

Selbstentzündung von Bratfetten und Fritiergut in elektrisch beheizten Siedefettgeräten

Otto Wollrab

Einleitung

In einer Veröffentlichung im „schaden-prisma“ 4/73 unter dem Titel „Brände elektrisch beheizter Siedefettgeräte“ setzte sich der Autor kritisch mit den als Brandursachen in Frage kommenden Möglichkeiten auseinander, die im wesentlichen wie folgt herausgestellt wurden:

- a) Selbstentzündung des Fettes bei Herabsetzung seines Selbstzündpunktes;
- b) Lokale Überhitzung der Heizschlangen durch Ablagerungen von Rückständen;
- c) Überhitzen des Fettes bei Versagen der selbsttätigen Temperaturbegrenzung;
- d) Fremdzündung des Fettes, wenn zu nasses Bratgut eingebracht und dadurch heißes Bratfett herausgeschleudert wird.

Insbesondere hinsichtlich der technischen Brandursachen wurden herstellerseitig zwischenzeitlich dahingehend vorbeugende Maßnahmen getroffen, als daß die Siedefettgeräte mit einem zusätzlichen Sicherheitstempereaturbegrenzer ausgerüstet und in der Regel nicht mehr durch in das Fettbad eingetauchte Rohrheizkörper direkt, sondern indirekt durch unterhalb des Behälterbodens angebrachte Heizelemente erhitzt werden. Hierdurch wird nicht nur die Reinigung der Behälter wesentlich erleichtert, viel-

mehr entfallen auch lokale Überhitzungen der mit Ablagerungen verkrusteten Heizkörper, und die Erwärmung des Fettbades erfolgt entsprechend gleichmäßiger. Darüber hinaus wird eine Vielzahl von Gerätetypen mit z.T. geruchsbindenden Filterabdeckungen geliefert, so daß der zu einem Abbrand erforderliche Luft-sauerstoff nur in begrenztem Umfang an die heiße Fettoberfläche gelangen kann. (Die Luft im Zwischenraum Fettoberfläche/Filterdeckel erfährt durch das aus dem Fritiergut verdampfende Wasser eine nicht unerhebliche Verdünnung.)

Im Rahmen der Harmonisierung der VDE-Vorschriften mit den Richtlinien der Europäischen Kommission für Regeln zur Begutachtung elektrotechnischer Erzeugnisse (CEE) wurde ferner die max. zulässige Fett-Temperatur von 225°C durch VDE 0720 „Besondere Bestimmungen für Geräte zur Flüssigkeitserhitzung“ Teil 2B/8.70 auf 200°C zurückgenommen. Dabei ergaben sich, insbesondere durch den Trend zu indirekt beheizten Geräten, bei denen sich neben den Heizelementen gleichermaßen auch die Temperatur-Meßfühler außerhalb des Fettbades befinden, offensichtlich erhebliche Probleme, diesen erschwerten Anforderungen gerecht zu werden, da dieser Grenzwert den Bereich der oberen Arbeitstemperaturen unmittelbar tangiert.

Die Diskussion über die zulässigen Maximaltemperaturen ist noch nicht abgeschlossen, weshalb hier u. a. auf folgende internationale, sicherheitstechnische Regeln für Elektro-Haushaltsgeräte verwiesen wird:

CEE 11 Teil 2 B (1966) (zwischenzeitlich zurückgezogen) 200°C

CEE 11 Teil 2 Q (1976) 243°C

IEC 335-2-13 (1982) 218 K*)

Eine Anpassung der VDE-Bestimmungen an diesen internationalen Stand, wie er durch den Harmonisierungszwang zu erwarten ist, würde die Grenztemperatur um 43 K heraufsetzen. Eine Anhebung der max. Temperatur um 43 K bedeutet jedoch, selbst wenn es sich nur um jeweils pro Benutzung einmalige Vorgänge handelt, eine gravierende Annäherung an die in dem o. a. Artikel angeführten Flamm- und Brennpunkte von 230–250°C bzw. 280–300°C, wobei alterungsbedingte kritische Absenkungen dieser Werte die Problematik nur noch verschärfen können. Umfangreiche Untersuchungen handelsüblicher Siedefette und -öle im Flamm- und Brennpunktprüfer nach Marcusson (bis 7/77 DIN 51 584) ergaben dabei Werte zwischen 285 und 335°C für den Flammpunkt bzw. 312 und 363°C für den Brennpunkt. Alterungsversuche bei 200°C erbrachten darüber hinaus nach 100 bzw. 150 Stunden lediglich Absenkungen der Flamm- und Brennpunkte um 5 bis 15 K und der Brennpunkte um 15 bis 26 K, wobei die Fette bereits wesentlich vorher ungeeignet geworden waren.

Während die Diskrepanzen hinsichtlich der Größenordnung der Zündwerte grundsätzlich aus unterschiedlichen Bestimmungsverfahren resultierten, konnte für das Phänomen der kritischen Absenkung dieser Werte, wie sie sich zum wiederholten Male bei Fetten aus Brandschäden gezeigt hatten, vorerst

Otto Wollrab,
 Institut für Schadenverhütung
 u. Schadenforschung der öffentlich-
 rechtlichen Versicherer (IfS) e.V., Kiel

keine Erklärung gefunden werden. Im Institut für Schadenverhütung und Schadenforschung (IfS) in Kiel wurden daher in insgesamt drei Versuchsserien umfangreiche diesbezügliche Untersuchungen vorgenommen. Dabei wurde sowohl den unterschiedlichen Bauarten, Werkstoffen und Anwendungsmöglichkeiten der Geräte Rechnung getragen, als auch unterschiedliche Fette und Öle sowie kohlehydrat- bzw. eiweißreiches Siedegut eingesetzt. Darüber hinaus wurde die Neigung des Siedegutes zur autoxidativen Selbstentzündung als Folge exothermer Zersetzungsreaktionen untersucht und neben den Bestimmungen der brandtechnischen Daten auch noch die Alterung der Fette in die Untersuchungen einbezogen.

1. Absenkung der Flamm- und Brennpunkte

Die Versuche wurden mit direkt und indirekt beheizten Friteusen durchgeführt, deren Behälterwandungen sowohl in metallisch blanker (Leichtmetall) als auch in PTFE-beschichteter (PTFE = Polytetrafluorethylen) Ausführung vorlagen. Die Versuche wurden ferner teils mit offenen und teils mit abgedeckten Geräten (Filterabdeckung) vorgenommen. Die Versuchstemperaturen umfaßten den Bereich von 170 bis 270°C, teilweise mit Abstufungen von jeweils 10 K innerhalb der einzelnen Versuchsreihen, teilweise aber auch mit Konstanttemperaturen. Die Einzelversuchszeiten betrugen, je nach Betriebstemperatur und Zielsetzung, zwischen 15 und 60 Minuten, die Gesamtzeiten der einzelnen Versuchsreihen zwischen 6 und 90 Stunden (einschließlich der Vorwärmzeiten).

Nach entsprechenden Voruntersuchungen erfolgten die Versuche unter Verwendung von gehärtetem Kokosfett und Sonnenblumenöl als Badinhalt und tiefgefrosteten, vorfrittierten Pommes frites sowie durchwachsenem Rindfleisch (Gulasch) als Siedegut. Dem Bad wurden jeweils nach Ende der Einzelversuche Proben zur Untersuchung entnommen; Fettverluste durch Probennahme, Aufnahme durch das Siedegut und Verdunstung wurden durch entsprechende Frischfettzugaben ergänzt. Die Versuchsergebnisse wurden durch Blindversuche mit unbelastetem Fett, d.h. ohne Siedegut, ergänzt.

Die ersten Versuchsreihen hatten primär eine autoxidative Entzündung des Siedegutes, das daher bis zur völligen Verkohlung im Bad verblieb, als Zielsetzung. Die Ergebnisse werden im zweiten Teil dieser Abhandlung diskutiert.

Eine Entflammung des Fettbades konnte bei keinem Versuch erzielt werden, wobei auf eine Fremdzündung der zum Teil in erheblichem Maße dem Fett entweichenden gasförmigen Spalt- bzw. Alterungsprodukte bewußt verzichtet wurde, um die übrigen Ergebnisse nicht zu verfälschen.

Absenkungen der Flamm- und Brennpunkte traten nur auf, wenn die Geräte

offen betrieben wurden. Sie bewegten sich in Größenordnungen bis zu 16 K beim Flammpunkt und bis zu 5 K beim Brennpunkt, bei Betriebszeiten von ca. 11 Stunden. Eine Beeinflussung durch das Siedegut sowie unterschiedlich starke Alterungen verschiedenartiger Fettsorten waren nur von untergeordneter Bedeutung; hingegen konnte eindeutig eine verstärkte negative Veränderung der Fette bei unbeschichteten Leichtmetallwandungen festgestellt werden (s. Tabellen 1 u. 2).

Tabelle 1

Sonnenblumenöl/Rindfleisch, durchwachsen L. Met. Friteuse, ind. beh., offen

Versuch	Temp.	Einsatz	F. P.	B. P.	Bräun.	Blindprobe		
						F. P.	B. P.	Bräun.
Frishöl	–	2250	323	357	0,41	323	357	0,41
1V 1	170	500	327	362	1,00	323	357	0,91
1V 2	180	500	324	359	1,46	323	358	1,03
1V 3	190	500	322	356	1,86	323	359	1,28
1V 4	200	500	320	356	2,54	322	358	1,51
1V 5	210	500	319	357	3,12	322	356	1,71
1V 6	220	500	319	357	3,95	323	356	1,82
1V 7	230	500	317	356	4,47	321	355	2,11
1V 8	240	500	317	355	5,82	320	355	2,15
1V 9	250	500	314	355	7,39	321	356	2,24
1V 10	260	500	311	355	9,82	321	356	2,33
1V 11	270	500	309	355	13,3	322	357	2,43
(1V 12)*	270	500	307	355	18,4	–	–	–

*) Minikorb

Tabelle 2

Kokosfett/Rindfleisch, durchwachsen Besch. Friteuse, dir. beh., offen

Versuch	Temp.	Einsatz	F. P.	B. P.	Bräun.
Frishfett	–	4500	298	338	0,14
6V 1	170	500	297	337	0,42
6V 2	180	500	298	338	0,74
6V 3	190	500	297	338	1,00
6V 4	200	500	295	336	1,28
6V 5	210	500	296	337	1,78
6V 6	220	500	296	337	2,24
6V 7	230	500	297	337	3,05
6V 8	240	500	297	337	4,48
6V 9	250	500	297	337	7,19
6V 10	260	500	296	337	14,60
6V 11	270	500	296	337	24,20

*) Raumtemperatur 25°C + Temperaturdifferenz 218 K = 243°C.

Es lag die Vermutung nahe, daß es sich hierbei um einen aus anderen Bereichen der Chemie bekannten katalytischen Effekt des den Wandungen aufliegenden Aluminiumoxidfilms handelt. Entsprechende Versuche in „neutralen“ Bechergläsern mit aluminiumoxidversetztem Fett führten zur Bestätigung dieser Annahme, wobei die markantesten Absenkungen bei gleichzeitigem Durchblasen von Luft erzielt wurden (s. Tabelle 3).

Bemerkenswerterweise konnten derartige Absenkungen bei den sich anschließenden praxisnahen Serienversuchen mit Konstanttemperaturen, selbst nach 150 Siedevorgängen, auch nicht annähernd erreicht werden. Die maximale Absenkung betrug jeweils lediglich 2 K; hingegen machten sich jedoch gegenüber den vorangegangenen Versuchen erheblich verstärkte Fettverluste – mit entsprechenden Kondensationen – in der Abluft bemerkbar (s. Tabellen 4 u. 5).

Neben Verlusten des Fettbades infolge Aufnahme durch Siedegut erfährt das Bad nachweislich Verluste durch Verdampfen, die sich mit zunehmender Alterung deutlich verstärken. Dieser im Fachjargon als Rauchen des Fettes bezeichnete Vorgang wird durch das aus dem Siedegut verdampfende Wasser infolge Bildung azeotropähnlicher Gemische (Wasserdampfdestillation) erheblich begünstigt, wobei in erster Linie die (relativ) leicht flüchtigen Spaltprodukte betroffen sind. Durch eine schnelle Aufeinanderfolge einzelner Siedevorgänge werden also die für die Absenkung des Flamm- bzw. Brennpunktes ursächlichen Spaltprodukte kontinuierlich aus dem Bad ausgetragen.

Eine Untersuchung des in erheblichen Mengen kondensierten Fettes ergab folgerichtig deutlich abgesenkte diesbezügliche Werte. In einem ergänzenden Versuch wurden daher die aus dem Fett ausgetragenen Spaltprodukte aufgefangen und anschließend untersucht. Die Alterung des Fettes wurde dabei mit Aluminiumoxid und durchgeblasener Luft bei 243°C herbeigeführt; die Versuchsdauer betrug 31 Stunden (s. Tabelle 6).

Die vorstehenden Untersuchungsergebnisse zeigen, daß bei thermischer Belastung von Siedefetten, insbesondere bei offenem Betrieb der Geräte, durch Einwirkung von Luftsauerstoff infolge Alterung eine Absenkung der Flamm- bzw. Brennpunkte eintritt. Dabei ist dieses Phänomen einerseits von der Art des Fettes abhängig, wobei eine gewisse Beteiligung des Siedegutes unverkennbar ist, andererseits in erster Linie eine unmittelbare Folge katalytischer Effekte des die Wandungen unbeschichteter Leichtmetallfriteusen bedeckenden Aluminiumoxids. Die für die Absenkung der Zünddaten verantwortlichen relativ leicht siedenden Spaltprodukte destillieren, vor allem

Tabelle 3

Becherglas, 2000 ml, d : h $\cong$ 1 : 1,4	Flammpunkt	Brennpunkt	Bräunung
1200 ml Kokosfett, 50 h, 190°C d : h $\cong$ 1 : 1			
Volumenverluste: ohne Luft ca. 250 ml $\pm$ 20 Vol. %			
mit Luft ca. 350 ml $\pm$ 30 Vol. %			
Kokosfett I (Originalprobe)	(298)	(338)	(0,18)
Kokosfett ohne Zusatz, ohne Luft	287	331	15,40
Kokosfett ohne Zusatz, mit Luft	266	312	121,50
Kokosfett mit Al ₂ O ₃ , ohne Luft	262	329	32,00
Kokosfett mit Al ₂ O ₃ , mit Luft	241	313	144,40

Tabelle 4

Fritiergut: Kartoffelstäbchen	Versuchstemp.	Fettmenge (g)	Anzahl d. Vers.	Gesamtzeit (h)	Flammpunkt	Brennpunkt	Bräunung
Einsatzmenge: 500 g							
Fritierzeit/Versuch: 15 Min.							
(Originalprobe: Fett I)	-	-	-	-	(298)	(338)	(0,18)
Friteuse: Aluminium, unbeschichtet (R 1)	190	850	50	34,0	297	339	0,83
(Originalprobe: Fett II)	-	-	-	-	(296)	(341)	(0,16)
Friteuse: Aluminium, unbeschichtet (R 2)	225	850	50	30,0	296	341	0,95
Friteuse: Aluminium, unbeschichtet (R 3)	243	850	50	34,0	296	339	1,44
Friteuse: Aluminium, unbeschichtet (R 4)	243	2100	150	86,5	294	339	2,93
Friteuse: Aluminium, unbeschichtet (Blindversuch)	243	1500	-	50,0	288	331	148,00

Tabelle 5

Fritiergut: Kartoffelstäbchen	Versuchstemp.	Fettmenge (g)	Anzahl d. Vers.	Gesamtzeit (h)	Flammpunkt	Brennpunkt	Bräunung
Einsatzmenge: 500 g							
Fritierzeit/Versuch: 15 Min.							
(Originalprobe Fett I)	-	-	-	-	(298)	(338)	(0,18)
Friteuse: Aluminium, beschichtet (R 5)	190	1500	50	22	306	342	0,71
(Originalprobe Fett II)	-	-	-	-	(296)	(341)	(0,16)
Friteuse: Aluminium, beschichtet (R 6)	225	1500	50	30	296	342	0,83
Friteuse: Aluminium, beschichtet (R 7)	243	1500	50	36	296	340	0,99
Friteuse: Aluminium, beschichtet (Blindversuch)	243	1500	-	50	291	330	110,00

Tabelle 6

	Flammpunkt	Brennpunkt	Bräunung
Originalprobe Kokosfett	(296)	(341)	(0,16)
Fettkondensat aus Abzugschacht, unten	294	313	-
Kondensat aus Alterungsversuch Fett + Al ₂ O ₃ + Luft	115	125	2,10
Kolbenrückstand (Sumpf) aus o. a. Alterungsversuch	277	328	240,0

im Zusammenhang mit der verdampfen- den Feuchtigkeit des Siedegutes, aus dem Fettbad, kondensieren bevorzugt in den Schächten der Wrasenabzüge und bewirken im Falle eines Schadenfeuers eine schnelle Brandübertragung und -weiterleitung, sofern nicht feuerwider- standsfähige Leitungen verwendet wur- den. Bei Verwendung ungesättigter Fette und Öle als Bad ist darüber hinaus eine autoxidative Selbstentzündung dieser Kondensate nicht auszuschließen.

entflammbaren Spaltprodukte konti- nuierlich durch den Wasserdampf aus- getragen werden und weil (in der Mehr- zahl aller Fälle) die Geräte in abgedeck- tem Zustand betrieben werden, d. h. dem primär ursächlichen Sauerstoff der Zutritt zum Fettbad (weitgehend) verwehrt wird.

Anders sieht es hingegen aus, wenn die Geräte in (kleineren) gastronomischen Betrieben genutzt werden. Hier ergeben sich aus der jeweiligen Frequentierung der Gaststätten u.U. relativ lange Zwi-

das Gerät nicht ausgeschaltet, sondern lediglich die Temperatur zurückgenom- men, wodurch die flüchtigen Spaltpro- dukte vermindert abdestilliert und auf diese Weise zwangsläufig angereichert werden.

Wird das Gerät anschließend wieder auf Betriebstemperatur aufgeheizt, gasen die im Fett gelösten Spaltprodukte ver- stärkt aus und erhöhen auf diese Weise das Brandrisiko. In extrem gelagerten Fäl- len kann dabei durchaus eine (Fremd-) Zündung der Dämpfe mit Brandübertra- gung auf die Friteuse bzw. in die Lüftungs- leitung eintreten.

Eine nachträgliche Überprüfung der in der eingangs angeführten Veröffentli- chung des Verfassers als Grundlage für seine Aussage herangezogenen Brand- fälle ergab tatsächlich eine ausschließ- lich gastronomische Verwendung dieser Kleingeräte.

Wegen der gegenüber einem Haushalt deutlich unterschiedlichen Nutzung in gastronomischen Betrieben besteht die Gefahr einer derartigen Inbrandsetzung der Geräte zwangsläufig nicht nur bei zweckentfremdeten Haushaltsfriteusen, sondern grundsätzlich bei allen Siede- fettgeräten, selbst wenn diese häufig nicht aus Leichtmetall, sondern aus Edel- stahl gefertigt werden.

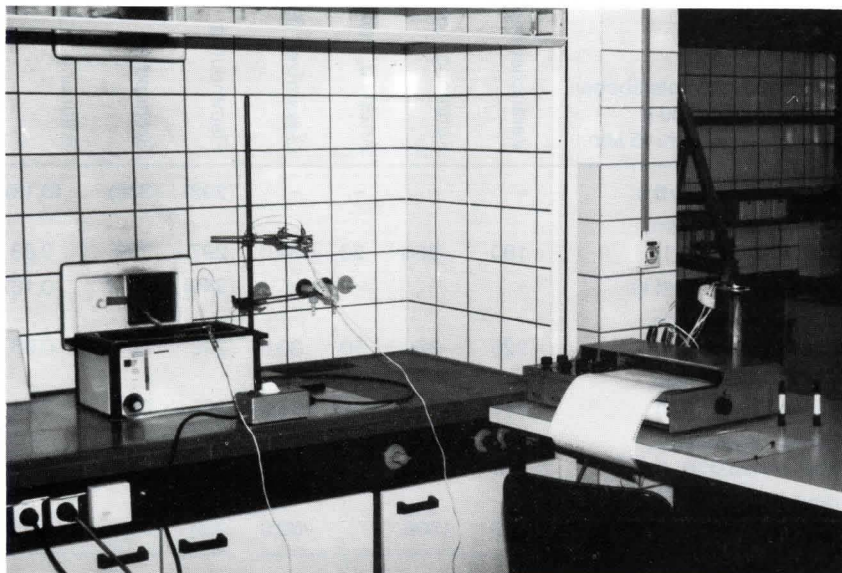


Bild 1. Versuchsanordnung mit Friteuse und Aufzeichnung des Temperaturverlaufs.

Eine Selbstentzündung des Fettbades infolge Absenkung der Zünddaten ist in der Praxis bei einer zweckgebundenen Verwendung der Haushaltsfriteusen jedoch wenig wahrscheinlich, da in der Regel der Badinhalt relativ frühzeitig erneuert wird (Geruchsbelästigung), es sich jeweils immer nur um einzelne Siede- vorgänge handelt, bei denen die leicht

schenzeiten, bei denen das Gerät nicht genutzt, aber dennoch beheizt wird, um sofort einsatzbereit zu sein. Dabei wer- den in der Regel, da die leistungsstarken Exhaustoren ohnehin ständig in Betrieb sind, die Geräte nicht abgedeckt, so daß der Luftsauerstoff ungehindert auf das Fett einzuwirken vermag. Ferner wird vielfach in Ruhe- oder Zwischenzeiten

2. Autoxidative Selbstentzündung des Siedegutes

Werden natürliche oder ihnen (weitge- hend) entsprechende künstliche makro- molekulare Verbindungen (Zellulose, Stärke, Eiweiß, Polyurethane, Phenol- harze, Butadienderivate u. a. m.) ther- misch belastet, erfahren sie vielfach exo- therm verlaufende Zersetzungsreaktio- nen. Insbesondere bei Kohlehydraten verlaufen die Reaktionen in der ersten Phase auch ohne Belüftung, mit Tempe- ratursteigerungen – unter idealen Bedin- gungen – bis auf ca. 450°C. Sie verlaufen irreversibel, sind mit der Bildung brenn- barer Gase verbunden und beinhalten in ihren einzelnen Phasen u. a. bekannte Phänomene wie die Maillard-Reaktion (Bräunungseffekt) oder Karamellisie- rungsvorgänge (Popcorneffekt bei Mais, Erdnüssen u. ä.). Aufgrund ihrer Tempe- raturabhängigkeit werden die Reaktio- nen bei Anwesenheit entsprechender Wärmedämmungen in ihren einzelnen Phasen (weitgehend) progressiv beschleunigt. Der sauerstoffunabhängi- gen Zersetzung schließt sich eine Autoxi- dationsphase an, bei der (bis zum Errei- chen des Selbstzündpunktes) gleichfalls in starkem Maße gasförmige, brennbare Spaltprodukte freigesetzt werden.

In der Praxis laufen in der Regel beide Reaktionen parallel zueinander ab, d. h. in den äußeren Bereichen erfolgt primär

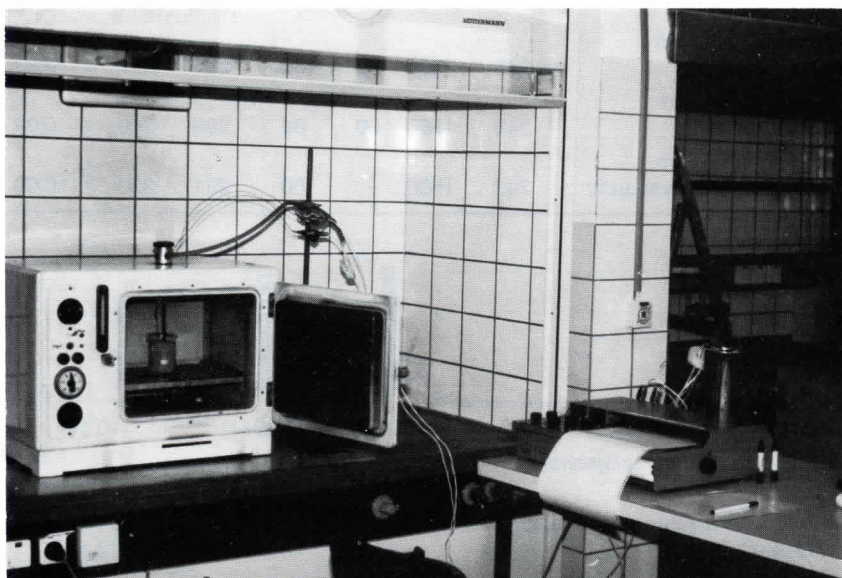


Bild 2. Anordnung der Vorversuche zur Ermittlung der autoxidativen Eigenschaften des Fritiergutes mit Probenbehälter im Trockenschrank und Aufzeichnung des Temperaturverlaufs.

eine Oxidation, innen hingegen die sauerstoffunabhängige Zersetzung. Aufgrund der stärkeren Wärmeableitung in den Randbereichen treten dabei jedoch im Anfangsstadium der Zersetzung im Zentrum deutlich höhere Temperaturen auf als außen. Eine Selbstentzündung wird daher begünstigt, wenn sich eine entsprechend dicke wärmedämmende Kohleschicht (in der älteren Literatur als „pyrophore Röstkohle“ bezeichnet) aufgebaut hat.

In Friteusen werden bei üblichen Siedevorgängen mit Garungszeiten von 5 bis 10 Minuten Voraussetzungen für derartige Reaktionen nicht geschaffen, da extrem starke exotherme Zersetzungen erst bei höheren Temperaturen einsetzen. Sie treten demzufolge im Siedegut erst ein, wenn das in ihnen enthaltene Wasser verdampft ist (Stagnation bei 100 °C). Darüber hinaus ist das Siedegut in der Regel von Fett bedeckt, so daß dem die Selbstentzündung auslösenden Sauerstoff, selbst bei nicht abgedeckten Geräten, der Zutritt verwehrt wird. Das schließt jedoch nicht aus, daß vergessen wird, das Siedegut dem Fettbad rechtzeitig zu entnehmen, wobei es mit fortschreitender Zersetzung in zunehmendem Maße aufschwimmt und aus der Fettoberfläche austritt. Dabei kann eine überhöhte Badtemperatur den Vorgang deutlich beschleunigen und es ist sowohl eine Zündung der ausgasenden Spaltprodukte als auch des dem Bad entnommenen und in einen Abfallbehälter überführten Siedegutes in Betracht zu ziehen.

Entsprechende Vorversuche mit zerriebenen Kartoffeln in nicht wärmeisolierten Bechergläsern im Trockenschrank brachten bereits bei einer Temperatur von 190 °C für das kohlehydrathaltige Material in der sauerstoffunabhängigen Phase Maximaltemperaturen von 314 °C und in der Oxidationsstufe von 775 °C. Bei getrocknetem eiweißreichen Beefhack betrugen die entsprechenden Werte 234 °C und 346 °C, wobei hier jedoch während der Oxidation die Schranktemperatur auf 230 °C erhöht werden mußte (endotherme Zwischenreaktionen).*

Abb. 1 und 2

Erwartungsgemäß zeigten sich bei Fritierversuchen mit Pommes frites exotherme Reaktionen, die sich zunächst in einem, von den jeweiligen Betriebsbedingungen abhängigen, mit steigender Temperatur jeweils progressiv beschleunigten Temperaturanstieg innerhalb des Siedegutes äußerten, wobei die aus dem Verdampfungsvorgang der Feuchtigkeit resultierende Stagnation bei 100 °C nur relativ kurze Zeit in Anspruch nahm.

* Die Temperaturangaben dienen nur der prinzipiellen Erklärung. Sie können bei verminderten Versuchstemperaturen bzw. anderen Zusammensetzungen des Versuchsmaterials sowohl unter- als auch überschritten werden.

Abb. 1. Selbstentzündungsversuch mit getrocknetem Kartoffelrieb, bei 190 °C im Trockenschrank, mit Maximaltemperaturen der sauerstoffunabhängigen Zersetzungsreaktion (314 °C) und den sich anschließenden Oxidationsstufen (775 °C). (Belüftung)

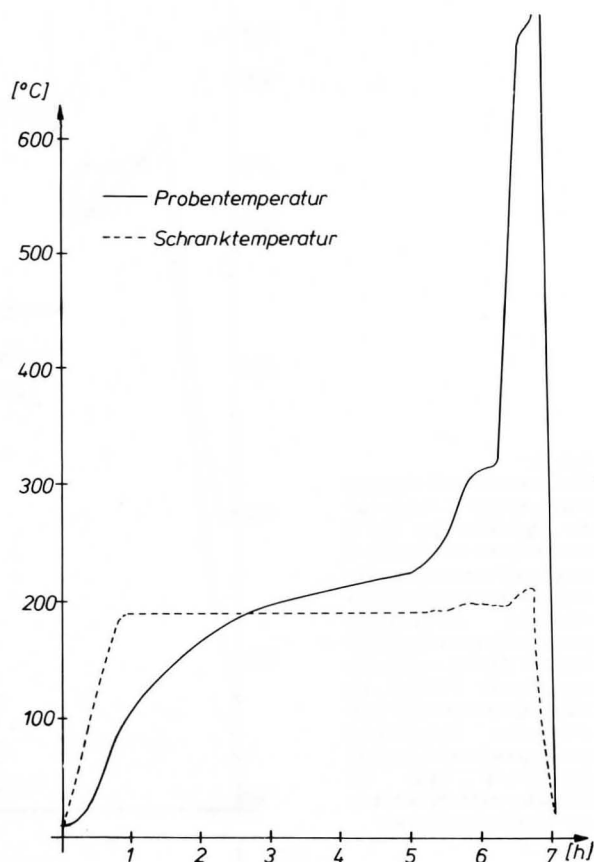


Abb. 2. Selbstentzündungsversuch mit getrocknetem Beefhack bei 190 bzw. 230 °C im Trockenschrank mit Maximaltemperaturen der sauerstoffunabhängigen Zersetzungsreaktion (234 °C) und den sich anschließenden Oxidationsstufen (346 °C). (Belüftung)

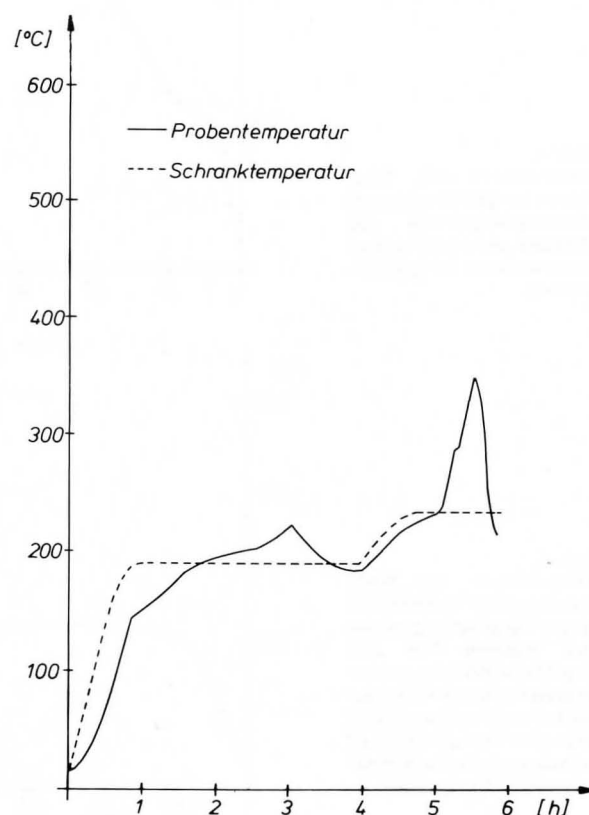


Abb. 3.
Siedeversuch mit Pommes frites bei 270 °C. Nach kurzer Stagnation bei 100 °C (Verdampfen des Wassers) steigt die Temperatur im Siedegut in der sauerstoffunabhängigen Zersetzungsphase progressiv beschleunigt auf 280 °C, wobei das umgebende Fettbad als Folge dieser Reaktion gleichermaßen beschleunigt mit aufgeheizt wird. Die Oxidationsstufe setzt ca. 5 Minuten nach der Herausnahme aus dem Bad ein.

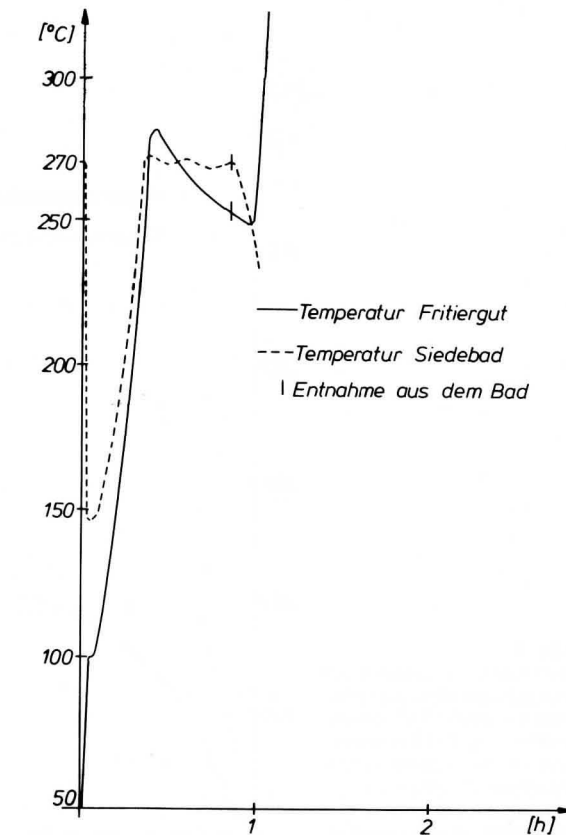


Abb. 4.
Siedeversuch mit Rindfleisch bei 240 °C mit langer Verdampfungsphase des Wassers und relativ langsamem weiteren Temperaturanstieg.

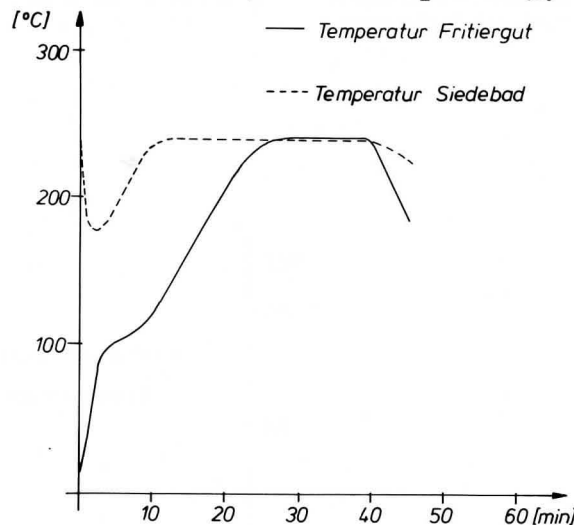
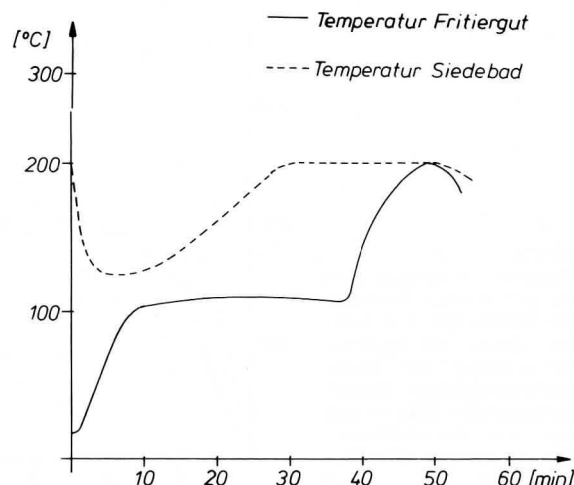


Abb. 5.
Siedeversuch mit Rindfleisch bei 200 °C mit extrem langer Verdampfungsphase des Wassers. Der anschließende Temperaturanstieg erfolgt zwar heftiger als bei dem vorhergehend gezeigten Versuch (Abb. 4), jedoch wird die Badtemperatur nicht überschritten.



Oberhalb einer Betriebstemperatur von 240 °C wurde die jeweilige Badtemperatur trotz der „Kühlwirkung“ des umgebenen Siedefetts deutlich überschritten und bei 270 °C das Siedegut nach seiner Entfernung aus dem Bad zur Selbstentzündung gebracht. Dabei erfolgte eine autoxidative Reaktion bemerkenswerterweise erst, als die Temperatur der verkohlten Masse bereits wieder auf ca. 250 °C abgefallen war.

Abb. 3

Demgegenüber waren die Versuche mit stark eiweißhaltigem Rindfleisch durch extrem lange Stagnation bei 100 °C (hoher Wassergehalt) und während des folgenden Temperaturanstiegs über weite Bereiche durch stark endotherme Reaktionen gekennzeichnet. Exotherme Zwischenreaktionen bewirkten zwar entsprechende Beschleunigungen des Temperaturanstiegs, die jedoch relativ schnell beendet waren bzw. durch nachfolgende endotherme Reaktionen überdeckt wurden, so daß von zwei Ausnahmefällen (von insgesamt 46 Versuchen) abgesehen, im Siedegut keine Steigerungen der Temperatur über die des Fettbades festgestellt werden konnten.

Abb. 4 und 5

Bemerkenswert erscheint jedoch das Verhalten der Fleischsubstanz bei Temperaturen über 240 °C. Während die Masse bis zu dieser Temperatur in deutlichem Maße verkrustet, wobei die einzelnen Fleischstücke miteinander verbacken, tritt oberhalb von 240 °C ein „thermoplastartiger“ Zerfall ein, verbunden mit der Bildung einer schwarzen, schmelzartigen Masse, die beispielsweise die Maschen eines aus Fliegendraht gefertigten Miniaturprobenbehälters ohne weiteres zu durchdringen in der Lage war und das Fettbad verstärkt in Mitleidenschaft zieht.

Eine Selbstentzündung des Fettbades erfolgte auch bei keinem dieser Versuche, obwohl z. T. mit nicht abgedeckten Geräten gearbeitet wurde und insbesondere bei der Verwendung von Fleisch als Siedegut eine erhebliche Dunstentwicklung eintrat. Die Gefahr einer Brandentstehung ist vielmehr grundsätzlich dann gegeben, wenn zu lange im Bad verbleibendes und entsprechend „verkohlt“ Siedegut, insbesondere dann, wenn es noch heiß ist, in Abfallbehältern mit sonstigem brennbaren Inhalt verwahrt wird. Bei Verwendung von Ölen mit einer hohen Jodzahl wurden nach der Entnahme aus dem Bad im („verkohlt“) Siedegut jeweils geringe Temperaturanstiege festgestellt, die in den Bereichen bis zu 240 °C von einer deutlich verstärkten Dunstbildung begleitet wurden. Die Gefahr einer o. a. Brandentstehung ist bei derartigen Ölen also als besonders akut anzusehen.

3. Alterung des Fettbades

Durch die thermische Belastung erfährt das Fettbad einen Alterungsprozeß, dessen unmittelbare Ursachen bereits aus-

fürlich diskutiert wurden. Die Alterung macht sich neben Ausgasungseffekten leicht flüchtiger Spaltprodukte durch visuell wahrnehmbare Veränderungen des Fettes in Form von Braunfärbung und Schaumbildungen beim Einsetzen des Siedegutes bemerkbar. Darüber hinaus verändern sich aber auch andere Parameter des Fettes, wie die Neutralisations-, die Jod- und die Peroxidzahl, so daß der Badinhalt je nach Nutzung früher oder später nicht nur aus brandtechnischen, sondern auch aus gesundheitlichen Gründen erneuert werden sollte.

Neben den Bestimmungen der Flamm- und Brennpunkte der jeweils dem Bad entnommenen Proben wurde darüber hinaus die u. a. auf Bildung von Carbonylverbindungen zurückzuführende Bräunung (nach Wurziger und Lindemann), als photometrische Extinktion bei 470 nm, die Neutralisationszahl (NZ) als mg KOH/g Fett, die Peroxidzahl (POZ) (nach Wheeler) als mg O₂/g Fett und die Jodzahl (JZ) (nach Hanus) als mg J/g Fett bestimmt.

Dabei macht sich die Abhängigkeit der Alterung von der Zeit und der Temperatur, insbesondere bei der Bräunung, aber auch bei der Neutralisationszahl durch entsprechend progressive Kurvenverläufe bemerkbar, so daß sich unter extrem ungünstigen Bedingungen (Rindfleisch in unbeschichteten offenen Leichtmetallfriteusen) bereits nach sieben Siedevorgängen die Intensität der Bräunung verzehnfacht hat, (aber auch bei den Blindproben um den Faktor 3–5 gestiegen ist). Im scheinbaren Gegensatz dazu stehen die Ergebnisse der praxisbezogenen Versuche, bei denen sich die Werte bei unbeschichteten Geräten nach 50 Siedevorgängen lediglich um den Faktor 5–9 und bei beschichteten um den Faktor 4–6 verändert haben, und selbst bei 150 Versuchen in unbeschichteten Friteusen bei 243 °C erhöhte sich der Wert „nur“ auf das 18fache. Andererseits steigen sie jedoch hier bei den Blindproben nach 50 Stunden auf das 925- bzw. 690fache des ursprünglichen Wertes an. Die Ursache hierfür ist in erster Linie auf den Kühleffekt des in 15minütigen Intervallen ins Bad eingesetzten Siedegutes zurückzuführen, wobei das Siedegut hier aus Pommes frites und nicht aus das Fett verstärkt in Mitleidenschaft ziehendem Rindfleisch bestand. Ferner konnte bereits bei den orientierenden Vorversuchen der Nachweis erbracht werden, daß insbesondere bei längerer Verweildauer vom Siedegut größere Mengen von Spaltprodukten aufgenommen werden, was bei stark gealterten Fetten auch unter gesundheitlichen Gesichtspunkten als außerordentlich bemerkenswert herauszustellen ist.

Abb. 6

Die Peroxidzahl steigt in der Regel zunächst stark an, um dann im weiteren Verlauf der Benutzung langsam kontinuierlich wieder abzufallen, während die Jodzahl bei hohen Anfangswerten ständig abfällt, bei niedrigen Anfangswerten hingegen zunächst geringfügig ansteigt (Ausnahmen). Wie aus den ergänzenden Alterungsversuchen ersichtlich, zeichnen sich die Kondensate durch eine hohe POZ und NZ aus, während die für die Bräunung ursächlichen Carbonylverbindungen praktisch nicht ausgetragen werden.

Abb. 7

Abb. 6. Veränderung der Bräunung (Orientierende Vorversuche, Reihe 1, Pommes frites). Bei dem 3. Versuch sprach 20 Minuten nach dem Einsetzen des Siedegutes der Sicherheitstemperaturbegrenzer an. Der Versuch mußte abgebrochen werden. Bemerkenswerterweise fiel die Intensität der Bräunung gegenüber dem vorhergehenden Versuch deutlich ab, d. h., es war eine Aufnahme der ursächlichen Spaltprodukte durch das Siedegut erfolgt. Beim folgenden 4. Versuch entsprach die Zunahme der Bräunung wieder dem ursprünglichen Kurvenverlauf. (Gleiche Veränderungen traten bei der Neutralisationszahl auf.)

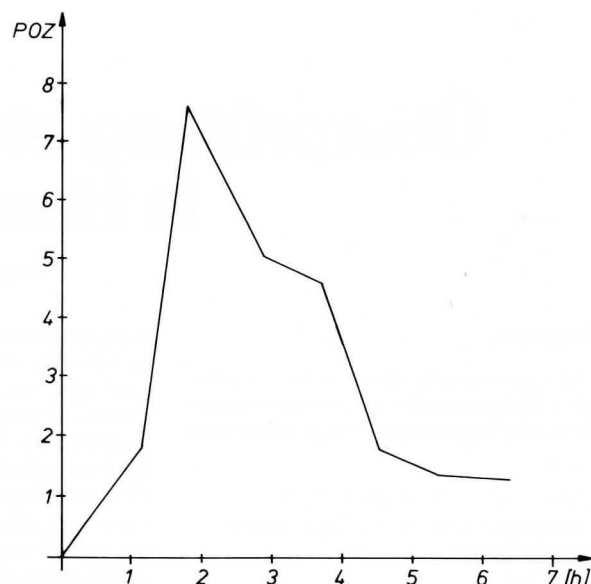
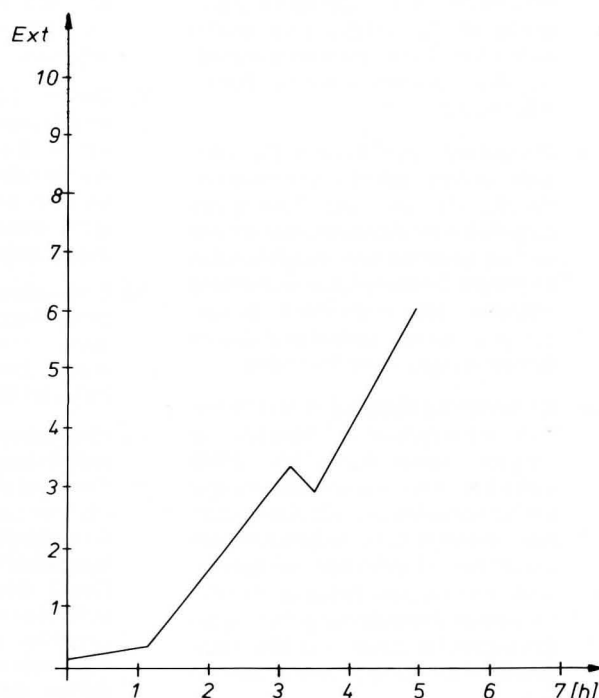


Abb. 7. Veränderung der Peroxidzahl (Orientierende Vorversuche, Reihe 2, Pommes frites). Die Peroxidzahl steigt zunächst steil an, um im weiteren Versuchsverlauf kontinuierlich wieder abzufallen.

Schlußfolgerung

Die kritische Betrachtung der bei den Untersuchungen erzielten Ergebnisse läßt sich wie folgt zusammenfassen:

- 1) Siedefette, gleich welcher Art und Herkunft, unterliegen bei thermischer Belastung Zersetzungsreaktionen unter Bildung leichtsiedender und leichtentflammbarer Spaltprodukte.
- 2) Die Zersetzungsreaktionen sind in starkem Maße vom (Luft-)Sauerstoff abhängig, werden also durch Geräteabdeckungen deutlich gehemmt.

- 3) Die Reaktionsgeschwindigkeit der Zersetzung wird durch Anwesenheit von Katalysatoren extrem beschleunigt. Einen derartigen Katalysator stellt die den unbeschichteten Leichtmetallwandungen aufliegende Aluminiumoxidschicht dar. Der Katalyseffekt tritt bei beschichteten Wandungen und bei Edelstahlbehältern nicht oder nur in geringem Umfang auf. Hingegen ist eine autokatalytische Wirkung der gebildeten Spaltprodukte gegeben.
- 4) Steigende Temperatur des Fettbades beschleunigt die Zersetzung und überproportional das Ausgasen der leichtsiedenden Zersetzungsprodukte. Im Gesamtergebnis erfährt daher das Bad keine nennenswerte negative brandtechnische Beeinträchtigung.
- 5) Die je nach Fettbadtemperatur mehr oder weniger spontan verdampfende Feuchtigkeit des Fritiergutes bewirkt ein verstärktes Ausgasen der im Fett gelösten bzw. entstehenden flüchtigen Spaltprodukte, wobei eine schnelle Folge mehrerer Fritiervorgänge zu einem weitgehend quantitativen Ausgasungseffekt führt.
- 6) Eine kritische Absenkung der Flamm- und Brennpunkte ist deshalb nur möglich, wenn das Gerät offen betrieben wird, die Zersetzung des Fettes beschleunigende Katalysatoren, insbesondere unbeschichtete Leichtmetallwandungen vorhanden sind und zwischen den einzelnen Fritiervorgängen relativ lange Wartezeiten liegen, bei denen u. U. eine Temperaturabsenkung vorgenommen wird.
- 7) Eine deutlich wahrnehmbare, d. h. unmittelbar negative Beeinträchtigung der brandtechnischen Eigenschaften des Fettbades durch Ver-

dünnungseffekte infolge Einsatzes stark fetthaltigen Fritierguts erfolgt nicht. Es ist jedoch nicht auszuschließen, daß diese „unveredelten“ Fette mit zunehmender Verweildauer im Bad verstärkt altern.

- 8) Die aus dem Fettbad verdampfenden leicht entflammbaren Spaltprodukte kondensieren zu einem großen Teil innerhalb der Leitungen der Abzüge bzw. der Filter und führen hier zu einer erheblichen Vergrößerung des Brandrisikos. Daher ist eine Fremd-entzündung verstärkt ausgasender Spaltprodukte bei stark gealterten Fetten mit Brandübertragung sowohl auf das Fettbad als auch in die Lüftungsleitungen nicht auszuschließen.
- 9) Bei der Verwendung von Ölen mit einem großen Gehalt an ungesättigten Verbindungen (hohe Jodzahl), wie beispielsweise Sonnenblumenöl, ist eine autoxidative Selbstentzündung dieser Kondensate nicht auszuschließen.
- 10) Eine autoxidative Selbstentzündung des Fritiergutes ist nur bei (überwiegend) kohlehydrathaltigem, nicht jedoch bei (ausschließlich) eiweißhaltigem Material möglich.
- 11) Eine derartige Entzündung erfolgt jedoch keinesfalls, solange sich das Fritiergut im Bad befindet. Sie setzt darüber hinaus eine extrem lange Fritierzeit mit entsprechenden „Verkohlungserscheinungen“ und in der Regel deutlich überhöhte Badtemperaturen ($> 250^{\circ}\text{C}$) voraus. Ungeachtet dessen ist bei derartigen Ereignissen grundsätzlich von der Gefahr einer autoxidativen Selbstentzündung auszugehen, wenn das „verkohlte“ Siedegut in Behältern verwahrt wird, die entweder aus brennbarem Material bestehen bzw. solches beinhalten. Das gilt in beson-

derem Maße, wenn dieses im heißen Zustand erfolgt oder wenn das Fettbad aus ungesättigten Ölen besteht.

- 12) Insbesondere kohlenhydrathaltiges Fritiergut reichert sich offensichtlich mit hochsiedenden bzw. nicht flüchtigen Spaltprodukten an, wenn es zu lange im Fettbad verbleibt. Das gilt in besonderem Maße bei stark überaltertem (zersetztem) Fett.

Unter Berücksichtigung der vorstehend aufgeführten Ableitungen aus den einzelnen Versuchsergebnissen läßt sich daher sagen, daß eine Erhöhung der maximal zulässigen Temperatur (einmalige Überschreitung der maximalen Arbeitstemperatur in der ersten Aufheizphase) von 200°C auf 243°C , abgesehen von der Annäherung an den Flamm- bzw. Brennpunkt des jeweiligen Siedefettes um 43 K, zwar eine entsprechend beschleunigte Zersetzung des Fettes zur Folge hat, daß die dabei entstehenden Spaltprodukte jedoch weitgehend aus dem Bad verdampfen. Eine kritische Absenkung des Flamm- bzw. Brennpunktes ist daher nur zu befürchten, wenn das Gerät über längere Zeitspannen in (reduziert) beheiztem und nicht abgedecktem Zustand belassen wird, wobei unbeschichtete Aluminiumwandungen diesen Vorgang deutlich begünstigen. Eine derartige Betriebsart dürfte dabei lediglich bei gewerblicher Verwendung des Gerätes, keinesfalls jedoch bei einer Nutzung im Haushalt die Regel sein, gleichermaßen wie im Haushalt 50 oder 150 Fritiervorgänge bzw. bis 50 oder 100 Betriebsstunden kaum den Realitäten entsprechen dürften.

Darüber hinaus sollte jedoch nicht verkannt werden, daß die aus der Temperaturerhöhung um 43 K resultierende beschleunigte Zersetzung des Fettes gleichermaßen eine verstärkte Verschmutzung der Lüftungsleitungen mit leicht entflammbaren Spaltprodukten nach sich zieht.

Überprüfung elektrischer Anlagen in Haus und Hof

Hermann Richter

Einleitung

Die Überprüfung elektrischer Anlagen und Betriebsmittel in landwirtschaftlichen Betrieben hatte schon immer ihre

*Verw. Direktor Hermann Richter,
Landwirtschaftliche Berufsgenossen-
schaft Oberbayern,
München*

eigene Problematik. Die Gründe für diese Sonderrolle liegen auf der Hand: Einmal sind nicht nur die Landwirtschaftlichen Berufsgenossenschaften (Träger der gesetzlichen Unfallversicherung), sondern auch andere Einrichtungen, wie z. B. Elektrizitätswerke, Versicherer u. a. prüfberechtigt bzw. daran interessiert, daß die sicherheitstechnischen Anforderungen im Hinblick auf die Betriebssicherheit

elektrischer Anlagen und Geräte beachtet werden. Zum anderen besteht insoweit – im Gegensatz zu den allgemeinen sicherheitstechnischen Überprüfungen von Haus und Hof – eine vom Staat verordnete Prüfpflicht.

Diese Prüfpflicht war eigentlich nie ganz unbestritten und auch heute ist sie wieder in die Diskussion gekommen.