

## Schrifttum

Bücher sind durch • gekennzeichnet

- [ 1 ] *Riebe, K.*: Verfahrensforschung im landwirtschaftlichen Betrieb. Agrarwirtschaft Bd. 17 (1969) Nr. 3, S. 78/83.
- [ 2 ] *Steffen, G. u. D. Born*: Zur Gestaltung von Informations- und Entscheidungssystemen für die Unternehmungsführung in der Landwirtschaft. Berichte über Landwirtschaft Bd. 53 (1975) S. 118/36.
- [ 3 ] *Matthies, H.J.*: Der Wandel in Forschung und Lehre auf dem Gebiete der Landtechnik. Grundl. Landtechnik Bd. 18 (1968) Nr. 3, S. 89/96.
- [ 4 ] *Wieneke, F.*: Lehre und Forschung der Landtechnik an der Landbaufakultät Göttingen. Landtechn. Forschung Bd. 17 (1967) H. 2, S. 33/41.
- [ 5 ] *Segler, G.*: Verfahrenstechnik in der Landwirtschaft. VDI-Z. Bd. 109 (1967) Nr. 9, S. 394.
- [ 6 ] *Rosegger, S.*: Landwirtschaftliche Betriebstechnik. Grundl. Landtechnik Bd. 19 (1969) Nr. 1, S. 1/4.
- [ 7 ] *Hanf, C.H., K.H. Hell u. H. Honig*: Produktionsverfahren in der Grünlandbewirtschaftung und ihre betriebswirtschaftliche Einordnung. Landbauforschung Völkenrode Sonderheft 5, 1970.
- [ 8 ] *Bischoff, Th., L. Gekle, F.M. Litzka u. D. Albrecht*: Grundgedanken zur Auswahl betrieblich optimaler Verfahren der Körnerfruchtproduktion, dargestellt am Beispiel der Körnerkonservierung. Grundl. Landtechnik Bd. 26 (1976) Nr. 4, S. 145/49.
- [ 9 ] *Albrecht, D.*: Betriebswirtschaftliche Aspekte der Trocknung im Vergleich zu alternativen Konservierungsverfahren. Agrartechn. Berichte Hohenheim 4 (1978) S. 27/39.
- [ 10 ] *Mühlbauer, W. u. R. Scherer*: Die spezifische Wärme von Körnerfrüchten. Grundl. Landtechnik Bd. 27 (1977) Nr. 2, S. 33/40.
- [ 11 ] *Scherer, R. u. H.D. Kutzbach*: Mechanische Eigenschaften von Körnerfrüchten. Grundl. Landtechnik Bd. 28 (1978) Nr. 1, S. 6/12.
- [ 12 ] *Albrecht, D.*: Berücksichtigung des Verdichtungsverhaltens von Körnermaissilagen bei der Berechnung des Investitionsbedarfs für Gärfutterbehälter. Grundl. Landtechnik Bd. 28 (1978) Nr. 4, S. 151/56.
- [ 13 ] *Kellner, L.*: Die Planung von Mähdescherkapazitäten bei unsicheren Erntedaten. Diss. Univ. Bonn 1975.
- [ 14 ] *Heger, K.*: Abschätzung des Wetterrisikos auf die Ernte des Getreides mit dem Mähdescher unter Benutzung eines agrarmeteorologischen Modells. Berichte über Landwirtschaft Bd. 51 (1973) S. 176/207.
- [ 15 ] *Roth-Maier, D.A. u. M. Kirchgeßner*: Zur Verdaulichkeit von frischem, siliertem und getrocknetem Maiskolbenschrot bei Schweinen. Wirtschaftseigene Futter Bd. 21/22 (1975/76) S. 211/23.
- [ 16 ] *Albrecht, D. u. L. Gekle*: Die Bedeutung der Planungsgrößen von landwirtschaftlichen Körnerfruchtconservierungsanlagen. Berichte über Landwirtschaft Bd. 56 (1978) H. 4.
- [ 17 ] *Köhne, M.*: Zukünftige Forschungsaufgaben im Bereich der Mikroökonomik. Schriften der Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaus e.V. München Bd. 12 (1975) S. 69/106.
- [ 18 ] *Keiser, v. H.*: Körnermaiskonservierung in Grenzanbau- gebieten. Diss. Univ. Kiel 1975.
- [ 19 ] • *Lohmeyer, H.J.*: Rationalisierungsmöglichkeiten der Lagerhaltung von Getreide auf dem landwirtschaftlichen Betrieb. KTBL-Schrift 206, Landw.-Verlag GmbH, Münster-Hiltrup (Westf.) 1976.
- [ 20 ] • *Anonym*: KTBL-Taschenbuch für Arbeits- und Betriebswirtschaft. 8. Aufl. KTBL-Schriften-Vertrieb im Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster-Hiltrup (Westf.) 1976.

## Einfluß der direkten Beheizung von Trocknungsanlagen auf die Gehalte an polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen

Von Werner Hutt und Ekhard Winkler,  
Stuttgart-Hohenheim\*)

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

DK 664.8.047:66.041.36

Direktbeheizte Trocknungsanlagen verursachen geringere Investitions- und Betriebskosten, da der Lufterhitzer einfacher aufgebaut ist und durch den besseren Wirkungsgrad ein geringerer Energiebedarf entsteht. Diesen ökonomischen Vorteilen steht aber möglicherweise eine Qualitätsminderung des Trocknungsgutes durch Kontamination mit gesundheitsgefährdenden Stoffen gegenüber. Während in einem ersten Teil über die anorganischen Ab-

lagerungen auf Körnerfrüchten berichtet wurde, werden in dem vorliegenden Beitrag die Untersuchungen der organischen Ablagerungen beschrieben. 17 polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe, von denen mindestens 10 als krebserregend gelten, wurden sowohl im erntefrischen, als auch im getrockneten Getreide nachgewiesen.

### 1. Einleitung

Für eine wirtschaftliche Getreideproduktion ist außer der Kostenoptimierung bei Anbau und Ernte auch eine möglichst kostengünstige Konservierung notwendig. Die direkte Beheizung von Trocknungsanlagen bringt sowohl niedrigere Energiekosten als auch geringere Anschaffungskosten durch den einfacher aufgebauten Lufterhitzer. Bei größeren Heizleistungen sind die Preise für direkte Lufterhitzer nur etwa halb so hoch wie für indirekte Lufterhitzer [1]. Bezüglich staatlicher Investitionsbeihilfen bestehen z.Zt. keine Unterschiede. Ausschlaggebend für eine Förderung ist nicht

Die Verfasser danken der chemisch-technischen Assistentin Fräulein *Hildenbrand* für die Durchführung der chemischen Analysen.

\*) *Dipl.-Ing. W. Hutt* ist wissenschaftlicher Assistent am Institut für Agrartechnik Fachgebiet Grundlagen der Landtechnik der Universität Hohenheim. *Dr. rer. nat. E. Winkler* war wissenschaftlicher Mitarbeiter im Sonderforschungsbereich 140 (Institut für Organische Chemie der Universität Stuttgart) und ist jetzt bei der BASF, Ludwigshafen, tätig.

die technische Ausführung, sondern der Nachweis der Wirtschaftlichkeit im Betriebsentwicklungsplan. Die Ausführung der Anlage muß selbstverständlich den Bauordnungen des jeweiligen Bundeslandes entsprechen.

Zur Luftanwärmung ohne Wärmetauscher wird in einer Zusammenfassung der Vorschriften für den Bau, Aufstellung und Betrieb von landwirtschaftlichen Trocknungsanlagen für Getreide [2] auf Einrichtungen zur Verhinderung von Funkenflug oder Durchschlagen der Flamme in den Trocknungsbehälter verwiesen. Die zuverlässige Wirkungsweise dieser Einrichtungen ist vom Hersteller durch ein Gutachten des TÜV nachzuweisen. Weiterhin soll gesichert sein, daß keine höhere Rußzahl als 1 entsteht. Die letzte Anforderung ist nur schwer zu erfüllen. Druckschwankungen im Brennraum durch wechselnde Strömungswiderstände in der Körnerschüttung, Verstaubung der Luftführungen und des Gebläserades am Brenner, Verschleiß der Öldüse und andere Einflüsse führen sicherlich zu Rußzahlen bis RZ 5. Selbst unter Prüfstandsbedingungen ergaben Messungen an Lufterhitzern [3] Rußzahlen zwischen 1 und 3. Die Temperatur im Trocknungsbehälter bei landwirtschaftlichen Trocknungsanlagen wird meist durch Ein- und Ausschalten des Brenners geregelt. Diese Schaltvorgänge von Ölbrennern führen zu Spitzen der Kohlenwasserstoff- und Rußemissionen [4, 5, 6] und damit sicherlich zu erhöhten Schadstoffablagerungen.

In den bisherigen Arbeiten [7 bis 11] sind Ergebnisse von Ein-Aus-Versuchen nicht enthalten, auch andere Einflußfaktoren [12] auf Ablagerungen bei direktgetrocknetem Getreide wurden bisher noch nicht systematisch untersucht. In unseren Arbeiten sollen daher die Wirkungen der verschiedenen Faktoren auf Ablagerungen bei direkter Beheizung untersucht werden.

Während in einer ersten Veröffentlichung [12] über den Einfluß der Brenneremissionen auf anorganische Ablagerungen bei Körnerfrüchten berichtet wurde, werden im vorliegenden Beitrag unsere Untersuchungen der polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAKW) beschrieben.

## 2. Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe

### 2.1 Wirkung

In Tierversuchen wurde gefunden, daß eine Reihe von PAKW krebserzeugende Wirkung aufweist [6, 13]. Welche Höchstmengen der einzelnen Verbindungen zulässig sind und ob eine verstärkende Wirkung eintritt durch gleichzeitige Anwesenheit verschiedener PAKW, konnte bisher noch nicht eindeutig geklärt werden [6, 11 bis 16]. Weiterhin ist noch nicht nachgewiesen, ob ein Übergang der PAKW vom Verdauungstrakt in den eßbaren Fleischanteil von Schlachttieren möglich ist [14]. Von der DFG-Kommission zur Prüfung von Rückständen in Lebensmitteln [14] wird deshalb empfohlen, neben den Produkten für die unmittelbare menschliche Ernährung auch die Produkte für die tierische Ernährung sorgfältig zu überwachen und hohe Gehalte an PAKW, besonders an stark cancerogenen PAKW, zu vermeiden. Für gerauchte Fleischerzeugnisse wurde in der Fleischverordnung der Bundesrepublik Deutschland ein Benzo(a)pyrengengehalt von 1 µg/kg als Höchstwert vorgeschrieben [14]. Für andere PAKW-Verbindungen sind keine Höchstwerte festgesetzt.

### 2.2 Vorkommen von PAKW

PAKW wurden in der Atmosphäre, in Wasser, Boden, Nahrungsmitteln, in chemischen Produkten und in zahlreichen anderen Stoffen gefunden [6 bis 11, 13 bis 19]. In leichtem Heizöl, in Staub von der Autobahn und von Städten sowie in den Emissionen eines Haushaltsöfens wurden etwa 500 PAKW unterschiedlicher Summenformeln nachgewiesen, von denen 64 Verbindungen als krebserregend eingestuft werden [15].

### 2.3 Einflüsse auf Ablagerungen

Den Haupteinfluß auf die Ablagerungen bei direkter Trocknung üben die Brenneremissionen aus, die je nach Brennstoff, Brennerbauart und Betriebszustand unterschiedliche Gehalte an gasförmigen und festen Emissionsanteilen enthalten können. Die Höhe der Ablagerungen hängt außerdem von der Trocknerbauart, den Trocknungsbedingungen und dem Trocknungsgut ab.

Untersuchungen des Brennstoffeinflusses [9, 10] zeigten bei Gasbrennern keine nachweisbaren Erhöhungen, bei Heizöl unter guter Einstellung tolerierbare Erhöhungen und bei festen Brennstoffen Torf, Holz, Kohle (außer Koks) große nicht tolerierbare Erhöhungen des Benzo(a)pyrengehaltes.

Die Brennerbauart beeinflußt die Zusammensetzung der Verbrennungsprodukte, vor allem die Anteile an Ruß, Stickoxiden und Kohlenwasserstoffen. Nach der Flammenfarbe werden bei Ölbrennern Gelb- und Blaubrenner unterschieden. Beim Blaubrenner wird das Heizöl nach der Zerstäubung zuerst vergast, bevor die eigentliche Verbrennung einsetzt. Diese Aufbereitung des Brennstoffes führt zu einer blauen Flamme mit weniger Emissionen [4, 6].

Örtlicher oder allgemeiner Luftmangel bei der Verbrennung, aber auch Auskühlung der Flamme durch zu hohen Luftüberschuß führen zu verstärkter Bildung von Ruß, Kohlenmonoxid und Kohlenwasserstoffen.

Die unterschiedlichen Bedingungen bei der Trocknung (Schichtdicke des Getreides, Trocknungszeit, Geschwindigkeit und Temperatur der Trocknungsluft usw.) beeinflussen ebenso wie die Art des Getreides die Konzentrationen der Schadstoffablagerungen. Maiskörner haben zwar eine glattere Oberfläche als Weizen- oder Gerstenkörner, aber die höhere Ausgangsfeuchte sowie der meist größere Anteil beschädigter Körner könnte zu erhöhten Ablagerungen führen. Außerdem können die PAKW aufgrund des höheren Fettanteiles bei Mais in das Korninnere eindiffundieren [16].

## 3. Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung

### 3.1 Trocknung

Um den Einfluß der Brenneremissionen und der Trocknungsbedingungen zu untersuchen, wurde eine Trocknungsanlage aufgebaut, an der die wichtigsten Parameter wie Brennerbauart, Betriebszustand des Brenners, Temperatur und Strömungsgeschwindigkeit der Trocknungsluft variiert und meßtechnisch erfaßt werden können. Der Versuchsaufbau und die Durchführung der Trocknungsversuche wurden bereits ausführlich beschrieben [12], daher werden hier nur einige Ergänzungen angefügt.

Die PAKW in Luft sind größtenteils an Aerosolpartikeln sorbiert, bei Temperaturen über 70 °C liegen aber auch noch nennenswerte Mengen gasförmig vor. Der abgezwigte Teilstrom (ca. 5 %) der Trocknungsluft wird deshalb zuerst durch einen Wasserkühler geleitet und passiert dann ein paraffinimprägniertes Mikronfilter mit einem Abscheidewirkungsgrad von 99,998 % für Teilchen größer 0,3–0,5 µm. Unter diesen Bedingungen werden Phenanthrenen zu etwa 70 % und alle PAKW ab Benzo(a)anthracen vollständig erfaßt [16].

Für einige Trocknungsversuche stand ein Flammenionisationsdetektor zum Nachweis der Gesamtkohlenwasserstoffe im Rauchgas-Luft-Gemisch zur Verfügung.

Durch die Variation des angesaugten Frischluftstromes im Bereich von 500 kg/h bis 2500 kg/h wurden Luftgeschwindigkeiten im Trockner von 0,25 m/s, 0,5 m/s und 1 m/s sowie Temperaturen von 40 °C bis 120 °C eingestellt. Der Rauchgasanteil in der Trocknungsluft liegt dann zwischen 1 % und 10 %. Die Trocknungszeiten bei Gerste, Weizen und Mais wurden von 1 h bis zu 8 h variiert.



Die PAKW-Gehalte im Ruß zeigen eine sehr starke Zunahme mit steigender Rußzahl, außerdem wird bei höherer Rußzahl der Anteil des stark krebserregenden Benzo(a)pyrens größer. Der Vergleich der Anteile bei Heizöl und Ruß zeigt, daß durch den Verbrennungsvorgang die meisten PAKW neu gebildet werden. Im Schrifttum [21] sind zwar qualitative Angaben über PAKW in Ölbrenneruß vorhanden, aber keine Mengenangaben.

#### 4.2 Rauchgas-Luft-Gemisch

Einige Ergebnisse von Trocknungsluftanalysen bei verschiedenen Betriebsbedingungen sind in Tafel 1 enthalten. Die unterschiedliche Verdünnung des Rauchgases durch die Frischluft bei den einzelnen Versuchen wurde nicht berücksichtigt. Beim Vergleich der PAKW-Gehalte in Tafel 1 muß beachtet werden, daß die Zahlenwerte bei Heizöl und Ruß um den Faktor  $10^6$  größer sind als die Zahlenwerte beim Rauchgas-Luft-Gemisch.

Der Einfluß des Betriebszustandes des Ölbrenners und der Brennerbauart ist aus Tafel 1 und am Beispiel von Chrysen aus Bild 2 zu sehen. Die Streuung der Gehalte bei Rußzahl 0 des Blaubrenners wird vor allem verursacht durch den zunehmenden Luftmangel bei der Verbrennung, ohne daß zunächst Ruß entsteht.

Die PAKW-Gehalte steigen bis Rußzahl 5 kaum, erst bei Rußzahl 9 treten 30- bis 80fache Zunahmen auf. Durch den Ein-Aus-Betrieb werden höhere PAKW-Konzentrationen verursacht als bei vergleichbarem Dauerbetrieb. Die Werte des Blaubrenners liegen grundsätzlich niedriger als die Gelbbrennerwerte. Nur wenn beim Blaubrenner ein starker Mangel an Verbrennungsluft herrscht, erreichen die Gehalte von Phenanthren bis Pyren höhere Werte als beim Gelbbrenner mit Rußzahl 3 (Tafel 1). Der Blaubrenner brennt bei Rußzahlen größer Null mit orangegelber Flamme. Da die Flammenüberwachung beim Blaubrenner über eine Ionisationselektrode erfolgt, könnte durch eine zusätzliche Fotozelle ein starker Luftmangel automatisch angezeigt werden.

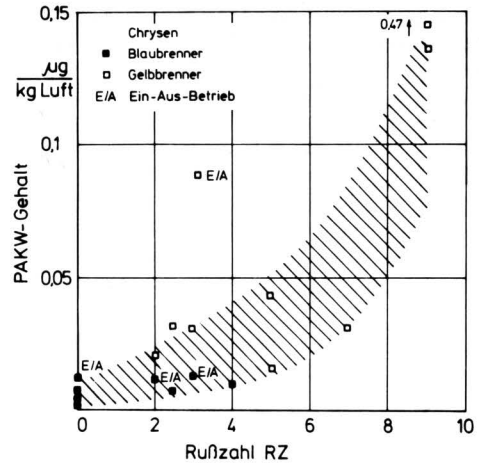


Bild 2. Chrysengehalt der Trocknungsluft (Rauchgas-Luft-Gemisch) in Abhängigkeit von der Rußzahl bei verschiedenen Betriebsbedingungen des Gelb- bzw. Blaubrenners.

#### 4.3 Getreide

Die Mittelwerte und Streubereiche aller untersuchten erntefrischen Mais-, Weizen- und Gersteproben sind in Tafel 2 zusammengestellt. Die Proben stammen von Feldern in Stuttgart-Hohenheim und von verschiedenen landwirtschaftlichen Betrieben Süddeutschlands. Werden bei Weizen und Gerste die besonders hohen Werte ausklammert, sind die mittleren Gehalte von Mais, Weizen und Gerste etwa gleich. Die hohen Gehalte bei Weizen und Gerste sind vermutlich auf den Standort in der Nähe von verkehrsreichen Straßen und des Flughafens zurückzuführen. Auch die Bleigehalte dieser Proben waren überdurchschnittlich hoch [12]. Grimmer und Hildebrandt [7] und Soos [19] fanden erhöhte Gehalte bei Getreide aus industrienahen Gebieten gegenüber ländlichen Gebieten. Die direktgetrockneten Maisproben von Trocknungsanlagen verschiede-

PAKW- Art	PAKW-Gehalt $\mu\text{g}/\text{kg TM}$				
	erntefrisch			getrocknet	
	Mais n = 27	Weizen n = 8	Gerste n = 2	Mais n = 12	Weizen n = 2
Phenanthren	2,46 (1,04–6,42)	3,25 (1,15–11,18)	4,49 (3,33–5,65)	2,87 (0,96–8,61)	12,83–39,52
Anthracen	0,09 (n.w.–0,51)	0,22 (n.w.– 1,12)	n.w.	0,18 (n.w.–0,63)	0,54– 1,52
Fluoranthren	1,43 (0,62–3,48)	2,48 (0,63– 8,82)	2,56 (1,65–3,47)	1,04 (0,49–2,42)	8,66–11,00
Pyren	1,13 (0,39–3,03)	1,72 (0,43– 6,14)	2,98 (1,96–4,00)	1,13 (0,39–3,36)	5,97– 6,56
Benzenaphthothiophen	0,17 (n.w.–0,42)	0,38 (0,14– 0,77)	0,73 (0,33–1,12)	0,13 (n.w.–0,40)	n.w. – 0,64
Cyclopentenopyren	0,87 (n.w.–2,79)	n.w.	0,18 (0,13–0,22)	0,94 (n.w.–5,23)	n.a.
Benzo(a)anthracen	0,33 (n.w.–1,10)	0,51 (0,11– 2,23)	0,78 (0,40–1,15)	0,25 (n.w.–0,48)	0,93– 2,30
Chrysen	0,63 (0,19–1,85)	1,01 (0,24– 3,76)	1,44 (0,71–2,16)	0,62 (0,19–1,27)	3,11– 3,76
Benzo(b)fluoranthren	0,29 (0,09–1,10)	0,45 (0,13– 2,09)	0,94 (0,31–1,56)	0,24 (0,09–0,55)	n.a. – 2,12
Benzo(e)pyren	0,32 (0,09–0,90)	0,40 (0,12– 1,55)	0,87 (0,27–1,19)	0,26 (0,09–0,49)	1,30– 1,60
Benzo(a)pyren	0,18 (0,03–0,58)	0,33 (0,04– 1,72)	0,55 (0,19–0,90)	0,16 (0,03–0,38)	0,80– 1,83
Perylen	0,03 (n.w.–0,17)	0,07 (n.w.– 0,34)	0,07 (0 –0,13)	0,05 (n.w.–0,13)	0,15– 0,38
Indenopyren	0,14 (n.w.–0,30)	0,27 (0,06– 1,22)	0,47 (0,19–0,74)	0,14 (0,09–0,22)	n.a. – 1,29
Dibenz(a,h)anthracen	0,09 (n.w.–0,27)	0,06 (n.w.– 0,32)	0,18 (0,07–0,28)	0,04 (n.w.–0,15)	n.w. – 0,31
Benzo(g,h,i)perylen	0,22 (n.w.–0,59)	0,14 (0,08– 1,01)	0,45 (0,18–0,71)	0,23 (0,07–0,68)	1,12– 1,80

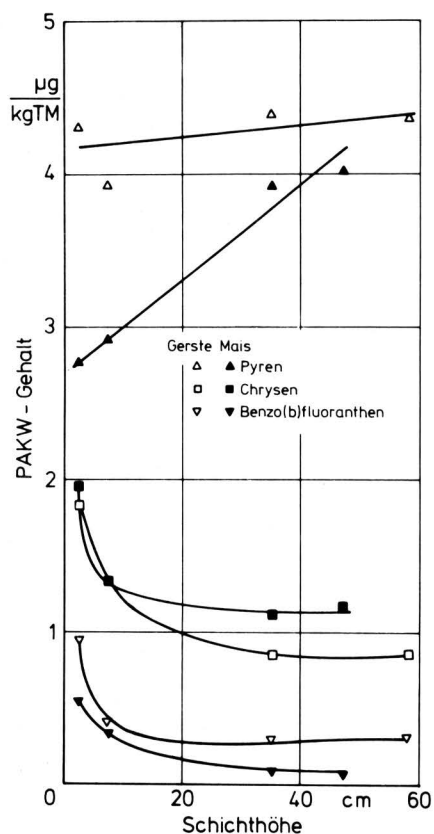
n.a. = nicht analysiert; n.w. = nicht nachweisbar

Tafel 2. Gehalte an PAKW in erntefrischem Getreide verschiedener Standorte und Jahre (1974 bis 1977) und in direktgetrocknetem Getreide von mehreren landwirtschaftlichen Betrieben. (Mittelwert und Streubereich) Nachweisgrenze 0,04 bis 0,06  $\mu\text{g}/\text{kg}$ .

ner landwirtschaftlicher Betriebe und Trocknungsgenossenschaften zeigten im Mittel keine Zunahme gegenüber den mittleren Gehalten aller erntefrischen Proben. Gegenüber der jeweiligen erntefrischen Vergleichsprobe konnten aber in einigen Fällen deutliche Zunahmen beobachtet werden. Die beiden direktgetrockneten Weizenproben haben überdurchschnittlich hohe PAKW-Gehalte. Die Probe mit dem Benzo(a)pyrengelalt von 1,83 µg/kg ist die zugehörige Probe zur vorher erwähnten erntefrischen Probe mit hohem Gehalt. Die Zunahmen durch die direkte Trocknung waren nur gering. Dagegen ist bei der anderen Probe die starke Zunahme auf die direkte Trocknung mit einem 15 Jahre alten Heizölbrenner zurückzuführen.

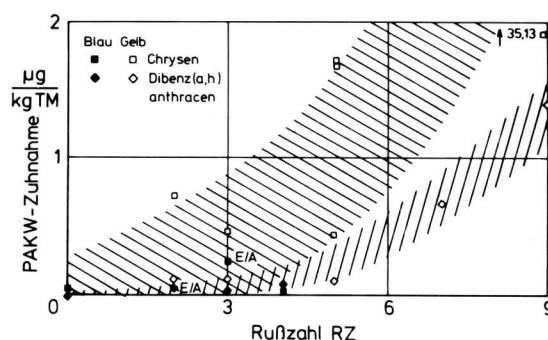
Einige Ergebnisse unserer Trocknungsversuche sind in Bild 3 und 4 und in Tafel 3 dargestellt. Die PAKW-Gehalte in Abhängigkeit von der Lage der entnommenen Schicht verlaufen unterschiedlich je nach PAKW-Art (Bild 3).

Sowohl die Gehalte an Pyren als auch an Chrysen und Benzo(b)-fluoranthen sind an der Lufteintrittsstelle wesentlich höher als die der erntefrischen Vergleichsprobe. Während mit zunehmender Entfernung von der Lufteintrittsstelle die Pyrengelalte weiter steigen, nehmen die Chrysen- und Benzo(b)fluoranthengelalte ab und nähern sich dem Gehalt der erntefrischen Vergleichsprobe. Die Chrysen- und Benzo(b)fluoranthengelalte bei Gerste verlaufen ähnlich wie bei Mais, der Pyrengelalt dagegen wird hier nur wenig von der Lage der Schicht beeinflusst, ist aber wesentlich erhöht gegenüber der Vergleichsprobe. Die PAKW-Arten mit niedrigem Siedepunkt verhalten sich entsprechend dem Pyren, die höher siedenden wie das Chrysen.



**Bild 3.** Verlauf des Gehaltes verschiedener polycyclischer aromatischer Kohlenwasserstoffe in Mais bzw. Gerste in Abhängigkeit von der Schichthöhe bei direkter Trocknung im Satzrockner. Trocknungsbedingungen unten in der Reihenfolge: Brennerbauart, Rußzahl, Trocknungsdauer, Lufttemperatur am Eintritt, Luftgeschwindigkeit auf den freien Trocknerquerschnitt bezogen, Anfangsfeuchte, Endfeuchte:  
Gerste: Blaubr. RZ 2, 4 h, 55 °C, 0,5 m/s, 17 %, 8,5 bis 11 %  
Mais: Gelbbr. RZ 5, 7 1/2 h, 70 °C, 0,5 m/s, 37 %, 7 bis 12 %

Vermutlich ist das Chrysen an Aerosolteilchen sorbiert und wird in der unteren Getreideschicht wie in einem Filter abgeschieden, während Pyren noch teilweise gasförmig in die Getreideschüttung eintritt und durch die Abkühlung kondensiert.



**Bild 4.** Zunahme einiger polycyclischer aromatischer Kohlenwasserstoffe in Mais aus der untersten Schicht (0–5 cm) des Satzrockners bei direkter Trocknung mit Gelb- bzw. Blaubrenner unter verschiedenen Betriebsbedingungen.

PAKW- Art	PAKW-Gehalt µg/kg TM							
	Gelbbrenner				Blaubrenner			
	RZ 3		RZ 5		RZ 3 E/A		RZ 4	
	a	b	a	b	a	b	a	b
Phenanthren	4,54	1,38	1,49	9,88	1,40	2,25	1,36	2,06
Anthracen	0,11	n.w.	n.w.	0,56	0,25	0,32	n.w.	n.w.
Fluoranthen	1,70	1,11	0,7	1,17	0,83	1,77	0,73	0,81
Pyren	1,22	0,81	0,52	2,78	0,54	1,53	0,54	0,91
Benzonaphthothiophen	n.a.	n.a.	0,16	0,78	n.w.	0,18	0,13	0,12
Cyclopentenopyren	n.a.	n.a.	n.w.	0,21	1,11	n.w.	n.a.	n.a.
Benzo(a)anthracen	n.w.	0,15	0,13	0,70	0,08	0,25	0,09	0,13
Chrysen	0,46	0,82	0,24	1,96	0,30	0,54	0,27	0,30
Benzo(b)fluoranthen	n.a.	n.a.	0,09	0,54	0,22	n.a.	0,30	0,18
Benzo(e)pyren	0,15	0,46	0,09	0,38	0,14	0,31	0,17	0,25
Benzo(a)pyren	0,09	0,14	0,07	0,11	0,06	0,10	0,11	0,16
Perylen	n.a.	n.a.	n.w.	n.w.	0,13	n.a.	n.w.	n.w.
Indenopyren	n.a.	n.a.	0,10	0,16	0,30	0,31	0,24	0,19
Dibenz(a,h)anthracen	n.w.	0,11	0,27	0,16	0,05	0,03	0,14	0,20
Benzo(g,h,i)perylene	n.w.	0,22	0,16	0,11	0,10	0,44	0,76	0,53

a = vor der Trocknung; b = nach der Trocknung  
n.a. = nicht analysiert; n.w. = nicht nachweisbar

**Tafel 3.** Gehalte an PAKW in Mais vor und nach direkter Trocknung im Satzrockner mit Gelb- bzw. Blaubrenner bei verschiedenen Betriebsbedingungen. Trockenproben aus der untersten Schicht 0–5 cm. Trocknungsbedingungen sind unten in der Reihenfolge angegeben: Trocknungsdauer, Lufttemperatur am Eintritt, Luftgeschwindigkeit auf freien Trocknerquerschnitt bezogen, Anfangsfeuchte, Endfeuchte  
Gelb RZ 3: 5 1/2 h, 80 °C, 1 m/s, 35 %, 6,5 %  
Gelb RZ 5: 7 1/2 h, 70 °C, 0,5 m/s, 33 %, 7 %  
Blau RZ 4: 6 h, 90 °C, 0,5 m/s, 37 %, 6 %  
Blau RZ 3 E/A: 5 h, 50–80 °C, 0,5 m/s, 37 %, 7 %  
Nachweisgrenze der PAKW-Analyse 0,04 bis 0,06 µg/kg.

Aus Bild 4 und Tafel 3 ist der Einfluß verschiedener Brennerbauarten und Betriebszustände der Brenner auf die PAKW-Gehalte bei Mais zu sehen. Um die Wirkung der direkten Trocknung deutlicher zu zeigen, wurde die Differenz zwischen den PAKW-Gehalten in der untersten Schicht nach der Trocknung und dem erntefrischen Mais gebildet und für Chrysen und Dibenz(a,h)anthracen in Abhängigkeit von der Rußzahl aufgetragen (Bild 4). Der Verlauf bei Chrysen entspricht dem in der Trocknungsluft (Bild 2).

Die Zunahmen an PAKW sind beim Blaubrenner geringer, auch bei sehr ungünstigen Einstellungen. Beim Gelbbrenner wurden größere Zunahmen ab Rußzahl 5, bei den stark krebserregenden PAKW wie Benzo(a)pyren und Dibenz(a,h)anthracen erst ab Rußzahl 7 gefunden. Bei Rußzahl 7 hatten die Körner der unteren Schichten Rußspuren, bei Rußzahl 9 waren die Körner stark verrußt, dementsprechend traten alle PAKW in hohen Konzentrationen auf.

Die besonders stark krebserregenden Stoffe wie Benzo(a)pyren und Dibenz(a,h)anthracen treten meist nur in geringen Konzentrationen auf. Die Gehalte der schwächer krebserregenden Stoffe Pyren, Chrysen, Benzo(b)fluoranthren sind dagegen meist wesentlich höher. Bei RZ 5 z.B. beträgt der Gehalt von Benzo(b)fluoranthren das 5fache, der von Chrysen das 18fache und der von Pyren das 25fache des Gehaltes von Benzo(a)pyren. Benzo(a)pyren wird außerdem unter UV-Strahlung zersetzt, während Benzo(b)fluoranthren stabil ist [17]. Für eine Beurteilung der Kontamination reicht daher die Angabe des Benzo(a)pyrengehaltes allein nicht aus. Als Leitkomponenten bei der Luftüberwachung wird beispielsweise vorgeschlagen, neben dem Benzo(a)pyren auch die Gehalte von Benzo(a)anthracen und Benzo(b)fluoranthren anzugeben [17].

## 5. Zusammenfassung

Um den Einfluß der direkten Beheizung von Trocknungsanlagen auf die Gehalte an Schadstoffen in Körnerfrüchten zu erfassen, wurde Mais, Weizen und Gerste mit zwei Brennerbauarten bei verschiedenen Betriebsbedingungen direkt getrocknet und chemisch analysiert. Sowohl die anorganischen Stoffe als auch die analysierten polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAKW) wurden bereits im erntefrischen Getreide in teilweise erheblichen Konzentrationen gefunden.

Während die Gehalte an anorganischen Schadstoffen unabhängig von den Betriebsbedingungen durch die direkte Trocknung nur geringfügig erhöht werden, können die Gehalte an PAKW bei ungünstigen Betriebsbedingungen sehr stark zunehmen. Der Blaubrenner verursachte bei vergleichbaren Betriebszuständen geringere Ablagerungen als der Gelbbrenner.

Zulässige PAKW-Grenzgehalte können von uns nicht angegeben werden, hierzu sind weitere, medizinische Untersuchungen notwendig. Andere Einflüsse der direkten Trocknung auf die Qualität des Trocknungsgutes wie Geruchs- oder Geschmacksveränderungen wurden bisher nicht systematisch untersucht.

Bei der direkten Trocknung sollte der Ölbrenner besonders sorgfältig eingestellt und überwacht und mit möglichst wenigen Ein-Aus-Schaltvorgängen betrieben werden.

## Schrifttum

- [ 1 ] *Hutt, W.:* Schadstoffablagerungen bei der direkten Trocknung. Agrartechnische Berichte Nr. 4 (1978) S. 125/37, Institut für Agrartechnik Universität Hohenheim.
- [ 2 ] DLG-Merkblatt 131/132. Vorschriften für Bau, Aufstellung und Betrieb von landwirtschaftlichen Trocknungsanlagen für Getreide. Herausg. von der Deutschen Landwirtschafts-Gesellschaft Frankfurt 1976.
- [ 3 ] DLG-Prüfberichte Gruppe 8 f/34. Ölluftheritzer. Herausg. von der Deutschen Landwirtschafts-Gesellschaft Frankfurt 1976.
- [ 4 ] *Kremer, H.:* Schadstoffemissionen von Ölbrennern niedriger Leistung mit Druckzerstäubung unter verschiedenen Betriebsbedingungen. VDI-Bericht Nr. 236, S. 199/210, Düsseldorf: VDI-Verlag 1975.
- [ 5 ] *Baumbach, G.:* Emissionen organischer Schadstoffe von Ölfeuerungen. Diss. Univ. Stuttgart 1977.
- [ 6 ] Schadstoffarme Hausheizungen mit hoher Energieausnutzung. Systemanalyse im Auftrag des BMFT. Stuttgart: Gentner Verlag 1976.
- [ 7 ] *Grimmer, G. u. A. Hildebrandt:* Der Gehalt polycyclischer Kohlenwasserstoffe in Brotgetreide verschiedener Standorte. Zeitschrift für Krebsforschung Bd. 67 (1965) S. 272/77.
- [ 8 ] *Souci, S.W.:* Über den Einfluß von Verbrennungsgasen auf Lebensmittel und Futtermittel. Deutsche Lebensmittel Rundschau Bd. 64 (1968) Nr. 8, S. 235/41.
- [ 9 ] Deutsche Forschungsgemeinschaft: Kommission zur Prüfung fremder Stoffe bei Lebensmitteln. Mitteilung 5, Boppard: Verlag Boldt 1970.
- [ 10 ] *Fritz, W.:* Zur Bildung cancerogener Kohlenwasserstoffe bei der thermischen Behandlung von Lebensmitteln. Die Nahrung Bd. 18 (1974) Nr. 1, S. 83/87.
- [ 11 ] *Seibel, W., W. Hertel u. H.D. Ocker:* Einfluß der Getreide-technologie auf den Schadstoffgehalt von Lebensmitteln auf Getreidebasis. Landwirtschaftl. Forschung Bd. 28 (1975) Nr. 31, S. 176/90.
- [ 12 ] *Hutt, W. u. W. Oelschläger:* Einfluß der Brenneremissionen auf die Gehalte an anorganischen Ablagerungen auf Körnerfrüchten bei direktbeheizten Trocknungsanlagen. Grundle. Landtechnik Bd. 26 (1976) Nr. 4, S. 134/40.
- [ 13 ] Certain polycyclic aromatic hydrocarbons and heterocyclic compounds. IARC Monographs on the evaluation of the carcinogenic risk of chemicals to man. Herausg. International Agency for Research on Cancer, Lyon, Vol. 3 (1973) S. 102/17.
- [ 14 ] Bewertung von Rückständen in Fleisch und Fleischerzeugnissen. Herausg. Deutsche Forschungsgemeinschaft, Kommission zur Prüfung von Rückständen in Lebensmitteln. Mitteilung 2, Boppard: Verlag Boldt 1976.
- [ 15 ] *Herlan, A.:* Kanzerogene polycyclische Aromaten und Metaboliten als mögliche Bestandteile von Emissionen. Staub-Reinhalt. Luft Bd. 38 (1978) Nr. 7, S. 276/78.
- [ 16 ] *Winkler, E.:* Untersuchungen zur Spurenanalyse von polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen. Diss. Univ. Stuttgart 1977.
- [ 17 ] *Heinrich, G. u. H. Güsten:* Belastung der Atmosphäre durch polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe und Blei im Raume Karlsruhe. Staub-Reinhalt. Luft Bd. 38 (1978) Nr. 3, S. 94/100.
- [ 18 ] *Gräf, W.:* Über natürliches Vorkommen und Bedeutung der kanzerogenen polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffe. Medizinische Klinik Bd. 60 (1965) Nr. 15, S. 561.
- [ 19 ] *Soos, K.:* Gehalt an cancerogenen polyaromatischen Kohlenwasserstoffen in ungarischem Getreide. Lebensmitteluntersuchung und Forschung 156 (1974) S. 344/46.
- [ 20 ] *Winkler, E., A. Buchele u. O. Müller:* Verfahren zur Bestimmung des Gehaltes von polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen in Mais mit Hilfe der Kapillargaschromatographie. Inl. of Chromatographie 138 (1977) S. 151/64.
- [ 21 ] *Meier zu Köcker, H.:* Einflüsse der Brennstoffeigenschaften auf Ausbrand und Rußbildung in Öl- und Kohlenwasserstoffgas-Diffusionsflammen. VDI-Berichte Nr. 146, Düsseldorf: VDI-Verlag 1970, S. 63/66.