

Institut für Landtechnik  
der Technischen Universität München  
in Weihenstephan

# **Geräte- und verfahrenstechnische Optimierung der thermischen Unkrautbekämpfung**

von

**Andreas Bertram**

Vollständiger Abdruck der  
von der Fakultät für Landwirtschaft und Gartenbau  
der technischen Universität München  
zur Erlangung des akademischen Grades eines

**Doktor der Agrarwissenschaften**

genehmigten Dissertation

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr. J. Schön  
Prüfer der Dissertation: 1. Univ.-Prof. Dr. J. Meyer  
2. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Chr. von Zabeltitz, Universität Hannover

Die Dissertation wurde am 29. 03. 1996 bei der  
Technischen Universität eingereicht  
und durch die Fakultät für Landwirtschaft und Gartenbau  
am 23. 05. 1996 angenommen

---

**Inhaltsverzeichnis**

	<b>Inhaltsverzeichnis</b> .....	5
	<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	9
	<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	17
	<b>Verzeichnis der Formelzeichen</b> .....	18
	<b>Verzeichnis der Abkürzungen</b> .....	19
<b>1</b>	<b>Einleitung und Problemstellung</b> .....	21
<b>2</b>	<b>Stand des Wissens</b> .....	23
2.1	Gerätetechnik .....	23
2.2	Verfahrenstechnik .....	25
2.2.1	Nichtselektive Unkrautbekämpfung im Vorauf und zwischen den Reihen .....	25
2.2.2	Selektive Unkrautbekämpfung in den Reihen .....	26
2.3	Methoden zur meßtechnischen Überprüfung von Geräten zur thermischen Unkrautbekämpfung .....	28
2.4	Einflußfaktoren auf die optimale Fahrgeschwindigkeit und den flächenbezogenen Gaseinsatz bei der thermischen Unkrautbekämpfung mit dem Gerätekonzept "Abflammen" .....	29
2.4.1	Einfluß der Gerätetechnik .....	29
2.4.1.1	Brennertyp .....	29
2.4.1.2	Brennereinstellung .....	30
2.4.1.3	Gasdurchsatz am Brenner .....	31
2.4.1.4	Einfluß der Gestaltung der Abdeckung .....	31
2.4.2	Einfluß der Pflanzen .....	32
2.4.2.1	Temperaturerhöhung im Pflanzengewebe und Schädigung .....	32
2.4.2.2	Morphologischer Aufbau der Einzelpflanze und Bestandsstruktur .....	33
2.4.3	Einfluß von Bodenparametern .....	33
2.4.4	Einfluß von Klimafaktoren .....	34
<b>3</b>	<b>Zielsetzung</b> .....	35

<b>4</b>	<b>Material und Methode: Prozeßmodell der thermischen Unkrautbekämpfung mit dem Gerätekonzept "Abflammen"</b> . . . . .	<b>37</b>
4.1	Thermodynamisches Grundmodul: Erwärmung einer Modellpflanze in einem heißen Gasstrom . . . . .	41
4.1.1	Energieträger . . . . .	41
4.1.2	Rechenansätze für die verschiedenen Wärmeübertragungsmechanismen . . . . .	42
4.1.2.1	Konvektion (sensibel) . . . . .	43
4.1.2.2	Konvektion (latent) . . . . .	50
4.1.2.3	Strahlung . . . . .	52
4.1.2.4	Leitung . . . . .	55
4.1.3	Modellpflanze . . . . .	56
4.1.4	Mathematische Verknüpfung der Rechenansätze . . . . .	58
4.1.5	Meßtechnische Überprüfung der Rechenergebnisse des thermodynamischen Grundmodules . . . . .	64
4.1.5.1	Material und Methode . . . . .	64
4.1.5.2	Ergebnisse und Diskussion . . . . .	67
4.2	Thermodynamisches Modell: Erwärmung eines Modellpflanzenbestandes während einer thermischen Behandlung mit dem Gerätekonzept "Abflammen" . . . . .	69
4.3	Gewebetemperatur und Schädigung: Experimentelle Untersuchungen zum Schädigungsmechanismus . . . . .	77
4.3.1	Material und Methode . . . . .	77
4.3.2	Ergebnisse und Diskussion . . . . .	78
4.3.3	Schlußfolgerungen für die Modellbildung . . . . .	79
<b>5</b>	<b>Ergebnisse der Anwendung des thermodynamischen Modells</b> . . . . .	<b>81</b>
5.1	Einfluß der physikalischen Systemparameter des Gasstromes auf die temperaturwirksame Nettowärmestromdichte und die Behandlungsdauer zum Abtöten einer Modellpflanze . . . . .	81
5.1.1	Temperatur . . . . .	83
5.1.2	Strömungsgeschwindigkeit . . . . .	85
5.1.3	Emissionsverhältnis . . . . .	87
5.1.4	Wassergehalt . . . . .	90
5.2	Einflußfaktoren auf die optimale Fahrgeschwindigkeit und den flächenbezogenen Gaseinsatz zum Abtöten eines Modellpflanzenbestandes . . . . .	92
5.2.1	Gerätetechnik . . . . .	93
5.2.1.1	Luftüberschuß der Verbrennung . . . . .	93
5.2.1.2	Gasdurchsatz am Brenner und Flammenaustrittsrichtung . . . . .	94
5.2.1.3	Emissionsvermögen des Gaskörpers . . . . .	97
5.2.1.4	Höhe der Abdeckung . . . . .	98
5.2.1.5	Länge der Abdeckung . . . . .	100
5.2.1.6	k-Wert der Abdeckung . . . . .	103
5.2.2	Modellpflanzen . . . . .	105
5.2.2.1	Durchmesser der Modellpflanze . . . . .	105
5.2.2.2	Gewebeausgangstemperatur in der Modellpflanze . . . . .	106
5.2.2.3	Bestandsdichte . . . . .	107

5.3	Schlußfolgerungen für die Gerätekonzepte .....	109
5.3.1	Optimierung des Gerätekonzeptes "Abflammen" .....	110
5.3.2	Neues Gerätekonzept "Low Temperature Weeder" .....	111
5.3.3	Einfluß der Geräteauslegung auf die optimale Fahrgeschwindigkeit und den flächenbezogenen Gaseinsatz bei der thermischen Unkrautbekämpfung mit dem Gerätekonzept "Low Temperature Weeder" .....	112
5.3.3.1	Anpassung des thermodynamischen Modells .....	113
5.3.3.2	Ergebnisse und Schlußfolgerungen für die Geräteauslegung .....	115
5.3.4	Vergleich der optimierten Gerätekonzepte "Abflammen" und "Low Temperature Weeder" .....	118
5.3.4.1	Modellannahmen .....	118
5.3.4.2	Ergebnisse .....	120
5.3.4.3	Schlußfolgerungen .....	125
<b>6</b>	<b>Meßtechnische Überprüfung des thermodynamischen Modells und der ausgeführten Gerätekonzepte .....</b>	<b>127</b>
6.1	Material und Methoden .....	128
6.1.1	Testpflanzen .....	128
6.1.2	Meßkörper .....	129
6.1.3	Versuchsstand und Meßaufbau .....	130
6.1.4	Versuchsgeräte .....	132
6.1.5	Modellannahmen .....	136
6.1.6	Versuchsdurchführung und Auswertung .....	138
6.2	Ergebnisse .....	141
6.2.1	Einfluß der Strömungsrichtung auf den Wärmeeintrag .....	141
6.2.1.1	Offener Stabbrenner .....	141
6.2.1.2	Abgedeckter Stabbrenner .....	143
6.2.1.3	Low Temperature Weeder .....	145
6.2.2	Gleichmäßigkeit des Wärmeeintrages über die Arbeitsbreite und die Behandlungsstrecke .....	147
6.2.3	Vergleich der ausgeführten Gerätekonzepte .....	153
6.2.3.1	Speed (Dose)/Response und thermodynamisches Modell .....	153
6.2.3.2	Temperaturmessung (Meßkörper) und thermodynamisches Modell .....	162
<b>7</b>	<b>Diskussion und Schlußfolgerungen .....</b>	<b>169</b>
7.1	Einflußfaktoren auf die optimale Fahrgeschwindigkeit und den flächenbezogenen Gaseinsatz bei der thermischen Unkrautbekämpfung mit dem Gerätekonzept "Abflammen" .....	169
7.1.1	Einfluß der Pflanzen .....	170
7.1.1.1	Morphologischer Aufbau der Einzelpflanze .....	170
7.1.1.2	Bestandsstruktur .....	172
7.1.2	Einfluß der Gerätetechnik .....	172
7.1.2.1	Luftüberschuß der Verbrennung .....	173
7.1.2.2	Gasdurchsatz am Brenner .....	173
7.1.2.3	Brennerrichtung .....	174
7.1.2.4	Emissionsverhältnis des Gaskörpers .....	174
7.1.2.5	Einfluß der Gestaltung der Abdeckung .....	175

---

7.1.2.6	Gleichmäßigkeit des Wärmeeintrags über die Arbeitsbreite .....	176
7.1.4	Einfluß von Klimafaktoren .....	176
7.1.3	Einfluß von Bodenparametern .....	177
7.2	Schlußfolgerungen für die Gerätekonzepte .....	178
7.2.1	Gerätekonzept "Abflammen" .....	178
7.2.2	Gerätekonzept "Low Temperature Weeder" .....	180
7.3	Methoden zur meßtechnischen Überprüfung von Geräten zur thermischen Unkrautbekämpfung .....	181
7.3.1	Speed (Dose)/Response .....	181
7.3.2	Temperaturmessung .....	182
7.4	Thermodynamisches Modell .....	183
<b>8</b>	<b>Weiterführende Arbeiten</b> .....	<b>185</b>
<b>9</b>	<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>186</b>
<b>10</b>	<b>Summary</b> .....	<b>189</b>
<b>11</b>	<b>Literaturverzeichnis</b> .....	<b>191</b>