolgt hauptsächlich über die Blacklayer und somit direkt über den Embryo.

Es wäre zu erwarten, dass die mit dem Wasser aufgenommene Wirkstoffmenge dies wieder spiegelt. Die Tatsache, dass der Embryo in den vorliegenden Versuchen nach 25 Stunden mit 13 mg/kg im Vergleich zum Endosperm mit 95 mg/kg eine verhältnismäßig niedrige Wirkstoffkonzentration aufweist entspricht diesem nicht. Demnach erfolgt eine größere Aufnahme über die Gesamtoberfläche der Karyopse als bisher angenommen.

Aus den Beobachtungen zum Quellungsverhalten lässt sich also erkennen, dass die Wasseraufnahme umso rascher erfolgte, je mehr Material das Korn direkt ummantelt (3.1.2).

So ergaben erste Versuche mit Fungizidbehandlung, Leerformulierung, mit und ohne Imidacloprid eine ausgeprägte quellungs- und keimungsfördernde Wirkung des Insektizides.

Weiter zeigte sich, dass nicht nur die Vermittlung zwischen der Oberfläche der Maiskaryopse und dem Substrat für diese Förderung verantwortlich ist, sondern, dass Imidacloprid auch eine eigenständige Wirkung entfaltet.

In Wachstumsversuchen von unbehandeltem Saatgut mit Flüssigsubstrat ist der Prozentsatz gekeimter Samen von der Imidacloprid-Behandlung nicht beeinflusst, während das Wachstum von Spross und Wurzel einen deutlichen verzögernden Einfluss erfahren. Dies bestärkt die Annahme, dass für eine Förderung der Keimung, wie sie bei Insektizid gebeiztem Saatgut beobachtet werden konnte, vornehmlich physikalische Ursachen wie Oberflächenwechselwirkungen und osmotische Wirkung verantwortlich sind.

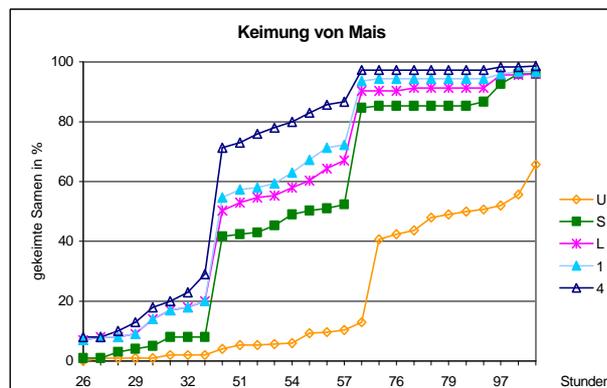
Ein vergleichbares Verhalten ist aus der Saatgutbehandlung mit Polymeren wie Polyvinylchlorid und Polyvinylacetat bekannt. Polymercoating kann das Wasseraufnahmeverhalten von Samen in Abhängigkeit von dem verwendeten Polymer sowie der Schichtdicke erhöhen oder erniedrigen. So ist bei Süßmais bei dünner Beschichtung eine raschere Wasseraufnahme, eine erhöhte Quellungs- und Keimungsrate sowie ein beschleunigter Auflauf, insbesondere unter Stressbedingungen beschrieben, während die Triebkraft unbeeinflusst bleibt. Diese Effekte beruhen bei Mais auf der Oberflächenvermittlung der wachsbeschichteten Karyopse mit der Umgebung sowie der Oberflächenausdehnung und somit der Vergrößerung der Kontaktfläche zwischen Karyopse und Umgebung (Wilson, Geneve, 2004 und Schneider, Renault, 1997).

Bei Rüben, die erst nach dem Auswaschen von Keimungsinhibitoren aus der Knäuelfrucht keimen können, bewirken solche Umhüllungen fallweise das Gegenteil.

Es zeigte sich, dass die Wirkstoffbehandlung in den höchsten Konzentrationen die rascheste Quellung herbeiführt. Wie die chemischen Analysen zeigten, wird mit 145 mg/kg, was 4 % der applizierten Menge entspricht, bereits hier in beachtlichem Maße Imidacloprid in die Karyopse aufgenommen (3.1.5).

In Studien zur Dauerwirkung von Imidacloprid finden sich Angaben zu den aufgenommenen Wirkstoffmengen, die sich jedoch auf spätere Entwicklungsstadien der Pflanzen beziehen. Die in den vorliegenden Versuchen in frühen Entwicklungsstadien gefundenen Wirkstoffgehalte erreichten mit durchschnittlich 300 mg/kg Imidacloprid in den Karyopsen und 25 mg/kg im Pflanzenmaterial vergleichbare Größenordnungen (3.1.5). Für Karyopsen liegen in der Literatur keine Daten vor, die zu späteren Zeitpunkten angegebenen Werte stimmen jedoch recht gut überein. So fanden Stein-Dönecke et al. (1992) bei Weizen, gebeizt mit 0,05 mg je Karyopse, nach 51 Tagen 28 mg Wirkstoff je kg Frischmasse Imidacloprid im Spross, der Gehalt stieg bis zur Vollreife auf 75 mg/kg an. Tröltzsch et al. (1994) stellten bei der Baumwolle nach 27 Tagen 0,8 mg/kg Frischmasse in der Wurzel, 2,3 mg/kg im Stängel 0,4 mg/kg in den Keimblättern 2,2 mg/kg und in den Laubblättern 2,3 bis 4,3 mg/kg - insgesamt wurden also knapp 15 mg Imidacloprid je kg Frischmasse aufgenommen, was 2-3 % der applizierten Wirkstoffmenge von 0,3 mg je Samen entspricht. Bei Reis stellten Ishii et al. (1994) nach 3 Tagen in der Aussaatbox mit 65 mg/kg Imidacloprid in den Wurzeln und 94 mg/kg in den Blättern eine rasche Wirkstoff-Aufnahme, aber nach 24 Tagen auch eine rasch wieder erniedrigte Konzentration auf 0,15 mg/kg und 0,3 mg/kg in Wurzel und Blatt fest.

#### 4.1.3.2 Keimung mit und ohne Imidaclopridbeizung



**Abbildung 131.** Keimung von Mais in Abhängigkeit von der Zeit.

U = ungebeizt, S = Fungizidbehandlung, L = Leerformulierung, 1 = 1 mg Imidacloprid, 4 = 4 mg Imidacloprid

Mit der eigentlichen Keimung beginnt die Wasseraufnahme über die Wurzel. Da sich bei Imidacloprid behandeltem Saatgut ein Beizhof um die Karyopse ausbildet, wird die Maiswurzel solange sie durch den Beizhof wächst, mit dem Wasser auch Wirkstoff aufnehmen, wie dieses für Baumwolle (Tröltzsch et al. 1994) und Weizen (Stein-Dönecke, et al. 1992) beschrieben ist.

Die vorliegenden Versuche bestätigen dieses. So steigt die Wirkstoffkonzentration in den ersten drei Tagen im Keimling bis auf 25 mg/kg und verbleibt anschließend in allen Versuchen auf diesem Niveau. Dieses wird sowohl durch den enorm hohen Vorrat an Wirkstoff in der Karyopse aus der Quellungsphase gespeist als auch über dessen Nachlieferung, da die Karyopse dauerhaft im Beizhof liegt (3.1.5).

Nach der Keimung ist in Gefäßversuchen der nächste messbare Versuchszeitpunkt der Auflauf, bei dem die Keimlinge die Substratoberfläche durchstoßen. Hierbei treten zusätzlich zu den bisherigen Zellteilungsprozessen der Wurzel noch Zellteilungsaktivitäten von Spross und Wurzel auf, wodurch die physiologischen Verhältnisse in der wachsenden Keimpflanze komplexer werden. Dabei zeigt sich eine zeitlich begrenzte, oftmals auf den 4. Tag beschränkte, Reaktion der Pflanzen auf eine Behandlung mit Imidacloprid (Abbildung 137, 3.1.8.1).

Aus alledem ergibt sich, dass ein geeignetes Testsystem zur Erfassung von Wirkstoffeinflüssen neben dem Substrat einer ganzen Reihe weiterer Faktoren in ihren Wechselwirkungen Rechnung zu tragen hat.

#### 4.1.4 Mais als Testorganismus

Da von Mais allein in Deutschland mehr als 200 Sorten zur Saatgutproduktion zugelassen sind (Blatt für Sortenwesen, 2005) und über 500 verschiedene Saatgutaufbereitungen als flache oder runde Kaliber gehandelt werden, galt es zunächst sicherzustellen, dass keine spezifischen Sortenempfindlichkeiten vorliegen und damit die Ergebnisse eine generelle Gültigkeit für Mais besitzen.

Hierzu wurden sieben bedeutende Sorten von Mais mit verschiedenen Kalibern und Keimfähigkeitsqualitäten untersucht.

Aus den Werten der Längenmessungen von Wurzel- und Spross, der Keimfähigkeit und des Auflaufs in verschiedenen Substraten ließ sich bei Maissorten unterschiedlichen Korntyps kein differenzierender Einfluss durch die Behandlung der Karyopsen erkennen. Dies war unter optimalen Bedingungen (3.1.4.1) ebenso wenig zu beobachten, wie unter suboptimalen Bedingungen im Faltenfilter (3.1.4.3) und steht damit in Einklang mit den Ergebnissen umfangreicher Untersuchungen von Ulrich (2000).

Unterschiedliche Kaliberformen (3.1.4.4.1.2) verhielten sich bei Behandlung mit Imidacloprid im Auflauftest vergleichbar, obwohl hier durch die unterschiedliche Anatomie der Karyopse bezüglich der Lage des Embryos und der Anteile von Horn- und Mehlandosperm grundsätzlich verschiedene Empfindlichkeiten und Quellungsverhältnisse erwartet werden können (Leist und Schmidt, 1978). So ist für Zahnmais und Zuckermals eine genotypische Abhängigkeit der Wasseraufnahme bei der Quellung von der Kornform beschrieben. Demnach wird bei Zahnmaistypen zunächst der Embryo vollständig hydratisiert und erst dann das Endosperm. Das aufgenommene Wasser gelangt rasch durch das Perikarp an die Spitze des Korns und diffundiert sodann durch die Aleuronschicht in den Embryo und in das Endosperm. Hier vervollständigt zunächst der Embryo, danach das Endosperm die Wasseraufnahme. Dagegen wird beim Süßmais zuerst das Endosperm und danach der Embryo mit Wasser versorgt, was in der größeren Permeabilität des Perikarp und der Zusammensetzung des Endosperms begründet ist. Das Endosperm besteht bei Zahnmais hauptsächlich aus hydrophober Stärke, während im Süßmais eher wasserlösliche Zucker vorliegen (Wilson und Geneve, 2004).

Die Größe und Form der Karyopsen ist bei den vorliegenden Versuchen durch die Verwendung von kalibriertem Saatgut weitgehend standardisiert, sodass hieraus keine zusätzlichen Effekte zu erwarten sind. Dagegen nimmt die Variation des Substrats einen großen Einfluss auf den Kontakt von Samen- und Substratoberfläche.

Eine wie von Steiner und Fuchs (1987) beschriebene Sortenabhängigkeit der Wirkung von Insektiziden konnte in den vorliegenden Versuchen nicht festgestellt werden. Entgegen der Erwartung zeigt auch der Einsatz von Saatgutproben die sich bezüglich ihrer Keimfähigkeit unterscheiden in den vorgestellten Untersuchungen keine differenzierte Reaktion auf die Behandlung mit Imidacloprid (3.1.4.4.1.1). Ebenso wenig war dies bei mechanischer Beschädigung der Karyopsen der Fall, Ulrich (2000).

### **4.1.5 Wirkstoffapplikation**

Bei der Beizung von Saatgutpartien wird stets eine exakt dosierte Wirkstoffapplikation angestrebt. In der Praxis kommen Überschreitungen der empfohlenen Aufwandmengen jedoch ebenso wie auch Unterschreitungen vor. So waren von den im Rahmen der Qualitätsoffensive des Gemeinschaftsfonds Saatgetreide im Jahr 2003 untersuchten Getreideproben 75 % mit einem Beizgrad von 80 % – 120 % optimal gebeizt (Giesen, 2003).

In den vorgestellten Untersuchungen wurde durch Einzelkornanalyse festgestellt, dass der Beizgrad bei Mais und Sonnenblume mit Imidacloprid und Clothianidin im Mittel zwischen 79 % und 97 % betrug. Jedoch kann es selbst bei exakter Dosierung aufgrund inhomogener Verteilung des Pflanzenschutzmittels beim Beizvorgang zu einer Überdosierung einzelner Samen kommen, was zu verstärktem Auftreten von Schädigungen an einzelnen Samen führen kann (Fuchs et al., 1977).

Die hierzu vorgenommenen chemischen Wirkstoffanalysen bei Mais und Sonnenblume zeigen, dass hier ein homogenes Beizbild vorliegt. Über 73 % der Maiskaryopsen wiesen einen Beizgrad zwischen 80 % und 120 % auf, dabei wurden 120 % in keinem Falle überschritten. Bei Sonnenblume lag lediglich bei 3 % der Achänen der höchste Beizgrad zwischen 120 % und 126 %, sodass für die vorliegenden Untersuchungen keine Effekte einzelner stark überbeizter Karyopsen zu erwarten waren.

Wie in Versuch 3.1.3 vorgestellt, wurden durch Imidacloprid weder in den praxisüblichen Wirkstoffkonzentrationen, noch in 4-facher Überdosierung anomale Keimlinge festgestellt. Selbst im Extremfall mit 10-facher Überdosierung waren bei Mais keine Anomalien zu erkennen.

Bemerkenswert ist, dass die Wurzeln lediglich mit eingeschränktem Längenzuwachs auf Imidacloprid reagieren. Im Rahmen der Beschaffenheitsprüfung von Saatgut kann bei Überbeizung eine Keimfähigkeitsprüfung nur unter Einsatz stark adsorbierender Substrate durchgeführt werden. Fallweise reagieren die Wurzeln mit negativem Geotropismus oder typischer Verkürzung und Verdickung.

### **4.1.6      *Wirkstoffverfügbarkeit***

Zum Schutz vor pilzlichen und tierischen Schaderregern wird Saatgut mit Wirkstoffen gebeizt, inkrustiert oder pilliert. Nach der Aussaat bilden die Wirkstoffe in Abhängigkeit von ihren physikalisch-chemischen Eigenschaften und ihrer Umgebung einen Beizhof um den Samen aus. Dessen Größe wird bestimmt durch die Desorption und Diffusion vom Samen, sowie von der Adsorption am Substrat. Wie gezeigt werden konnte, spielen hierbei vor allem die Bodenart und Bodenfeuchte eine entscheidende Rolle. So wird sich in einem Sandboden bereits bei mäßiger Feuchtigkeit ein großer Beizhof ausbilden, während sich unter trockeneren Bedingungen nur ein kleiner Beizhof entwickelt. Dies geschieht durch Desorption des Wirkstoffes von der Samenschale und Diffusion ins umgebende Substrat. Dementsprechend liegen die Wirkstoffe im Beizhof unter trockeneren Bedingungen höher konzentriert vor als unter feuchteren.

#### **4.1.6.1    *Beizhofausbildung***

Untersuchungen der Beizhofausprägung bei Imidacloprid-Anwendung von Stein-Dönecke et al. (1992) bei Weizen zeigten bei 30 %, 40 % und 50 %  $W_{kmax}$  einen Beizhof, der 111 und 195 Tage nach der Aussaat vornehmlich eine Region bis 5 cm um die behandelte Karyopse umfasste. In der folgenden Zone von 5 - 10 cm war der Gehalt an Wirkstoff nur gering. Folglich kann davon ausgegangen werden, dass der Beizhof unter normalen Feuchtebedingungen in mittleren Böden in den ersten 5 Tagen einen Radius von 1 cm nicht überschreitet.



**Abbildung 132.** Beispiel für die Beizhofentwicklung in feuchtem Sand

So wird der Beizhof in einem abnehmenden Konzentrationsgradienten um die Karyopse herum ausgebildet. Der Wirkstofftransport nimmt mit zunehmendem Feuchtegehalt durch Diffusion und Massenfluss zu (Scheffer und Schachschabel, 2002), was einen verstärkten Kontakt mit der adsorbierenden Bodenoberfläche bedeutet. Dies wiederum reduziert die Pflanzenverfügbarkeit des Wirkstoffes.

Pflanzen nehmen systemische Wirkstoffe unter trockenen Wachstumsbedingungen deutlich stärker über die Wurzeln auf als unter feuchten Bedingungen, da hier ein hoher Wirkstoffgradient zwischen Wurzeloberfläche und Wurzelgewebe entsteht. Dieser Einstrom wird zusätzlich durch das hohe osmotische Potential im embryonalen Gewebe gefördert. Sobald der Keimling aufgelaufen ist und die Primär- bzw. Folgeblätter entfaltet hat, wird der Wirkstoff in die Blätter transportiert. An Koleoptilen von Winterweizen und Keimblättern von Baumwolle konnte gezeigt werden, dass diese die relativ höchsten Mengen an Wirkstoff enthielten, gefolgt von den ersten echten Blättern (Tröltzsch et al. 1994 und Steindönecke et al., 1992).

Zugleich beeinflussen die Adsorptionseigenschaften des Substrats ebenso die Pflanzenverfügbarkeit des Wirkstoffes wie die artspezifische Wurzelentwicklung. Folglich entwickelt sich unter mittleren Feuchtigkeitsverhältnissen bei einem hydrophilen Wirkstoff ein größerer Beizhof mit einer geringeren Wirkstoffkonzentration. Die Keimwurzel durchwächst diesen unter günstigen Feuchtebedingungen rasch. Des ungeachtet wird der Wirkstoff aus dem sich ständig vergrößernden Beizhof nach dem Keimlingsstadium von den sich entwickelnden Sekundär- und Seitenwurzeln aufgenommen.

Die Pflanzenverfügbarkeit im Substrat wird wesentlich von der Bodenart beeinflusst, deren Adsorptionseigenschaft den Wirkstoff in Abhängigkeit von seiner Lipophilie unterschiedlich stark bindet. Daraus ergibt sich, dass die Bodenart in doppelter Hinsicht, über die Wasser- und die Wirkstoffverfügbarkeit die Qualität eines Beizhofes bestimmt.

Die Diffusionsfähigkeit des Wirkstoffes ist abhängig vom Substratkontakt des Samens und unterscheidet sich daher deutlich zwischen Papier- und Erds substraten. Einen besonderen Fall stellt hierbei pilliertes Saatgut dar.

Wie im Folgenden gezeigt wird, spielt die Art des Beizhofes eine entscheidende Rolle für den Einfluss von Wirkstoffen auf das Keimungsverhalten.

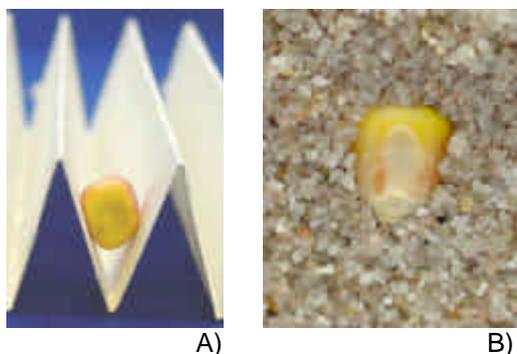
#### 4.1.7 Keimlingsentwicklung und Auflauf nach Behandlung mit Imidacloprid

Zunächst wurde das Wachstumsverhalten von Mais unter weitgehend standardisierten, sterilen Bedingungen im Laborversuch beobachtet. Hierzu wurden Faltenfilter benutzt, in denen sich jeder Keimling separat entwickeln kann, was eine kontinuierliche Messung der Spross- und Wurzellänge an einer großen Zahl von Keimlingen ermöglicht (3.1.4.1).

Zu dieser Fragestellung wurden 48 Versuche durchgeführt, die auszugsweise in Tabelle 6 vorgestellt sind. Es zeigte sich unter diesen optimalen Bedingungen bei 25°C, in allen Versuchen selbst bei 4-facher Überbeizung eine positive Beeinflussung von Quellung und Keimung sowie eine raschere Spross- und Wurzelentwicklung. Ein gleichartiger Versuch mit leicht reduzierter Temperatur von 20°C führte erwartungsgemäß zu einem langsameren Wachstum der Wurzel (Tabelle 8). Dabei fielen Imidacloprid behandelte Keimlinge durch eine lichter grüne Färbung als die nicht behandelten auf. Dieser Hinweis auf einen Eingriff in die Chlorophyll-Biosynthese war vornehmlich am 4. Tag erkennbar. Der Einfluss schwächte sich rasch ab, sodass zu Versuchsende nach 10 Tagen keine Unterschiede zwischen den Behandlungen mehr erkennbar waren (Abbildung 13).

Da bereits diese geringe Temperaturreduktion von 25°C auf 20°C einen Effekt erkennen ließ, wurde ein Versuch unter Bedingungen mit 7 tägiger Kaltphase in 8°C, vor der Wachstumsphase in 20 °C, angesetzt (3.1.4.3). Es wurde erwartet, dass sich die Effekte durch eine langsamere Quellung und längere Verweildauer der Karyopse während der Vorkühlphase im Beizhof verstärken. Dies war jedoch nicht der Fall, womit sich die Frage stellt, ob der Laborversuch mit Faltenfiltern die hinreichenden Bedingungen schafft, um mögliche Effekte zu erfassen, insbesondere was die Wirkstoffverfügbarkeit für eine Aufnahme durch die Wurzel anbelangt.

Bei der Quellung von Samen hängt das Ausmaß der Wasseraufnahme, neben der Konkurrenz des osmotischen Potentials des Samens und des Substrates, von der Oberflächenstruktur des Substrates und somit vom Oberflächenkontakt desselben mit dem Samen ab. Dieser ist über die Relation der Samengröße im Verhältnis zu der micro-topographischen Heterogenität des Substrates bestimmt (Kikuzawa und Koyama, 1999). Daher wurden die Versuche in sterilem Quarzsand fortgesetzt, da hier bei intensivem Oberflächenkontakt eine gleichmäßigere Feuchtigkeitsverteilung um die Karyopse erwartet werden kann (Abbildung 133). Sand verfügt nur über ein geringes Adsorptionsvermögen und ermöglicht eine ungehinderte Wasser- und damit auch Wirkstoffzufuhr an die gesamte Karyopsenoberfläche.



**Abbildung 133.** Kontakt der Oberfläche von Maiskaryopsen mit dem Substrat. A) im Faltenfilter, B) im Sand

So zeigte sich im Sand unter suboptimalen Bedingungen bezüglich der Temperatur im Auflauftest bei 20°C eine Differenzierung dergestalt, dass am 4. Tag die Imidacloprid-Varianten bei 1 mg und 4 mg geringfügig, bei 2 mg deutlich niedrigere Werte zeigten, jedoch am 5. Tag bereits wieder mit dem Standard übereinstimmten (Abbildung 30). Ein gleichgerichtetes Verhalten ergaben die Messungen von Spross- und Wurzellänge. Gleichzeitig war auch hier am 4. Tag ein Einfluss des Imidacloprid auf die Blattfärbung zu beobachten (Abbildung 13).

So zeigte dieses System bei hinreichender Feuchte und leichtem Temperaturstress erstmalig klar einen Stoffeinfluss, der jedoch in allen Fällen zeitlich begrenzt und nach 2 Tagen wieder vollständig aufgehoben war.

### **4.1.8 Einfluss der Temperatur**

Wenn auch Saatgut der meisten Arten in einem weiten Temperaturbereich zu keimen vermag, so kann die maximale Keimfähigkeit doch nur in einem engeren Temperaturfenster erzielt werden, das neben der genetischen Determinierung auch von Art und Qualität der Saatgutpartie beeinflusst wird (Albuquerque und Carvalho, 2003).

Um das Auflaufverhalten unter Bedingungen, die dem Feldaufgang vergleichbar sind bestimmen zu können, wurde als Substrat für die Untersuchung des Temperatureinflusses Erde herangezogen. Die Versuche wurden in einer Standardlaborerde von schluffigem Lehm, bei 50 % Wkmax und verschiedenen Temperaturen durchgeführt.

Bei der bekannten Optimaltemperatur des Mais` von 25°C war kein Unterschied in den Versuchsvarianten Fungizidbehandlung, Leerformulierung (Standard), 1 mg und 2 mg Imidacloprid festzustellen. Gemäß der Reaktionsgeschwindigkeits-Temperaturregel ist auch die Entwicklung der Maiskeimlinge stark temperaturabhängig, sodass unabhängig von Substrat und Saatgutbehandlung mit steigender Temperatur eine Beschleunigung der Auflaufrate festzustellen ist. Den stärksten Einfluss hat die niedrigste Temperatur von 15°C, bei der erst am 7. Tag Keimlinge sichtbar werden und der Auflauf erst spät, am 10. Tag abgeschlossen ist. Dementsprechend tritt die Verzögerung durch Imidacloprid bei suboptimaler Temperatur erst ab dem 7. Tag auf. Oberhalb der optimalen Temperatur, bei 30°C, erfolgt eine deutliche Beschleunigung des Auflaufs, sodass durch Imidacloprid bereits am 2. Tag eine starke Differenzierung erkennbar wird. Jeweils am Folgetag waren die Wachstumsverzögerungen wieder ausgeglichen (3.1.9.1).

Unter den Stressbedingungen in Faltenfilter und beim Kalttest mit Mais wird ebenfalls eine auflaufverzögernde Wirkung durch Imidacloprid festgestellt, hier wird die Reaktion am zweiten tag der Warmphase am deutlichsten erkennbar (3.1.4.3; Jonitz und Leist, 2003)

Auch bei der Baumwolle lässt sich in Versuchen unter optimalen Temperaturbedingungen zur Keimung in Erde keinerlei negativer Einfluss des Imidacloprid auf die Entwicklung feststellen, es ist sogar eine leichte Förderung zu beobachten. Bei leicht suboptimalen Temperaturen von 20°C zeigt die Baumwolle jedoch sowohl in sterilem Sand wie in Erde leichte Auflaufverzögerungen. Dies ist bei Unter- wie auch bei Überdosierung der Fall (Tabelle 65, Tabelle 66). Die Verzögerungen sind bei Proben mit niedriger Keimfähigkeit stärker ausgeprägt als bei hochkeimfähigem Saatgut.

Dieser Einfluss der Temperatur, der auch bei Versuch 3.1.9.1 aufschien, legte es nahe, die weiteren Untersuchungen mit Mais bei 20°C durchzuführen, da hierbei die bessere

Standardisierung der Versuchs-Bedingungen und zugleich die besten Differenzierungen zwischen den Behandlungsvarianten erzielt werden konnten.

### **4.1.9 Substrateinfluss**

#### **4.1.9.1 Wasserverfügbarkeit**

Pflanzenzellen sind dann in der Lage Wasser aus dem Boden aufzunehmen, wenn die Saugspannung der Zellen größer ist als die Bodensaugkraft. Die Spannung der Zellen ( $\psi$ -Zelle) entspricht dem osmotischen Druck ( $p$ ) minus Zellwanddruck ( $P$ ); es gilt die Gleichung  $\psi = p - P$ , mit  $\psi$  = Wasserpotential. Die Bodensaugkraft  $\psi$ -Boden ist definiert als die Differenz der Bindung des Bodenhaftwassers abzüglich der Bindung des Kapillarwassers an Bodenpartikel. Somit wird  $\psi$ -Boden für trockene Böden mit >15 bar und für feuchte Böden mit 0 bar angegeben (Schroeder, 1992). Da die Keimpflanze mit dem Erscheinen der Radikula - also der eigentlichen Keimung, bei vielen Arten sensibler auf ein reduziertes  $\psi$ -Boden reagiert als die herangewachsene Pflanze, ist es naheliegend, dass das den Embryo umgebende Gewebe, ebenso wie der Zellwanddruck die embryonale Wasseraufnahme entscheidend beeinflussen. Die Wasseraufnahme und Keimung ist erst dann möglich, wenn  $\psi$ -Embryo ausreichend ist, um den Zellwanddruck sowie den der umliegenden Gewebe zu überwinden (Bradford, 1995).

Unter suboptimalen Temperaturbedingungen in sterilem Quarzsand angesetzte Versuche mit drei verschiedenen Wassergehalten (3.1.6.1) sollten die Abhängigkeit der Imidacloprid-wirkung von der Substratfeuchtigkeit beleuchten.

Erwartungsgemäß erfolgte der Auflauf der Keimlinge unter feuchteren Bedingungen rasch, mit einer geringen Differenzierung zwischen den fünf Versuchsvarianten Fungizidbehandlung, Leerformulierung (Standard), 1 mg, 2 mg und 4 mg Imidacloprid. Mit zunehmend trockeneren Bedingungen sanken die Auflaufwerte und am 4. Tag differenzierten sich die einzelnen Versuchsglieder deutlich, sodass alle Wirkstoffvarianten unter dem Standard lagen, ein Effekt, der zu Versuchsende wieder völlig ausgeglichen war. Die Längenmessungen der Keimlinge korrelierten mit den Auflaufergebnissen. Damit stellt sich die Frage, ob diese feuchtigkeitsabhängige Wirkung durch eine bessere Wasserverfügbarkeit oder durch feuchtigkeitsbedingte Wirkstoffverfügbarkeit durch Ausprägung des Beizhofes verursacht wird.

Um die Ursache für diese Effekte abzuklären, wurden Versuche mit Polyethylenglycol (PEG) angesetzt bei denen exakt definierte Feuchtigkeitsgehalte eingestellt werden können.

Nach den bislang vorliegenden Ergebnissen wurde erwartet, dass unter osmotisch trockeneren Bedingungen in Sand- und Erdsubstraten eher Effekte auftreten, da der Wirkstoff an der Pflanze höher konzentriert ist. So beschreiben Stein-Dönecke et al. (1992) eine verstärkte Aufnahme von Imidacloprid unter trockenen Bodenverhältnissen.

Mit Hilfe von PEG wurde die Wasserverfügbarkeit so eingestellt, dass Wirkeffekte des Imidacloprid erkennbar wurden. Dazu wurden als Substrat sowohl Faltenfilter für die Längenmessungen, als auch Sand und Erde für den Auflauf herangezogen, wobei eine definierte PEG-Lösung die Wasserzugabe ersetzte.

Für die Pflanze ist nur das Haftwasser nutzbar, nicht das hygroskopisch gebundene. Bei der Wasseraufnahme über die Wurzel darf das Wasserpotential  $5 \times 10^3$  kPa nicht überschreiten.

So kann Mais bei einem osmotischen Potential von -1,7 MPa nicht mehr keimen. PEG ermöglicht dann den Karyopsen zwar den Keimungsmetabolismus zu starten, verhindert jedoch aufgrund der osmotischen Wirkung das Austreten der Radikula aus der Testa - also die Keimung selbst - (Heydecker und Coolbear, 1977; Hohl und Schopfer, 1991).

Toselli und Casenave (2003) zeigten dies für die Baumwolle, die nach Inkubation in Wasser nach 24 Stunden, bei Inkubation in PEG-Lösung (-0,8 MPa) jedoch erst nach 80 Stunden keimte.

Nach Bradford (1995) ist bei reduziertem  $\psi$ -Umgebung die Höhe des Plateaus der lag-Phase der Keimung niedriger als bei hoher Wasserverfügbarkeit.

Wie von Garcia et al. (1995) bei Arbeiten zum Osmopriming bei Mais festgestellt wurde, fand auch in den vorliegenden Versuchen im Faltenfilter mit steigender PEG-Konzentration eine zunehmend verzögerte Keimung und Entwicklung statt. Bei geringerer Wasserverfügbarkeit zeigten sich generell klarere Effekte des Imidacloprid, die bei dem durch 20 % PEG induzierten osmotisch bedingtem Wasser-Mangel am stärksten ausgeprägt waren. Bei der höchsten Wasserverfügbarkeit von 50 %  $W_{kmax}$  traten die geringsten Wirkeffekte und hier nur bei der hohen Wirkstoffkonzentration auf.

Anhand der Spross- und Wurzellänge ließen sich auch im Faltenfilter die entsprechenden Verzögerungen nachvollziehen, indem die Sprosse am 6. Tag die dreifache Länge des 10 % PEG Versuches erreichten. Bei der Wurzel waren diese Unterschiede weniger ausgeprägt. Diese Verhältnisse änderten sich auch nach einer Saatgutbehandlung mit Imidacloprid nicht. Hier war keinerlei Einfluss durch den Wirkstoff erkennbar, auch nicht bei mittels PEG erzeugten, osmotisch trockenen Bedingungen.

Andere Ergebnisse erbrachten die Auflauftests mit PEG in Quarzsand, indem die zunehmende osmotische Trockenheit bei allen Varianten zu Wachstumsverzögerungen führte. Dabei nahm aber mit zunehmendem Trockenstress, ebenso wie mit zunehmender Imidacloprid-Konzentration die kurzfristige auflaufverzögernde Wirkung, zu.

Nach den widersprüchlichen Ergebnissen in Faltenfilter und in Sand, sollte in Standardlaborerde der Frage nachgegangen werden, ob sich zum einen die PEG Einstellungen auswirken und zum zweiten, die PEG-Einstellungen mit realistischen Feuchtigkeitsgehalten verknüpft sind.

In Abbildung 28 gibt sich die osmotische Trockenheit des Erdsubstrates in einer Verzögerung des Auflaufs zu erkennen. Auch in diesem Versuch entfaltete Imidacloprid eine zeitlich begrenzte Wirkung unter den trockeneren Bedingungen und zwar unabhängig davon, ob das Substrat selbst trockener war, oder ob es sich um osmotische Trockenheit handelte.

Zusammenfassend lässt sich für alle PEG Versuche in Faltenfilter und in Erde feststellen, dass Keimung und Wachstum durch die simulierte Trockenheit verzögert wird. Ein zusätzlicher Einfluss durch Imidacloprid konnte aber nur in Quarzsand und Erde gefunden werden. Die Wirkstärke war in beiden Substraten vergleichbar, wobei 1 mg Imidacloprid keine deutlichen Effekte und 2 mg nur am 4. Tag eine deutliche, aber zeitlich begrenzte Verzögerung des Auflaufs bewirkte.

Dass die Faltenfilterversuche trotz ihrer besseren Standardisierbarkeit keine erkennbare Wirkung zeigten wird auf die spezielle Situation der Keimlinge im Faltenfilter zurückgeführt. Während der Beizhof im Erdsubstrat das Korn rings umgibt, kann im Faltenfilter nur Diffusion in der Papierfläche stattfinden, wobei durch den geringen Oberflächenkontakt der

Karyopse mit dem Substrat die Aktivierung des Wirkstoffes auf der Karyopsenoberfläche verringert ist (Abbildung 133). So wird das Fehlen einer Wirkantwort, die hier und auch in anderen Versuchen beobachtet wurde, mit der systembedingt sehr geringen Wirkstoffaufnahme begründet. Dies zeigt, dass die feuchtigkeitsabhängige Wirkung durch die feuchtigkeitsbedingte Wirkstoffverfügbarkeit im Beizhofes begründet ist.

### **4.1.9.2 Einfluss der Pillierung auf die Wirkung von Imidacloprid**

Bei der Saatgutbeizung bleibt im Gegensatz zur Pillierung die Form des Samens erhalten, die Masse des veredelten Saatgutes nimmt nur geringfügig zu, während mit der Pillierung, hier der Rübenknäuel, eine deutliche Massenzunahme des Einzelsaatkorns einhergeht, wodurch gleichzeitig eine deutlich vergrößerte Kontaktfläche zum umgebenden Substrat hergestellt wird. Die Pillierungs-Technologie hat sich auf den speziellen Bedarf bei den einzelnen Kulturarten eingestellt. So erhält das Saatgut durch die Applikation von Pflanzenschutzmitteln und Wuchsstoffen in Form einer Beizung zugleich bessere Fließigenschaften, was für eine exakte Aussaat in Einzelkornablage mit moderner Technik vorteilhaft ist (Taylor et al., 1998).

Von Dewar et al. (1997) wurden Hinweise auf eine phytotoxische Wirkung des Imidacloprid bei Zuckerrüben in Abhängigkeit von der Pillengröße gefunden, die sich jedoch in weiteren Untersuchungen nicht klar bestätigten. Untersuchungen von Ziegler und Petersen (2001) zeigten nach 2 Tagen eine kurzfristige Verzögerung der Keimung. Diese wurde an einem Standort unabhängig von der Pillengröße beobachtet, während an einem anderen keinerlei Einfluss festzustellen war. Wird das hier vorgestellte komplexe Zusammenspiel von Boden und Feuchtigkeit auf die Pflanzenverfügbarkeit berücksichtigt, so lassen sich diese standortspezifischen Reaktionen auf Imidacloprid-Behandlung unmittelbar verstehen.

In der vorgestellten Arbeit zeigte pilliertes Saatgut im Auflauftest, bei Behandlung mit Imidacloprid, eine deutlichere Auflaufverzögerung als Depilliertes, das nachträglich mit Insektiziden gebeizt wurde. Mit Differenzen von 41 % und 16 % am 4. Tag sind diese Einflüsse als stark zu bewerten (3.7.1). In Faltenfiltern lässt sich dieser Einfluss am 5. und 6. Tag an kürzeren Hypokotyllängen der pillierten Probe erkennen. Das Wurzelwachstum erfährt dagegen bei pilliertem und depilliertem Saatgut eine vergleichbare deutliche Verzögerung durch Imidacloprid.

Es liegt der Schluss nahe, dass beim pillierten Saatgut durch einen verbesserten Kontakt zwischen der Samenoberfläche und dem umgebenden Medium die Wasserversorgung begünstigt wird, folglich größere Mengen des in Wasser gelösten Wirkstoffes aufgenommen werden, was zu stärkeren Wirkeffekten führt. Beim depillierten Saatgut dagegen ist die Wasser- und somit die Wirkstoffaufnahme geringer, wodurch auch der Wirkstoffeinfluss abgeschwächt wird (Abbildung 110).

Der Standard zeigt, dass eine Pillierung die Keimlingsentwicklung und den Auflauf begünstigt, im Endergebnis aber keinen höheren Wert als die depillierte Variante erreicht. Es treten jedoch deutliche Wirkeffekte des Imidacloprid auf die frühe Keimlingsentwicklung auf. In Erde sind diese Verzögerungen am 10. Tag nicht mehr erkennbar.

### 4.1.9.3 *Wirkstoffverfügbarkeit*

In Standardlaborerde und unter optimalen Bedingungen konnte nur bei Mais ein geringer Einfluss des Imidacloprid verzeichnet werden. Um die von Drinkwater (1997) beschriebenen, den Auflauf verzögernden Wirkungen im Laborversuch zu überprüfen, wurde ein Erdaufauftest bei drei unterschiedlichen Erdfeuchtigkeiten durchgeführt.

Insgesamt konnte bei diesen Versuchen eine leichte, stets kurzanhaltende Wirkung des Imidacloprid festgestellt werden, die bei einem Substratfeuchtigkeitsgehalt von 26 - 30 % Gewichtsprozent am deutlichsten ausgeprägt war. Der im Vergleich zum Sand hohe Gehalt an organischer Masse in der Standardlaborerde (Tabelle 5, Abbildung 34 C) führte zu einer stärkeren Adsorption des Wirkstoffes und verringerte insbesondere bei den trockenen Bedingungen die Wirkstoffverfügbarkeit, während bei den feuchteren Bedingungen eine gute Wasserverfügbarkeit die Diffusion des Wirkstoffes und damit die Beizhofausbildung begünstigt, wodurch es zu den beschriebenen Effekten kommt. Diese Erkenntnisse waren für die weitere Versuchsplanung richtungsweisend.

Aus den Erde und PEG Versuchen ergaben sich Hinweise, dass auch der Art der Befeuchtung eine Bedeutung zukommt, weshalb geprüft wurde, inwieweit sich ein Ansatz in feuchter Erde ohne zusätzliche Bewässerung von einem nach dem Einlegen der Karyopsen begossenen unterscheidet (Abbildung 35).

Die Entwicklung der Maiskeimlinge verlief grundsätzlich in beiden Varianten vergleichbar, jedoch war im begossenen Versuch eine auflaufverzögernde Wirkung des Imidacloprid am 4. Tag erkennbar. Insbesondere differenzierten sich die unterschiedlichen Wirkstoffkonzentrationen deutlicher. Dies steht in Einklang mit den von Tröltzsch et al. (1994) beobachteten Feldversuchen mit Baumwolle, sowie den Großgefäßversuchen von Stein-Dönecke et al. (1992) mit Winterweizen, in denen eine Abhängigkeit der Beizhofausbildung und Imidaclopridaufnahme von der Bewässerungsform gefunden wurde. Hier waren bei Baumwolle bei Beregnung nach 27 Tagen 60 - 70 % des Beizmittels von der Samenschale abgetragen. Der Beizhof war in vertikaler Richtung betont, während bei Furchenbewässerung nur die Hälfte des Wirkstoffes migrierte und die Beizhofausbildung in horizontaler Richtung gefördert war. Unabhängig von der Art der Bewässerung wurde die höchste Wirkstoffmenge in horizontaler Richtung von 1 - 4 cm und in 3 - 7 cm Tiefe nachgewiesen, also unmittelbar im Bereich des abgelegten Saatgutes. Maßgeblich für die Freisetzung des Wirkstoffes von der Samenschale war die Feuchtigkeit des Substrates, während für die Wirkstoffaufnahme durch die Keimwurzel zusätzlich Größe und Form des Beizhofes relevant waren.

So enthielten die Kotyledonen bei Furchenbewässerung mehr Wirkstoff als bei Beregnung. Dieser war in den Kotyledonen endgelagert und wurde nicht mehr mobilisiert. In den Blättern dagegen waren die Verhältnisse umgekehrt, hier fanden sich die höheren Wirkstoffgehalte bei Beregnung, das heißt der Wirkstoffabtrag und die Aufnahme über die Wurzel waren hier entscheidend.

Durch die zügige Keimlingsentwicklung der Baumwollsamensamen ist nur eine kurzzeitige Wirkstoffaufnahme durch die Wurzel möglich, da diese dem Beizhof rasch entwächst. So ist die Wirkstoffaufnahme über die Wurzel eher gering.

Auch hier erfolgt unter suboptimalen Temperaturbedingungen nicht nur ein langsamerer Auflauf, sondern auch eine stärkere Differenzierung durch das Insektizid. So lassen sich bei den trockeneren Bedingungen, 40 % Wkmax der Erde, Anzeichen einer Auflaufverzögerung erkennen. Durch das langsamere Wachstum sind sowohl die Wurzeln als auch die

Kotyledonen länger in direktem Kontakt mit dem Wirkstoff. Dieser diffundiert weniger und bildet einen kleineren Beizhof aus. Die Kotyledonen werden bei Trockenheit jedoch erst später abgestoßen, sodass die Embryonen über die Kotyledonen höhere Wirkstoffkonzentrationen aufnehmen können, was sich in den beobachteten, stärkeren Wirkeffekten niederschlägt. Von Tröltzsch et al. (1994) wurde in Baumwolle eine Aufnahme von Imidacloprid durch die Samenschale in die Keimblätter beschrieben.

Auch der Labortest bei Mais bestätigte einen Einfluss der Befeuchtungsart auf die Ausbildung des Beizhofes, somit auf die Wirkstoffverfügbarkeit und schlussendlich auf das Auflaufverhalten.

Interessanterweise zeigte sich der Auflauf in allen begossenen Versuchen durchschnittlich 24 Stunden früher. Mit zunehmender Gießwassermenge fand sich bei den Wirkstoffbehandlungen eine zunehmende Differenzierung zum Standard am 3. und 4. Tag, die sich aus einem stärkeren Wirkstoffabtrag von der Karyopse erklärt. Aus dem folglich größeren Beizhof werden durch die Wurzel nun auch längerfristig Wirkstoffe aufgenommen. Unabhängig von der Stärke der Wirkeffekte waren diese bereits am 6. Versuchstag wieder verschwunden.

In den aufgeführten Untersuchungen veränderte sich das grundsätzliche Verhalten des auflaufenden Maises bei den verschiedenen Bodenarten nicht, jedoch verstärkte sich der Stoffeinfluss, wenn die Bedingungen trockener wurden. Mit zunehmendem Feuchtigkeitsgehalt verringert sich der Bodeneinfluss, der Stoffeinfluss schwächt sich ab.

#### **4.1.9.4 Sorption von Wirkstoff im Boden**

Der  $\log P_{O/W}$  bestimmt die Adsorption nicht ionischer, organischer Chemikalien an Bodenpartikel (Briggs, 1973), die insbesondere bei trockenen Böden von Bedeutung ist (Baeder-Bederski-Anteda, 2000). So finden sich mit zunehmendem Gehalt an organischer Substanz weniger lipophile Stoffe im Bodenwasser gelöst.

Der Gehalt an organischer Substanz sowie an feinen Partikeln ist für die Adsorption von zahlreichen Pflanzenbehandlungsmitteln hauptverantwortlich, dabei liegt der Sorptionskoeffizient für Huminsäuren höher als für Lehmpartikel (Kerpen und Schleser, 1977).

Imidacloprid wird an Huminsäuren 36 x stärker als an Lehm gebunden, was seine Bioverfügbarkeit entscheidend beeinflusst (Cox, 1997; Liu et al., 2002). Für Imidacloprid wurde von Cox et al. (1998) in Böden mit hohem Tongehalt und gleichzeitig hohem Gehalt an organischer Substanz die stärkste Sorption nachgewiesen. Ebenso zeigten Capri et al. (2001) für Imidacloprid bei 25 % und 43 % Bodenfeuchtigkeitsgehalt eine Abhängigkeit des Adsorptionsverhaltens vom C-Gehalt des Bodens. Nach Cox et al. (1998 und 2001) kann Imidacloprid an der Bodenoberfläche protoniert und gegen Kationen ausgetauscht werden.

Die Konkurrenz dieser beiden Komponenten um die Bindung von Imidacloprid beeinflusst die Bioverfügbarkeit entscheidend, da lediglich freie desorbierte Moleküle für eine Aufnahme in die Pflanze zur Verfügung stehen (Liu et al., 2002).

Nach Koskinen et al. (2001) zeigen die Hauptmetabolite von Imidacloprid trotz molekularer Ähnlichkeit mit demselben in unterschiedlichen Böden ein deutlich unterschiedliches Sorptionsverhalten. Die interessante Frage nach der Wirkung der Metabolite auf das Keimungsverhalten konnte im Rahmen dieser Arbeit nicht weiter verfolgt werden.

Mit zunehmender Adsorptionsfähigkeit des Substrates über Papier, Sand zu Erde und Aktivkohle und zunehmendem Kontakt mit der Samenschale fanden Steiner und Fuchs (1987) bei *Avena*, *Phaseolus* und *Brassica* nach Saatgutbehandlung mit Maneb-Lindan und Thiram-Diclofenthion eine zunehmende Erhöhung des Anteils normaler Keimlinge. Dagegen wurden in den vorliegenden Versuchen die geringsten Wirkeffekte im Substrat mit der schwächsten Adsorptionsfähigkeit, dem Faltenfilter gefunden, während sich in Abhängigkeit weiterer Versuchsparameter in besser adsorptionsfähigen Erdsubstraten deutliche Wirkungen der Insektizide nachweisen ließen.

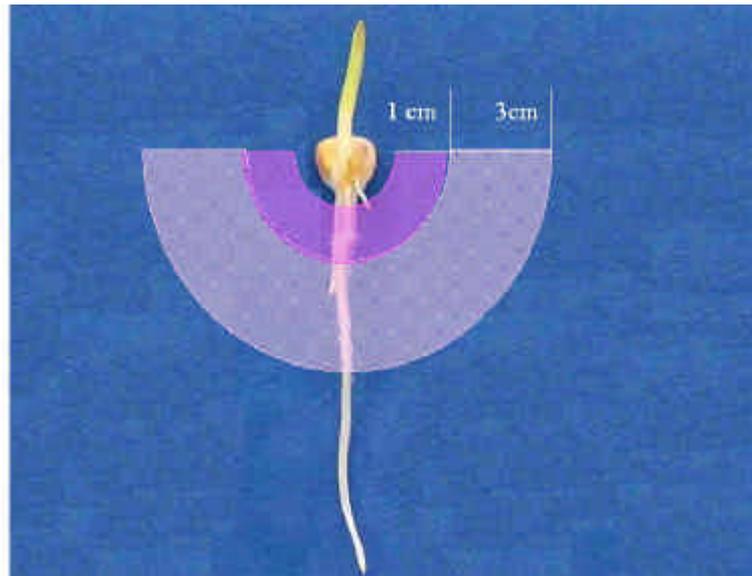
#### **4.1.9.5 Wurzelwachstum und Wirkstoffaufnahme aus dem Beizhof**

Der rascheste Wassereintritt und somit Wirkstoffeintritt in die junge Keimwurzel findet unmittelbar hinter der Streckungszone der Wurzel, in der die Wurzelhaare entstehen, statt. Hier sind Kutikula und Xylemelemente noch nicht ausdifferenziert (Esau, 1969). Diese Zone liegt bei Weizen und Bohnen etwa 2 cm hinter der Wurzelspitze und kann bis zu 6 cm ausgedehnt sein (Kaussmann und Schiewer, 1989).

Die Wurzel der Maissprosse wuchs sortenabhängig, bei 20° im Faltenfilter, 25 mm täglich und somit mehr als doppelt so schnell wie der Spross mit 10 mm je Tag. Nach sieben Tagen waren durchschnittlich 150 mm Wurzel- und 55 mm Sprosslänge erreicht.

Dabei wachsen nach Taiz und Zeiger (2000) Maiswurzeln in 4 mm Entfernung von der Wurzelspitze mit einer Geschwindigkeit von 40 % der Ausgangslänge je Stunde am raschesten, während bereits in 12 mm Entfernung vom Apex keine Wachstumstätigkeit mehr zu verzeichnen ist. Die Casparischen Streifen sind in 13-16 mm Distanz zum Apex ausgebildet und erreichen ihre volle Funktionalität in 16-18 mm Abstand zur Wurzelspitze. Somit ist im apikalen Bereich das Eindringen von Ionen in den zentralen Wurzelbereich des Symplasten möglich, während dies im weiter distal gelegenen Bereich, bei funktionellem Casparischen Streifen, nicht mehr der Fall ist (Du Pont und Leonard, 1977).

Dies bedeutet, dass der Wurzelabschnitt der stärksten Wasseraufnahme bereits nach einem Tag die von Stein-Dönecke et al. (1992) als kornnah bezeichnete Zone durchwachsen hat. Am folgenden Tag wächst die Keimwurzel in den äußeren Bereich bis in welchem sich insbesondere bei Begießen noch relativ hohe Wirkstoffkonzentrationen finden. Im weiteren Verlauf wird sodann zunehmend wirkstoffärmeres Wasser aufgenommen (Abbildung 134). Während die Beobachtungen von Stein-Dönecke et al. (1992) den Status nach 111-195 Tagen beschreiben, kann davon ausgegangen werden, dass der Beizhof in den hier untersuchten früheren Entwicklungsstadien unter mittleren Verhältnissen einen Radius von 1-3 cm nicht überschreitet.



**Abbildung 134.** Schematische Darstellung der Größenverhältnisse von Maiskaryopse, jungen Keimlingen, Beizhof und Wurzellänge in der frühen Keimlingsentwicklung  
pink = kornnahe Zone bis 1 cm Radius, rosa = Beizhofausprägung bis 3 cm Radius

Da unabhängig vom Medium für eine Keimung zur Quellung dieselbe Wassermenge benötigt wird, ist davon auszugehen, dass bei solchen Bedingungen eine höher konzentrierte Imidaclopridlösung und somit eine größere Wirkstoffmenge aufgenommen wird. Das unter trockeneren Bedingungen langsamere Wurzelwachstum bewirkt eine längere Verweildauer im Beizhof, sodass über einen längeren Zeitraum höhere Wirkstoffmengen aufgenommen werden als unter feuchten Bedingungen unter denen die Keimwurzel rasch dem Beizhof entwächst.

#### 4.1.9.6 *Transport von Wasser und Wirkstoff in der Pflanze*

Eine systemische Wirkung von Stoffen setzt die Aufnahme in die Wurzel und einen nachfolgenden Transport in den Spross voraus. Dazu müssen sie über die Membranen in den Symplasten übertreten, da der apoplastische Transport im Zentralzylinder durch die Casparischen Streifen blockiert wird. Die Aufnahme in das symplastische System ist für Wirkstoffe mittlerer Löslichkeit und mit  $\log P_{O/W}$ -Werten zwischen 1,5 und 1,8 am effizientesten. Generell besitzen Stoffe mit  $1 < \log P_{O/W} < 2,5$  ein hohes-, mit  $2,5 < \log P_{O/W} < 3,0$  sowie,  $0,5 < \log P_{O/W} < 1,2$  ein mittleres und Stoffe mit  $\log P_{O/W} < 1,0$  sowie  $\log P_{O/W} > 3,0$  ein niedriges Xylem-Transferpotential.

Sauer oder basisch reagierende Moleküle, sowie wenig oder stark polare Stoffe werden nur in geringerem Umfang im Xylem transportiert, während sogar Säuren im Phloem akkumulieren können. Phloemmobile Substanzen sind stets auch xylemmobil, jedoch gilt Umgekehrtes nicht generell (Briggs et al., 1982; Bromilow et al., 1990). Für den Eintritt in das Phloem ist das Ionenfallenprinzip allgemein akzeptiert. Das Verbleiben von Substanzen im Phloem setzt einen langsamen Membrandurchtritt voraus, was einem niedrigen  $\log P_{O/W}$  gleichkommt (Bromilow, et al. 1990). Stoffe mit hohem  $\log P_{O/W}$ -Werten bleiben an der Wurzeloberfläche haften und ebenso werden Substanzen mit geringerem  $\log P_{O/W}$  als 0,5 nicht in die Wurzel aufgenommen.

Die Wasser- und damit Wirkstoffaufnahme wird durch das Potentialgefälle zwischen Wurzel und Boden angetrieben, welches durch den physiologischen Wasserverbrauch, insbesondere aber den Transpirationsstrom aufrecht erhalten wird.

Eine Wirkstoffaufnahme ist grundsätzlich sowohl über die Wurzel als auch über die Sprossbasis möglich, wobei letzteres bei der Anwendung als Saatgutbeizung in wässriger Lösung gering ist.

#### 4.1.10 **Wirkstoffeigenschaften und Wirkstoffverhalten**

Stark lipophile Stoffe ( $\log P_{O/W} > 5$ ) sind fest an die Bodenmatrix gebunden, dagegen sind hoch wasserlösliche Substanzen ( $\log P_{O/W} < 2$ ) sehr mobil und liegen verdünnt vor, sodass sie ebenfalls wenig pflanzenverfügbar sind. Es ist bekannt, dass eine Aufnahme von Stoffen über die Wurzel über die Casparischen Streifen in das Leitsystem zum Ferntransport nur bei  $\log P_{O/W}$ -Werten von  $< 5,0$  erfolgen kann (Baden-Württemberg, 2005).

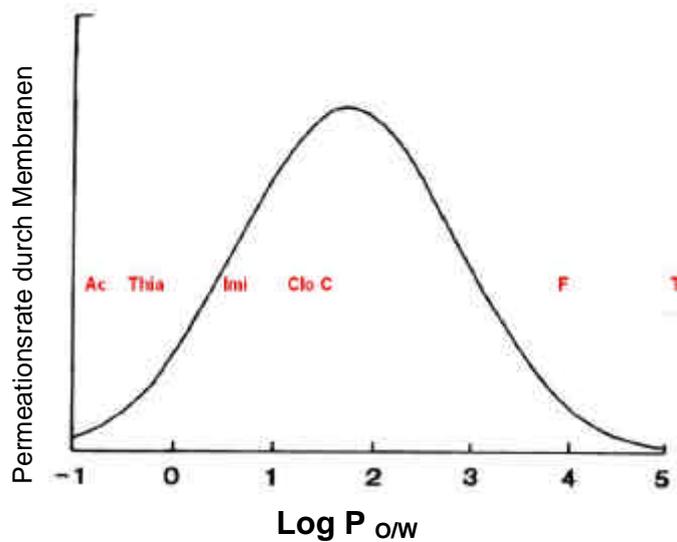
Ferner ist bekannt, dass die Zusammensetzung des Xylemsaftes mit der Bodenlösung im Diffusions-Gleichgewicht steht, welches aufgrund der Adsorption lipophiler Stoffe an Bodenpartikel zugunsten hydrophiler Substanzen verschoben ist.

Die untersuchten Wirkstoffe besitzen folgende physikalisch- und biochemische Eigenschaften:

<b>Hydrophilie</b>						
Acephate > Thiamethoxam > Imidacloprid > Carbofuran > Clothianidin > Fipronil > Tefluthrin						
<b>Lipophilie</b>						
Tefluthrin > Fipronil > Clothianidin > Carbofuran > Imidacloprid > Thiamethoxam > Acephate						
<b>Log Po/w</b>						
Tefluthrin > Fipronil > Carbofuran > Clothianidin > Imidacloprid > Thiamethoxam > Acephate						
<b>Membrangängigkeit (=2 - log P<sub>0w</sub>)</b>						
Carbofuran > Clothianidin > Imidacloprid > Fipronil > Acephate > Thiamethoxam > Tefluthrin						
0,48 >	0,8 >	1,48 >	2 >	2,17 >	2,89 >	4,5

**Tabelle 69.** Physikalisch-chemische Eigenschaften der untersuchten Insektizide

Aufgrund der physikalisch-chemischen Stoffeigenschaften wie der Hydrophilie, der Lipophilie und des Verteilungskoeffizienten von Wirkstoffen in einem Oktanol/Wasser-Gemisch ( $\log P_{O/W}$ ) lässt sich auf ein bestimmtes Aufnahmeverhalten in Pflanzen schließen (Tabelle 69). Da nach Briggs et al. (1982) für eine Aufnahme von Stoffen in das Ferntransportsystem der Pflanzen ein  $\log P_{O/W}$  Wert von 2 als optimal gilt (Abbildung 135), ergibt sich für die eingesetzten Insektizide, basierend auf der Differenz der wirkstoffeigenen  $\log P_{O/W}$  Werte vom Optimalwert 2 eine Reihung, nach der Carbofuran und Clothianidin als die am besten membrangängigen Wirkstoffe einzustufen sind. Bei Imidacloprid ist das Transferpotential bereits geringer, während Thiamethoxam und Acephate eine noch geringere Membran-gängigkeit aufweisen. Fipronil ist nur noch mäßig membrangängig während Tefluthrin nur durch Diffusion in den Apoplasten nicht aber in das Ferntransportsystem der Pflanzen aufgenommen wird (Tabelle 70, Abbildung 135, Abbildung 136).



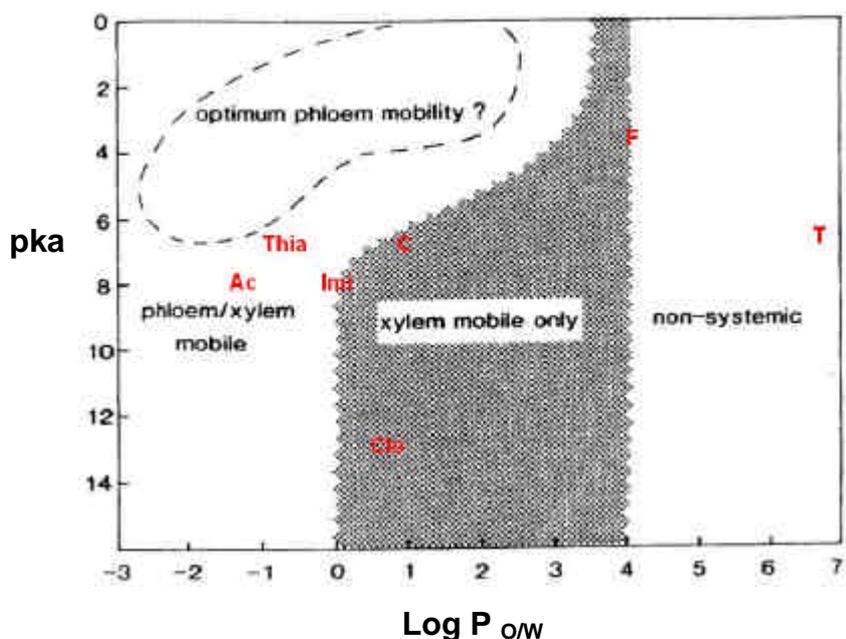
**Abbildung 135.** Beziehung zwischen dem n-Oktanol/Wasser-Verteilungskoeffizient nichtionischer Substanzen und ihrer Permeationsrate durch Membranen, verändert nach Briggs, 1982

Ac = Acephate, C = Carbofuran, Clo = Clothianidin, F = Fipronil, Imi = Imidacloprid, T = Tefluthrin, Thia = Thiamethoxam

Wirkstoff	log Po/w	pka / Säure-Basenverhalten
Carbofuran	1,52	dissoziiert nicht
Clothianidin	1,2	11,09
Imidacloprid	0,52	leichte Base, pka nicht messbar *
Fipronil	4,0	5,2
Acephate	-0,89	8,35
Thiamethoxam	-0,17	dissoziiert nicht
Tefluthrin	6,5	6,07

**Tabelle 70.** Permeationsfähigkeit und Dissoziationsverhalten der Insektizide, von oben nach unten abnehmende Membrandurchtrittsfähigkeit (EMEA, 2004)

Wie bei den Wachstumsversuchen auf Flüssigsubstrat erkennbar wird, üben die drei Chloronicotinyne trotz ihrer chemisch nahen Verwandtschaft eine unterschiedliche Wirkung auf den Pflanzenstoffwechsel aus (3.4).



**Abbildung 136.** Systemizität von sauren, neutralen und alkalischen Substanzen (verändert nach Bromilow, 1990),  
 Ac = Acephate, C = Carbofuran, Clo = Clothianidin, F = Fipronil, I = Imidacloprid, Tef = Tefluthrin, Thia = Thiamethoxam

#### 4.1.11 Konzentrationsabhängigkeit der Wirkung des Imidacloprid

Eine Betrachtung der Reaktionen auf unterschiedliche Imidacloprid-Konzentrationen über alle bislang vorgestellten Versuche ergab unter optimalen Bedingungen sowohl für den Auflauf, als auch für die Organlängen kaum Unterschiede zum Standard und fallweise sogar eine Förderung, vergleiche Abbildung 11.

Unter suboptimalen Bedingungen zeigte sich meist nur am 4. Tag eine Verzögerung, die mit steigender Konzentration zunahm, wie beispielhaft aus Abbildung 53 und Tabelle 71 zu erkennen ist.

Dort wo ein Einfluss durch Imidacloprid sichtbar wurde, zeigte er sich als Wachstumsverzögerung durch kürzere Sprosse und Wurzeln, langsames Wachstum im Auflauf, sowie in lichter grün gefärbten Blättern (Abbildung 13). Diese Effekte beschränkten sich zumeist auf den 4. Tag und schwächten sich im weiteren Versuchsverlauf rasch ab, sodass bis zum Versuchsende keinerlei Wirkstoffeinfluss auf die Keimpflanzenentwicklung mehr erkennbar war.

## 4.2 Ursachen der Wirkung von Imidacloprid

Als Ursachen für dieses Verhalten können Einflüsse des Imidacloprid auf das Zellteilungs- und Zellstreckungswachstum angenommen werden, ebenso wie Eingriffe in den Phytohormonhaushalt oder die Energiegewinnung der keimenden Pflanzen. Die leichte Verfärbung lässt an eine Beeinflussung des Sekundärstoffwechsel denken. Diesen Fragen wurde exemplarisch in den folgenden Versuchen nachgegangen.

#### **4.2.1 *Beeinflussung von Zellwachstumsprozessen***

In Anlehnung an den von Darwin (1880) entwickelten Koleoptilenkrümmungstest, mit dem er die Abhängigkeit der Koleoptilenkrümmung von der Wuchsstoffproduktion im Apex der Koleoptile nachwies (Taiz und Zeiger, 2000), wurde ein Test entwickelt, mit Hilfe dessen das Zellstreckungswachstum unter Stoffwechselfluss erfasst werden konnte.

Die Frage ob primär das Zellteilungs- oder Zellstreckungswachstum beeinflusst wird, konnte hier eindeutig zu Gunsten des Zellstreckungswachstums beantwortet werden, da mit zunehmender Konzentration eine stärkere Hemmung des Koleoptilenwachstums erkennbar wurde.

#### **4.2.2 *Wechselwirkung mit Phytohormonen***

Gibberellin ( $GA_3$ ) fördert das Zellteilungs- und Zellstreckungswachstum und wirkt somit auf das Wachstum und die Entwicklung von Pflanzen sowie auf die Keimung der Karyopsen monokotyler Pflanzen. Sowohl Zellstreckungs- als auch Zellteilungsprozesse sind durch  $GA_3$  gefördert, Erstere durch Erhöhung der Zellwandextensibilität.

Schon lange sind zahlreiche natürliche Keim- und Wachstumshemmstoffe bekannt. Hierbei handelt es sich zumeist um niedermolekulare organische Moleküle wie HCN, Ethylen, Aldehyde, Zimtsäuren und organische Säuren. So ist seit 1949 von Ethylen bekannt, dass es sowohl eine keimhemmende Wirkung besitzt, als auch stimulierend auf die Keimung dormanter Samen wirken kann. Dieses ambivalente Wirkungsprinzip scheint typisch für pflanzliche Wachstumsregulatoren zu sein und kann auf unterschiedlichen Wechselwirkungen im Zellstoffwechsel, an Membranen oder mit Hormonen beruhen. Wachstumshemmstoffe können ebenso wie die Abscissinsäure die Zellteilung und das Zellstreckungswachstum beeinträchtigen (Ketring, 1973).

So lag es nahe zu überprüfen, ob die unter verschiedenen Versuchsbedingungen ungleichen Reaktionen der Pflanzen nach einer Behandlung mit Imidacloprid über eine hormonelle Wirkung erklärt werden können.

Da die vorgestellten Versuche einen Einfluss des Imidacloprid auf das Zellstreckungswachstum ergaben, sollte geprüft werden, ob sich hier Zusammenhänge mit dem  $GA_3$  und Auxingehalt erkennen lassen, welche diese kurzfristig wirksame Auflaufverzögerung erklären können.

In den hierzu angestellten Versuchen zeigte sich das Wachstum durch  $GA_3$  grundsätzlich beschleunigt, wobei die Wirkung des Insektizides jedoch nicht verändert wurde. Daraus wird abgeleitet, dass Imidacloprid nicht mit der hormonellen Wirkung des  $GA_3$  interagiert. Interessanterweise fand sich der stärkste Stoffwechselfluss bei einer mittleren  $GA_3$  Konzentration von 0,15 %.

Mit Auxin, das vornehmlich die Zellstreckung fördert, verzögerte sich der Auflauf unabhängig von der Saatgutbehandlung. Dabei wurde mit zunehmender Auxinkonzentration eine wachsende Verzögerung durch Imidacloprid mit Höhepunkt am 4. Tag erkennbar. Obwohl Auxin das Wachstum generell verzögerte, wurden die Wirkeffekte des Imidacloprid zwar abgemildert, doch nicht aufgehoben.

Tage	Organ	H <sub>2</sub> O	Imidacloprid ([mg/ml] 70 WS)				
			1	2	4	8	16
6	Wurzel	9	2,7	2,4	2,8	2	2,9
8	Wurzel	18	3,5	3,5	2	3	2,5
6	Spross	5,5	4,6	3,7	3,9	3,7	3,1
8	Spross	9,9	8,7	7,8	7,7	7,6	7,8
6	S/W	0,6	1,7	1,5	1,4	1,9	1,1
8	S/W	0,6	2,5	2,2	3,8	2,5	3,1

**Tabelle 71.** Längen von Spross und Wurzel [cm] von Mais bei Anzucht auf Imidaclopridlösung nach 6 und 8 Tagen, sowie Verhältnis der Werte zueinander (S/W)

Weder mit GA<sub>3</sub> noch Auxin ließen sich eindeutige Wechselwirkungen mit Imidacloprid erkennen, die einer hormonellen Wirkung zugeschrieben werden können. Während die Keimung durch beide Phytohormone gefördert wurde, zeigte sich im Auflauf eine Verzögerung.

Um die Imidaclopridwirkung und ihre zeitliche Beschränkung auf die Entwicklung im Keimlingsstadium zu verstehen, galt es herauszufinden, wie und in welcher Konzentration die Wirkstoffaufnahme erfolgt. So ist zu erwarten, dass eine Aufnahme durch die Samenschale oder durch die Wurzel jeweils andere Entwicklungsmuster forciert.

#### 4.2.2.1 Einfluss der Chloronicotinyne auf das Spross- und Wurzelwachstum

Mit der Anzucht von Mais auf Flüssigsubstrat konnte nach Dauerexposition der Wurzeln an den Wirkstoff gezeigt werden, dass eine kontinuierliche Wirkstoffnachlieferung eine anhaltende entwicklungsverzögernde Wirkung der Chloronicotinyne auf das Wachstum der Organe Spross und Wurzel bewirkt. Durch den Einsatz unterschiedlicher Wirkstoffkonzentrationen wird ersichtlich, dass die Wirkeffekte eine bestimmte Mindest-Konzentration des Wirkstoffes am Wirkort in der Pflanze erfordern, um einen Effekt zu erzielen. Dabei nehmen die Wirkeffekte zunächst mit zunehmender Konzentration zu, erreichen dann jedoch einen Sättigungshorizont, ab dem sich die Effekte nicht weiter verstärken.

Versuche bei denen das Saatgut nach einer bestimmten Versuchsdauer von einer insektizidhaltigen Lösung auf Wasser oder umgekehrt umgesetzt wurden zeigen, dass bei fehlender Wirkstoffnachlieferung nach der Quellung keine Effekte auftreten oder diese sehr schnell verschwinden. Durch den Zuwachs an neuem Pflanzengewebe ist eine Verdünnung der Wirkstoffkonzentration in der Pflanze zu erwarten, darüber hinaus ist mit hydrolytischem Abbau im wässrigen Milieu des Pflanzengewebes zu rechnen (Krohn, Hellpointner, 2002).

Dies geschieht vergleichbar bei den Wachstumsversuchen, wenn die Keimwurzeln aus dem Beizhof herauswachsen. Die Wirkstoff-Nachlieferung über die Keimwurzel wird immer geringer, und es erfolgt ein rasches Angleichen der mit Imidacloprid behandelten Pflanzen an den Standard. Die sich im folgenden entwickelnden Seitenwurzeln stellen sodann die Wirkstoffnachlieferung für einen lückenlosen Schutz der Jungpflanze sicher.

Die Reaktionsmuster während der Keimlingsentwicklung lassen nicht erwarten, dass die später wieder einsetzende Wirkstoffaufnahme durch die Sekundärwurzeln die erstarkte Pflanze beeinträchtigen. Dies steht im Einklang mit der von Deall et al. (1993) für Mais und Rouchaud et al. (1994) für die Zuckerrübe beschriebene Wirkung von Imidacloprid.

Keiner der Versuche auf Flüssigsubstrat, weder Imidacloprid noch eines der beiden anderen Chloronicotinyne, zeigte einen fördernden Einfluss auf die Keimung wie es zuvor in Faltenfilter- und Auflauftests festgestellt wurde (3.1.4.1), obwohl davon auszugehen ist, dass Imidacloprid und Thiamethoxam aufgrund ihrer guten Wasserlöslichkeit bereits bei der Quellung über Diffusion in die Karyopsen aufgenommen werden. Dies belegen die Ergebnisse der chemischen Analysen von Imidacloprid behandelten Keimlingen (3.1.5).

Eine physiologische Wirkung der Insektizide bereits während der Quellung sollte sowohl in den Auflauftests mit gebeiztem Material als auch in den Petrischalenversuchen mit Wirkstofflösung erkennbar sein, was nicht der Fall war.

Aus den Versuchen mit systematischem Substratwechsel (3.1.12.2) der Karyopsen von Wasser in 1 mg/ml Imidacloprid und umgekehrt kann geschlossen werden, dass die wesentliche Aufnahme des Wirkstoffes über die Wurzel erfolgt, da eine Exposition vor der Keimung keinen Einfluss auf das Wachstum zeigt, während eine Umsetzung der gequollenen, keimenden Karyopsen auf Imidacloprid zu denselben Effekten führt, wie eine Dauerbehandlung mit demselben. Aus den vorgestellten Versuchen (3.1.12.1) ist die größte Wirkstoffaufnahme nach der Quellung ersichtlich.

Eine Auswertung der Längenmessungen ergab, dass durch fehlende Nachlieferung des Imidacloprid, in den Wachstumsversuchen auf Flüssigsubstrat bei der Umsetzung von Imidacloprid auf Wasser, nach 6 Tagen kein Unterschied zur Anzucht auf Wasser (Standard) mehr vorlag.

Aus alledem ergibt sich, dass der Ausbildung eines Beizhofes und somit einer ausreichenden Bioverfügbarkeit des Wirkstoffes im Testsystem besondere Beachtung geschenkt werden muss, indem auch versuchstechnisch sicherzustellen ist, dass der Wirkstoff sowohl durch die Karyopse als auch durch die Wurzel hinreichend aufgenommen werden kann. So ergaben die Versuche in Faltenfiltern gerade mangels Wirkstoffverfügbarkeit für die Aufnahme durch die Keimwurzel andere Werte als dieselbe Versuchsanstellung in Quarzsand oder Erde. Außerdem wird, wie bereits dargelegt, die Beizhofausprägung durch das Substrat selbst, die Substratfeuchte und sogar die Art der Befeuchtung stark modifiziert.

Dies und zusätzlich die Temperatur beeinflussen, über die Regelung der Wachstumsgeschwindigkeit und die Verweildauer der Wurzel im Beizhof, die Wirkstoffaufnahme.

Als wesentliche Komponente kommt sodann die physikalisch-chemische Eigenschaft des Wirkstoffs hinzu, insbesondere seine Wasserlöslichkeit, welche die Beizhofausbildung, Wirkstoffdiffusion und Wirkstoffaufnahme beeinflusst (Abbildung 138).

Die intensive Aufnahme des Wirkstoffs durch die junge Wurzel führt durch kurzfristig hohe Wirkstoffkonzentration in der Pflanze fallweise zu Wachstumsverzögerungen, die aber ausgeglichen werden, sobald die Keimwurzel aus dem Beizhof herauswächst und reines Wasser aufnimmt. Aus den Umsetzungsversuchen auf Flüssigsubstrat geht hervor, dass geringe Imidaclopridkonzentrationen wachstumsfördernd wirken. So entsteht auch hier aus einer kurzfristigen Zellstresssituation eine Unterstützungssituation.

Die in den zahlreichen Versuchen zu Quellung und Auflauf mit gebeiztem Material vorgefundene Förderung der Keimung ließ sich auf Flüssigsubstrat nicht bestätigen, eher zeigte sich eine Verzögerung. Daher wird die Applikation zusammen mit der Leerformulierung über rein physikalische Prozesse wie Oberflächenvergrößerung und damit verbunden sehr starker Vergrößerung der Kontaktfläche zwischen Samen und umgebendem Medium als ausschlaggebende Ursache für die bei Versuchen mit gebeiztem Material in festem Substrat gefundene Förderung der Keimung gesehen.

Dies wird gestützt durch Ergebnisse die bei Imidacloprid behandelten Zuckerrüben nach Pillierung und Depillierung gefunden werden.

### **4.2.3 Beeinflussung des Energiestoffwechsels**

Am Beispiel von Plasmaströmungen wurde bei *Elodea* der Einfluss von Imidacloprid auf den Energiestoffwechsel beobachtet.

Die Plasmaströmung ist eine ATP-abhängige Bewegung, die durch Bündel von F-Actin, die wie Netzwerk das Cytoplasma durchziehen, vermittelt wird.

In den Versuchen konnte keine Verminderung der Plasmaströmung festgestellt werden, sodass davon ausgegangen wird, dass Imidacloprid die ATP-liefernden Prozesse in der Pflanzenzelle nicht beeinträchtigt (Tabelle 33). In allen Ansätzen war die normale Gasbildung an den Sprossen zu sehen, sowie eine Alkalisierung der Lösung messbar, was auf die Ausscheidung von freiem  $\text{Ca(OH)}_2$ , welches sich durch  $\text{CO}_2$ -Aufnahme aus dem Wasser wieder in Carbonat oder Bikarbonat umwandelt, zurückgeführt wird (Kostinek, 2002). An den Pflanzen waren auch nach Versuchsabschluss keine äußerlich sichtbaren Unterschiede zur Kontrolle festzustellen.

Es ist bekannt, dass Imidacloprid in Wasser grundsätzlich stabil, doch photolabil ist und eine Halbwertszeit von 30 Tagen besitzt. So sind im Boden nach 60 Tagen 86 % des Wirkstoffes abgebaut. Obgleich die Versuche im Schwachlicht durchgeführt wurden, ist ein photolytischer Abbau des Imidacloprid nicht ganz auszuschließen (Krohn, Hellpointner, 2002 und Sarkar et al., 1999).

### **4.2.4 Wirkstoffeinfluss unter Sauerstoffmangelbedingungen**

Schlee (1992) stellt bei Maiswurzeln unter Sauerstoffmangel eine Verschiebung des ATP/ADP/AMP Verhältnisses fest und findet eine verstärkte Aktivierung der Enzyme Alkohol-Dehydrogenase und Lactatdehydrogenase zur Sicherung der Energiebereitstellung. Bei niedriger Sauerstoffkonzentration in den Geweben kommt es zu einer Reduktion des Energiestoffwechsels und folglich zu Wachstumshemmungen und physiologischen Veränderungen des Ionen- und Phytohormonhaushaltes.

Daher wurden Versuche zum Nachweis einer Interaktion des Imidacloprid mit Sauerstoff oder ATP-verbrauchenden Prozessen in einer Serie mit reduziertem Sauerstoffgehalt in Sand angesetzt. Wie erwartet war der Auflauf in Sand unter reduziertem Sauerstoffgehalt verzögert aber gleichermaßen in allen Saatgutbehandlungen, auch unabhängig von der Feuchtigkeit.

Interessanterweise ergaben Längenmessungen im Faltenfiltertest eine leicht fördernde Wirkung des Imidacloprid auch bei Sauerstoffmangel.

Diese unterschiedlichen Ergebnisse in den Substraten Quarzsand und Faltenfilter zeigen erneut, dass die Wirkstoffverfügbarkeit in den beiden Testsystemen nicht gleich sein kann und im Faltenfilter daher andere Wirkeffekte als unter den praxisnäheren Bedingungen in Sand oder Erds substraten zu erwarten sind. Eine Variation des Sauerstoffgehaltes zeigte weder im Sandversuch noch im Faltenfiltertest einen Einfluss auf die Wirkung des Imidacloprid.

#### 4.2.5 **Beeinflussung des Sekundärstoffwechsels**

Die bei Mais in den Imidacloprid-Versuchen fallweise beobachtete lichtgrüne Färbung in den ersten Tagen nach den Auflauf warf die Frage auf, ob hier eine Beeinflussung des Chlorophyllgehaltes zugrunde liegt (Abbildung 13).

Da diese Effekte nur kurzfristig sichtbar und mit den gegebenen methodischen Untersuchungsmöglichkeiten nicht messbar waren, wurden Versuche mit der sensiblen Kresse (*Lepidium sativum*) durchgeführt. Auch hier zeigte eine Behandlung bei den jungen Keimpflanzen gelbgrüne Blätter, also zumindest einen kurzfristigen Einfluss auf den Sekundärmetabolismus.

Um diesen länger beobachten zu können wurde Senf (*Sinapis alba*) angezogen. Auch hier zeigte sich ein lichtereres Grün auf der Blattoberseite und die normalerweise violett gefärbte Blattunterseite war schwächer gefärbt.

Wie allgemein bekannt, sind Anthocyane als Blütenfarbstoffe verbreitet, sie dienen jedoch auch als Lichtschutzpigmente. Anthocyaneinlagerungen bewirken durch Beschattung eine Verringerung der einstrahlenden Lichtintensität und schützen so vor Strahlungsschäden durch Überenergetisierung der Photosysteme und Elektronentransportkette (Heldt, 1999). Andererseits reduziert Stress das Wachstum von Pflanzen. Dadurch ist der Verbrauch der in der Photosynthese anfallenden Energie vermindert und folglich ein geringerer Anthocyangehalt zu erwarten.

Diese Ergebnisse bei Senf veranlassten Versuche mit typisch anthocyanhaltigen Pflanzenarten wie Rotkohl (*Brassica oleracea* convar. *capitata* var. *capitata rubra*), bei dem das Hypokotyl und die Unterseite der Kotyledonen violett gefärbt sind.

Die Tatsache, dass sich auch bei Rotkohl, bei dem die Anthocyanbildung nicht als Stressreaktion erfolgt, die Blattfarbe deutlich aufhellte, aber das Hypokotyl unbeeinflusst blieb, weist nicht auf eine generelle durch Imidacloprid hervorgerufene Stresssituation hin sondern spricht dafür, dass die Interaktion des Imidacloprid direkt in der Anthocyanbiosynthese erfolgt oder unter einem physiologischen Stress die Bildung sekundärer Pflanzenstoffe zugunsten des Primärmetabolismus reduziert. Das besonders gegen Licht-einstrahlung sensible Hypokotyl wird unter diesen Bedingungen noch mit dem Lichtschutzpigment Anthocyan ausgestattet, während dies in den Kotyledonen nicht mehr der Fall ist.

Auch bei diesem Exkurs in den physiologischen Bereich ließ Imidacloprid einen allgemein nur kurzfristigen Eingriff in den pflanzlichen Sekundärmetabolismus erkennen.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass keinerlei Wirkung des Imidacloprid auf grundlegende energieliefernde Prozesse des Primärstoffwechsels gefunden wurde (3.1.15), weder auf den Gasaustausch (3.1.14) noch auf die Energieproduktion. Ebenso wenig war ein Einfluss auf den Hormonhaushalt zu erkennen (3.1.11). Doch ließ sich eine schwache Wirkung auf den Sekundärmetabolismus (3.1.16) und das Zellstreckungswachstum feststellen (3.1.13). Die zur Untersuchung des Zellstreckungswachstums eingesetzten Wirkstoffkonzentrationen ließen bei 1,5 mg Imidacloprid/ml eine klare Reaktion der Koleoptilen erkennen. Diese Wirkstoffmenge entspricht der empfohlenen Applikationsmenge, die im Falle der Saatgutbeizung jedoch über die gesamte Karyopsenoberfläche verteilt vorliegt. Es wird davon ausgegangen, dass Imidacloprid durch kurzzeitige Überkonzentration in der frühen Phase der Zellstreckung eingreift. Darauf deutet zum einen die nur kurzfristig anhaltende Wirkung zum anderen der schwache Einfluss auf den Sekundärstoffwechsel hin.

Da derartige Einflüsse von der Pflanze unter optimalen Bedingungen ohne äußerlich erkennbare Reaktion hingenommen werden, ist es verständlich, dass ein Testsystem zur sensiblen Erfassung von Wirkstoffeinflüssen in einigen Bereichen suboptimale Parameter beinhalten muss. Die Bedingungen müssen fein abgestimmt sein, damit der Einfluss der zu testenden Parameter nicht durch Stressreaktionen maskiert wird (3.1.10, Seite 64).

### **4.3 Abhängigkeit der Imidacloprid Wirkung von der Bodenart**

Die Wirkeffekte des Imidacloprid zeigten in den vorgestellten Untersuchungen vielfältige Abhängigkeiten, so auch vom verwendeten Substrat. Daher wurde der Einfluss des Substrats Boden mit seinen spezifischen Eigenschaften detaillierter untersucht.

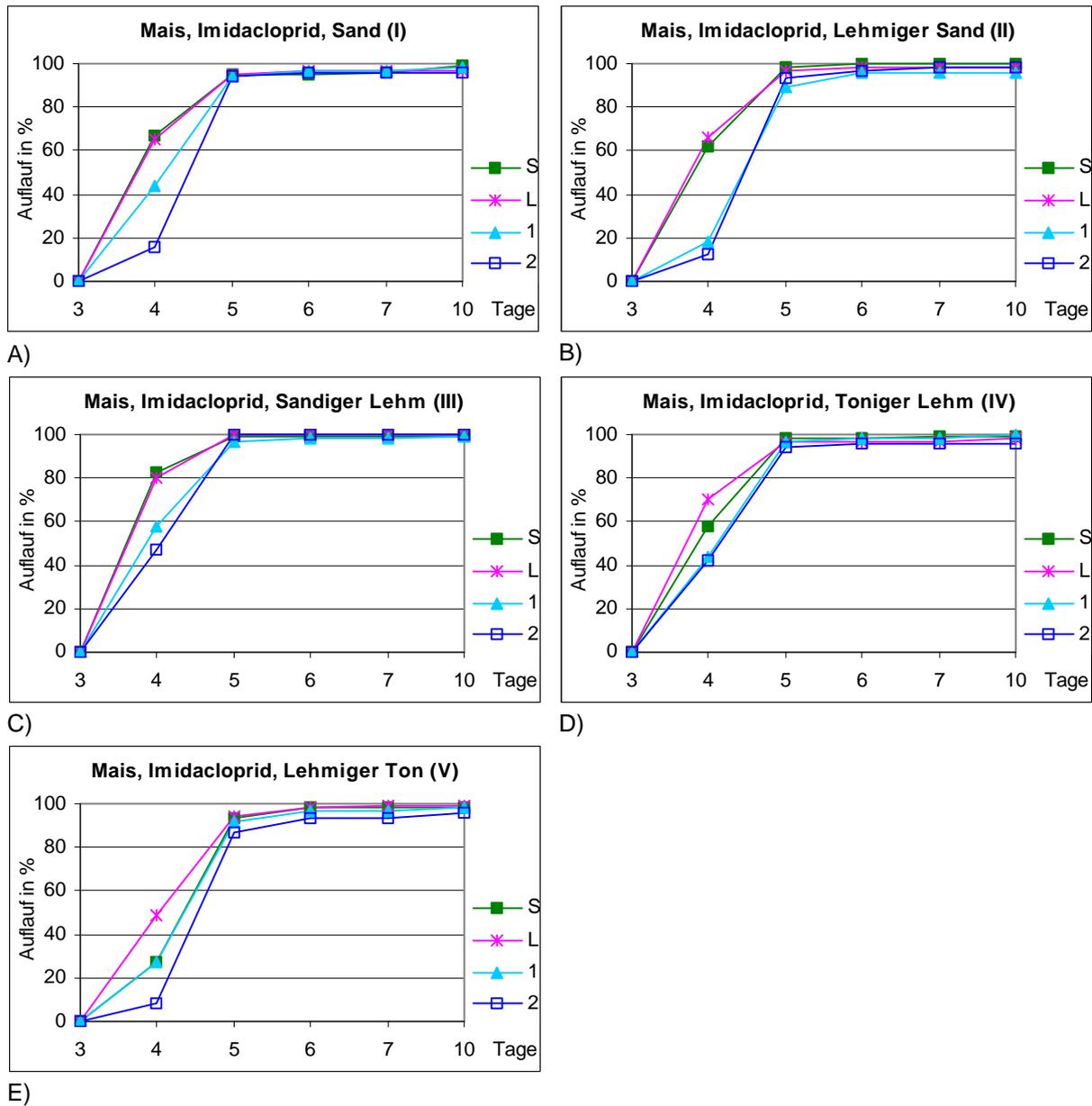
Es ist bekannt, dass Mais wenig Ansprüche an die Bodenart selbst stellt, sofern die Klimabedingungen seine Entwicklung unterstützen, weshalb er auf vielen verschiedenen Bodenarten angebaut wird.

Während in trockeneren Lagen eher Lehmböden, aufgrund der besseren Fähigkeit zur Wasserspeicherung geeignet sind, werden in feucht kühlen Lagen vorzugsweise leichte, sandige Böden, die sich rasch erwärmen können, genutzt (Zscheischler, 1990).

Die Abhängigkeit der Auflaufgeschwindigkeit von der Bodenfeuchtigkeit ergibt sich aus der Beziehung zwischen Wassergehalt und Wasserspannung in einem Boden. Letztere ist im Wesentlichen von der Porengröße und dem Porenvolumen abhängig. Wassermoleküle sind unterschiedlich intensiv an die Bodenmatrix gebunden. Diese Bindungskräfte müssen überwunden werden, um das Wasser für die Pflanze verfügbar zu machen. In einem grobkörnigen Sandboden mit einem vergleichsweise hohen Anteil an großen Poren sind die Bindungskräfte relativ gering und entsprechend sind kleinste Restmengen an Wasser für die Pflanzen verfügbar. Mit zunehmenden Anteilen an Schluff oder Ton verringert sich die Körnung und der Anteil an Feinporen nimmt zu. In gleichem Maße nimmt die Bindungsstärke der Wassermoleküle an die Bodenmatrix zu, wodurch sich ihre freie Verfügbarkeit verringert. Eine intensive Quellung des Saatgutes und damit eine schnelle Keimung kann daher in schweren, stark lehmhaltigen Böden nur bei einer entsprechend höheren Bodenfeuchtigkeit erfolgen. Wird diese nicht erreicht, so sind Quellung, Keimung und damit auch der Auflauf verzögert. Zusätzlich zum Wassergehalt ist auch die Wasserbewegung für die Pflanzenverfügbarkeit verantwortlich (Kuntze et al, 1994).

Um die potentiellen Wirkeffekte von Imidacloprid in einem möglichst breiten Spektrum unter praxisnahen Bedingungen zu erfassen, wurde der Einfluss bei Mais und Zuckerrübe in den fünf Bodenarten Sand, Lehmiger Sand, Sandiger Lehm, Toniger Lehm und Lehmiger Ton untersucht. Damit zur Quellung und Keimung eine standardisierte, ausreichende Wassermenge verfügbar ist, wurden die Böden durch Begießen auf verschiedene Feuchten eingestellt.

Mit dem vorgestellten System war es möglich, die Versuchsergebnisse aus den einzelnen Ansätzen zu vergleichen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Versuchsanlage mit jeweils 100 Diasporen, zwar gemäß der Zielsetzung eine breite Abdeckung der Einflussvarianten ermöglicht, dafür aber eine breitere Streuung der Einzeldaten in Kauf nimmt.



**Abbildung 137.** Auflauf von Imidacloprid behandeltem Mais in fünf Böden bei 50 % Wkmax. S = Fungizidbehandlung, L = Leerformulierung (= Standard), 1 und 2 mg Imidacloprid je Karyopse. Die Punkte von 1 und 2 in C), sowie die Punkte von S und 1 in E) sind nahezu identisch und liegen in der Grafik daher übereinander

Sandböden zeichnen sich durch günstige physikalische Eigenschaften aus, sie besitzen eine gute Wasserdurchlässigkeit, gute Durchlüftung und Bearbeitbarkeit, jedoch ist ihr Adsorptionsvermögen sowie ihr Speichervermögen für Wasser, nur schwach, was für die geringe Ertragsfähigkeit von Sandböden mitverantwortlich ist.

Dementsprechend ist in Sand (I) der Wirkstoff nur wenig an das Substrat adsorbiert und der Beizhof im Vergleich zu den anderen Böden räumlich am weitesten ausgedehnt, jedoch gleichzeitig am stärksten verdünnt. Die hohe verfügbare Wassermenge ermöglicht den Keimlingen im Sand eine zügige Entwicklung, sodass sich der aufgenommene Wirkstoff in der Pflanze rasch verdünnt und die Keimwurzeln zügig aus dem Beizhof herauswachsen. So zeigt sich bei 40 % und 50 % Wkmax im Sand (I) ein vergleichbar starker Einfluss des

Imidacloprids, der erst bei 60 % Wkmax aufgrund des größeren und entsprechend verdünnten Beizhofs abnimmt (Abbildung 137 A).

Im Lehmigen Sand (II) kann sich aufgrund der groben Porenstruktur und der geringen Adsorption ein ausgedehnter, jedoch wenig konzentrierter Beizhof entwickeln. Den zügig wachsenden Keimlingen steht reichlich Wasser zur Verfügung. So ist nach einer raschen Wirkstoffanreicherung bis zum 4. Tag von einer schnellen Verdünnung des Wirkstoffes durch den Metabolismus in der Pflanze, das rasche Herauswachsen der Keimwurzeln aus dem Beizhof und die Nachlieferung reinen Wassers auszugehen. Dementsprechend sind in diesem Substrat am 4. Tag die stärksten Wirkeffekte des Imidacloprid erkennbar. Insbesondere ist dies in der trockenen Variante, in der auch der Standard langsamer aufläuft, der Fall. Im gesamten Versuchsblock zeigt dieser Boden den stärksten Einfluss wechselnder Feuchte auf die Wirkung des Imidacloprid (Abbildung 137 B).

Lehmböden besitzen mit gutem Gefüge eine günstige Konstellation chemischer und physikalischer Bodeneigenschaften. Eine gute Pflanzenverfügbarkeit, sowie ein hoher Nährstoffgehalt und ein günstiger Luft- und Wasserhaushalt ermöglichen eine gute Pflanzenentwicklung.

Der Beizhof ist im Sandigen Lehm (III) weniger weit ausgedehnt, jedoch höher konzentriert als in den leichteren Böden. Wie anhand des Standards ersichtlich, ist eine optimale Wassermenge für die Entwicklung der Pflanzen vorhanden, sodass die Keimwurzel durch rasches Wachstum dem Beizhof zügig entwächst und der aufgenommene Wirkstoff schnell verdünnt wird. So werden in diesem Substrat, unabhängig von der eingesetzten Wirkstoffkonzentration die geringsten Wirkeffekte vorgefunden. Im Vergleich mit allen anderen Böden und allen Feuchten zeigt Sandiger Lehm (III) die rascheste Pflanzenentwicklung. Dennoch nimmt der Wirkstoffeinfluss hier vom Feuchtem zum Trockenen zu (Abbildung 137 C).

Bei Tonigem Lehm (IV) mit noch geringerer Partikelgröße, verkleinert sich der Beizhof und die Wirkstoffkonzentration erhöht sich. Parallel dazu verstärkt sich die Adsorption des Wirkstoffs an die Bodenpartikel. Die Keimwurzeln wachsen rasch aus dem relativ kleinen Beizhof heraus, wodurch die Wirkstoffnachlieferung unterbrochen wird. Daher zeigen sich eher schwächere Wirkeffekte des Imidacloprid. Entsprechend den Eigenschaften des Tonigen Lehms (IV) spielt hier das pflanzenverfügbare Wasser eine limitierende Rolle, sodass erst bei 60 % Wkmax ein hoher, rascher Auflauf, mit ganz geringem Wirkstoffeinfluss zu vermerken ist. Unter trockeneren Bedingungen ist die Entwicklung des Standards deutlich gehemmt und unter diesem starken Stress, erstmals in dieser Serie, bleiben die allerdings geringen Wirkungen des Imidacloprids über den 4. Tag hinaus erhalten (Abbildung 137 D).

Wie schon mehrfach dargestellt, verstärkt sich die Wirkung des Imidacloprids auch hier mit zunehmender Stresssituation in der Keimpflanze.

Tonböden besitzen das höchste Porenvolumen, jedoch ist der Anteil an Grobporen und Mittelporen, welche die pflanzenverfügbare Wassermenge bestimmen, nur gering. Eine schlechte Wasserführung, Durchlüftung und Durchwurzelbarkeit sind dem Pflanzenwachstum ebenso wenig zuträglich wie die starke Quellung und Schrumpfung tonhaltiger Böden bei wechselndem Feuchtigkeitsgehalt. Die Wasserleitfähigkeit wird durch die Anzahl, Größe und Form der Poren bestimmt.

Lehmiger Ton (V) weist somit von allen Böden den kleinsten und am höchsten konzentrierten Beizhof auf, gleichzeitig ist die Wirkstoffadsorption an die Bodenpartikel stark. Die pflanzenverfügbare Wassermenge ist hier reduziert, was zu verlangsamtem Wachstum und damit längerer Verweildauer der Keimwurzel im Beizhof führt. So erklären sich die deutlichen Wirkeffekte des Imidacloprid in diesem Substrat. Im Lehmigen Ton (V) werden nach Boden IV die stärksten Stoffeinträge erkennbar; die Reaktion und die Abstufung ist vergleichbar mit Boden IV aber mit zunehmender Trockenheit nochmals verstärkt (Abbildung 137 E).

Dementsprechend entfaltet Imidacloprid seine stärkste Wirkung auf den Mais im Lehmigen Sand und seine schwächste Wirkung im Sandigen Lehm während sich die extremen Böden in Abhängigkeit von ihrem Wassergehalt dazwischen anordnen.

So lässt sich feststellen, dass bei Mais mit zunehmendem Trockenstress die auflaufverzögernde Wirkung des Imidacloprid zunimmt. Dieser Trockenstress wird, wie oben dargelegt, in den einzelnen Böden durch deren physikalischen Eigenschaften verstärkt. Die Wirkung des Imidacloprid wird dabei sowohl durch das pflanzenverfügbare Wasser, das die Wachstumsgeschwindigkeit beeinflusst, als auch durch die Beizhofausprägung und somit die Wirkstoffverfügbarkeit bestimmt.

In einem orientierenden Versuch mit Zuckerrübe in denselben Böden, bei unterschiedlichen Feuchten fanden sich in den drei leichten, sandhaltigen Böden bei Standardbehandlung am 4. Tag in der trockeneren Variante stets höhere Auflaufwerte als in der Feuchteren (3.6.2, Abbildung 105, Abbildung 106). In den beiden schweren Böden ist dies umgekehrt. So liegt das Optimum für die Wasserversorgung der Zuckerrübe in den leichten Böden niedriger als in den Schweren, in denen ein hoher Feuchtigkeitsgehalt rasch zu Sauerstoffmangel führen kann. Dies steht im Einklang mit der bekannten Tatsache, dass die Zuckerrübe in der Keimungsphase sehr sensibel auf hohe Feuchtigkeit reagiert. Entsprechend lassen sich bei höherer Feuchte nach Behandlung mit Imidacloprid deutliche Auflaufverzögerungen beobachten, was auch auf eine verstärkte Stoffaufnahme zurückgeführt werden kann.

Die hohe Sensibilität der Zuckerrübe bedingt eine höhere Variabilität der Versuchsergebnisse. So zeigen die Untersuchungen Imidacloprid behandelte Zuckerrüben in verschiedenen Böden und Feuchtigkeitsgehalten im Vergleich zu den Versuchen in Standardlaborerde einen ungewöhnlich starken Stoffeinfluss, jedoch keine klare Korrelation der Einflussfaktoren Boden und Feuchte mit dem Auflaufverhalten.

Die Abhängigkeiten für die epigäisch keimende Zuckerrübe erscheinen weniger deutlich als dies bei Mais und Sonnenblume der Fall ist. Daher sind zur Erklärung des Verhaltens der Zuckerrübe sowie für eine Ableitung von Verhaltensmustern weitere Untersuchungen erforderlich.

Im Falle der Zuckerrübe ist, im Gegensatz zu den anderen untersuchten Kulturarten, der Einfluss des Imidacloprid nicht auf den 4. Tag beschränkt, sondern verstärkt sich im weiteren Versuchsverlauf. Selbst bei Versuchsabschluss sind die Auflaufwerte des Standards noch nicht erreicht. Wie Tabelle 58 zeigt, sind die Einflüsse mit Differenzen über 20 % als stark zu bewerten. Zuckerrübensaatgut reagiert also deutlicher auf Imidacloprid-Behandlung als Mais und Sonnenblume. Die höhere Wirkstoffkonzentration in der Pflanze ergibt sich aus dem vergleichbar kleinen Keimling, dessen Keimwurzel sich zudem länger im Beizhof aufhält.

Zuckerrüben erreichen mit täglich 3 mm Hypokotyl- und 15 mm Wurzelwachstum nach 7 Tagen ein 20 mm langes Hypokotyl und eine Keimwurzel von 100 mm. Bei einem Beizhof von 50 mm befinden sich die Wurzeln der Zuckerrübe etwa 3 Tage im kornnahen Bereich, der die höchste Wirkstoffmenge enthält und treten erst nach 4 Tagen in wirkstoffarme Substrat-

bereiche ein, was zusammen mit der oben besprochenen intensiveren Wirkstoffaufnahme durch die Pille die im Vergleich zum Mais länger anhaltende Wirkung des Imidacloprid erklärt.

Dies steht im Einklang mit den Angaben von Rouchaud et al. (1994), die berichten, dass nach 40 Tagen bei Imidacloprid behandelten Zuckerrüben im Umkreis von 10-20 cm kein Wirkstoff mehr nachgewiesen werden konnte und das weder im Laborversuch noch im Freilandtest. Die Beizhofausbildung bleibt also auch hier, wie von Stein-Dönecke et al. (1992) für den Mais beschrieben, räumlich begrenzt.

Der Feldaufbau von Zuckerrübe ist nach Dewar (1992) zwar durch Imidacloprid beeinflusst doch zeigten sich keinerlei Wirkeffekte auf das Rübengewicht und den Zuckergehalt.

#### **4.4 Einfluss von Imidacloprid auf die Keimlingsentwicklung**

Zusammenfassend lässt sich über die Einflüsse des Imidacloprid auf das Auflaufverhalten der untersuchten Kulturarten feststellen:

- Unter optimalen Bedingungen lässt sich bei Mais in den Versuchen mit Faltenfilter, im Sand und selbst in dem Substrat Sandiger Lehm bei mittlerer Feuchtigkeit, kein negativer Einfluss feststellen, im Gegenteil werden fallweise entwicklungsfördernde Wirkungen beobachtet. Demgegenüber lässt die Zuckerrübe bereits hier schwache Reaktionen erkennen.
- Unter suboptimalen Bedingungen finden sich kurzfristige Einflüsse, die zumeist auf den 4. Tag begrenzt und am Folgetag wieder völlig aufgehoben sind. Wichtigste Stressfaktoren sind hier sowohl die Temperatur als auch die Feuchtigkeit. Die Versuche mit unterschiedlichen Böden lassen ein komplexes Zusammenspiel zwischen Bodenart, pflanzenverfügbarem Wasser und Wirkstoffverhalten im Boden, somit auch Wirkstoffaufnahme in die Pflanze erkennen. Bei grundsätzlich vergleichbarem Verhalten reagiert die Zuckerrübe sensibler als der Mais.

Dabei waren generell die Einflüsse unter trockeneren Bedingungen stärker, unabhängig davon, ob diese auf Bodenfeuchte oder auf pflanzenverfügbarem Wasser beruhen.

Für die Praxis der Prüfung von Saatgut auf Wirkstoffe bedeutet dies, insbesondere im Rahmen von Triebkraftprüfungen und Wirkstoffprüfungen, dass streng standardisierte Versuchsbedingungen eingehalten werden müssen, da bereits geringe Änderungen zu starken Reaktionen führen können. Im praktischen Anbau ist unter Normalbedingungen beim Einsatz des Imidacloprid kein Einfluss auf den Feldaufgang zu erwarten. Bei ungünstigen Aufgangsbedingungen, wie Trockenheit, können die vorgestellten kurzzeitigen Auflaufverzögerungen auftreten, die jedoch innerhalb weniger Tage wieder ausgeglichen sind.

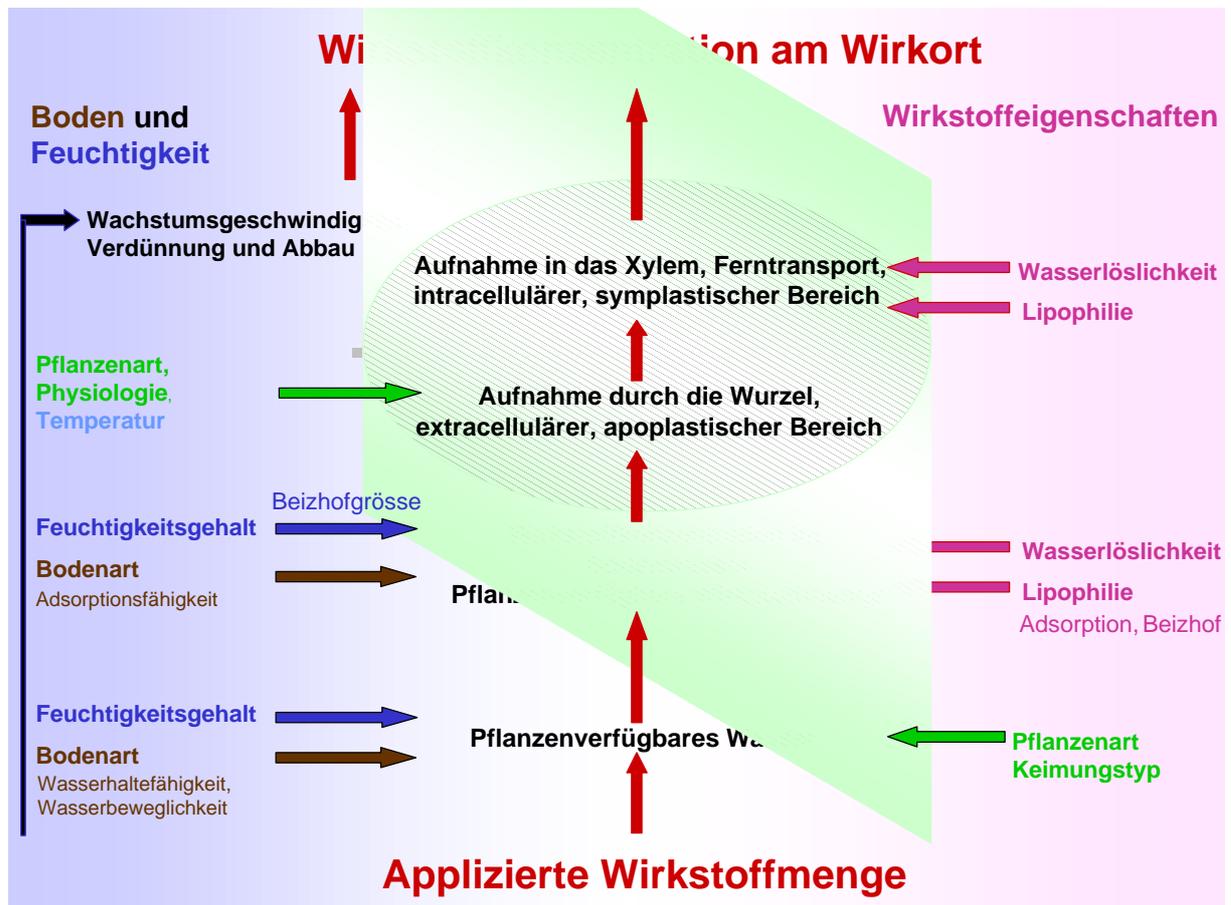
Hier konnte gezeigt werden, dass die Bodenart und Bodenfeuchte neben den wirkstoffimmanenten Eigenschaften wesentlich die Art, Ausprägung und Konzentration des Beizhofs bestimmen.

## 4.5 Wirkstoffeinfluss in Abhängigkeit von Wirkstoffeigenschaft, Boden, Feuchte und Pflanzenart

Der Beizhof bestimmt die pflanzenverfügbare Wirkstoffmenge nicht nur über die Konzentration, sondern auch über seine Größe, indem die aufnehmenden Wurzelorgane längere Zeit in ihm verbleiben. Alle sichtbaren Effekte in der Auflaufverzögerung lassen sich auf diese Phase zurückführen. Überformt werden solche Effekte durch die pflanzenarttypische Wurzelentwicklung, wenn Pflanzen mit einer kräftig entwickelten Primärwurzel (allorhizes Wurzelsystem) solchen mit zahlreichen gleichwertigen Wurzeln (homorhizes Wurzelsystem) gegenübergestellt werden.

Im Testsystem ist mit einem Ablageabstand der Maiskaryopsen von 2,5 cm im Zeitraum der Auflaufprüfung nicht mit einer stärkeren Überlappung zu rechnen, zumal die Keimwurzel sich positiv geotrop entwickelt.

Wächst die Keimwurzel aus diesem Beizhof heraus, so tritt zunächst durch die Aufnahme wirkstofffreien Wassers eine Verdünnung des Wirkstoffes in der Keimpflanze auf. Erst das anschließend entstehende Wurzelsystem führt der wachsenden Pflanze erneut Wirkstoffe aus dem Beizhof zu.



**Abbildung 138.** Abhängigkeit der Wirkstoffverfügbarkeit am Zielort des pflanzlichen Organismus von den verschiedenen Parametern

Abbildung 138 veranschaulicht das Wechselspiel von Substrat und Wirkstoffeigenschaften auf verschiedenen Ebenen und ermöglicht für weitere Kulturarten bei Kenntnis der Einzelparameter eine Diskussion der zu erwartenden Reaktionen.

So wird ein eher lipophiler Wirkstoff, wie Clothianidin, in einem lehmhaltigen Boden gut adsorbiert und in geringerer Konzentration im Bodenwasser gelöst vorliegen. Die niedrigere in die Keimpflanze aufgenommene Konzentration hat folglich - im Vergleich zu dem weniger lipophilen Thiamethoxam - nur einen schwachen Einfluss auf die Keimlingsentwicklung. Im Sand wird insbesondere ein wenig lipophiler Wirkstoff nur geringfügig adsorbiert und liegt somit in diesem Boden vergleichsweise höher konzentriert und pflanzenverfügbar im Bodenwasser vor.

Unter feuchteren Bedingungen wird sich eine Sonnenblume zügig entwickeln aber mit ihrer Hauptwurzel rasch aus dem Beizhof herauswachsen, der aufgrund des epigäischen Keimungstypus auch keine Wirkstoffnachlieferung erhält. Da die Membrangängigkeit des Wirkstoffes die in das Xylem aufgenommene Wirkstoffmenge bestimmt, ist unter diesen Voraussetzungen für Clothianidin nur eine geringe Konzentration im pflanzlichen Gewebe zu erwarten.

Daraus ergibt sich, dass die Parameter Bodenzusammensetzung, Bodenstruktur, Bodenfeuchtigkeit, Lipophilie und Hydrophilie in wechselndem Maße und sich gegenseitig beeinflussend klare Gesetzmäßigkeiten erkennen lassen:

1. Die Wasserlöslichkeit eines Wirkstoffes entscheidet über seine Verfügbarkeit für die Pflanze
2. Die Intensität der Wirkstoffaufnahme in den Samen oder durch die Keimwurzel in die Pflanze wird durch die Bodenart und Bodenfeuchtigkeit beeinflusst
3. Die applizierte Wirkstoffmenge und der sich in Abhängigkeit von der Befeuchtung entwickelnde Beizhof bestimmen das Ausmaß der Wirkstoffaufnahme
4. Die Entwicklung der Keimwurzel bestimmt die Dauer der ersten Wirkstoffaufnahme. Das nachfolgend sich entwickelnde Wurzelsystem versorgt die heranwachsende Pflanze weiterhin mit den Wirkstoffen aus dem sich ständig vergrößernden Beizhof.

Daraus ergibt sich, zusammen mit der Geschwindigkeit des Pflanzenwachstums, das wiederum von den Temperaturbedingungen gesteuert wird, ein sich gegenseitig beeinflussendes Wirkungsgefüge.

### **4.5.1 Einfluss der drei Chloronicotinyle Clothianidin, Imidacloprid und Thiamethoxam auf den Auflauf von Mais und Sonnenblume**

Nachdem am Beispiel von Imidacloprid Grundsätzliches zur Wirkung dieses Insektizides auf die Entwicklung in der Jugendphase geklärt werden konnte und eine geeignete Methode für solche Fragestellungen entwickelt war, wurde diese auf ihre Aussagekraft gegenüber weiteren Wirkstoffen geprüft. Da die Chloronicotinyle bei den Insektiziden derzeit das größte Wachstumspotential haben (Bayer, 2001), lag es nahe dem Imidacloprid verwandte Stoffe aus der Gruppe der Chloronicotinyle mit unterschiedlichen physikalisch-chemischen Eigenschaften heranzuziehen, den Mais als nun bekannte Testpflanze zu nutzen und dieses Verhalten mit den praxisnahen Bodenarten in den bewährten Auflauftests zu untersuchen und mit dem der Sonnenblume als Vertreter für die dikotylen Pflanzen zu vergleichen.

So wurden die insektiziden Wirkstoffe Clothianidin, Imidacloprid und Thiamethoxam ausgewählt, die sich hinsichtlich ihrer Wasserlöslichkeit und Lipophilie deutlich unterscheiden.

Alle drei Stoffe verfügen über ein breites Wirkspektrum gegen saugende und beißende Schädlinge, weisen jedoch eine unterschiedliche Wirksamkeit auf die Hauptschaderreger von Mais, wie Drahtwürmer (*Melanotus* und *Agriotes*), Wurzelfliegen (*Hylemya platura*), Ypsiloneulen (*Agrotis ypsilon*) und Maiswurzelbohrer (*Diabrotica*) auf (Andersch und Schwarz, 2003). Auf Grund ihrer physikalisch- chemischen Eigenschaften lassen sie sich in vielfältiger Weise sowohl als Saatgutbehandlung gegen Schädlinge im Blattbereich als auch im Boden einsetzen. Imidacloprid wird als Gaucho® seit vielen Jahren erfolgreich als Saatgutbeize bei verschiedenen Kulturarten eingesetzt. Clothianidin (= Poncho®) und Thiamethoxam (= Cruiser®) werden zur Zeit für weitere Arten in den Markt eingeführt.

Thiamethoxam ist in der Reihe der untersuchten Chloronicotinyne der Wirkstoff mit der geringsten Lipophilie, gefolgt von Imidacloprid und Clothianidin. So ist zu erwarten, dass Thiamethoxam durch seine hohe Wasserlöslichkeit im Boden noch mobiler ist als Imidacloprid und unter trockenen Bedingungen eine besonders gute Pflanzenverfügbarkeit gewährleistet. Diese Erwartungen haben sich in den Untersuchungen von Palumbo und Mullis (1998) sowie von Rice, (2004) bestätigt. Andererseits ist bei hoher Bodenfeuchtigkeit ein Wirkstoffaustrag aus dem Wurzelbereich und folglich eine Verringerung der Wirkstoffnachlieferung nicht auszuschließen.

Basierend auf diesen Unterschieden kann für Thiamethoxam eine verminderte Bindung des Wirkstoffes in Erdsubstraten mit einem niedrigen Anteil an organischer Masse, wie Sand (0,6 %) und Lehmiger Sand (1,1 %) unterstellt werden (Tabelle 5). Konsequenterweise wirkt die Bindung an organische Masse im Fall von Clothianidin intensiver, was im Einklang mit seinem geringen Einfluss auf die Keimlingsentwicklung steht.

In den schweren Bodenarten, insbesondere im Lehmigen Ton, ist der Anteil an organischer Masse mit 4,0 Prozent offensichtlich auch für eine gute Bindung von Thiamethoxam ausreichend. Die wirkstoffspezifischen Unterschiede sind hier weniger deutlich ausgeprägt.

Versuche im sterilen Quarzsand, also unter Ausschluss adsorptiver Eigenschaften, zeigten deutlich die Abhängigkeit der wachstumsverzögernden Wirkung von der Wasserlöslichkeit der Chloronicotinyne. Auch konnte hier eine strenge zeitliche Limitierung der Wirkung beobachtet werden. Die Wirkstärke folgte bei allen drei Insektiziden der Konzentration.

### **4.5.1.1 Einfluss von Bodenart und Feuchtigkeitsgehalt**

Pflanzen verstärken, nach dem Prinzip von Le Chatelier (1884), unter trockenen Bedingungen ihr Wurzelwachstum bei gleichzeitig verringertem Sprosswachstum (Kausch und Ehrig, 1959; Walter, 1968). Copeland und McDonald, 1995) beschreiben bei Weizen, Gerste und *Sorghum* bei reduziertem Wasserpotential eine wesentlich sensiblere Reaktion des Wachstums der Plumula als der Wurzel. Für Mais, Soja und Baumwolle wird dies von Sharp (2004) bestätigt. Solches Verhalten wird in den vorliegenden Versuchen als Auflaufverzögerung erkennbar. Eine vergleichende Untersuchung von Imidacloprid mit den beiden neueren Chloronicotinylen Clothianidin und Thiamethoxam mit unterschiedlichen Böden und Feuchtigkeitseinstellungen ergab für jede Bodenart einen bestimmten Feuchtigkeitsbereich bei dem die Wasserversorgung für die Maiskaryopsen und die Sonnenblumenachänen optimal ist, sodass Quellung sowie Keimung und Auflauf am raschesten erfolgen.

Wie erwartet ist aus den Ergebnissen der Standardbehandlung sowohl beim Mais als auch bei der Sonnenblume ersichtlich, dass die Menge des pflanzenverfügbaren Wassers von den Eigenschaften der Böden und ebenso deren Feuchtigkeitsgehalt abhängig ist (Tabelle 72, Tabelle 73, Abbildung 79, Abbildung 92).

Feuchtigkeit	30 % Wkmax					40% Wkmax					50% Wkmax					60% Wkmax				
	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V
<b>Boden / Behandlung</b>																				
<b>Standard</b>	-16	-19	-27	-60	-76	-9	-9	-16	-19	-24	-2	-2	-6	-10	-8	-3	-1	-7	-5	-5
<b>Clothianidin</b>	-17	-16	-28	-60	-85	-10	-10	-17	-20	-25	-2	-3	-4	-12	-7	-3	1	-6	-1	-4
<b>Imidacloprid</b>	-19	-15	-31	-64	-82	-13	-13	-20	-22	-27	-2	-5	-4	-11	-7	-2	-1	-7	-2	-5
<b>Thiamethoxam</b>	-19	-19	-31	-64	-79	-15	-14	-21	-22	-25	-2	-5	-3	-13	-9	-5	-4	-12	-8	-7

**Tabelle 72.** Differenz der mittleren Auflaufwerte von Mais am 4. Tag, in verschiedenen Böden bei unterschiedlichen Feuchtigkeitsgehalten zum maximal erreichten Wert von 87 %. Werte mit Abweichungen bis einschließlich 5 % sind schwarz, von 6 bis 15 % orange, von 16 bis 25 % pink und ab 26 % rot dargestellt

Feuchtigkeit	30 % Wkmax					40 % Wkmax					50 % Wkmax					60 % Wkmax				
	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V
<b>Boden / Behandlung</b>																				
<b>Standard</b>	-11	-13	-28	-78	-79	-8	-7	-7	-20	-17	-4	-2	-8	-13	-9	-5	0	-7	-9	-24
<b>Clothianidin</b>	-9	-12	-26	-78	-82	-14	-10	-6	-15	-16	-9	-9	-7	-10	-13	5	-14	-4	-4	-27
<b>Imidacloprid</b>	-13	-12	-32	-77	-81	-17	-10	-8	-19	-24	-11	-15	-15	-11	-21	-17	-14	-12	-12	-36
<b>Thiamethoxam</b>	-9	-18	-30	-77	-82	-17	-9	-12	-25	-20	-7	-11	-19	-13	-10	-13	-14	-13	-13	-27

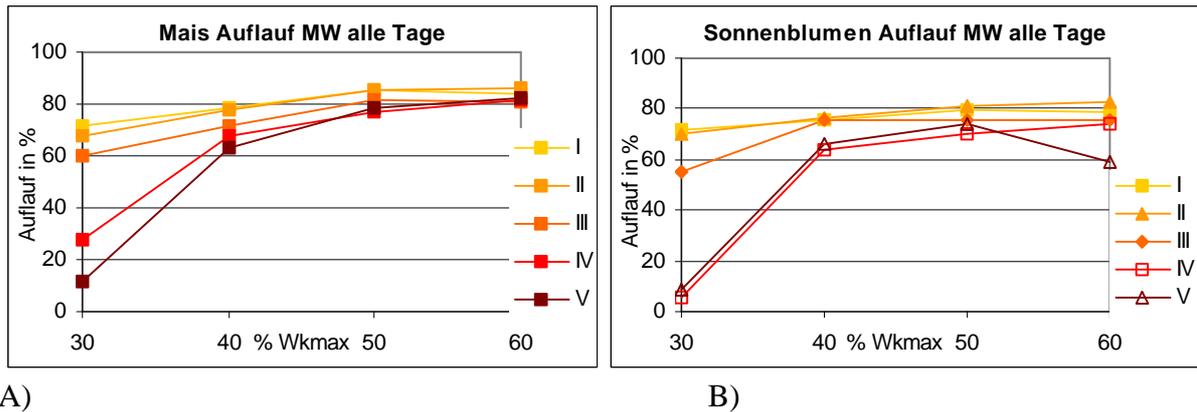
**Tabelle 73.** Differenz der mittleren Auflaufwerte von Sonnenblume am 4. Tag, in verschiedenen Böden bei unterschiedlichen Feuchtigkeitsgehalten zum maximal erreichten Wert von 83 %. Werte mit Abweichungen bis einschließlich 5 % sind schwarz, von 6 bis 15% orange, von 16 bis 25 % pink und ab 26 % rot dargestellt

Der Standard von Mais und Sonnenblume hat in Boden I, II und III seine optimale Wasserversorgung jeweils bereits bei 50 % Wkmax erreicht, eine weitere Erhöhung des Feuchtigkeitsgehaltes verbessert den Auflauf nicht weiter (Abbildung 139). In Boden IV und V liegt das Optimum der Wasserversorgung erst bei 60 % Wkmax. Während Boden I und II vergleichbare Ergebnisse liefern und bereits bei 30 % Wkmax einen hohen Auflauf erreichen, unterscheiden sich die schweren Böden IV und V hiervon deutlich und lassen erst ab 50 % Wkmax befriedigende Auflaufwerte erkennen. Boden III nimmt eine Zwischenstellung ein.

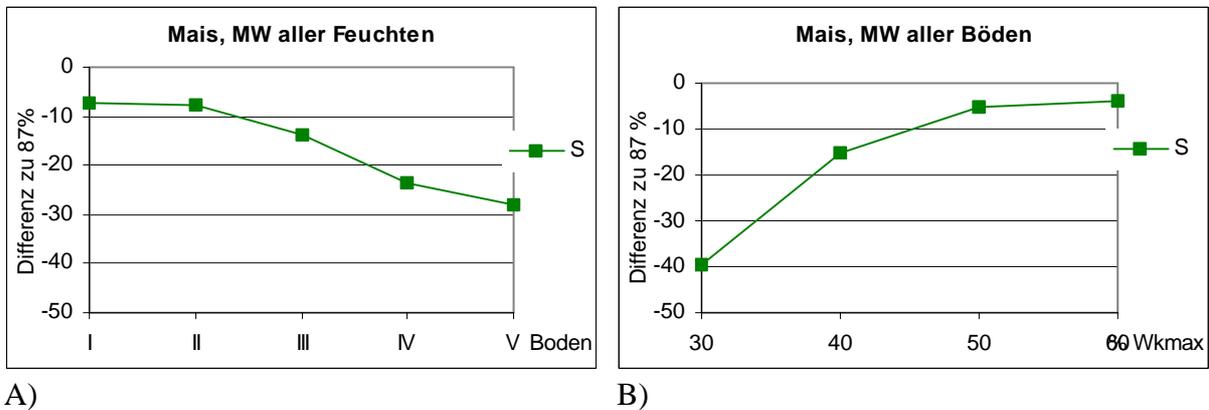
Wird der Feuchtigkeitsgehalt bei Sonnenblume in Boden V, dem Lehmigen Ton über 50 % Wkmax erhöht, so sinkt die Auflaufrate wieder ab, was durch Sauerstoffmangel im Boden erklärt werden kann.

Es gibt also für jede Pflanzen- und Bodenart einen Feuchtigkeitsbereich bei dem die Wasserversorgung für die Keimpflanze optimal ist.

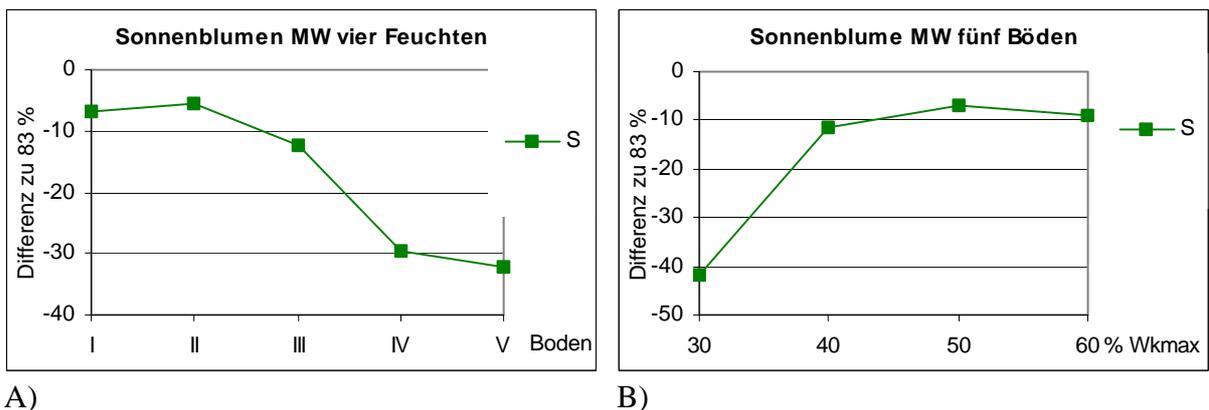
In den grob strukturierten Sandböden ist die Wasserhaltefähigkeit aufgrund der geringeren Oberfläche vergleichsweise schwach. Wasser ist den Pflanzen leicht verfügbar. Dies wird in Abbildung 139 ersichtlich, wo in den drei leichten, sandhaltigen Böden bereits bei 30 % Wkmax genügend Wasser für einen zügigen Auflauf der Diasporen zur Verfügung steht.



**Abbildung 139.** Mais (A) und Sonnenblume (B), Mittelwerte des Auflaues der Standardbehandlung in den fünf Böden in Abhängigkeit von der Bodenfeuchtigkeit  
 I = Sand, II = Lehmiger Sand, III = Sandiger Lehm, IV = Toniger Lehm, V = Lehmiger Ton



**Abbildung 140.** Mais, Differenzen der Auflaufwerte der Standardbehandlungen zum höchsten erreichten Auflaufwert von 87 %.  
 A) Mittelwerte aus allen Feuchten, B) Mittelwerte aus allen Böden, beim Standard = S



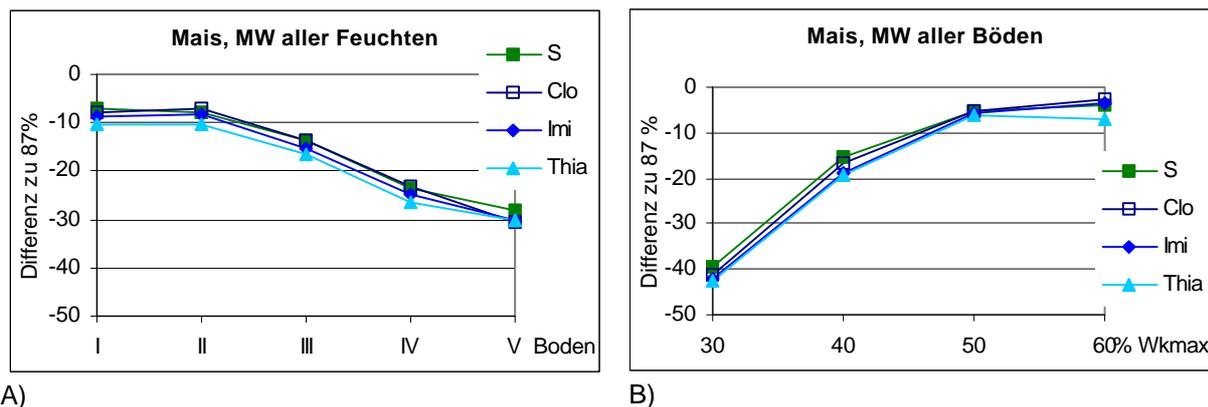
**Abbildung 141.** Sonnenblume, Differenzen der Auflaufwerte der Standardbehandlungen zum höchsten erreichten Auflaufwert von 83 %.  
 A) Mittelwerte aus allen Feuchten, B) Mittelwerte aus allen Böden, beim Standard = S

Die stärkere Wasserhaltefähigkeit des Sandigen Lehms reduziert den Auflauf des Standards bei Mais und Sonnenblume nur leicht. In den beiden tonhaltigen Böden ist das Wasser jedoch so fest gebunden, dass auch am 5. Tag erst einzelne Samen auflaufen. Das osmotische

Potential der Diasporen ist hier nicht stark genug, um dem Boden Wasser zu entziehen, weshalb bereits die Quellung verzögert ist.

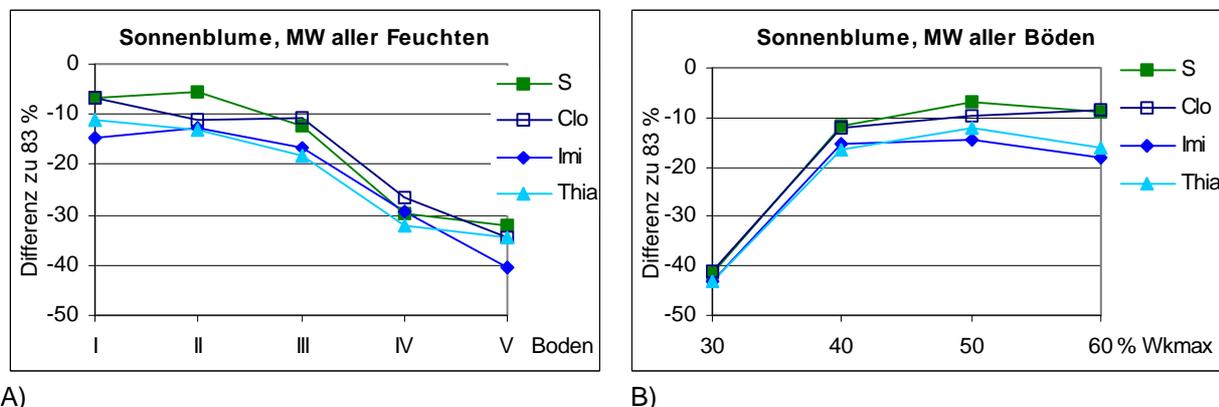
Der höchste, über alle Versuchstage gemittelte Auflaufwert betrug bei Mais im Boden II, dem Lehmigen Sand 87 %, bei 60 % Wkmax. Bei Sonnenblume wurde der höchste Auflaufwert im Boden II, dem Lehmigen Sand, bei 60 % Wkmax erreicht und liegt bei 83 %.

Aus der Differenz zwischen dem höchsten Wert des Standards und den Werten der Standards bei verschiedenen Böden sowie Feuchtigkeiten kann der Einfluss jedes dieser beiden Parameter abgeleitet werden (Abbildung 140 und Abbildung 141).



**Abbildung 142.** Mais, Differenzen der Auflaufwerte der Chloronicotinylen zum höchsten erreichten Auflaufwert von 87 %.

A) Mittelwerte aller Feuchten, B) Mittelwerte aller Böden

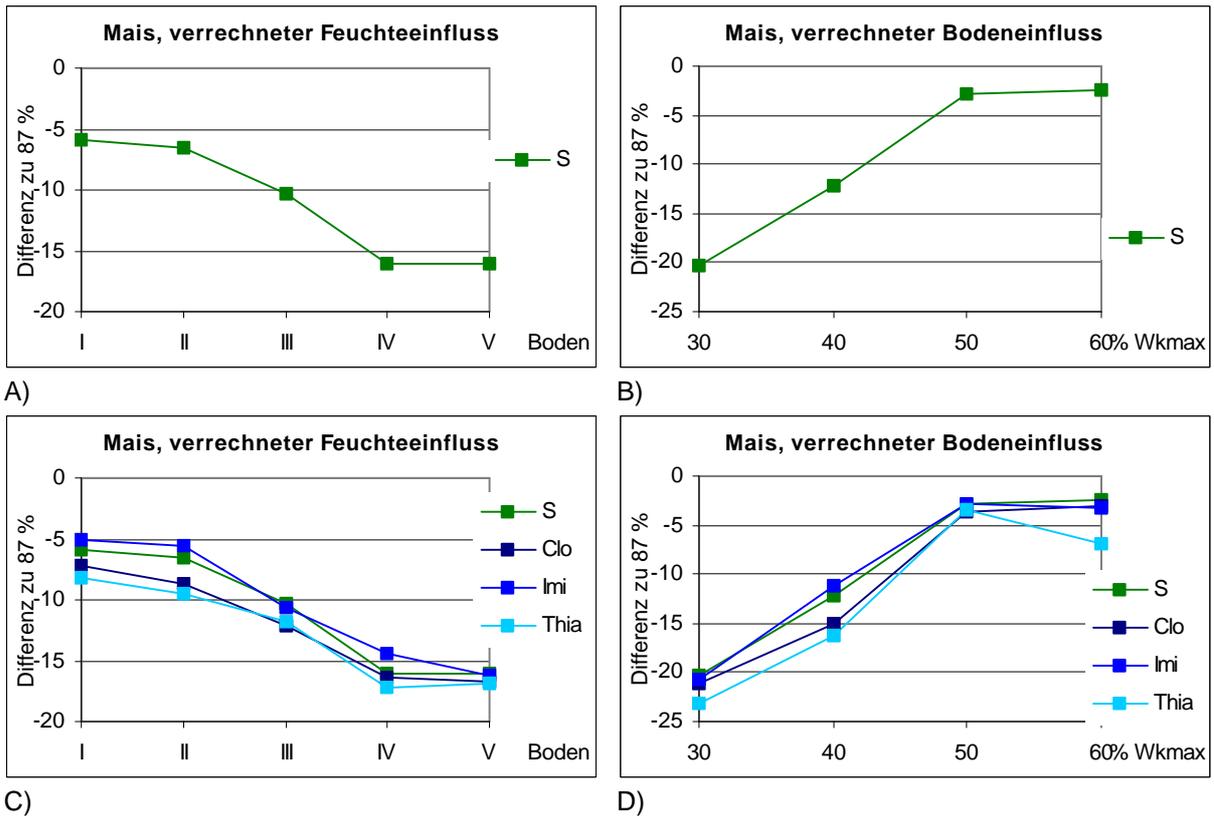


**Abbildung 143.** Sonnenblume, Differenzen der Auflaufwerte der Chloronicotinylen zum höchsten erreichten Auflaufwert von 83 %.

A) Mittelwerte aller Feuchten, B) Mittelwerte aller Böden

Sowohl die Ergebnisse bei Behandlung mit Insektiziden (Abbildung 142 und Abbildung 143), als auch der Standard alleine (Abbildung 140 und Abbildung 141) zeigen bei Mais und bei Sonnenblume eine gleichgerichtete Abhängigkeit von der Bodenart und von der Bodenfeuchtigkeit. Bei trockenen Bedingungen und dort insbesondere bei schweren Böden werden die Einflüsse der Wirkstoffe stark von externen Faktoren überformt.

Sollen allein die Einflüsse der Wirkstoffe betrachtet werden, so müssen Versuchsbedingungen ohne Extreme wie in den Böden I, II und III und mit Wasserkapazitäten zwischen 40 % und 50 % gewählt werden (Abbildung 144 und Abbildung 145).



**Abbildung 144.** Mais, Differenz der über alle Versuchstage gemittelten Auflaufraten zu dem maximal erzielten Auflaufwert von 87 %.  
 A) und B) Standard, C) und D) alle Behandlungen, A) und C) Mittelwerte der Ergebnisse bei 40 % und 50 %, B) und D) Mittelwerte der Ergebnisse der Böden I, II und III (B)

Für die Beurteilung des Einflusses von Bodenart und Feuchtigkeitsgehalt wurden daher die Ergebnisse der Böden I, II und III sowie der Feuchtigkeitsgehalte 40 % und 50 % gemittelt. Auch unter Ausschluss der Extrembedingungen zeigt sich, anhand der Ergebnisse des Standards für den Mais ein abnehmender Einfluss der Feuchtigkeit von 30 % zu 60 % Wkmax und ein zunehmender Einfluss des Substrats von Boden I zum Boden V.

Zu den beiden Einflussfaktoren der Pflanzenverfügbarkeit, Boden und Feuchte, kommen nun bei Mais wie auch bei Sonnenblume die speziellen physikalischen und chemischen Eigenschaften der Wirkstoffe hinzu. Alle diese Faktoren treten wie oben dargestellt zusätzlich in Wechselwirkung miteinander, sodass ein komplexes Wirkungsgefüge entsteht.

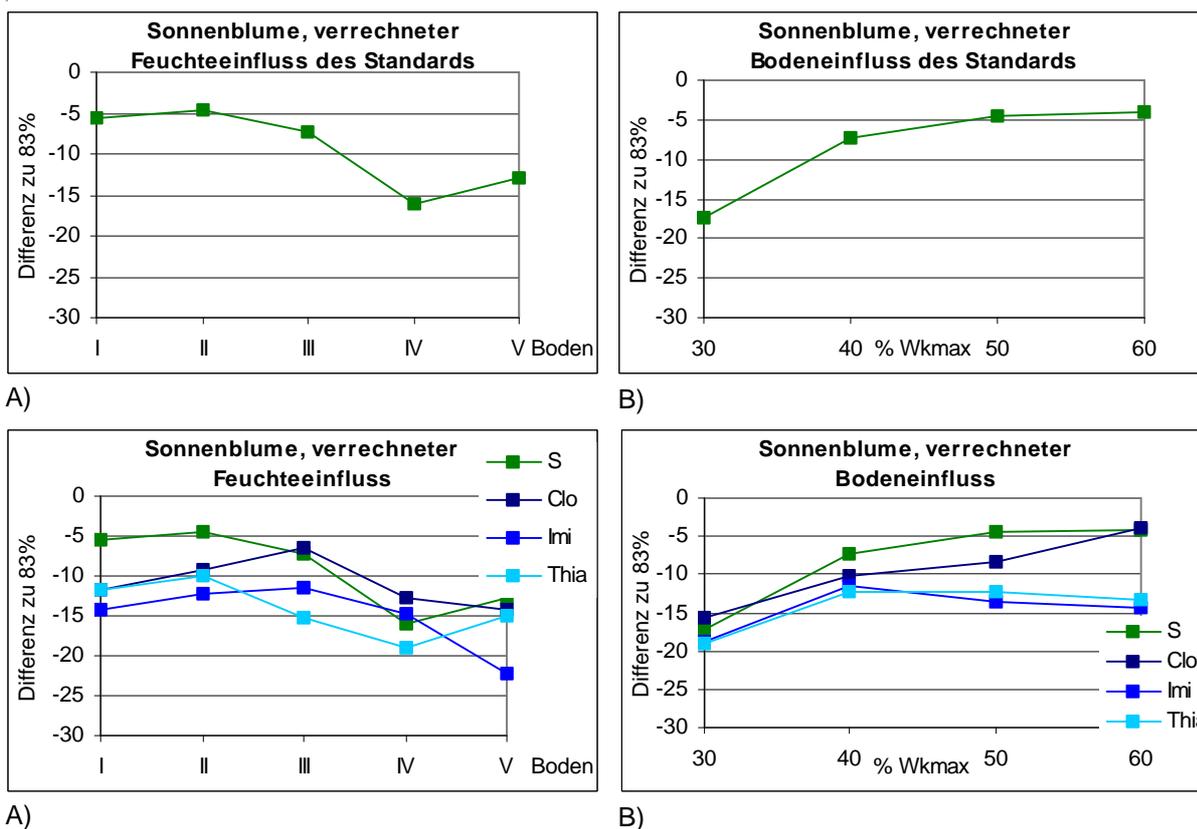


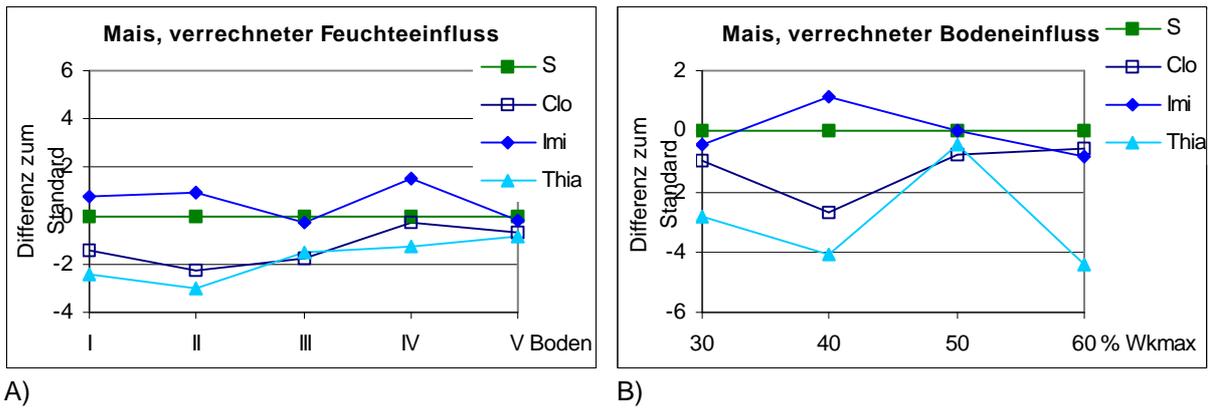
Abbildung 145. Sonnenblume, Differenz der über alle Versuchstage gemittelten Auflafraten zu dem maximal erzielten Auflaufwert von 83 %.  
 A) und B) Standard, C) und D) alle Behandlungen, A) und C) Mittelwerte der Ergebnisse bei 40 % und 50 %, B) und D) Mittelwerte der Ergebnisse der Böden I, II und III (B)

#### 4.5.2 Chloronicotinyle in verschiedenen Böden und Feuchten

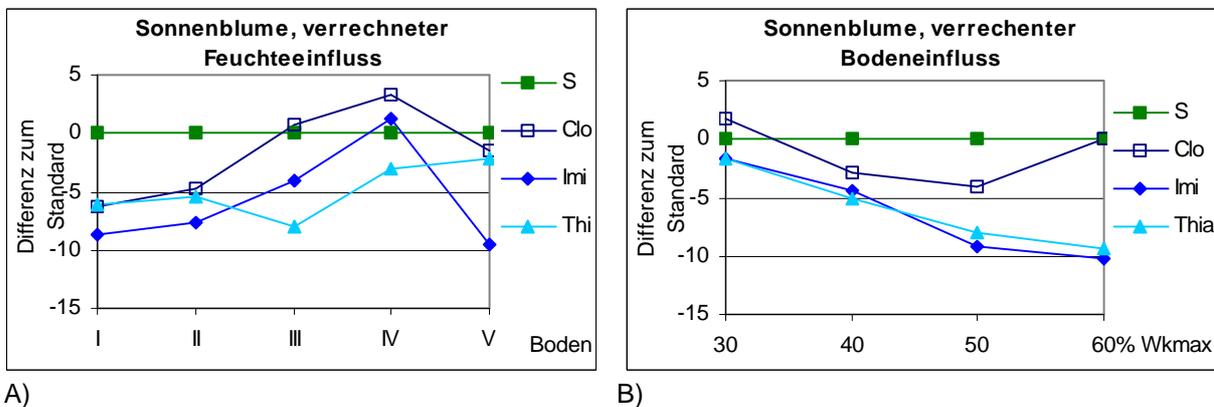
Um den Einfluss der drei Insektizide in den fünf Böden unabhängig von der Feuchtigkeit darzustellen wird die Differenz zwischen dem höchsten Wert des Standards und allen weiteren Behandlungen bei den unterschiedlichen Bedingungen gebildet (Abbildung 146 A und Abbildung 147 A).

Wird dagegen der Mittelwert der Ergebnisse der Böden I, II und III verwendet, so lässt sich der Einfluss der Insektizide bei den verschiedenen Feuchtigkeitsgehalten, unabhängig vom Bodeneinfluss erkennen (Abbildung 146 B und Abbildung 147 B).

Werden dabei die extremen Böden und Feuchten ausgeschlossen, so finden sich mittlere Bereiche, in denen der reine Wirkstoffeinfluss unter den spezifischen Bedingungen geprüft und erfasst werden kann, zum Beispiel Boden II, bei 50 % Wkmax.



**Abbildung 146.** Mais, Einfluss der Chloronicotinyle auf den Auflauf.  
 A) in den fünf Böden als Mittelwert der Feuchtigkeiten 40 % und 50 % Wkmax,  
 B) bei unterschiedlichen Feuchtigkeitsgehalten als Mittelwert der Ergebnisse der Böden I, II, III; Werte der Behandlungen abzüglich des Standards, nach Bildung der Differenzen zu 87 %



**Abbildung 147.** Sonnenblume, Verrechnete Ergebnisse der Chloronicotinyle zur Differenz des Standards von 83 %.  
 A) Mittelwerte von 40 % und 50 % Wkmax, B) Mittelwerte der Böden I, II und III

So lässt sich erkennen, dass der Einfluss der Chloronicotinyle auf das Auflaufverhalten zum einen mit zunehmendem Lehm- und Tongehalt der Böden abnimmt, zum anderen mit zunehmender Feuchtigkeit des Substrates bei Mais ab-, aber bei Sonnenblume zunimmt. Nach einer Verrechnung der Einflüsse von Boden und Feuchtigkeit weist Imidacloprid bei Mais stets den geringsten Einfluss auf das Auflaufverhalten auf, gefolgt von Clothianidin und Thiamethoxam. Aus Abbildung 146 sowie Abbildung 147 geht hervor wie gering die Abstände zwischen den Wirkstoffen sind. Für Sonnenblume lassen sich bei 30 % Wkmax die Insektizidbehandlungen kaum vom Standard unterscheiden. Mit steigendem Feuchtigkeitsgehalt lässt sich, unabhängig vom Bodeneinfluss, bei den besser wasserlöslichen Wirkstoffen Imidacloprid und Thiamethoxam ein stetig zunehmender Effekt in der Verzögerung des Auflaufs erkennen, während Clothianidin seine stärkste Wirkung bei 50 % aufweist.

So beruht auch hier, wie bereits bei Imidacloprid vorgestellt, die Wirkung einer Insektizidbehandlung im Erdtest auf dem Einfluss und der Wechselwirkungen der drei Parameter Bodenart, Bodenfeuchtigkeit, Stoffeigenschaften. Dabei ist die Abhängigkeit der Insektizidwirkung vom Feuchtigkeitsgehalt bei Mais bei 50 % Wkmax, bei Sonnenblume bei 30 % Wkmax am geringsten.

Die auffällig deutlichere auflaufverzögernde Wirkung des Imidacloprid bei der Sonnenblume weist darauf hin, dass auch artspezifische Abhängigkeiten gegenüber Wirkstoffen zu berücksichtigen sind. Laurent und Rathaho (2003) erklären eine hohe Wirkstoffkonzentration in den Kotyledonen von Imidacloprid behandelten Sonnenblumenachsen durch die Wirkstoffabsorption über die Kutikula während des Auflaufens. Zu vermuten sind hier eine Wirkstoffaufnahme wie sie an der Baumwolle nachgewiesen wurde (Tröltzsch et al., 1994). Da hier zwei vergleichbare Samentypen vorliegen, bei denen, im Gegensatz zu Mais, die Quellung über den gesamten Embryo erfolgt, ohne dass ein pufferndes Endosperm vorliegt, ist eine größere Wirkstoffzufuhr des relativ membrangängigen Imidacloprid anzunehmen.

So lässt sich zwar ein quantitativer aber kein grundsätzlicher Unterschied zwischen diesen monokotylen und dikotylen Pflanzen in ihrer Reaktion auf eine Saatgutbehandlung mit den Insektiziden erkennen. Beide Klassen weisen vergleichbare Entwicklungsrhythmen und Einflussfaktoren auf, dennoch ist bei der Sonnenblume eine artspezifisch höhere Sensitivität festzustellen ist.

Der weniger wasserlösliche Wirkstoff Clothianidin entfaltet, ebenso wie Imidacloprid und Thiamethoxam seinen stärksten Einfluss bei Mais bei 40 %  $W_{kmax}$  und bei Sonnenblume bei 60 %  $W_{kmax}$ . Hier ist die größte Menge an Wirkstoff pflanzenverfügbar.

Die berechneten Differenzen zwischen den Wirkstoffen sind sehr gering (Abbildung 146 und Abbildung 147). Der schwächste Einfluss der Insektizidbehandlungen ist bei den beiden schweren Böden Toniger Lehm und Lehmgiger Ton bei Mais in den feuchteren Versuchsvarianten bei der Sonnenblume unter trockeneren Bedingungen zu erkennen.

Eine vergleichende Betrachtung von Mais und Sonnenblume zeigt bei ersterem eine differenzierte Einflussnahme der drei Chloronicotinyne auf das Wachstum von Spross und Keimwurzel. Dabei hat das am wenigsten wasserlösliche Clothianidin nahezu keinen Einfluss, das besser wasserlösliche Imidacloprid verringert das Längenwachstum, wobei die Keimwurzel deutlich stärker beeinträchtigt wird als der Spross, sodass sich das Längenverhältnis der beiden Organe zueinander verändert. Thiamethoxam hat die beste Wasserlöslichkeit und übt auf Spross und Wurzel einen gleichstarken Effekt aus, weshalb das Längenverhältnis der beiden Pflanzenorgane unverändert bleibt.

Dieses Verhalten bei Mais weist darauf hin, dass die drei Chloronicotinyne, trotz ihrer chemisch nahen Verwandtschaft, unterschiedliche Wirkungen im Pflanzenstoffwechsel ausüben.

Grundsätzlich decken die drei Wirkstoffe ein vergleichbares Erregerspektrum im Mais und in der Zuckerrübe ab, ihr unterschiedliches intrinsisches Verhalten bewirkt jedoch eine zusätzliche Spezifizierung auf bestimmte Schaderreger.

So zeichnet sich Clothianidin neben seiner Wirksamkeit im Mais durch gute Wirksamkeit gegen die Schadorganismen der Zuckerrübe aus. Vergleichbares wird für Thiamethoxam von Meredith und Morris (2003) berichtet. So stehen mit Clothianidin und Thiamethoxam auch im Zuckerrübenbau zwei weitere bestens geeignete Wirkstoffe aus der Gruppe der Chloronicotinyne (Dewar et al., 2003) zur Verfügung.

Der Vergleich der Pflanzenverträglichkeit von Clothianidin, Imidacloprid und Thiamethoxam nach Saatgutbehandlung belegt am Beispiel von Mais und Sonnenblume, dass sich Wirkstoffe mit moderater Wasserlöslichkeit und Lipophilie wie Clothianidin und Imidacloprid bei beiden

Arten deutlich günstiger und unter den verschiedenen Keimungsbedingungen konstanter verhalten als Wirkstoffe mit extremen Eigenschaften wie Thiamethoxam.

Insgesamt kann, wie bereits bei Imidacloprid vorgestellt, auch für die beiden anderen Chloronicotinyne festgestellt werden, dass unter „normalen“ Feldbedingungen kein negativer Einfluss auf den Auflauf von Mais und Sonnenblume zu erwarten ist.

#### 4.5.2.1 **Statistische Auswertung der Wirkung der Chloronicotinyne sowie des Boden- und Feuchtigkeitseinflusses bei Mais**

Um die Signifikanz der Versuchsergebnisse zu bestimmen, wurden die Ergebniswerte mit Hilfe der Arcus-Sinus Funktion transformiert und in einer multifaktoriellen Varianzanalyse bei einem Signifikanzniveau von  $\alpha = 0,05$  mit dem Programm SAS (Dufner et al., 2002) verrechnet. Die Resultate in Tabelle 74 und Tabelle 75 lassen Folgendes erkennen:

Pr > F								R <sup>2</sup>	LSD
Tag	Boden	Behandlung	Boden, Behandlung	Feuchte	Boden Feuchte	Behandlung Feuchte	Boden, Behandlung Feuchte		
3	<0,0001*	0,0308*	0,6701	<0,0001*	<0,0001*	0,0004*	0,8416	0,933	1,99
4	<0,0001*	<0,0001*	0,7846	<0,0001*	<0,0001*	0,0130*	0,0092*	0,984	2,44
5	<0,0001*	0,0406*	0,8976	<0,0001*	<0,0001*	0,7741	0,4922	0,969	2,03
6	<0,0001*	0,5501*	0,9399	<0,0001*	<0,0001*	0,8956	0,4323	0,951	1,76
7	<0,0001*	0,7202	0,8690	<0,0001*	<0,0001*	0,6871	0,4753	0,934	1,55
10	<0,0001*	0,0928	0,4548	<0,0001*	<0,0001*	0,1521	0,4451	0,943	1,54

**Tabelle 74.** Prüfwerte aus der multifaktoriellen Varianzanalyse der Auflaufergebnisse von Mais (Pr > F), behandelt mit drei Insektiziden, in verschiedenen Böden bei unterschiedlichen Feuchtigkeiten bei einem Signifikanzniveau von  $\alpha = 0,05$ .

Mit \* gekennzeichnete Werte zeigen einen signifikanten Einfluss des Versuchsparameters an den Tagen an. Das Bestimmtheitsmaß R<sup>2</sup> gibt den prozentualen Anteil der Variabilität an, der durch die Regressionsgleichung erklärt werden kann. LSD = Least significant difference.

An allen Versuchstagen ist ein signifikanter Einfluss durch den Boden, den Feuchtigkeitsgehalt, sowie eine wechselseitige Beeinflussung dieser beiden Versuchsparameter zu erkennen. Dagegen ist der Einfluss der Saatgutbehandlung auf die ersten Auflauftage beschränkt. Während kein gesicherter wechselseitiger Einfluss von Boden und Saatgutbehandlung vorhanden ist, kann eine signifikante Wechselwirkung des Einflusses der Saatgutbehandlung mit dem der Feuchtigkeit am 3. und 4. Tag festgestellt werden. Insbesondere ist ausschließlich am 4. Tag ein komplexer, wechselseitiger Einfluss der drei Versuchsparameter Boden, Feuchtigkeit und Saatgutbehandlung festzustellen.

Die Daten sind an allen Tagen mit einem Bestimmtheitsmaß (R<sup>2</sup>) größer gleich 0,933 klar gesichert.

Die Signifikanz der Unterscheidung der Wirkung der drei Chloronicotinyne untereinander sowie im Vergleich zum Standard wurde mit Hilfe des t-Tests überprüft.

In der Wirkung der drei Insektizide waren vom 3. bis zum 5. Versuchstag signifikante Unterschiede festzustellen. Im t-Test erwiesen sich am 3. Tag die Unterschiede zwischen

Standard und den drei Insektiziden als nicht signifikant. Dagegen unterschied sich die Wirkung von Thiamethoxam von der des Imidacloprid und des Clothianidin signifikant, während sich die beiden letztgenannten wiederum nicht unterscheiden (Tabelle 75).

Behandlung	3. Tag	4. Tag	5. Tag	6. Tag	7. Tag	10. Tag
Standard	AB	A	A	A	A	A
Clothianidin	A	A	A	A	A	B
Imidacloprid	A	B	AB	A	A	B
Thiamethoxam	B	C	B	A	A	A

**Tabelle 75.** Vergleich der Wirkung der Insektizide untereinander sowie mit dem Standard (t-Test). Verschiedene Buchstaben bedeuten signifikante Unterschiede zwischen den beiden Behandlungen, gleiche Buchstaben bedeuten keine statistisch gesicherten Unterschiede. So unterscheiden sich am 3. Tag weder Clothianidin (A) und Thiamethoxam (B) vom Standard (AB), jedoch unterscheidet sich Clothianidin (A) von Thiamethoxam (B)

Am 4. Tag waren signifikante Unterschiede sowohl zwischen den beiden gut wasserlöslichen Insektiziden Thiamethoxam und Imidacloprid als auch vom Standard und von Clothianidin festzustellen. Clothianidin unterschied sich dagegen nicht vom Standard. Am 5. Versuchstag differenzierte sich nur noch Thiamethoxam vom Standard und von Clothianidin, während Imidacloprid sich weder vom Standard noch von den beiden anderen Insektiziden unterschied. An den beiden folgenden Tagen war keinerlei Unterschied der Wirkung der drei Chloronicotinyne zu erkennen, sie verhielten sich wie der Standard. Zu Versuchsabschluss waren erneut signifikante Unterschiede erkennbar, indem sich die beiden weniger wasserlöslichen Insektizide Clothianidin und Imidacloprid als signifikant verschieden vom Standard und von Thiamethoxam erwiesen. Bei den Paaren Clothianidin und Imidacloprid sowie Standard und Thiamethoxam war die Differenzierung nicht statistisch gesichert (Tabelle 75).

Die Tatsache, dass der am besten wasserlösliche Wirkstoff Thiamethoxam eine deutliche signifikante Wirkung zeigt und diese zu den weniger Wasserlöslichen hin abnimmt, verdeutlicht den Einfluss der Wasserlöslichkeit der Wirkstoffe auf die Intensität der Wirkung bei Mais.

#### **4.5.3 Zusammenfassende Darstellung der Wirkung von sieben Insektiziden aus unterschiedlichen Stoffklassen bei den Kulturarten Mais, Sonnenblume, Zuckerrübe und Baumwolle**

Wesentliche Voraussetzung für die Aufnahme von Wirkstoffen ist ihre Verfügbarkeit über das Bodenwasser. Diese hängt wesentlich von der Wasserlöslichkeit, der Adsorptionsfähigkeit der Bodenpartikel, dem Gasdruck und der Biodegradierung ab. Mit zunehmender Löslichkeit desorbiert ein Stoff zunehmend von den Bodenkolloiden in das Bodenwasser (Bailey und Kapusta, 1994).

Es konnte gezeigt werden, dass, im Vergleich zu einer Imidacloprid Behandlung, das mit Acephate, Tefluthrin und Carbofuran behandelte Maissaatgut bereits am dritten Tag nach der Aussaat eine deutlich höhere Auflauftrate erreicht; Fipronil behandeltes Saatgut war in seinem Auflauf dagegen leicht verzögert. Eine Beziehung zwischen Auflauftrate und den physikalisch-chemischen Eigenschaften, wie der Wasserlöslichkeit bzw. Lipophilie und den sich daraus ergebenden systemischen Eigenschaften kann an Hand dieser Ergebnisse nicht klar abgeleitet werden.

Vergleichende Untersuchungen der Auflauftrate, der Länge von Hypokotyl und Wurzel sowie der Frischmasse von Zuckerrüben zeigen bei Behandlung mit den Insektiziden Acephate, Carbofuran, Imidacloprid, Fipronil und Tefluthrin, die verschiedenen Stoffklassen zugehören, unterschiedliche Reaktionen, die zumeist als Wachstums- und Entwicklungsverzögerungen erkennbar sind (1.1.1.1). Bei der Zuckerrübe ist also ein Trend erkennbar, indem bei den gut wasserlöslichen Wirkstoffen Acephate, Imidacloprid, Carbofuran im Vergleich zu den wenig löslichen Fipronil und Tefluthrin stets eine stärkere Wirkintensität festzustellen ist. Die Aufnahme der Wirkstoffe wird also auch hier vom pflanzenverfügbaren Wasser beeinflusst und es zeigt sich, dass die Wirkstoffverfügbarkeit in der Pflanze auch bei der Zuckerrübe darüber entscheidet, ob ein Effekt durch die Insektizide auftritt oder nicht. Darüber hinaus kann eine mit steigender Konzentration stärkere Wirkung festgestellt werden.

Bei keiner der Behandlungen mit den 5 Wirkstoffen traten Anomalien der Wurzeln auf, obwohl dies eine bekannte Reaktion von Keimlingen auf phytotoxisch wirkende Substanzen ist.

### **4.5.3.1 Kurzzeitigkeit der insektiziden Einflüsse**

Es konnte festgestellt werden, dass die Wirkung des Imidacloprids kulturart- und applikationsbedingt zumeist von eintägiger Dauer ist und andernfalls innerhalb weniger Tage wieder ausgeglichen wird. Dieses Verhalten ist in verschiedenen Ursachen begründet. Die quellenden und keimenden Samen stehen in intensivem Oberflächenkontakt mit den Wirkstoffen und nehmen diese unmittelbar nach der Keimung in Abhängigkeit von deren physikalisch-chemischen Eigenschaften in hoher Konzentration auf.

Durch das Wachstum der Pflanzen sinkt ebenso wie durch metabolische Prozesse die Konzentration von Fremdschubstanzen im Kormus ab (Baeder-Bederksi-Anteda, 2000). So beobachteten auch Rouchaud et al. (1994) eine stetige Abnahme der Imidacloprid Konzentration im Blatt von Zuckerrüben, die jedoch 80 Tage nach der Aussaat noch oberhalb von 1 mg/kg Frischmasse lag.

Die Halbwertszeit der untersuchten Wirkstoffe im Boden bleibt im Zeitrahmen der Untersuchungen von 10 Tagen ohne Einfluss. Häufig werden wasserlösliche Fremdschubstanzen in der Vakuole gespeichert und sind dadurch von den Orten der Stoffwechselaktivität abgeschirmt, sodass die Pflanze nicht weiter beeinflusst wird, aber dennoch gegen saugende und beißende Insekten umfassend geschützt ist (Ziegler, H. 1995).

### **4.5.3.2 Einfluss der Chloronicotinyne auf die Keimlingsentwicklung**

#### **• Imidacloprid**

Unter optimalen Bedingungen ließ sich bei Mais und Baumwolle keine Wirkung erkennen, während bei Sonnenblume und Zuckerrübe schwache, zeitlich begrenzte Einflüsse feststellbar waren. Unter suboptimalen Bedingungen sind bei Mais kurzzeitige Reaktionen am 4. Tag zu beobachten, die am folgenden Tag bereits wieder ausgeglichen sind, ein Verhalten, das so auch die Sonnenblume, allerdings etwas länger anhaltend und die Zuckerrübe langanhaltend zeigt, während es bei Baumwolle nur schwach aber doch anhaltend ist. In Abhängigkeit vom pflanzenverfügbaren Wasser nehmen die Reaktionen bei Mais und Baumwolle mit zunehmender Trockenheit, bei Sonnenblume und Zuckerrübe mit zunehmender Feuchte, zu.

Diese Ergebnisse stehen in Einklang mit den unterschiedlichen Feuchtigkeitsansprüchen der Arten, je sensitiver diese sind, umso rascher zeigen sie unter Stressbedingungen Reaktionen auf den Wirkstoff.

Wie die Wachstumsversuche bei Mais und Zuckerrübe gezeigt haben, ist das Wachstum der Wurzel eher und stärker beeinflusst als das des Sprosses. Über alle Versuche ließ sich erkennen, dass die Wirkung mit steigender Konzentration zunahm.

- **Clothianidin**

Beide Kulturarten, Mais und Sonnenblume ließen unter optimalen Bedingungen keinerlei und unter suboptimalen Bedingungen nur einen sehr geringen bis geringen Einfluss erkennen, dessen Stärke bei Mais mit zunehmender Trockenheit zunahm und bei Sonnenblume nur bei mittleren Feuchten überhaupt nachweisbar war.

Messungen der Organlängen zeigten keine differenzierenden Werte zwischen Spross und Wurzel. Das Verhalten steht in Einklang mit der geringen Wasserlöslichkeit des Clothianidins, die eine geringe Wirkstoffkonzentration im aufgenommenen Wasser bedingt und selbst bei guter Systemizität des Wirkstoffes keine starke Anreicherung in der Pflanze erwarten lässt. Dennoch ließ sich eine Konzentrationsabhängigkeit erkennen.

- **Thiamethoxam**

Während sich auch hier unter optimalen Bedingungen bei Mais und Sonnenblume kein Einfluss zeigte, war ein solcher unter suboptimalen Bedingungen deutlich.

In seiner Ausprägung ist er bei Mais auf den 4. Tag beschränkt und bei Sonnenblume am 4. Tag sichtbar, um sich dann langsam abzuschwächen. Der Einfluss nahm bei Mais mit zunehmender Substrattrockenheit und bei Sonnenblume mit zunehmender Substratfeuchte zu. Die Längenmessungen ergaben keine gleichstarke Wachstumsreduktion für Wurzel und Spross. Aus dieser Andersartigkeit gegenüber Imidacloprid wird auf einen grundsätzlich anderen Wirkmechanismus geschlossen. Im Vergleich mit den beiden anderen Chloronicotinylen zeigt das am besten wasserlösliche Thiamethoxam die deutlichsten Wirkeffekte, die sich auch hier mit steigender Konzentration verstärken.

#### **4.5.3.3 Einfluss der Wirkstoffe aus weiteren Stoffklassen auf die Keimlingsentwicklung**

Die folgenden vier Wirkstoffe sind zwar im Einsatz zur Schädlingsbekämpfung derzeit von geringerer praktischer Bedeutung als die Chloronicotinyne, doch sollten durch ihre Untersuchung insbesondere Zusammenhängen der Beeinflussung der Keimlingsentwicklung mit den spezifischen Wirkstoffeigenschaften wie Hydrophilie und Lipophilie nachgegangen werden. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse sollten es ermöglichen, das Verhalten von weiteren Wirkstoffen mit bekannten physikalisch-chemischen Eigenschaften abzuschätzen.

- **Acephate**

Unter suboptimalen Bedingungen waren bei Mais in allen Konzentrationen leichte Auflaufverzögerungen erkennbar, die am 4. Tag ihre deutlichste Ausprägung zeigten und nur bei höheren Konzentrationen länger als einen Tag anhielten. Während das Wurzelwachstum kaum beeinflusst war, zeigte der Spross mit steigender Konzentration ein abnehmendes Längenwachstum. Die Zuckerrübe reagierte auf die Behandlung in allen Konzentrationen sehr schwach, allerdings in den höchsten Konzentrationen länger anhaltend bis zum 10. Tag. Hier

ließ sich in den Längenmessungen ein geringfügiger Einfluss auf das Wurzelwachstum erkennen, während das Hypokotyl unbeeinflusst war.

- **Carbofuran**

Carbofuran bewirkte bei Mais in allen Konzentrationen eine Auflaufverzögerung, die am 4. Tag beginnend, sich bis zum 6. Tag und bei hohen Konzentrationen bis zum 10. Tag auswirkte. Das Wurzelwachstum, in Faltenfiltern gemessen, war hiervon nicht berührt, das Sprosswachstum nahm mit zunehmender Konzentration zu. Bei der Zuckerrübe ließ sich insgesamt kein Einfluss auf den Auflauf erkennen. Das Wurzelwachstum war nur bei der höchsten Konzentration und das Sprosswachstum überhaupt nicht betroffen. Die Frischmasse der Keimpflanzen nahm allerdings mit zunehmender Konzentration ab.

- **Fipronil**

Fipronil bewirkte bei Mais in allen Konzentrationen eine Auflaufverzögerung, die am 4. Tag beginnend erst am 6. Tag aufgeholt war. Die Beobachtung des Längenwachstums ergab bei der höheren Konzentration eine Förderung der Wurzelentwicklung, zeigte aber keinen Einfluss auf die Sprossentwicklung. Die Zuckerrübe ließ bei der höchsten Konzentration einen deutlichen, langanhaltenden Einfluss erkennen, sodass der vollständige Auflauf erst am 10. Tag erreicht war. Demgegenüber ließen die Längenmessungen weder bei der Wurzel noch beim Hypokotyl einen Einfluss erkennen, auch die Frischmasse zeigte nur in der höchsten Wirkstoffkonzentration geringere Werte.

- **Tefluthrin**

Hier war der Auflauf bei Mais in allen Konzentrationen nur geringfügig verzögert und bereits am nächsten Tag wieder aufgeholt. Die Messungen von Spross- und Wurzellänge ergaben über alle Konzentrationen eine leichte Förderung. Bei der Zuckerrübe war der Auflauf in allen Konzentrationen, am stärksten bei den Niedrigen, gefördert. Messbare Unterschiede konnten im Spross- und Wurzelwachstum nicht festgestellt werden, wohl aber bei der Frischmasse, die bei den höheren Konzentrationen größer war.

#### **4.5.4 *Zusammenhang von Stoffeigenschaften und Einfluss auf die Keimlingsentwicklung***

Eine vergleichende Betrachtung der Auswirkung verschiedener Insektizide auf die Keimlingsentwicklung liegt nahe. Zur Beantwortung der Frage nach wirkstoffabhängiger Keimung und Entwicklung wurden unabhängig von ihrer praktischen Relevanz Insektizide aus möglichst verschiedenen Stoffklassen herangezogen.

Dabei gilt es jedoch zu bedenken, dass die physiologische Wirkung der Insektizide auf das Pflanzenwachstum keineswegs bekannt ist, da die obligatorischen Phytotoxizitätsprüfungen generell nur den Einfluss auf die Pflanze beobachten und in Relation zur sanierenden Wirkung unter Schädlingsbefall einstufen. Es ist anzunehmen, dass die Wirkstoffe aus den verschiedenen Stoffklassen fallweise an unterschiedlichen Stellen im pflanzlichen Metabolismus eingreifen.

Die Untersuchungsergebnisse lassen denn auch keine eindeutige Korrelation in der Reihenfolge der Wasserlöslichkeit mit der Wirkintensität erkennen. Es werden jedoch über die physikalisch-chemischen Eigenschaften der Wirkstoffe hinaus wirkstofftypische Reaktionen in der Pflanze ausgelöst, deren Stärke wiederum von ihrem Lösungsverhalten in

der Zelle, sei es in der Vakuole oder dem Cytosol, beeinflusst wird. Die Konzentration am Wirkort ist durch externe und interne Verhältnisse geprägt, sodass sich Effekte stoffspezifisch nur unter Berücksichtigung der Gesamtsituation abschätzen lassen.

Dementsprechend beeinflussen die Samenart sowie der Keimungstyp - hypogäisch bei Mais und epigäisch bei Sonnenblume - und insbesondere die Wuchsbedingungen, die sich aus Substrat, Feuchtigkeitsgehalt und Temperatur ergeben, die Wirkung von Insektiziden auf die Keimpflanzenentwicklung. Mit Hilfe des hier entwickelten Testsystems gelang es die gegenseitige Abhängigkeit der einzelnen Parameter zu erkennen, wodurch erstmals Voraussagemöglichkeiten für den Einfluss von Insektiziden bei weiteren Kulturarten gegeben sind.

Ein Vergleich der Reaktionen der sieben verschiedenenartigen Insektizide bei den geprüften Kulturarten über alle Versuche ließ die deutlichsten Wirkeffekte bei Thiamethoxam erkennen. Sie nahmen in der Reihenfolge Imidacloprid, Acephate, Clothianidin, Carbofuran und Fipronil ab, Tefluthrin zeigte den geringsten Einfluss.

Wirkintensität:	Thia > Imi > Ac > Clo > C > Fip > Tef
Wasserlöslichkeit:	Ac > Thia > Imi > C ≥ Clo > Fip > Tef
Membrangängigkeit:	C > Clo > Imi > Fip > Ac > Thia > Tef

**Tabelle 76.** Einstufung der Insektizide nach den Ergebnissen aller Versuche.

Für die Insektizide ergibt sich aufgrund der Differenz der log P<sub>OW</sub> Werte zum Optimalwert 2, die Reihung für eine abnehmende Membrangängigkeit von Carbofuran bis zu Tefluthrin (Abbildung 135).

Grundsätzlich werden bei den Wirkstoffen mit höherer Wasserlöslichkeit Acephate, Imidacloprid und Thiamethoxam die stärksten Wirkeffekte erkennbar. Andererseits rufen die gleichzeitig am wenigsten wasserlöslichen und systemischen Stoffe Fipronil und Tefluthrin die schwächsten pflanzlichen Reaktionen hervor, während sich Clothianidin und Carbofuran entsprechend ihren physikalischen Eigenschaften im mittleren Feld befinden. Die Wasserlöslichkeit bestimmt also das Ausmaß einer Reaktion der Pflanzen entscheidend, während die Systemizität als weiterer Faktor eine wesentliche Rolle spielt. Darüber hinaus wird stets die physiologische Wirkung sowie die Geschwindigkeit des Metabolismus und die Aktivität der Metaboliten in der Pflanze die Art und Stärke der Reaktion einer Keimpflanze auf die Behandlung beeinflussen. Diese vielfältigen Verknüpfungen lassen die Schwierigkeiten einer Vorhersage der potentiellen Wirkung von Präparaten allein aufgrund ihrer physikalisch-chemischen Eigenschaften klar erkennen.

Die Stärke der Interaktionen ist bei allen Wirkstoffen dosisabhängig, wobei eindeutige Differenzierungen erst ab der doppelten praxisüblichen Aufwandmenge auftreten. Dabei zeigen die verschiedenen Kulturpflanzen unterschiedliche Empfindlichkeiten, wobei Mais als robuste Art einzustufen ist, gefolgt von Sonnenblume, Zuckerrübe und Baumwolle.

Die Komplexität des Zusammenwirkens der physikalisch-chemischen Eigenschaften des Wirkstoffes und der Wechselwirkungen desselben mit den Boden- und Feuchtigkeitsbedingungen sind unter Feldbedingungen nicht durchschaubar und erst durch die Anwendung des hier entwickelten Standardtests in ihren Details erkennbar. Das Testsystem ermöglicht eine Pflanzenverträglichkeitsprüfung von Saatgutbeizmitteln bei Einzelwirkstoffen ebenso wie den Vergleich verschiedener Präparate bereits im Keimlingsstadium und kann somit Feldversuche sinnvoll ergänzen oder teilweise ersetzen. Der Test kann

darüber hinaus eine grobe Abschätzung der Wirkung des Pflanzenschutzmittels auf die auflaufende Saat im Feld geben, er erlaubt jedoch nicht eine Voraussage des Feldaufganges. Entsprechend der Zielsetzung der Arbeit sind durch das weitgespannte Versuchsnetz grundsätzliche Zusammenhänge erkannt worden. Es bleibt weiteren Studien überlassen, auf diesen aufbauend in detaillierten Versuchsserien mit statistischen Daten das Ausmaß der jeweiligen Einflussgrößen exakt zu erfassen.



### 5 Zusammenfassung

Zum Schutz der auflaufenden Saat und des jungen Pflanzenbestandes vor tierischen Schad-erregern werden Insektizide als Beizmittel eingesetzt. Im Rahmen der Wirksamkeitsprüfung von Pflanzenschutzmitteln wird bei der Entwicklung auch das phytotoxische Potential geprüft, bevor sie zur Anwendung zugelassen werden. Bisher wurde jedoch die Wirkung solcher Stoffe auf die frühe Keimlingsentwicklung nicht systematisch beobachtet. So fehlen detaillierte Kenntnisse über die morphologischen Reaktionen der Keimpflanzen und deren physiologische Ursachen.

Ebenfalls nicht bekannt ist, ob Zusammenhänge zwischen solchen Wirkstoffen und dem art- oder familientypischen Keimungstyp bestehen. Daher wurden die Wirkungen in einem breit gefächert angelegten Testsystem von sieben Insektiziden bei vier weltwirtschaftlich bedeutenden Kulturarten geprüft.

Vorrangiges Ziel war es dabei möglichst viele Faktoren auf ihren generellen und gegenseitigen Einfluss zu überprüfen, um die wesentlichen Zusammenhänge zu erkennen. Zur Entwicklung eines geeigneten Testsystems wurde das Chloronicotinyl Imidacloprid gewählt und aus der Reihe der Kulturpflanzen, Sonnenblume, Zuckerrübe, Baumwolle und als Modellpflanze der Mais. Beobachtet wurde die Entwicklung der ersten 10 Tage. Aus den verschiedenen Prüfverfahren der Keimfähigkeit und Triebkraft in den Medien Papier, Sand, Standardlaborerde wurde unter Berücksichtigung von Temperatur, Feuchtigkeit und Bodentypus ein Prüfsystem entwickelt, das bei leicht suboptimalen, standardisierten Bedingungen eine reproduzierbare Erfassung der Einflüsse von Wirkstoffen in Form eines Auflauftestes erlaubt.

Unter optimalen Keimungsbedingungen konnte keine Beeinträchtigung der Entwicklung durch Imidacloprid festgestellt werden.

Erst mit dem vorgestellten Testsystem wurde ein Einfluss des Imidacloprid mit Standardlaborerde und fünf weiteren landwirtschaftlich genutzten Bodenarten unter abgestuften Feuchtigkeitsbedingungen erkannt. Die festgestellten Wirkstoffeinflüsse traten zumeist am 4. Tag auf und waren stets von zeitlich begrenzter Dauer. Sie schwächten sich innerhalb weniger Tage deutlich ab sodass die Entwicklung behandelter Pflanzen zum Versuchsabschluss keinen Unterschied zum Standard mehr erkennen ließ.

Bei allen vier Kulturarten führte eine Wirkstoffbehandlung in den vier Stadien Quellung, lag-Phase, Keimung und Auflauf zunächst zu einer beschleunigten Quellung, die vor allem auf die physikalische Unterstützung der Wasserzufuhr an den ruhenden Samen zurückgeführt werden konnte. Hier erfolgt die Wirkstoffaufnahme über Diffusionsprozesse mit dem in den Samen einströmenden Wasser. So reichert sich, wie chemische Analysen ergaben, der Wirkstoff zunächst passiv im Embryo und wo vorhanden auch im Endosperm an.

Bereits hier werden die Zusammenhänge zwischen Wirkstoff, Bodenart und Bodenfeuchtigkeit erkennbar, die sowohl auf die Ausbildung eines Beizhofes als auch die Wirkstoffverfügbarkeit einen entscheidenden Einfluss ausüben.

Die zentrale Rolle des Beizhofes wird durch die physikalischen Eigenschaften des Wirkstoffes, die adsorptiven Eigenschaften und Feuchte des Bodens bestimmt, sodass bei gegebenem Wirkstoff mit zunehmender Feuchte ein größerer Beizhof entwickelt wird, in dem der Wirkstoff in vergleichsweise geringerer Konzentration vorliegt.

Beginnt nach der Keimung mit dem Austritt der Keimwurzel die aktive Wasseraufnahme, so erfolgt für einen begrenzten Zeitraum, solange der aktiv wasseraufnehmende Wurzelbereich

den Beizhof nicht verlassen hat, eine intensive Wirkstoffanreicherung in die junge Keimpflanze. Es konnte gezeigt werden, dass diese erhöhte Wirkstoffkonzentration das Zellstreckungswachstum kurzfristig hemmt und damit den Auflauf behandelter Samen im allgemeinen um einen Tag verzögert. Sobald die Keimwurzel aus dem Beizhof herausgewachsen ist, sinkt die Konzentration des Wirkstoffes in der Pflanze durch Aufnahme wirkstofffreien Wassers und es setzt gleichzeitig ein verstärktes Wachstum der Gesamtpflanze ein, sodass bereits am Tag danach die Auflaufwerte des Standards erreicht und oftmals sogar überschritten werden. So zeigt sich von der Quellung bis zum Versuchsende eine typische Wachstumskinetik, in der die Pflanze am 4. Tag die deutlichste Reaktion zeigt. Dabei ergab sich ein komplexes Zusammenspiel aller Einflussparameter in Abhängigkeit vom arttypischen Wachstumsverhalten. Eine erhöhte Wirkstoffkonzentration steigerte die Antwort der Pflanzen am 4. Tag, zeigte aber ansonsten keine abweichenden Reaktionen. Erst das nachfolgend angelegte Wurzelsystem führt der Pflanze erneut wieder Wirkstoff aus dem Beizhof zu. Mittlerweile ist diese jedoch ihrem sensiblen Keimlingsstadium entwachsen, sodass bei Gewährleistung der insektiziden Wirkung nach dem 4. Tag keine Beeinflussung des pflanzlichen Organismus mehr zu erwarten ist

Zu Versuchsende war in keinem Fall ein negativer Einfluss auf den Auflauf festzustellen. Dieses Verhalten zeigte sich bei allen untersuchten Arten, deren Sorten und Saatgutqualitäten. Auch traten in keinem Fall spezifische Reaktionen oder Anomalien auf, sondern es entwickelten sich die arttypischen Wurzel- und Sprosssysteme.

Die Parameter Bodenart und Feuchtigkeit sind für die Ausprägung der Wachstumsverzögerung am 4. Tag von größter Bedeutung, da sie die Wasserverfügbarkeit bestimmen. So nimmt ein Sandiger Lehm eine Mittelstellung zwischen Sandböden mit geringer Wasserhaltefähigkeit und Adsorptionsvermögen einerseits und Tonböden mit hoher Wasserkapazität und Adsorptionsfähigkeit andererseits ein. Es zeigte sich, dass ein Wassergehalt von 50 %  $W_{kmax}$  generell einen Optimalwert darstellt, bei dem kein Einfluss der Insektizide erkennbar wird, sodass für ein wirksames Testsystem leicht trockenere Versuchsbedingungen gewählt werden müssen.

Die Böden Sand, Lehmiger Sand, Sandiger Lehm, Toniger Lehm und Lehmiger Ton wurden bei  $W_{kmax}$  30 %, 40 %, 50 % und 60 % untersucht.

Da die Pflanzenverfügbarkeit des Wassers durch die strukturellen Eigenschaften des Bodens gesteuert wird, ist für jeden Boden ein anderer Feuchtigkeitsgehalt für das Pflanzenwachstum optimal. Die Pflanzenverfügbarkeit des Wassers ist zugleich mit der Wirkstoffverfügbarkeit und der Wirkstoffaufnahme gekoppelt. Zu beachten sind dabei auch artspezifische Eigenheiten. So entwickelt sich der Mais in allen Böden bei höherer Feuchte am besten, die Sonnenblume bei mittlerer und die Zuckerrübe bei geringer Feuchte.

Ein Vergleich der Böden unterschiedlicher Feuchte lässt grundsätzlich eine stärkere Wachstumsbeeinflussung zur trockenen Seite hin erkennen.

In den Wirkstoffversuchen zeigt sich mit zunehmendem Stress ein stärkerer Einfluss am 4. Tag. Dabei verschiebt sich, entsprechend den Optimumkurven der Böden bezüglich des pflanzenverfügbaren Wassers, das Maximum von 40 %  $W_{kmax}$  in Sand hin zu 60 %  $W_{kmax}$  im Lehmigen Ton. Ein Vergleich der Arten ergab, dass die Reaktion auf die Wirkstoffbehandlung am 4. Tag in der Reihenfolge Mais, Sonnenblume, Baumwolle, Zuckerrübe zunimmt, was den agronomischen Eigenschaften der Robustheit der Kulturpflanzen entspricht.

Ein Vergleich mit zwei chemisch nahe verwandten Chloronicotinylen bestätigte die Brauchbarkeit des mit Imidacloprid erstellten Testsystems. Zugleich folgten die Reaktionen von Mais und Sonnenblume demselben Schema, wie bei Imidacloprid, wobei entsprechend ihrer Wasserlöslichkeit, die Effekte des Clothianidin deutlich geringer und bei Thiamethoxam deutlich stärker als bei Imidacloprid waren.

Die Wirkstoffe aus vier weiteren Stoffklassen Acephate (Phosphorsäureester), Carbofuran (Carbamat), Fipronil (Phenylpyrazol) und Tefluthrin (Pyrethroid) folgten bei Mais und Zuckerrübe ebenfalls dem bei Imidacloprid beschriebenen Muster. Dabei nimmt die Reaktionsstärke von Acephate nach Tefluthrin ab und der Einfluss am 4. Tag ist bei der Zuckerrübe deutlich stärker ausgeprägt und länger anhaltend als bei Mais, bei dem zu Versuchsende keinerlei Einfluss mehr erkennbar ist. Aus allen Versuchen wird ersichtlich, dass neben den physikalischen Eigenschaften, welche die Pflanzenverfügbarkeit über die Wasserlöslichkeit und Fähigkeit zur Ausprägung eines Beizhofes bedingen, auch wirkstoffspezifische Effekte die Entwicklung der Keimpflanzen prägen.

Durch morphologische, anatomische sowie physiologische Versuche über Stoffwechsel- und Hormonaktivitäten konnte ein erstes Bild über die Ursachen und Wirkorte einiger Insektizide gewonnen werden.

Abschließend kann festgestellt werden, dass bei den hier untersuchten Insektiziden eine hohe Wirkstoffkonzentration in der Pflanze eine zeitlich begrenzte Auflaufverzögerung bewirkt, die nach 10 Tagen selbst unter ungünstigen Wachstumsbedingungen wieder eingeholt ist. Die Anreicherung des Wirkstoffes ist dabei abhängig von der Bodenart, der Bodenfeuchte, der Konzentration des Wirkstoffes, seiner Wasserlöslichkeit, der Systemizität, der Ausbildung des Beizhofes und der Pflanzenart mit ihrem Keimungstyp und ihrer Wachstumskinetik.

Mit der hier vorgestellten Methode besteht ein geeignetes Testsystem für die frühe Phase der Pflanzenentwicklung mit dem es gelingt, Einflüsse von Wirkstoffen mit der erforderlichen Teststärke zu erfassen und Aussagen zu deren Pflanzenverträglichkeit abzuleiten.



## 6 Literatur

- Abbink, J., 1991: Zur Biochemie von Imidacloprid, Pflanzenschutz-Nachrichten Bayer, 1991/2, 44 (62), 183-195
- Albuquerque, M.C. de F. e, Carvalho, N. M., 2003: Effect of the type of environmental stress on the emergence of sunflower (*Helianthus annuus* L.), soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) and maize (*Zea mays* L.) seeds with different levels of vigor, Seed Science and Technology, 31, 465-479
- Altmann, R., 1991: Gaucho- ein neues Insektizid zur Bekämpfung von Rübenschädlingen, Pflanzenschutz-Nachrichten Bayer, 44, 62, 159-174
- Altmann, R., 2003: Poncho®: a new insecticidal seed treatment for the control of major maize pests in europe, Pflanzenschutz-Nachrichten Bayer, 56, 1, 102-110
- Andersch, 2003: mündliche Mitteilung
- Andersch, W., Schwarz, M., 2003: Clothianidin seed treatment (Poncho®) – the new technology for control of corn rootworms and secondary pests in US-corn production, Pflanzenschutz-Nachrichten Bayer, 56, 1, 147-172
- Anonymus, 1995: ISTA Handbook of Vigour Test Methods, 3rd edition, published by The International Seed Testing Association, Zürich, Switzerland
- Anonymus, 2000: Arbeitsblatt Bodenbearbeitung und Bestellung, 2000, Nr. 0262, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft
- Anonymus, 2003: ISTA International Rules for Seed Testing, published by The International Seed Testing Association, Zürich, Switzerland
- Baden-Württemberg, 2005: Literaturstudie zum Transfer von organischen Schadstoffen im System Boden/Pflanze und Boden/Sickerwasser, <http://www.xfaweb.baden-wuerttemberg.de>
- Bader, K.P. Schüler, J., 1996: Inhibition of the photosynthetic electron transport by pyrethroid insecticides in cell cultures and thylakoid suspensions from higher plants, Zeitschrift für Naturforschung, 51 c, 721-728
- Baeder-Bederski-Anteda, O., 2000: Die Emission organischer Chemikalien durch Sumpfpflanzen auf kontaminierten Standorten, Dissertation Universität Leipzig
- Bailey, J.A., Kapusta, G., 1994: Soil insecticide influence corn (*Zea mays*) tolerance to nicosulfuron, Weed technology, 8, 598-606
- Baskin, C.C., Baskin, J.M., 1998: Seeds, Academic Press, San Diego
- Bayer, 2001: Bayer Pflanzenschutz Kurier, 2001, 1, 10-13
- Bayer, 2004 a: <http://www.research.bayer.de/medien/pages/2849/poncho.pdf>
- Bayer, 2004 b: Bayer Pflanzenschutz Kurier 2004, Maiswurzelbohrer auf dem Vormarsch: Bayer hilft Landwirten 1, 14-15, <http://www.bayercropscience.de/de/bcs/presse/2004/04/00572.asp>
- Bayer, 2004 c: Maiswurzelbohrer, [http://www.bayercropscience.de/de/pf/diagnose\\_center/online\\_diagnose/index.asp?ID=0&detail=true&ID\\_DIAG=379](http://www.bayercropscience.de/de/pf/diagnose_center/online_diagnose/index.asp?ID=0&detail=true&ID_DIAG=379)
- BBA 2005: Westlicher Maiswurzelbohrer (*Diabrotica virgifera virgifera*) <http://www.bba.de/ag/gesund/qso/diabvi.pdf>
- Beißner, L., Büttner, G., Thierfelder, A., 1999: Untersuchungen zur Kulturverträglichkeit selektiver und komplementärer Herbizide, Mitteilungen der Gesellschaft der Pflanzenbauwissenschaften, 12, 281-282

- Benjamini, L., 1986: Effect of carbofuran on seed germination and initial development of seven crops, *Phytoparasitica*, 14, 3, 219-230
- Bewley, J.D., Black, M., 1978: *Physiology and biochemistry of seeds*, Springer Verlag, Heidelberg
- Blatt für Sortenwesen, 2005: Amstblatt des Bundessortenamtes, 38, 4, Herausgeber Bundessortenamt Hannover, Deutscher Landwirtschaftsverlag, GmbH, Hannover
- Börner, H., 1997: *Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz*, 7. Auflage, Verlag Eugen Ulmer Stuttgart
- Bradford, K.J., 1995: Water relations in seed germination, in: *Seed development and germination*, 351-396, M. Decker Incorporation, New York
- Briggs, G.G., 1973: A simple relationship between soil adsorption of organic chemicals and their octanol-water partition coefficients, *Proceedings 7th British insecticide and fungicide conference 1973*, 83-86
- Briggs, G.G., Bromilow, R.H., Evans; A.A., 1982: Relationships between lipophilicity and root uptake and translocation of non-ionised chemicals by barley, *Pesticide science*, 13, 495-504
- Bromilow, R.H., Chamberlain, K., Evans, A.A., 1990: Physicochemical Aspects of phloem translocation of herbicides, *Weed science*, 38, 305-314
- Bundessortenamt, Beschreibende Sortenliste, 2001: Getreide, Mais, Ölfrüchte, Leguminosen, Hackfrüchte, Landbuch Verlag, Hannover
- Burris, J. S., 2001: The impact of thiamethoxam seed treatment on maize storability and laboratory test performance, *BCPC Symposium Proceedings. Seed treatment: Challenges and opportunities*. 21-26. Series Information: *BCPC Symposium Proceedings*, 76
- BVL, 2004:  
<http://www.bvl.bund.de/pflanzenschutz/?pagetitle=Pflanzenschutzmittel>, July 2004
- Capri, E., Camisa, M.G. Flores-Céspedes, F., Glass, C.R., Gonzales-Pradas, E., Trevisan, M., 2001: Imidacloprid and pyrimethanil soil sorption, *Agronomy*, 21, 57-64
- Copeland, L.O., McDonald, M.B., 1995: *Principles of seed science and technology*, 3rd Edition, Chapman and hall, New York
- Cox, L., Koskinen, W.C., Yen, P.Y., 1997: Sorption-Desorption of Imidacloprid and its metabolites in soils, *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 45, 1468-1472
- Cox, L., Koskinen, W.C., Celis, R., Yen, P. Y., Hermosin, M., C., Cornejo, J., 1998: Sorbtion of Imidacloprid on soil clay mineral and organic components, *Soil Science, Society Am., J.*, 62, 911-915
- Cox, C., 2001: Insecticide Faxsheet, Imidacloprid, *Journal of Pesticide Reform*, 21, 1, 15-21
- Cox, L., Hermosin, M.C., Koskinen, W.C., Cornejo, J., 2001: Interaction of Imidacloprid with organic- and inorganic-exchange smectites, *Clay minerals*, 36, 267-274
- De Proft, M., De Ryckel, B., Ducat, N., Pigeon, O., Bernes, A., 1999: Seed treatment with thiamethoxam for pest protection in sugar beets, corn and cereals, *Mededelingen Faculteit Landbouwkundige en Toegepaste Biologische Wetenschappen Universiteit Gent*. 64 (3a), 327-341
- Deall, M.W., Prinsloo, T.L., Stanz, E., Chittenden, C. 1993: Results on the control of maize insects with Gaucho 70 WS (Imidacloprid) in the republic of South Africa and Zimbabwe, *Pflanzenschutz-Nachrichten Bayer*, 46, 33-48

- Dewar, A. M., Westwood, F., Bean, K. M., Haylock, L. A., Osborne, R., 1997: The relationship between pellet size and the quantity of Imidacloprid applied to sugar beet pellets and the consequences for seedling emergence, *Crop Protection*, 16, 2, 187-192
- Dewar, A.M., Haylock, L.A., Garner, B.H., Baker P. and Sandsi, R.J.N., Foster, S.P., Cox, D., Mason, N., Denholm, I., 2003: The effect of clothianidin on aphids and virus yellows in sugar beet, *Pflanzenschutz-Nachrichten Bayer*, 56, 1, 127-146
- Diepenbrock, W., Fischbeck, G., Heyland, K., Knauer, N., 1999: *Spezieller Pflanzenbau*, 3. Aufl., Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart
- Drinkwater, T.W., 1997: Einfluß von Gaucho WS 70 auf das Auflaufverhalten von Mais, *Pflanzenschutz-Nachrichten Bayer*, 50, 3, 253 –260
- Du Pont, F.M., Leonard, R.T., 1977: The use of lanthanum to study the functional development of the casparian strips in corn roots, *Protoplasma*, 91, 315- 223
- Dufner, J., Jensen, U., Schumacher, E., 2002: *Statistik mit SAS*, 12. Aufl., Verlag Teubner, Stuttgart
- Eberdorfer, D., 2001: Insektizidbeizung und Unkrautregulierung bei Ölkürbis – Einflüsse auf den Ertrag und Befall mit Zucchiniengelbmosaikvirus, *Arbeitsgemeinschaft landwirtschaftlicher Versuchsanstalten (ALVA)*, Wolfpassing, Austria
- Eisley, B., 2002: Evaluation of soil applied and seed treatment insecticides on corn for control of corn rootworm larvae, <http://www.entomology.osu.edu/ag/reports/02si1.pdf>
- Elbert, A., Becker, B., Hartwig, J., Erdelen, C., 1991: Imidacloprid- ein neues systemisches Insektizid, *Pflanzenschutz-Nachrichten Bayer*, 2, 44(62), 113-136
- EMA, 2004: European Agency for the Evaluation of Medicinal Products (EMA), <http://www.emea.eu.int/vetdocs/PDFs/EPAR/advocate/029703en6.pdf>
- Epperlein, K., Jaschewski, K., 1997: Zur Auswirkung von Saatgutbehandlungen des Maises mit Gaucho (Imidacloprid) und Mesuro (Methiocarb) auf den Feldaufgang, die Wuchshöhe und den Ertrag sowie die Populationsdynamik der Bleichen Getreideläus (*Metopolophium dirhodum* WALK.) und auf das Saugverhalten der Traubenkirschenläus (*Rhopalosiphum padi* L.), *Arch. Phytopath. Pflanz.*, 31, 75-88
- EPPO Richtlinien 2000: EPPO Richtlinien für Wirksamkeitsprüfungen von Pflanzenschutzmitteln, Bewertung der Phytotoxizität, 2000, PP 1/135 (2), herausgegeben von der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft in Braunschweig
- Esau, K., 1969: *Pflanzenanatomie*: Gustav Fischer Verlag, Stuttgart
- FAOSTAT, data 2004: <http://apps.fao.org/faostat/form?collection=PesticidesConsumption&Domain=Means&servlet=1&asbulk=0&version=ext&language=EN>, July 2004
- Fuchs, H. Weigand, G., Warnke, A. Bals, B., 1977: Untersuchungen über das Keimverhalten feuchtgebeizter Getreideproben, *Gesunde Pflanzen*, 29, 5
- Gaikward, S.K., Pawar, V.M., 1979: Effect of systemic Insecticides on germination and seedling development of Okra (*Abelmoschus esculentus* (L) Moench), *Seed Research*, 7, 1, 28-33
- Garcia, F.C., Jimenez, L.F., Vazquez-Ramos, J.M., 1995: Biochemical and cytological studies on osmoprimed maize seeds, *Seed science research*, 5, 15-23
- Geisler, G., 1988: *Pflanzenbau: ein Lehrbuch; biologische Grundlagen und Technik der Pflanzenproduktion*, 2. Aufl., Parey Verlag, Berlin
- Giesen, B., 2003: Qualitätsoffensive Saatgut, *BDP Nachrichten*, Mai 2003

- Häge, W., 1994: Einfluss der Saatgutbehandlung mit Fungiziden und Insektiziden auf Keimung, Lagerfähigkeit, Feldaufgang und Ertrag bei Getreide, Dissertation Universität Hohenheim.
- Haile F.J., Kerns D.L.; Richardson J.M., Higley L.G., 2000: Impact of Insecticides and Surfactant on Lettuce Physiology and Yield, *Journal of Economic Entomology*, 93, 3, 788-794
- Hanson, P.R. Weinmann, H.E. und Chakrabarti, B., 1987: The effect of methylbromide on the seed of some varieties of barley, *Seed Science and Technology*, 15, 155-162.
- Haupt, W., 1977: *Bewegungsphysiologie der Pflanzen*, Thieme Verlag, Stuttgart
- Heitefuß, R., 1987: *Pflanzenschutz*, 2. Auflage, Georg Thieme Verlag, Stuttgart
- Held, D.W., Eaton, T., Rogers, M., Gels, J., Lopez, R., Elaison, E., Potter, D.A., 1999: Effectiveness of Nova (Thiamethoxam) for control of white grubs, <http://www.uky.edu/Agriculture/ukturf/research%20summaries/sum9900.htg/NOVA.PDF>
- Heldt, H., 1999: *Pflanzenbiochemie*, 2. Auflage, Spektrum Akademischer Verlag,
- Heydecker, W., Coolbear, P., 1977: Seed treatments for improved performance - survey and attempted prognosis, *Seed Science and technology*, 5, 353-425
- Hohl, M., Schopfer, P., 1991: Water relations of growing maize coleoptiles, *Plant Physiology*, 95, 716-722
- Horowitz, A.R., Mendelsohn, Z., Weintraub, P.G., Ishaaya, I., 1998: Comparative toxicity of foliar and systemic application of acetamiprid and imidacloprid against the cotton whitefly, *Bemisia tabaci* (Hemiptera; Aleyrodidae), *Bulletin of Entomological Research*, 88, 437-442
- Ishii, Y, Kobori, I, Akari, Y., Kurogochi, S., Iwaya, K., Kagabu, S., 1994: HPLC Determination of the New Insecticide Imidacloprid and its Behavior in Rice and Cucumber, *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 42, 2917-2921
- Iwaya, K, Tsuboi, S, 1992: Imidacloprid a new substance for the control of rice pests in Japan, *Pflanzenschutz-Nachrichten Bayer*, 45,2 197-230
- Jeschke, P., Uneme, H., Benet-Buchholz, J., Sölting, J., Sirges, W., Beck, M.E., Etzel, W., 2003: Clothianidin (TI-435)- The third member of the chloronicotinyl insecticide CNI<sup>TM</sup> family, *Pflanzenschutz-Nachrichten Bayer*, 56, 1, 5-25
- Jonitz, A., Leist, N., 2003: Seed testing and the effect of insecticidal active ingredients on the germination and emergence of hybrid maize seeds, *Pflanzenschutz-Nachrichten Bayer*, 56, 3, 173-207
- Jürges, G., 2002, *Licht- und elektronenmikroskopische Untersuchungen zur Lokalisation der Plasmamembran H<sup>+</sup>-ATPase in submersen Makrophyten*, Dissertation Universität Karlsruhe
- Kausch, W., Ehrig, H., 1959: Beziehungen zwischen Transpiration und Wurzelwerk, *Planta*, 53, 434-448
- Kaussmann, B. Schiewer, U., 1989: *Funktionelle Morphologie und Anatomie der Pflanzen*, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart
- Kerpen, W., Schleser, G., 1977: Adsorption und Desorption von Methabenzthiazuron in verschiedenen Böden, *Z. Pflanzenernährung Bodenkunde*, 140, 697-705
- Ketring, D.L., 1973: Germination inhibitors, *Seed Science and Technology*, 1, 305-324
- Kikuzawa, K., Koyama, H., 1999: Scaling of soil water absorption by seeds; an experiment using seed analogues, *Seed Science and Technology*, 9, 171-178

- Koskinen, W.C., Cox, L., Pau Yong Yen, 2001: Changes in sorption/bioavailability of Imidacloprid metabolites in soil with incubation time, Biology and fertility of soils, 33, 546-550
- Kostinek, M, 200: Einfluss von Insektiziden auf die Plasmaströmung von *Elodea canadensis*, Praktikumsprotokoll, unveröffentlicht
- Kretschmer, M., 2001: Aufgang von Zuckermais Saatgut, Gemüse, 37, 1, 15-17
- Krohn, J., Hellpointner, E., 2002: Environmental fate of imidacloprid, Pflanzenschutz-Nachrichten Bayer, 55, Special Edition
- Krüger, K., Lindemann, K., 2003: UFOP-Praxisinformation, Anbauratgeber Sonnenblumen, <http://www.ufop.de/2327.htm>
- Kuhar, T.P., Stivers-Young, L.J., Hoffmann, M.P., Taylor, A.G., 2002: Control of corn flea beetle and Stewart's wilt in sweet corn with imidacloprid and thiamethoxam seed treatments, Crop Protection. 21(1), February, 25-31
- Kuntze, H., Roeschmann, G., Schwerdtfeger, G., 1994: Bodenkunde, 5. Aufl., Ulmer Verlag, Stuttgart
- Kutschera, U., 1995: Kurzes Lehrbuch der Pflanzenphysiologie, Quelle und Meyer Verlag, Wiesbaden
- Laurent, F.M., Rathaho, E., 2003: Distribution of [C14] Imidacloprid in Sunflowers (*Helianthus annuus* L.) following Seed Treatment, Journal of Agricultural and Food Chemistry 2003, 51, 8005-8010
- Leist, N., Schmidt, B., 1978: Untersuchungen zur Qualität von Hybridsaatmais, Abhängigkeit der Saatmaisqualität von der Karyopsenform sowie der mechanischen Belastung bei der Aufbereitung; VDLUFA Kongressband 1978, Sonderheft 35, 488-501
- Liu, W., Zheng, W, Gan J., 2002: Competitive sorption between Imidacloprid and Imidacloprid- urea soil clay minerals and humic acids, Journal of agricultural and food chemistry, 50, 6823-2827
- Lockhart, J.A., 1962: Kinetic studies of certain "Anti-Gibberellins", Plant physiology, 37, 759-764
- Melkebeke, T., De Stoop, C., Misonne, J.F., Steurbaut, W., Dejockheere, W., 1990: Sugar beet seed coating with Tefluthrin and its behaviour in soil and plants, Mededelingen van de Faculteit Landbouwwetenschappen, Rijksuniversiteit, Gent, International Symposium on Crop Protection, 55, 3 b
- Meredith R.H., Heatherington, P.J., Morris, D.B., 2002: Clothianidin, a new chloronicotinyll treatment for use on sugar beet and cereals: Field trial experiences from Northern Europe, Proceedings of the BCP Conference - Pests and Diseases, 2002, 691-696
- Meredith, R.H., Morris, D.B., 2003: Clothianidin on sugar beet: field trial results from northern europe, Pflanzenschutz-Nachrichten Bayer, 56, 1, 111-126
- Methfessel, C., 1992: Action of Imidacloprid on the nicotinic acetylcholine receptor at receptors in rat muscle, Pflanzenschutz-Nachrichten Bayer, 45, 369-380
- Miltner, R., 2003: Ursachen für schlechten Feldaufgang, Mais, 2, 31, 48-50
- Mishra, D.P., Singh, R.L., Gupta, R.K., 1992: Pesticide induced response in maize chloroplast lipids, Photosynthetica, 26, 3, 441-444
- Mittnacht, A., 1994: Neue insektizide Wirkstoffe zur Behandlung von Zuckerrübensaatgut Gesunde Pflanzen, 46, 2, 39-44
- Moody, R., Bailey, J.C., 1974: Soybean plant responses to certain systemic insecticides applied as granular in furrow at planting, Journal of economic entomology, 67, 442-444

- Mote, U. N. 1978: Effect of Systemic Insecticides on the Germination and Subsequent Growth of Pea (*Pisum sativum* L.) Seed, in: Seed research, 6, I, 66-68
- Mulrone, J.E., Wolfenberger, D.A., Howard, K. D., Gooli, D., 1998: Efficiency of ultra low volume and high volume applications of Fipronil against the Boll Weevil, The Journal of Cotton Science, 2, 210 – 216.
- Natwick, E.T., Palumbo, J.C., Engle C., 1996: Effects of imidacloprid on colonization of aphids and silverleaf whitefly and growth, yield and phytotoxicity in cauliflower, Southwest Entomol., 21, 283-292
- Nauen, R., Elbert, A., 1994: Wirkung von Imidacloprid auf Blattläuse bei Saatgutbehandlung von Baumwolle in Labor- und Gewächshausversuchen, Pflanzenschutz-Nachrichten Bayer, 47, 181-216
- Nijenstein, J., H. und Ester, A., 1990: Method of evaluation as factor in determination of insecticide phytotoxicity in field beans (*Vicia faba* L.), Seed Science and Technology, 18, 597-607
- Ohkawara, Y, Akayama, A., Matsuda, K., Andersch, W, 2002: Clothianidin: a novel broad spectrum neonicotinoid insecticide, Proceedings of the BCP Conference - Pests and Diseases, 51-58
- OECD, 2003: CD:  
List of Varieties Eligible for Certification, OECD 2003, Cedex, France
- Oerke, E.C., Dehne, H.W., Schonbeck, F. and Weber, A., 1994: Crop Production and Crop Protection: Estimated Losses in Major Food and Cash Crops, Elsevier, Amsterdam
- Palumbo, J., Mullis, C., Reyes, Jr., F., Amaya, A., 1998: New Insecticide Alternatives for Aphid Management in Head Lettuce, [http://ag.arizona.edu/pubs/crops/az1101/az1101\\_1.html](http://ag.arizona.edu/pubs/crops/az1101/az1101_1.html)
- Palumbo, J.C. Sanchez, C.A., 1995: Imidacloprid does not enhance growth and yield of muskmelon in the absence of whitefly, Horst Science, 30, 5, 997-999
- Pioneer, 2004: [www.pioneer.com/usa/research/cp.htm](http://www.pioneer.com/usa/research/cp.htm)
- Pless, C.D., Edward, T.C., Morgan, H, 1970: Growth and yield of Burley Tobacco as affected by two systemic insecticides, Journal of economic entomology, 64, 1, 172-175
- Powell, C.A., Stoffella, P.J., 1998: Control of tomato irregular ripening with Imidacloprid, Horticulture Science, 33, 283-284
- Radium, 2004: [http://www.radium-lampen.de/products/data/7/pe\\_4729\\_434\\_1\\_560\\_010\\_gross.jpg](http://www.radium-lampen.de/products/data/7/pe_4729_434_1_560_010_gross.jpg).
- Rice, M., 2004: New seed treatments: the neonicotinoids, Integrated crop management, IC-492(6), <http://www.ipm.iastate.edu/ipm/icm/2004/5-3-2004/neonic.html>
- Rouchaud, J., Gustin, F., Wauters, A., 1994: Soil biodegradation and leaf transfer of insecticide imidacloprid applied in seed dressing in sugar beet crops, Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 53, 344-350
- Sarkar, M.A., Biswas, P.K., Roy, S., Kole, K., Chowdhury, A., 1999: Effect of pH and type of formulation on the persistence of imidacloprid in water, Bulletins of Environmental Contamination and Toxicology, 63, 604-609
- Scheffer, F., Schachtschabel, P., 2002: Lehrbuch der Bodenkunde, 15. Aufl., Spektrum, Akademischer Verlag, Heidelberg
- Scheinflug, H., Duben, J., 1988: Erfahrungen mit neuen fungiziden Saatgutbeizen für Getreide, Pflanzenschutz-Nachrichten Bayer, 41, 2, 253-278
- Schlee, D., 1992: Ökologische Biochemie, 2. Auflage, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart
- Schmuck, R., 1999: No causal relationship between gauchho seed dressing in sunflowers and the french bee malady, Pflanzenschutz-Nachrichten Bayer, 52, 3, 267- 309

- Schmuck, R., Keppler, J., 2003: Clothianidin - Ecotoxicological profile and risk assessment, Pflanzenschutz-Nachrichten Bayer, 56, 1, 26- 58
- Schneider, A., Renault, P., 1997: Effects of Coating on Seed Imbibition: II Effect of Coating rate, Crop Science, 37, 1850-1857
- Schöberlein, W., Herrmann, K., Matthies, H., 1999: Einfluss einer kombinierten Fungizid-Insektizid-Behandlung von Winterweizen-Saatgut auf Bestandsentwicklung und Ertrag bei früher und normaler Saatzeit, Pflanzenschutz-Nachrichten Bayer, 52, 3, 320-346.
- Schöning, R., 2001: Analytical method for the determination of residues of Imidacloprid, NTN 33893-5-hydroxy, and NTN 33893-olefin by HPLC with electrospray MS/MS-detection in plant- and other materials, Pflanzenschutz-Nachrichten Bayer, 54, 3, 413-428
- Schönbeck, F., 1980: Perspektiven moderner Phytomedizin, Vorträge und Referate der Jubiläumsveranstaltung aus Anlass des zwanzigjährigen Bestehens der Senatskommission für Pflanzenschutz-, Pflanzenbehandlungs- und Vorratsschutzmittel der Deutschen Forschungsgemeinschaft, Mitteilung XII, Harald Boldt Verlag, Boppart
- Schroeder, D., 1992: Bodenkunde in Stichworten, 5. Aufl., Borntraeger Verlag, Berlin, Stuttgart
- Schwarz, M., Christie, D. Andersch, W. Kemper, K., Fellmann, K., Altmann, R., 2002: Control of the corn rootworm (*Diabrotica* spp.) and of secondary pests of corn (*Zea mays*) using treatments of clothianidin, the BCPC Conference- Pests and Diseases, 59-64.
- Seith, B., Billenkamp, N., 1998: Internet: Landesanstalt für Pflanzenbau, Forchheim und [www.landwirtschaft-mlr.baden-wuerttemberg.de/ISP/](http://www.landwirtschaft-mlr.baden-wuerttemberg.de/ISP/)
- Sharp, R.E., Poroyko, V., Hejlek, L.G., Spollen, W., Springer, G.K., Bohnert, H.J., Nguyen H., 2004: Root growth maintenance during water deficits: physiology to functional genomics, 4th international crop science Congress, [http://www.regional.org.au/au/cs/2004/symposia/1/3/1945\\_sharpre.htm](http://www.regional.org.au/au/cs/2004/symposia/1/3/1945_sharpre.htm)
- Shetlar, D.J., Pinkston, W., Niemzyk, H.D., 2000: Early curative application of Thiamethoxam formulations compared to other white grub insecticides for control of masked chafers in turf grass - 2000, Ohio State university
- Simon, E.W., 1984, Early events in germination, in: Seed physiology, 2, 77-116, Academic Press, Sydney
- Sinclair, P.J., Neeson, R.J., Williams, P.A., 1992: Phytotoxicity of some organophosphate insecticides to onions and carrots during germination and emergence, Plant Protection quarterly, 7, 1, 23-25
- Stein-Dönecke, U., Führ, F., Wienecke, J., Hartwig, J., Leicht, W., 1992: Influence of soil moisture on the formation of dressing zones and uptake of imidacloprid after seed treatment of winter wheat, Pflanzenschutz-Nachrichten Bayer 45, 327-336
- Steiner und Fuchs, 1987: Keimfähigkeitsbestimmung und Tetrazolium-Untersuchung bei mit Herbiziden und Insektiziden behandeltem Saatgut, Seed Science and Technology, 15, 707-716
- Stevens, M.M., Fox, K.M., Coombes, N.E., Lewin, L.A., 1999: Effect of Fipronil seed treatments on the germination and early growth of rice, Pesticide science, 55, 517-723
- Summer, E, 2004: Environmental fate of Carbofuran, <http://www.cdpr.ca.gov/docs/emppm/pubs/fatememo/carbofuran.pdf>
- Taiz, L., Zeiger, E., 2000: Physiologie der Pflanzen, Spektrum Akademischer Verlag GmbH, Heidelberg
- Taylor, A.G., Allen P.S., Bennett, M.A., Bradford, K.J., Burris, J.S., Misra, M.K., 1998: Seed enhancements, Seed Science Research, 8, 245-256

- Tingle, C.C.D., Rother, J.A., Dewhurst, C.F., Lauer, S., King, W.J., 2000: Health and environmental effects of fipronil, Pesticide Action Network, Eurolink Centre, London SW2 1BZ, UK, <http://217.154.68.186/briefing/fipronil.pdf>
- Tomizawa, M., Casida, J.E., 2003: Selective toxicity of neonicotinoids attributable to specificity of insect and mammalian nicotinic receptors, *Annual review of entomology*, 48, 339-364
- Toselli, M.E., Casenave, E.C., 2003: Water content and the effectiveness of hydro and osmotic priming of cotton seeds, *Seed Science and Technology*, 31, 727-735
- Tröltzsch, C.M., Führ, F., Wieneke, J., Elbert, A. 1994: Einfluss unterschiedlicher Bewässerungsverfahren auf die Aufnahme von Imidacloprid durch Baumwolle nach Saatgutbeizung, *Pflanzenschutz-Nachrichten Bayer*, 47, 249-303
- Ulrich, E., 2000: Der Einfluss der Saatgutbehandlung mit Insektiziden verschiedener Wirkstoffgruppen auf die Keimung und frühe Entwicklung von Mais, Diplomarbeit an der Universität (TH) Karlsruhe
- Walter, H., 1968: Die Vegetation der Erde in öko-physiologischer Betrachtung, Bd II, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart
- Wetzel, T., 2004: Integrierter Pflanzenschutz und Agrarökosysteme, 2. Aufl., Pausa: Steinbeis-Transferzentrum
- Wilde, G.E., Whitworth, R.J., Claassen, M., Shufran, R.A., 2001: Seed treatment for control of wheat insects and its effect on yield, *Journal of Agricultural & Urban Entomology*, 18, 1, 1-11
- Wilson, T. T., Geneve, R. L., 2003: The impact of film coating on initial water uptake and imbibitional chilling injury and low vigor sh2 sweet corn seeds, *Seed Science and Technology*, 32, 271-281
- Womack, C.J., Schuster, M.F., 1986: Testing the reported positive growth response for cotton, *Gossypium hirsutum*, treated with Aldicarb, *Journal of economic entomology*, 79, 1118-1120.
- Woodford, J.A.T, 1992: Effects of systemic application on the feeding behavior and survival of *Myzus persicae* on potatoes and on transmission of potato leafroll virus, *Pflanzenschutz-Nachrichten Bayer*, 45, 527-546
- Wuest, S., B., 2002: Water transfer from soil to seed : The role of vapor transport, *Soil Science Society of America Journal* , 64, 1760-1763
- Wulff, J., 2000: Bayer Pflanzenschutz: Mit Innovation und Investition in die Zukunft, Pressemitteilung der Bayer AG vom 2.11.2000, <http://www.lev2000.de/news/tag/001102/Bayer03.html>
- Young, J.M., Montagu, K., Conroy, J., Bengough, A.G., 1997: Mechanical impedance of root growth directly reduces leaf elongation rates of cereals, *New Phytologist*, 155, 613-619
- Youngman, R.R., Leigh, T.F., Kerby, T.A., Toscano, N.C., Jackson, C.E., 1990: Pesticides and Cotton: Effect on Photosynthesis, Growth and Fruiting, *Journal of economic entomology*, 83, 1549-1557
- Yue, B., Wilde, G.E., Arthur, F., 2003: Evaluation of thiamethoxam and imidacloprid as seed treatments to control European corn borer and Indian meal moth (Lepidoptera: Pyralidae) larvae, *Journal of Economic Entomology*, 96, 2, 503-509
- Zeller, F.J., Häuser, H., 1974: Polyploidisierung von Getreidearten durch lindanhaltige Beizmittel, *Separatum Experientia*, 30, 345-348
- Ziegler, H., 1995: Schadwirkungen auf Pflanzen, 3. Aufl., Spektrum Verlag, Heidelberg, Berlin, Oxford

Ziegler, K., 1995: Was leisten die Insektizide in der Rübenpflanze?, Top Agrar, 2, 76-79

Ziegler, K., Petersen, J., 2001: Fortschritte im Zuckerrübenanbau, Südzucker AG

Zscheischler, J., Estler, M.C., Staudacher, W., Groß, F., Burgstaller, G., Streyl, H., Rechmann, T., 1990: Handbuch Mais: Umweltgerechter Anbau, Wirtschaftliche Verwertung, 4. Auflage, Verlagsunion Agrar



Hiermit wird bestätigt, dass ich die vorliegende Dissertation, abgesehen von der Benutzung der angegebenen Hilfsmittel, selbständig verfasst habe. Alle wörtlich oder sinngemäß aus anderen Arbeiten entnommenen Teile sind als Zitate gekennzeichnet und die Quellen in der Literaturliste aufgeführt.

Kronau, den 1.09.2005



## Veröffentlichungen Andrea Jonitz

- Jonitz, A., Leist, N., 1995: Artbestimmung bei samenmorphologisch uniformen Gehölzgattungen mittels Elektrophorese der Samenproteine, VDLUFA - Kongressband 40, 369-372,
- Jonitz, A., Leist, N., 1996: Zur Bestimmung der Lebensfähigkeit bei Gehölzsaatgut mittels des topographischen Tetrazolium-Verfahrens, VDLUFA Kongressband 44, 111-114
- Jonitz, A., Leist, N., 1996: Einsatz der Elektrophorese zur Artbestimmung morphologisch uniformer Gehölzsamen, Vereinigung österreichischer Pflanzenzüchter, Bericht über die Arbeitstagung, 47, 179-183
- Jonitz, A., Leist, N., 1997: The use of electrophoresis in the variety identification of morphologically uniform tree seeds, United News, Boehringer Ingelheim Bioproducts Partnership, 3, 12-14
- Jonitz, A., Leist, N., 1997: Zur Gesundheitsprüfung bei Lupinen und Gemüsearten, VDLUFA - Kongressband, 46, 95-98
- Jonitz, A., Tewes, E., 1998: Zur Qualität und Zusammensetzung von Saatgutmischungen für Grünland und Ackerbau, VDLUFA - Kongressband, 47, 51-54
- Jonitz, A., Leist, N., 2000: Posterbeitrag beim VDLUFA Kongress 2000 in Hohenheim, Zum Einfluss insektizider Wirkstoffe auf Kulturpflanzen
- Jonitz, A., Leist, N., 2001: Gesundheitsprüfung bei Gemüse-Saatgut, Gemüse, 9, 13-15
- Jonitz, A., Leist, N., 2001: Anwendung des Tetrazolium-Verfahrens bei einem erweiterten Artenspektrum und Dokumentation eines Handbuches, VDLUFA - Kongressband
- Jonitz, A., Leist, N., 2002: Einsatz von biochemischen Methoden als Ersatz für den Nachkontrollanbau bei Getreide und Hybridmais, VDLUFA - Kongressband 2002
- Kern, B., Jonitz, A., Leist, N., 2003: Samenbürtige Pilze in Gemüse-Saatgut, Gemüse, 9, 12-15
- Jonitz, A., Leist, N., 2003: Der Einfluss insektizider Wirkstoffe auf Kulturpflanzen, VDLUFA - Kongressband
- Leist, N., Krämer, S., Jonitz, A., 2003: ISTA Working Sheets on Tetrazolium Testing, Bd I (140 Arten) und II (120 Arten), The international Seed Testing Association, Bassersdorf, Switzerland
- Pfäfflin, J., Jonitz, A., Leist, N., 2003: Zur Wiederbesiedelung gebrannter Flächen auf Naxos, Karlsruher Berichte zur Geographie und Geoökologie, Heft 16
- Jonitz, A., Leist, N., 2003: Seed Testing and the effect of insecticidal active ingredients on the germination and emergence of hybrid maize seed, Pflanzenschutz Nachrichten Bayer, 56, 173-207
- Jonitz, A., Leist, N., 2004: Einfluss verschiedener Substrate bei der Bestimmung von Keimfähigkeit und Triebkraft von Saatgut, VDLUFA - Kongressband 2004

➤ Jonitz, A., Leist, N., 2004:

- Theoretical introduction into Laboratory Sampling
- Theoretical introduction into Purity Testing
- Identification of Seeds
- Introduction into identification of special species *Avena*, *Vicia*, *Lathyrus*, *Rumex*, *Silene*
- Seed Collections and Systematics
- Theoretical introduction into Germination Testing in general
- Introduction in evaluation of abnormal seedlings in monocotyledons and dicotyledons
- Use of tolerance tables, calculation and reporting of results
- Introduction in theory of Tetrazolium for the determination of ungerminated seeds
- Viability, Germination and Vigour
- The ISTA Accreditation Standard
- Quality Assurance in the laboratory: equipment and staff

Proceedings of the ISTA/FAO/DANIDA Workshop on Sampling, Purity, Germination, Tetrazolium, Hanoi, Vietnam

➤ Jonitz, A., Leist, N., 2005:

- Theoretical introduction into Laboratory Sampling
- Theoretical introduction into Purity Testing
- Theoretical introduction into Germination Testing in general
- Introduction in evaluation of abnormal seedlings in monocotyledons and dicotyledons
- Use of tolerance tables, calculation and reporting of results
- Introduction in theory of Tetrazolium for the determination of ungerminated seeds
- Viability, Germination and Vigour
- The ISTA Accreditation Standard
- Quality Assurance in the laboratory: equipment and staff

Proceedings of the ISTA/FAO Training Course on Seed Quality Testing and Evaluation, Delhi, Indien

➤ Jonitz, A., Leist, N., 2005:

- Objectiv of Variety Testing
- Isoelectric Focusing in Ultrathin layer IEF of seed storage proteins
- Testing of seed storage proteins with PAGE; SDS; Isozymes
- Trouble shooting, comparison of IEF with field trials
- Evaluation of the gels in IEF: hybrid determination, variety identification homogeneity of sample
- Comparison of UPOV and ISTA goals and methods, statistical aspects

Proceedings of the ISTA/FAO - Workshop on Protein and DNA - Analysis for varieties and GMO's, Kingston, Jamaica

Tätigkeitsberichte 1995/1996, 1997/1998, 1999/2000, 2001/2002 und 2003/2004 der LUFA Augustenberg, Beiträge des Referates Saatgutuntersuchung und Angewandte Botanik wurden in Zusammenarbeit mit dem Referatsleiter erarbeitet und gestaltet.

## **Lebenslauf von Andrea Jonitz,**

geboren am 14.08.65 in Bruchsal

### **Vor dem Studium**

Herbst 1975 - Frühjahr 1985	Gymnasium in Östringen
Frühjahr 1985 - Sommer 1986	Tätigkeit im Service im Klinik- und Hotelbereich
Sommer 1986 - Herbst 1987	Tätigkeiten im Bürobereich, Kinderbetreuung

### **Studium**

Oktober 1987 - September 1988	Studium der Volkswirtschaftslehre an der Universität Heidelberg
Oktober 1988 - September 1995	Biologie-Studium an der Universität Karlsruhe mit den Hauptfächern: Botanik und Mikrobiologie  Diplomarbeit: „Elektrophorese der Vorratsproteine von Forstsaatgut“, an der Staatlichen Landwirtschaftlichen Untersuchungs- und Forschungsanstalt Augustenberg in Karlsruhe

### **Berufliche Tätigkeit**

August 1995 – März 1997	Wissenschaftliche Mitarbeit im Referat Saatgutuntersuchung und Angewandte Botanik der LUFA Augustenberg
April 1997- April 1999	Leitung des Reinheitslabors und stellvertretende Referatsleitung der Saatgutprüfstelle Dresden an der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft
Mai 1999- Dezember 1999	Vorbereitung der Promotionsarbeit, Förderanträge
Januar 2000 – Juli 2004	Stellvertretende Referatsleitung und wissenschaftliche Mitarbeit im Referat Saatgutuntersuchung und Angewandte Botanik der LUFA Augustenberg
Januar 2000 - September 2005	Promotionsarbeit „Über den Einfluss insektizider Wirkstoffe auf die Keimlingsentwicklung von Kulturpflanzen“

