

- [6] Mühlbauer, W. u. W. Christ: Die zulässige Einwirkungszeit verschiedener Korntemperaturen bei der Trocknung von Mais für die tierische Ernährung. Grundl. Landtechnik Bd. 24 (1974) Nr. 5, S. 161/64.
- [7] Huss, W.: 2. Tätigkeitsbericht des Sonderforschungsbereichs 140 – Landtechnik (Verfahrenstechnik der Körnerfruchtproduktion) der Universität Hohenheim, Bd. 2 (1975) S. 1/36.
- [8] Zucker, H., H. Erbersdobler u. J. Gropp: Untersuchungen über lysinreichen Mais. Analytische Untersuchungen und Fütterungsversuche an Ratten und Wachteln. Tierphysiol., Tierernähr., Futtermittelkde. Bd. 23 (1968) S. 193/204.
- [9] Erbersdobler, H., J. Gropp u. H. Zucker: Beeinflussung der Proteinqualität bei Körnermais durch unterschiedliche Trocknungsbedingungen. Wiss. Z. Universität Rostock, Math. Naturwiss. Reihe Bd. 18 (1969) H. 1/2, S. 145/50.
- [10] Carpenter, K.J. u. V.H. Booth: Damage to lysine in food processing: its measurement and its significance. Nutrition Abstracts and Reviews Vol. 43 (1973) Nr. 6, S. 424/51.
- [11] Godon, B. u. L. Petit: Propriétés des protéines. In: Le maïs grain: préstockage, séchage et qualité. Annales de Zootechnie Vol. 20 (1971) Sh., S. 641/44.
- [12] Harrison, K.R., P.F. Doarks u. E.N. Greer: Detection of heat damage in dried wheat. Milling Vol. 151 (1969) Nr. 7, S. 37/38.
- [13] Weith, E.L.: Hitzgeschädigtes Getreide und Keimfähigkeit. Getreide und Mehl Bd. 9 (1959) Nr. 12, S. 130/32.
- [14] Schiller, K.: Der Frölich-Test als Qualitätskriterium zur Beurteilung von Sojaschroten. Landw. Forschung Bd. 17 (1969) Sh. 23/II, S. 63/67.
- [15] Hurrell, R.F. u. C.J. Carpenter: The use of three dyebinding procedures for the assessment of heat damage to food proteins. Brit. J. Nutr. Vol. 33 (1975) Nr. 1, S. 101/15.
- [16] Huss, W. u. R. Isermann: Veränderungen von mikroskopischer Struktur und Nährstoffqualität bei der Heißlufttrocknung von Körnermais. Landw. Forschung Sh. 31/II (1974) S. 100/111.
- [17] DIN 5033, Blatt 1 - 8: Farbmessung. Hrsg. Fachnormenausschuß Farbe und Lichttechnik im Dt. Normenausschuß. Aug. April 1954.
- [18] Richter, M.: Optik. In: Hütte Bd. 1 – Theoretische Grundlagen. 28. Aufl. S. 417/23. Berlin: Verlag W. Ernst u. Sohn 1955.

Einfluß der Brenneremissionen auf die Gehalte an anorganischen Ablagerungen auf Körnerfrüchten bei direktbeheizten Trocknungsanlagen

Von Werner Hutt und Walter Oelschläger,
Stuttgart-Hohenheim*)

Mitteilung aus dem Sonderforschungsbereich 140 – Landtechnik "Verfahrenstechnik in der Körnerfruchtproduktion" der Universität Hohenheim

DK 664.8.047:633.004.12:641.17

Durch die direkte Beheizung bei Körnertrocknungsanlagen können die Investitionskosten und der Energiebedarf gesenkt werden. Nachteilig bei diesem Verfahren kann eine mögliche Qualitätsminderung durch Schadstoffablagerungen auf dem Trocknungsgut sein. Die Art und Menge der Ablagerungen hängen vom Brennstoff, der Brennerbauart, dem Betriebszustand des Brenners, der Trocknerbauart und dem Trocknungsgut ab. Der Einfluß dieser Faktoren wird untersucht und die abgelagerten anorganischen Schadstoffmengen werden mit den derzeit geltenden Höchstmengenverordnungen und Erfahrungswerten aus dem Schrifttum verglichen.

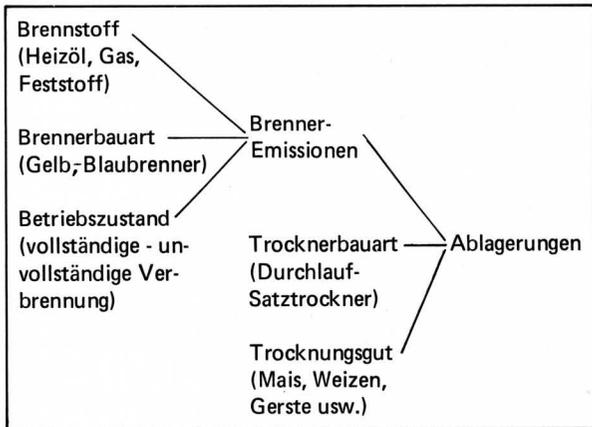
1. Einleitung

Der starke Anstieg der Energiepreise in den letzten Jahren führte zu einer wesentlichen Verteuerung der landwirtschaftlichen Trocknung. Hiervon ist insbesondere die Körnermaistrocknung betroffen, da beispielsweise zur Trocknung von 1 t Mais mit einem Feuchtegehalt von 40 % auf lagerfähigen Zustand etwa 60 kg Heizöl erforderlich sind. Systematische Untersuchungen [1] der Energieeinsparmöglichkeiten zeigten, daß bei direktem Trocknen mit Rauchgas-Luft-Gemisch der Energiebedarf um 20 bis 30 % gesenkt werden kann. Durch den Verzicht auf den Wärmetauscher können gleichzeitig die Investitionskosten gesenkt werden. Die direkte Trocknung besitzt aber den Nachteil, daß unter Umständen eine Qualitätsminderung des Trocknungsgutes durch Schadstoffablagerungen, beispielsweise toxisch wirkende Nitrite, Nitrate und Schwermetalle sowie durch krebserregende organische Verbindungen, möglich ist. Die Art und Menge der Ablagerungen hängen vom Brennstoff, der Brennerbauart, dem Betriebszustand des Brenners, der Trocknerbauart und dem Trocknungsgut ab. Eine Übersicht zeigt Tafel 1.

*) Dipl.-Ing. W. Hutt ist wissenschaftlicher Assistent am Lehrstuhl für Grundlagen der Landtechnik des Instituts für Agrartechnik der Universität Hohenheim (Lehrstuhlinhaber war Prof. Dr.-Ing. G. Segler). Dr. W. Oelschläger ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Tierernährung der Universität Hohenheim.

In den USA, Kanada, Frankreich und den Ostblockstaaten wird Getreide nahezu ausschließlich direkt getrocknet. Während in Frankreich und den Ostblockstaaten vorwiegend Heizöl verschiedener Qualität als Brennstoff eingesetzt wird, verwendet man in USA und Kanada bisher hauptsächlich Erdgas und Propangas.

Zukünftig soll aber in diesen Ländern von Erdgas auf Heizöl umgestellt werden, da Erdöl in größeren Mengen zur Verfügung steht. In der Bundesrepublik Deutschland ist die direkte Trocknung landwirtschaftlicher Produkte nicht verboten, aber nach Mitteilung des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten von 1973 werden keine Zuschüsse für den Bau von Trocknungsanlagen mit direkter Beheizung gewährt. Als Grundlage für eine Entscheidung müssen noch weitere Untersuchungen durchgeführt werden.



Tafel 1. Einflüsse auf die Art und Menge der Ablagerungen bei direktgetrockneten Getreidekörnern.

In früheren Arbeiten [2 bis 6] wurden die Einflüsse der direkten Trocknung bei Weizen, Roggen, Gerste und Hafer untersucht, wobei besonders Schwefeldioxid, Arsen, Blei, Cadmium, Quecksilber, Eisen sowie Benzpyren und einige weitere polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAKW) nachgewiesen wurden. Die ermittelten Gehalte an anorganischen Ablagerungen liegen unterhalb von möglichen schädlichen Konzentrationen. Die ermittelten Gehalte an PAKW-Ablagerungen durch direkte Trocknung mit einem Heizölbrenner sind im zulässigen Betriebszustand des Brenners gering, bei schlechter Brenneinstellung jedoch groß [4, 6]. Grenzwerte für zulässige Gehalte an PAKW in Nahrungsmitteln liegen nicht vor. Bei den bisherigen Untersuchungen wurde nicht auf Nitrit- und Nitratablagerungen eingegangen und insbesondere sind keine Untersuchungen über die Kontamination von Körnermais bekannt.

Nitrit und Nitrat wirken in größeren Mengen toxisch, außerdem sind sie Voraussetzung für die Bildung der als krebserregend angesehenen Nitrosamine. Da zur Trocknung von Körnermais aufgrund

der hohen Erntefeuchte etwa die zehnfache Brennstoffmenge gegenüber anderen Getreidearten notwendig ist, muß möglicherweise mit größeren Mengen an Ablagerungen gerechnet werden. Die von uns durchgeführten Untersuchungen erstreckten sich daher vorwiegend auf die direkte Trocknung von Körnermais. Zur Ergänzung wurden noch Proben von direktgetrocknetem Weizen bzw. Gerste miteinbezogen. In der vorliegenden Arbeit wird über die Kontamination der Getreidekörner durch Schwermetalle, Nitrit und Nitrat berichtet. Die Analysen der PAKW-Ablagerungen sind noch nicht abgeschlossen, diese Untersuchungsergebnisse werden zu einem späteren Zeitpunkt veröffentlicht.

2. Aufgabenstellung

Der Einfluß der Brenneremissionen auf die Gehalte an anorganischen Ablagerungen bei direktbeheizten Getreidetrocknern soll ermittelt, die festgestellten Gehalte mit bestehenden Höchstmengenverordnungen bzw. Erfahrungswerten über schädliche Konzentrationen für tierische und menschliche Ernährung verglichen werden. Bei Trocknungsversuchen unter definierten Betriebsbedingungen soll weiterhin versucht werden, einen Zusammenhang zu finden zwischen den Emissionsbestandteilen im Rauchgas-Luft-Gemisch und den Ablagerungen auf dem Trocknungsgut. Hierzu soll in einem Satzrockner, der durch einen Druckzerstäuberölbrenner (Gelbbrenner) direktbeheizt wird, Körnermais getrocknet werden. Zur Absicherung der Versuchsergebnisse sollen Getreideproben von mehreren landwirtschaftlichen Trocknungsanlagen untersucht werden.

Bei weiteren Untersuchungen sollen Blaubrenner, die durch geringe Emissionen bekannt sind [7], zur Trocknung von Getreide eingesetzt werden.

3. Versuchsaufbau

Zur Durchführung der beschriebenen Untersuchungen wurde die in Bild 1 dargestellte Versuchsanlage aufgebaut¹⁾. Die Anlage besteht aus den Hauptteilen:

1. Frischluftansaugung mit Durchflußmessung und Schwebstoffentnahme,
2. Brennkammer mit Ölbrenner und Meßstellen für Rußzahl, statischen Druck p , Kohlenmonoxid und Kohlendioxid,
3. Trocknungsluftentnahme für SO_2 -, NO_2 -, Schwebstoff und PAKW-Bestimmung,
4. Satzrockner.

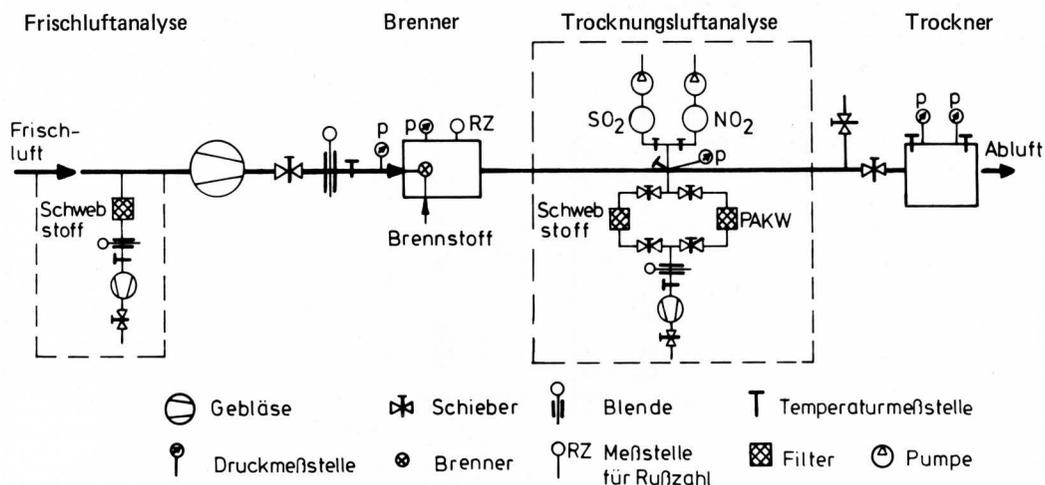


Bild 1. Schematische Darstellung der Versuchsanlage zur direkten Trocknung von Körnerfrüchten. Symbole nach DIN 2429, 2482, 24004.

1) Die trocknungstechnischen Untersuchungen wurden am Institut für Agrartechnik, die Analysen der anorganischen Ablagerungen am Institut für Tierernährung durchgeführt.

Die Teilströme für die Frischluft- und Trocknungsluftanalyse werden isokinetisch entnommen, d.h. die mittlere Geschwindigkeit im Entnahmerohr und in der Hauptleitung ist bei turbulenter Strömung gleich groß. Die Schwebstoffe werden durch Membranfilter mit 8 µm Porengröße abgeschieden und mit Hilfe der Röntgenfluoreszenzanalyse²⁾ bestimmt. Die Durchsatzmessungen der Gasströme in der Hauptleitung und in den Abzweigungen erfolgen mit Blenden nach DIN 1952, bei der SO₂- und NO₂-Entnahme mit geeichten Gasuhren. Der Brennstoffdurchsatz wird durch Wägung ermittelt. Temperaturmessungen werden mit NiCr-Ni-Thermoelementen, Druckmessungen mit wassergefüllten U-Rohr- und Betz-Manometern durchgeführt. Aus meßtechnischen Gründen wurde das Gebläse vor der Brennkammer angeordnet, während bei landwirtschaftlichen Trocknungsanlagen die Anordnung hinter der Brennkammer üblich ist.

Der Betriebszustand des Brenners wird gekennzeichnet durch die Rauchgasanteile von Kohlendioxid (CO₂), Kohlenmonoxid (CO), Sauerstoff (O₂) und durch die Rußzahl (RZ). CO₂-, CO- und O₂-Gehalte können mit dem Orsatgerät ermittelt werden. Zur Bestimmung der Rußzahl nach DIN 51402 wird eine festgelegte Menge Rauchgas durch ein weißes Papierfilter gesaugt. Durch visuellen Vergleich der eingetretenen Schwärzung mit einer Meßskala wird die Rußzahl zwischen 0 und 9 festgelegt. Der SO₂-Gehalt wird mit einem Gerät von der Firma Wösthoff Typ Ultragas 3, der NO₂-Gehalt nach der Methode von Jacobs und Hochheiser [8] bestimmt.

Als Trocknungsbehälter dient ein vertikal durchströmter Stahlzylinder mit einem verschiebbaren Siebboden.

4. Versuchsdurchführung

4.1 Trocknung

Der Brenner wurde auf den kleinsten Öldurchsatz von 1,8 kg/h bei 8 bar Öldruck einreguliert. Durch Drosseln der Verbrennungsluftzufuhr wurden die Rußzahlen 1, 3, 5, 7 und 9 eingestellt und jeweils für eine Trocknung konstant gehalten. Nach Günther [6] ist die Methode der Rußzahlenmessung mit einer Unsicherheit von ± 0,5 bis ± 1 Einheit behaftet. In Heizungsanlagen sind nach dem Bundesimmissionsschutzgesetz von 1974 Werte bis Rußzahl 3 zulässig. Bei landwirtschaftlichen Trocknungsanlagen können aufgrund des rauen Betriebs höhere Rußzahlen auftreten, ohne daß sie sofort erkannt werden.

Der Luftdurchsatz wurde auf 1000 kg/h eingestellt, dies entspricht einer Luftgeschwindigkeit von etwa 1 m/s im freien Trocknerquerschnitt und ergibt eine Verdünnung des Rauchgases von etwa 1 : 30, wodurch am Trocknereingang eine Temperatur von etwa 70 °C erreicht wird.

Der Trocknungsbehälter wurde 0,70 m hoch mit etwa 150 kg Feuchtmais gefüllt und nach einer Trocknungszeit von 5 h schichtweise entleert.

Vom Feuchtgut sowie von jeder Schicht (insgesamt 6) des getrockneten Gutes wurden Proben von je 2 kg entnommen und auf anorganische und organische Ablagerungen untersucht. Bis zur Analyse wurden die Proben in luftdicht verschlossenen PE-Flaschen in einer Tiefkühltruhe aufbewahrt.

4.2 Körneranalysen

Sämtliche Proben wurden auf ihre Gesamtgehalte an Eisen, Mangan, Zink, Kupfer, Molybdän, Blei, Chrom, Cadmium und Schwefel sowie auf oberflächliche Kontamination durch Nitrit und Nitrat untersucht.

Zur Bestimmung der Schwermetallgehalte wurde eine Probenmenge von 200 g im Trockenschrank mit Frischluftzufuhr bei 55 - 60 °C vorgetrocknet und in Platinschalen im Verlauf von etwa 3 Tagen bis auf etwa 240 °C erhitzt. Nach der anschließenden Veraschung der Proben im Muffelofen bei 420 - 450 °C wurden die Aschen in Lösung gebracht. Der Endnachweis erfolgte zum Teil chemisch (Fe, Mo), größtenteils jedoch mit Hilfe der Atomabsorptionsspektroskopie.

Zur Nitritbestimmung wurde eine von Schuphan und Schlottermann empfohlene Methode [9] angewendet, nach der Nitritstickstoff mittels Sulfanilsäure und *α*-Naphthylamin kolorimetrisch bestimmt wird. Dazu werden die ganzen Körner (10 g) eine Stunde mit 40 ml Wasser geschüttelt. Die erhaltene Lösung klärt man durch Ausfällen von Aluminiumhydroxid und anschließende Filtration.

Zur Nitratbestimmung stellten wir die Probelösung ebenfalls durch einständiges Ausschütteln der Getreidekörner mit Wasser her. Allerdings zeigte eine größere Zahl von Vorversuchen, daß Nitrat im Gegensatz zu Nitrit sehr deutlich an Aluminiumhydroxid adsorbiert wird. Bei Anwendung geringster Mengen Fällungsmittel, bei denen der Niederschlag eben noch ausflockt, erhält man jedoch brauchbare und reproduzierbare Ergebnisse; zugesetzte Nitratmengen wurden gut wiedergefunden. Die kolorimetrische Bestimmung wurde mittels N-[Naphthyl-(1)]-äthylendiammoniumdichlorid [10] vorgenommen.

5. Versuchsergebnisse

5.1 Analysen der Frischluft und des Rauchgas-Luft-Gemisches

An Schwebstoffen konnten in nennenswerten Mengen Eisen, Zink, Kupfer, Blei, Kalium, Calcium und Schwefel nachgewiesen werden, Tafel 2. Bereits in der Frischluft sind die genannten Elemente in verschiedenen Konzentrationen je nach Witterung und sonstigen Umwelteinflüssen enthalten. Geringe Zunahmen im Rauchgas-Luft-Gemisch sind nur bei Zink, Kupfer, Blei und Schwefel festzustellen. Zunächst ermittelte Zunahmen bei Eisen ließen sich auf Werkstoffabtragungen in der Rohrleitung zurückführen.

Der Schwefeldioxidgehalt lag bei etwa 7 mg/m³ und die NO₂-Gehalte zwischen 0,4 und 3,4 mg/m³ für das Rauchgas-Luft-Gemisch im Normzustand. Zum Vergleich: als maximale Arbeitsplatzkonzentrationen sind bei SO₂ 13 mg/m³ und bei NO₂ 9 mg/m³ für die Luft im Normzustand zugelassen.

Weder bei den anorganischen Schwebstoffen noch bei SO₂ und NO₂ war ein Einfluß der Rußzahl festzustellen.

Element	Schwebstoffgehalt in µg/kg Luft	
	Rauchgas-Frischluft-Gemisch	Zunahme gegenüber Frischluft
Fe	0,5 (0,25 - 1,2)	—
Zn	0,29 (0,21 - 0,42)	0,15
Cu	0,06 (0,06 - 0,08)	0,05
Pb	0,32 (0,24 - 0,49)	0,08
K	0,33 (0,1 - 0,65)	—
Ca	0,44 (0,25 - 0,88)	—
S	67 (52 - 78)	65

Tafel 2. Schwebstoffgehalte im Rauchgas-Luft-Gemisch (Mittelwerte und Streubereiche) eines Druckzerstäuber-Ölbrenners und Zunahme gegenüber der Frischluft.

²⁾ Die Schwebstoffanalysen wurden von Herrn Dr. Schreiber, die SO₂- und NO₂-Analysen von Herrn Dr. Kühme, beide Institut für Physik und Meteorologie der Universität Hohenheim, durchgeführt.

5.2 Analysen des Trocknungsgutes

5.2.1 Darstellung der Analysenwerte

Die Analysenergebnisse der Untersuchungen von Mais, Weizen und Gerste sind in den **Tafeln 3 und 4** und in **Bild 2** dargestellt. Da weder signifikante Unterschiede der Schwermetall- und Schwefelgehalte vor und nach der Trocknung bei den Proben aus unseren Versuchen noch bei den Proben von landwirtschaftlichen Betrieben festgestellt werden konnten, sind die Ergebnisse aller Proben in **Tafel 3** zusammengefaßt. Durch die Getreideart bedingte Unterschiede sind allerdings deutlich erkennbar.

Die Gehalte an Fe, Mn, Cu, Pb und Cd sind bei Mais deutlich niedriger als bei Weizen, auch gegenüber Gerste sind die Gehalte an Mn, Cu und Pb geringer, während die übrigen Gehalte etwa gleich sind. In Gerste wiederum ist weniger Mangan und Cadmium aber mehr Blei und Chrom als in Weizen enthalten.

Element	Gehalt in mg/kg TM (ppm)		
	Mais	Weizen	Gerste ^{xx}
Fe	30 (23 - 44)	44 (32 - 64)	34 (33 - 35)
Mn	6,3 (5,5 - 7,2)	33 (25 - 41)	11 (11)
Zn	23 (20 - 27)	27 (22 - 32)	26 (26)
Cu	1,8 (1,4 - 2,1)	4,5 (3,9 - 5,5)	5,0 (4,8 - 5,2)
Pb	0,11 (0,04 - 0,19)	0,16 (0,12 - 0,21) 0,34 ^x (0,22 - 0,45)	0,32 (0,27 - 0,38)
Cr	0,15 (0,08 - 0,25)	0,12 (0,09 - 0,15)	0,24 (0,21 - 0,27)
Cd	0,01 (0,005 - 0,019)	0,027 (0,02 - 0,038) 0,055 ^x (0,045 - 0,065)	0,006 (0,004 - 0,008)
S	1300 (1200 - 1700)	1400 (1200 - 1600)	1450 (1300 - 1600)

^x Standort in der Nähe von starkem Kraftfahrzeugverkehr (Autobahn, Bundesstraße)

^{xx} geringe Streubereiche, da die Gerste nur in einem Trocknungsversuch untersucht wurde

Tafel 3. Gesamtgehalte (Mittelwerte und Streubereiche) an Schwermetallen und Schwefel bei direktgetrocknetem Getreide (bezogen auf die Trockenmasse des Körnergutes). Proben von Versuchsanlagen und von landwirtschaftlichen Betrieben.

Trocknerbauart	Brennstoff	Getreideart	Oberflächenkontamination in mg/kg TM (ppm)			
			Nitrit		Nitrat	
			feuchtes Gut	getrockn. Gut	feuchtes Gut	getrockn. Gut
Satz Trockner	Heizöl EL	Mais	0,1	0,1 - 0,4	0,9 - 2,0	1,0 - 6,5
Durchlauf-trockner	Propangas	Gerste	0,2	0,9 - 1,5	1,1 - 1,3	4,2 - 5,3
Durchlauf-trockner	Propangas	Weizen	0 - 0,1	0,1 - 0,2	0,5 - 1,3	1,5 - 2,5
Durchlauf- ^x trockner	Heizöl EL	Mais	0,1	0,2	0,9	2,7
Schubwende- ^x trockner	Heizöl EL	Mais	0,1	0,2	1,4	2,8
Schubwende- ^x trockner	Heizöl EL	Weizen	0	0,3	3,5	8,5
Satz Trockner ^x	Heizöl EL	Weizen	0	0,1	1,6	3,7

^x Proben von landwirtschaftlichen Betrieben

Tafel 4. Oberflächenkontamination durch Nitrit und Nitrat bei direktgetrocknetem Getreide (bezogen auf die Trockenmasse des Körnergutes). Proben von Versuchsanlagen und von landwirtschaftlichen Betrieben.

Auffällig ist der relativ hohe Gehalt an Blei, Cadmium und Nitrat bei den Weizenproben von zwei landwirtschaftlichen Betrieben. Die Felder beider Betriebe liegen in unmittelbarer Nähe einer Autobahn bzw. Bundesstraße mit hoher Verkehrsdichte. Möglicherweise könnte die Auswirkung von Kraftfahrzeugemissionen vorliegen. Bei Maisproben von den gleichen Betrieben konnte kein entsprechendes Verhalten festgestellt werden.

Aus der **Tafel 4** kann man entnehmen, daß die oberflächliche Kontamination von Mais mit Nitrit gering bleibt, während die Konzentration von Nitrat in Abhängigkeit von der Schichthöhe sich merklich verstärkt, **Bild 2**. Am höchsten ist die oberflächliche Kontamination der Proben, die aus Schichten von 0 bis 10 cm über dem Trocknerboden entnommen wurden. Errechnet man die mittleren Nitratgehalte über den gesamten Satz Trockner, ergeben sich etwa die gleichen Zunahmen wie bei den Maisproben von landwirtschaftlichen Betrieben.

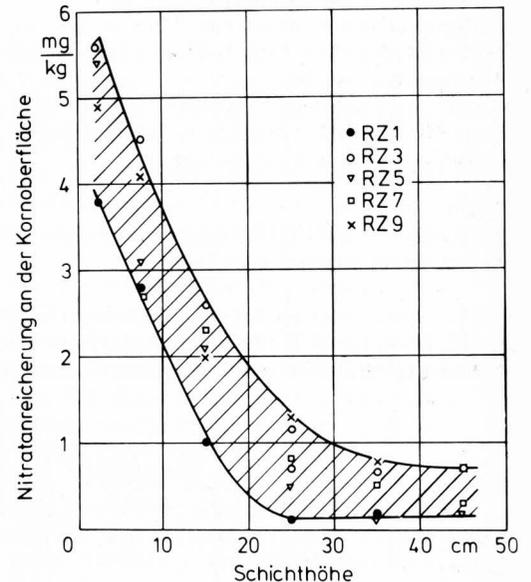


Bild 2. Nitratanreicherung an der Oberfläche von Maiskörnern in Abhängigkeit von der Schichthöhe im Trockner.

Der Vergleich der Getreidearten zeigt, daß bei der mit Propangas getrockneten Gerste die oberflächliche Kontamination durch Nitrit und Nitrat deutlich mehr zunimmt als beim entsprechend getrockneten Weizen und auch mehr als bei mit Heizöl getrocknetem Mais. Möglicherweise begünstigt die rauhere Kornoberfläche von Gerste die Bildung von Nitrit und Nitrat.

Die Körneranalysen zeigen nur eine Zunahme der oberflächlichen Kontamination von Nitrat und bei Gerste auch von Nitrit, während die Gesamtgehalte an Schwermetallen und Schwefel keinen Einfluß der direkten Trocknung erkennen lassen. Ein kurzer Vergleich der Rauchgas-Luft-Gemisch-Analysen unserer Versuchsanlage mit den Schwermetall- und Schwefelgehalten der Maiskörner zeigt: Während der gesamten Trocknungsdauer von 5 h können im Mittel etwa 2,5 mg Fe, 1,45 mg Zn, 0,35 mg Cu, 1,6 mg Pb und 335 mg S als Schwebstoffe mit dem Trocknungsgut in Kontakt gebracht werden. Selbst bei einer Abscheidewirkung von 100 % in den ersten 5 cm der Gutschicht (diese Schicht enthält etwa 10 kg Trockengut) wäre damit nur eine Zunahme möglich, die innerhalb der festgestellten Streubereiche (Tafel 3) liegt. Die Streuung der Analysenwerte wird hauptsächlich verursacht durch die unterschiedlichen Staubanteile der Proben und die natürlichen Schwankungen der Kornzusammensetzung, während das Analysenverfahren nur geringe Streuungen bedingt [11].

5.2.2 Vergleich mit Höchstmengenverordnungen und Literaturangaben

Für Futtermittel hat der Rat der Europäischen Gemeinschaften am 17. Dezember 1973 eine Richtlinie [12] über Höchstgehalte an unerwünschten Stoffen und Erzeugnissen verabschiedet, **Tafel 5**.

Stoffe	Höchstgehalte mg/kg
Arsen	2
Blei	10
Quecksilber	0,1
Nitrite *	15
Fluor	150

* berechnet als NaNO_2

Tafel 5. Höchstgehalte von Schwermetallen, Nitriten und Fluor in Futtermitteln nach EG-Richtlinie [12].

In einem Verordnungsentwurf für duldbare Höchstmengen an Schwermetallen in Nahrungsmitteln hat das Bundesministerium für Jugend, Familie und Gesundheit Höchstwerte für Getreide und Getreideerzeugnisse angegeben, **Tafel 6**. Aus **Tafel 3** geht hervor, daß die Cadmiumgehalte unserer Mais-, Weizen- und Gersteproben deutlich unter der duldbaren Höchstmenge für Getreide als Nahrungsmittel liegen. Dies gilt mit Ausnahme von Gerste und zwei Weizenproben auch für Blei. Bei Untersuchungen organischer und anorganischer Futtermittel [13, 14] wurde in 77 Proben von Getreidefrüchten und Nebenerzeugnissen der Getreideverarbeitung ein durchschnittlicher Bleigehalt von 0,46 mg/kg ermittelt und in 63 Proben ein durchschnittlicher Cadmiumgehalt von 0,045 mg/kg. Während eine Anzahl von Proben von Nachprodukten der Getreideverarbeitung (Entzug des Mehlkörpers) mit ihren Bleigehalten merkbar höher liegen als die unverarbeiteten Getreidefrüchte, ergab sich bei Cadmium kein deutlicher Unterschied. Allerdings stand für Cadmium keine ausreichende Anzahl von Proben zur Verfügung. Unser Befund deckt sich jedoch auch ungefähr mit dem von *Seibel* und Mitarbeitern [15 bis 17], wonach durch Trockenschälung bis zu 70 % an Blei aber nur etwa 10 % an Cadmium

entfernt werden konnten. *Seibel* und Mitarbeiter fanden in 300 Proben von Brotgetreide mehrerer Ernten (1971 - 1973) einen Bleigehalt zwischen 0,05 und 0,45 mg/kg (Durchschnitt 0,15 mg/kg); der Cadmiumgehalt lag im allgemeinen unterhalb 0,1 mg/kg und nur in vereinzelt Fällen – wie dies ebenfalls bei unseren Untersuchungen auftrat [14] – auch darüber.

Gegenüber den relativ geringen Blei- und Cadmiumgehalten in Getreidefrüchten und Nebenerzeugnissen der Getreideverarbeitung liegen die Gehalte in den mineralischen Futtermitteln sehr hoch, **Tafel 7**.

Schwermetall	Getreide mg/kg	Getreideerzeugnisse mg/kg
Arsen	1,0	0,5
Blei	0,3	0,2
Cadmium	0,1	0,1
Quecksilber	0,05	0,05

Tafel 6. Duldbare Höchstmenge an Schwermetallen in Nahrungsmitteln. Verordnungsentwurf des Bundesministeriums für Jugend, Familie und Gesundheit [3].

Schwermetall	Futtermittel	n	Gehalte mg/kg TM
Pb	Mineralfutter für Rinder	7	6,8 (3,2 - 15,1)
Pb	Mineralfutter für Schweine	5	11,0 (5 - 18,2)
Cd	Mineralfutter für Rinder	7	9,8 (1,1 - 21)
Cd	Mineralfutter für Schweine	4	4,9 (0,8 - 11,2)

n = Anzahl der Proben verschiedener Herkunft

Tafel 7. Blei und Cadmiumgehalte in Mineralfutter für Rinder und Schweine [13, 14].

5.2.3 Toxische Wirkung von Nitrit und Nitrat bei Tieren und Menschen

Die Zahl der durch Nitrate und Nitrite bedingten Intoxikationen und Tierverluste (besonders bei Wiederkäuern) ist relativ groß, und zwar vor allem infolge Aufnahme überdurchschnittlich hoher Mengen Nitrat und Nitrit, die besonders in Grünfütterpflanzen und Rüben aller Art gespeichert werden können, sowie durch verunreinigtes Tränkwasser [18]. Bei Nitrit genügt ein Zehntel der Menge von Nitrat für denselben toxischen Effekt. Die Bedeutung von Nitrat als Vergiftungsursache ist darauf zurückzuführen, daß Nitrat entweder im Futtermittel durch Umweltfaktoren oder im Verdauungstrakt in Nitrit umgewandelt und dadurch die sauerstofftragende Fähigkeit des im Hämoglobin gebundenen Fe III durch Reduktion zu Fe II gestört wird. Ein weiterer Einfluß ist die verminderte Umwandlung von Karotin in Vitamin A in der Darmwand. Hohe Nitratdosierungen unterdrücken außerdem die Schilddrüsenfunktionen, die als mitwirkender Faktor bei der Umwandlung von Karotin in Vitamin A bekannt ist [19].

Über den toxisch wirkenden Nitratgehalt in Pflanzen gehen die Ansichten auseinander. Während Wiesenheu mit normalerweise 1000 bis 2000 mg Nitrat je kg Trockenmasse als unbedenklich anzusehen ist, sind mehr als 5000 mg/kg schädlich [18]. Bei Schweinen, die eine Dosis von 40 bis 65 mg Nitrit je kg Körpermasse über einen Zeitraum von 124 Tagen erhielten, wurde die durchschnittliche tägliche Zunahme und die Futtermittelverwertung nicht beeinflusst. Höhere Dosen an Nitrit (70 mg/kg und mehr) wirkten toxisch [20]. Bei Putenküken verursachten Gehalte von 1000 mg Nitrat bzw. 400 mg Nitrit (als Kaliumsalze) je kg Futtertrockenmasse während einer Zeitspanne von 3 - 4 Wochen Gewichtsminde- rung und hohe Sterblichkeit [21].

Nach Untersuchungen von *McNamara* und Mitarbeitern [22] liegen die Nitratgehalte in Salaten und Gemüsen meist sehr deutlich höher als in Getreidefrüchten (Mais 1,1 bis 3,8; Weizen bis 1,9 mg NO₃ - N/kg TM). Aus den obigen Ausführungen ersieht man, daß die von uns ermittelten oberflächlichen Nitrat- und Nitritkontaminationen der Getreidekörner bei deren Trocknung mit Propangas und Heizöl EL im Verhältnis zu den Mengen, die in anderen Pflanzen enthalten sein können, und denjenigen, welche als Grenzwerte bzw. als unbedenklich angegeben werden, sehr gering sind und nicht zu einer toxischen Wirkung bei landwirtschaftlichen Nutztieren beitragen können.

Über toxische Grenzen in der menschlichen Ernährung stehen uns keine ausreichenden Angaben zur Verfügung. In Anbetracht der relativ höheren Gehalte in Gemüse, Salaten, Kartoffeln usw. gegenüber den von uns auf den Getreidefrüchten ermittelten Kontaminationen, dürften diese letzteren auch für die menschliche Ernährung keine Rolle spielen. Nach *Schormüller* [23] darf der Höchstgehalt an Nitrit (als NaNO₂ berechnet) in Wurst 150 bis 200 mg/kg betragen (entspricht einem Nitritgehalt von 100 bis 130 mg/kg). Aufgrund der Trinkwasserverordnung vom 31. Januar 1975, Bundesgesetzblatt I, ist in der Bundesrepublik eine Nitratmenge von 90 mg/l zugelassen. Auf die als stark krebserregend bekannten Nitrosamine wurde bei den Untersuchungen nicht eingegangen, da aufgrund der niedrigen Nitrit-Gehalte mit der Bildung von Nitrosaminen nicht oder zumindest kaum zu rechnen ist.

6. Zusammenfassung

Einflüsse der Brenneremissionen auf die Gehalte der Körner an anorganischen Ablagerungen bei direktbeheizten Getreidetrocknern wurden untersucht. Hierzu wurde in einem Modellsatztrockner, der durch einen Druckzerstäuber-Ölbrenner (Gelbbrenner) direkt beheizt wurde, Körnermais getrocknet. Durch Variation des Luft-Brennstoff-Verhältnisses wurden verschiedene Betriebszustände des Brenners eingestellt, die durch die Rußzahl gekennzeichnet wurden. Das Trocknungsgut, die Frischluft und das Rauchgas-Luft-Gemisch wurden auf ihre Gehalte an Schwermetallen, Schwefel, Nitrit, Nitrat bzw. Schwefeldioxid und Stickstoffdioxid untersucht. Zur Absicherung der Versuchsergebnisse wurden Getreideproben (Mais, Weizen, Gerste) von mehreren landwirtschaftlichen Trocknungsanlagen untersucht. Die ermittelten Gesamtgehalte an Schwermetallen und Schwefel zeigten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Proben vor und nach der Trocknung; durch die Getreideart bedingte Unterschiede sind dagegen deutlich erkennbar.

Im Vergleich zu den in Höchstmengenverordnungen für Futtermittel und Nahrungsmittel festgelegten Werten liegen die von uns ermittelten Gehalte deutlich niedriger. Die Oberflächenkontamination mit Nitrit steigt nur bei direktgetrockneter Gerste an, während bei den anderen Getreidearten kein Einfluß nachweisbar ist. Auch Nitrat zeigt bei Gerste einen stärkeren Anstieg als bei Weizen. Bei Mais ist ebenfalls eine deutliche Zunahme der Nitratkontamination festzustellen, besonders in den unteren Schichten des Satzrockners. Insgesamt gesehen zeigt aber ein Vergleich mit Schrifttumsangaben, daß die ermittelten Gehalte an anorganischen Ablagerungen weder bei landwirtschaftlichen Nutztieren noch bei Menschen zu einer Schädigung führen dürften.

Bei weiteren Kornanalysen sollen noch die Gesamtgehalte an Quecksilber und Vanadium sowie die Oberflächenkontamination durch Schwermetalle ermittelt werden. Außerdem soll der Spurenelementgehalt von Heizöl und die Trocknung von Getreide mit einem Blaubrenner (Ölbrenner) untersucht werden. Über die Ablagerungen von polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen auf direktgetrocknetem Mais wird zu einem späteren Zeitpunkt berichtet.

Schrifttum

Bücher sind durch ● gekennzeichnet

- [1] *Isaacs, G. u. W. Mühlbauer:* Möglichkeiten und Grenzen der Energieeinsparung bei der Körnermaistrocknung. Landtechnik Bd. 30 (1975) Nr. 2, S. 397/401.
- [2] *Wienhaus, H.:* Untersuchungen über die Qualitätsminderung des Getreidekorns bei Direktverwendung von Verbrennungsgasen zur Trocknung. Diss. Bonn 1962.
- [3] *Bolling, H.:* Über den Einfluß des Rauchgases auf die Getreidetrocknung. Die Mühle Bd. 101 (1964) Nr. 43, S. 759/61.
- [4] *Seibel, W.:* Probleme der direkten Trocknung von Weizen. Vortrag Zagreb/Jugoslawien 1972.
- [5] *Seibel, W. u. H.D. Ocker:* Schadstoffe im Getreide. Ein Problem des Verbraucherschutzes. Die Mühle und Mischfüttertechnik Bd. 111 (1974) H. 11, S. 163/66.
- [6] *Günther, R.:* Direkttrocknungsversuche von Getreide, Beziehungen zwischen der Rußzahl nach *Bacherach* und dem Gehalt des Getreides an cancerogenen Kohlenwasserstoffen bei der Direkttrocknung. Unveröffentl. Bericht an die DFG vom 4.11.1968 u. 10.12.1969.
- [7] *Kremer, H.:* Schadstoffemission von Ölbrennern niedriger Leistung mit Druckzerstäubung unter verschiedenen Betriebsbedingungen. VDI-Ber. Nr. 236 (1975) S. 199/210.
- [8] *Jacobs, M.B. u. S. Hochheiser:* Continuous sampling and ultramicrodetermination of nitrogen dioxide in air. Analytical Chemistry Vol. 30 (1958) S. 426/28.
- [9] *Schuphan, W. u. H. Schlottermann:* N-Überdüngungen als Ursache hoher Nitrat- und Nitritgehalte des Spinats in ihrer Beziehung zur Säuglings-Methämoglobinämie. Z. Lebensmitteluntersuch. und -Forsch. Bd. 128 (1965) S. 71/75.
- [10] *Fries, J.:* Erprobte photometrische Methoden, Spurenanalyse. E. Merck A.G., Darmstadt, S. 108/11.
- [11] *Wöhlbier, W. u. W. Oelschläger:* Die bei der Vorbereitung von Futtermitteln zur Mengen- und Spurenelementbestimmung möglichen Fehler (1. Mittlg.) Z. Landw. Forsch. Bd. 17 (1964) S. 47/52.
- [12] Richtlinie des Rates der Europäischen Gemeinschaften vom 17.12.1973 "Über die Festlegung von Höchstgehalten an unerwünschten Stoffen und Erzeugnissen in Futtermitteln" (74/63 EWG). Amtsbl. Europ. Gemeinschaften, 11.2.1974, Nr. L 38/31.
- [13] *Oelschläger, W., W. Huss u. L. Bestenlehner:* Untersuchungen über Bleigehalte in Futtermitteln. Z. Landw. Forsch. Bd. 27 (1974) S. 272/80.
- [14] *Oelschläger, W.:* Über die Kontamination von Futtermitteln und Nahrungsmitteln mit Cadmium. Z. Landw. Forsch. Bd. 27 (1974) S. 247/63.
- [15] *Seibel, W., H.D. Ocker u. W. Nierle:* Schwermetalle in Getreide und Getreideprodukten. Dt. Lebensm. Rundschau 70 (1974) S. 315/18.

- [16] *Ocker, H.D. u. W. Nierle:* Schwermetalle in Getreide und Getreideerzeugnissen. Z. Getreide, Mehl und Brot, Bd. 28 (1974) S. 285, ref. Inform. AID Bd. 22 (1975) H. 2, S. 2/3.
- [17] *Ocker, H.D.:* Kurzfassung der Forschungsergebnisse zum Forschungsauftrag des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. Inform. AID Bd. 22 (1975) H. 5, S. 1/2.
- [18] *Wiesner, E.:* Ernährungsschäden der landwirtschaftlichen Nutztiere. Jena: G. Fischer 1970.
- [19] *Luther, H.G.:* Vortrag auf der Tagung der Arbeitsgemeinschaft Wirkstoffe in der Tierernährung am 1.10.1964 in Berlin.
- [20] *London, W.T., W. Henderson u. R.F. Cross:* An attempt to produce chronic nitrite toxicosis in swine. J. Amer. Vet. Med. Assoc. Vol. 150 (1967) S. 398/402.
- [21] *Marret, L.E. u. M.L. Sunde:* The use of turkey poults and chickens as test animals for nitrate and nitrite toxicity. Poultry Sci. Vol. 47 (1968) S. 511/19.
- [22] *McNamara, L.A. Klepper u. R.H. Hagenau:* Nitrate content of seeds of certain crop plants, vegetables and weeds. J. Agr. Food Chem. Vol. 19 (1971) S. 540/42.
- [23] *Schormüller, J.:* Handbuch der Lebensmittelchemie. Bd. 3, Teil 2. Berlin: Springer-Verlag 1968.

Auswirkungen einiger den Arbeitseffekt von Bestellwerkzeugen kennzeichnenden Größen auf den Pflanzenaufgang von Getreide

Von Günter Kahnt, Rainer Bausch und Karlheinz Köller, Stuttgart-Hohenheim*)

Mitteilung aus dem Sonderforschungsbereich 140 – Landtechnik "Verfahrenstechnik in der Körnerfruchtproduktion" der Universität Hohenheim

DK 631.31:581.14

Die Bestelltechnik nimmt im verfahrenstechnischen Bereich der Körnerfruchtproduktion eine wichtige Stellung ein, da sie Menge und Qualität der jährlichen Erzeugung beeinflusst. Die Kenntnis der Auswirkungen des Arbeitseffektes von Bestellgeräten auf den Pflanzenaufgang erscheint hinsichtlich der Entwicklung optimaler Pflanzenbestände von besonderer Bedeutung.

Um Kriterien für die Auswahl und Entwicklung geeigneter Bestellwerkzeuge und -geräte zu bekommen, müssen die Zusammenhänge zwischen den den Arbeitseffekt von Bestellwerkzeugen kennzeichnenden Größen und dem Pflanzenaufgang ermittelt werden. Dabei sind optimale Bereiche der Kenngrößen für einen hohen Pflanzenaufgang zu quantifizieren. Erste Ergebnisse dieser Untersuchungen werden in dieser Arbeit veröffentlicht.

1. Einleitung

Untersuchungen auf dem Gebiet der Bestelltechnik in Verbindung mit dem Pflanzenertrag führen häufig zu Ergebnissen, die über einen bestimmten Anwendungsfall hinaus nicht verallgemeinert werden können. Dies liegt in erster Linie daran, daß der gesamte Problemkreis sehr komplex ist und eine Vielzahl von Faktoren den Pflanzenertrag beeinflussen können. Aus diesem Grunde sollte man im Rahmen der Grundlagenforschung auf diesem Gebiet erst einmal die kürzeste Kausalkette untersuchen, d.h. den Zusammenhang zwischen den Kenngrößen, die von den Bestellwerkzeugen beeinflusst werden können, und denen für den Pflanzenaufgang.

*) Prof. Dr. Günter Kahnt ist Inhaber des Lehrstuhls für Acker- und Pflanzenbau an der Universität Hohenheim. Dipl.-Ing. agr. Rainer Bausch und Dipl.-Ing. agr. Karlheinz Köller sind wissenschaftliche Mitarbeiter im Sonderforschungsbereich 140 (Fachgebiet: Acker- und Pflanzenbau bzw. Verfahrenstechnik der Pflanzenproduktion) dieser Universität.

Zur Keimung des Saatgutes sind die drei Faktoren Temperatur, Wasser und Luft je nach Fruchtart in unterschiedlichem Ausmaß erforderlich. Durch Wahl des günstigsten Saattermins und Bereitung eines bestimmten Saatbettes wird versucht, diese Faktoren zu optimieren. Die Qualität des Saatbettes, das durch die Bestellgeräte erst geschaffen werden muß, kann durch verschiedene bodenphysikalische Kenngrößen charakterisiert werden. So untersuchte *Czeratzki* [1] die Beziehungen zwischen Porenvolumen bzw. Porengrößenverteilung und der Entwicklung von Getreide und Zuckerrüben, während *Kunze, Kaiser* und *Stranak* [2] den Einfluß der Lagerungsdichte des Bodens auf den Pflanzenaufgang überprüften. Auf die Bedeutung der Aggregatgrößenverteilung im Boden weisen verschiedene Autoren hin. Bereits 1922 untersuchte *Bornemann* [3] den Einfluß verschiedener Aggregatgrößen mit einem Durchmesser von 0,5 ÷ 7,0 mm auf die Entwicklung von Weizen. Wie er unterstreichen auch *Krause* [4], *Heege* [5] und *Theissig* [6] die besondere Bedeutung der "kleinen" Bodenaggregate. Nach *Hadas* und *Russo* [7] sind es in ariden Gebieten vor allem die Aggregate von 0,25 ÷ 2,0 mm Durchmesser, die die Wasserversorgung des Samens entscheidend beeinflussen. Auch die Saattiefe ist eine Kenngröße, die in diesem Zusammenhang zu nennen ist. Der Einfluß der Saattiefe auf den Pflanzenaufgang wurde u.a. von *Korsmo* [8] sowie *Hakansson* und *v. Polgar* [9] ermittelt. Die genannten Untersuchungen beinhalten keine Angaben über die Wechselwirkungen zwischen Aggregatgröße, Porenvolumen, Saattiefe, Bodenwassergehalt und -temperatur usw. sowie deren Auswirkung auf den Pflanzenaufgang.

Im Rahmen der Arbeiten des Sonderforschungsbereiches 140 wird versucht, diese komplexen Zusammenhänge zu klären. In dieser Arbeit wird der Zusammenhang zwischen dem Pflanzenaufgang und den beiden Kenngrößen "Größe der Bodenaggregate" und "Saattiefe" anhand einiger Versuchsergebnisse diskutiert.

2. Aufgabenstellung

Zur Ermittlung der Abhängigkeit des Pflanzenaufgangs von der Aggregatgröße der Bodenteilchen und der Saattiefe sowie der Bodenfeuchte und -temperatur werden Versuche in Gefäßen, auf Kleinparzellen und auf drei unterschiedlichen Versuchsstandorten durchgeführt.