

Bericht über die Ergänzungsprüfung der Ultrahocherhitzungsanlage Typ TA-FLEX-Turbo (Steritube, TA-FLEX)

Von Chr. Kiesner, H. Meisel, M. Losch

Institut für Chemie und Technologie der Milch der Bundesforschungsanstalt für Ernährung und Lebensmittel, Standort Kiel, Postfach 6069, 24121 Kiel

1. Einleitung

Die Firma Tetra Pak Processing GmbH, 21465 Reinbek, hat am 02.05.2001 beim Institut für Chemie und Technologie der Milch der ehemaligen Bundesanstalt für Milchforschung in Kiel, eine Ergänzungsprüfung ihrer Ultrahocherhitzungsanlage Typ Steritube P beantragt.

Die Typprüfung dieser Anlage erfolgte in den Jahren 1984-1986 (Steritube P6, Prüfbericht Kiel Nr. 646), eine Ergänzungsprüfung in den Jahren 1990-1992 (Steritube P13, Prüfbericht Kiel Nr. 650) durch das Institut für Verfahrenstechnik der ehemaligen Bundesanstalt für Milchforschung in Kiel. Die Anlage besitzt die Zulassungsnummer SH 4-24 (Typ Steritube P3, P4, P5, P6.5, P8, P10, P13, P16, P19, P25) und das Prüfungskennzeichen Kiel Nr. 4-12.

Die zu prüfende Anlage mit der neuen Bezeichnung TA-FLEX-Turbo entspricht konzeptionell den Vorgängermodellen Steritube P13, Prüfbericht Kiel Nr. 650 und TA-FLEX, Prüfbericht Weihenstephan W-E 104/97. In der neuen Anlage, in der Produkt-Volumenströme von 6,5 m³/h bis 25 m³/h realisiert werden sollen, werden jedoch Rohrbündelwärmeübertrager verwendet, deren Innenrohrabmessungen von denen der in bereits zugelassenen Anlagen installierten abweicht. In der Vorwärmaabteilung III (Temperaturbereich 96-121 °C), der Erhitzungsabteilung (Temperaturbereich 121-138 °C) sowie in der Rückkühlabteilung I (Temperaturbereich 138-103 °C) sollen Rohrbündel eingesetzt werden, deren Innenrohre einen Innendurchmesser von nur 6 mm aufweisen. Die dadurch erreichbaren hohen Strömungsgeschwindigkeiten bewirken eine Verbesserung des Wärmeübergangs. Durch die geringen Strömungsquerschnitte erhöht sich allerdings, im Vergleich zu konventionellen Steritube-Anlagen, zwangsläufig auch das Risiko des Zuwachsens in den Abteilungen mit hoher Temperatur.

Nach Durchsicht der vom Hersteller zur Verfügung gestellten technischen Unterlagen wurde für den Umfang der Ergänzungsprüfung der Standzeit- sowie der Reinigungsversuch festgelegt (1).

Die Versuche wurden vom 29.-30. Mai 2001 in einer Norddeutschen Molkerei, in Zusammenarbeit mit der zuständigen technischen Sachverständigen, durchgeführt.

Die installierte Anlage arbeitet mit Rohrbündelwärmeübertragern des Typs BSTFM und ist für einen Produktvolumenstrom von 7500 l/h ausgelegt. Der Hersteller möchte im gleichen Anlagentyp bei gleicher Peripherie zukünftig auch Rohrbündelwärmeübertrager des Typs Tetra Spiraflo Multitube (MT) einsetzen, die von den Innenrohrabmessungen der

Rohrbündelwärmeübertrager der jeweiligen Abteilungen dem Typ BSTFM entsprechen. Für die Vorwärmabteilungen II und III sowie die Erhitzungsabteilung sind ausschließlich Innenrohre mit glatten Wänden vorgesehen (Tetra Spiraflo Multitube S), in der Vorwärmabteilung I und der Rückkühlabteilung III sollen zum Teil auch spiralgewellte Innenrohre (Tetra Spiraflo Multitube C) verwendet werden.

Die dargestellten Ergebnisse der Ergänzungsprüfung beziehen sich auf die Wärmeübertrager mit BSTFM Rohrmodulen. Die Eignung der vorgesehenen Tetra Spiraflo Multitube Rohrmodule wurde auf Grundlage der vom Hersteller eingereichten technischen Unterlagen beurteilt.

2. Technische Beschreibung der Anlage

Aufbau und Schaltung der bei einer Norddeutschen Molkerei installierten UHT-Anlage entsprechen im Prinzip der in Prüfbericht Weihenstephan W-E 104/97 beschriebenen TA-FLEX Anlage. Da jedoch außer der Verwendung neuer Rohrmodule mit Innenrohrdurchmessern von 6 mm z. T. auch abweichende Anlagenkomponenten eingesetzt werden, wird nachfolgend noch einmal auf den Aufbau der Anlage eingegangen.

2.1 Produktlinie

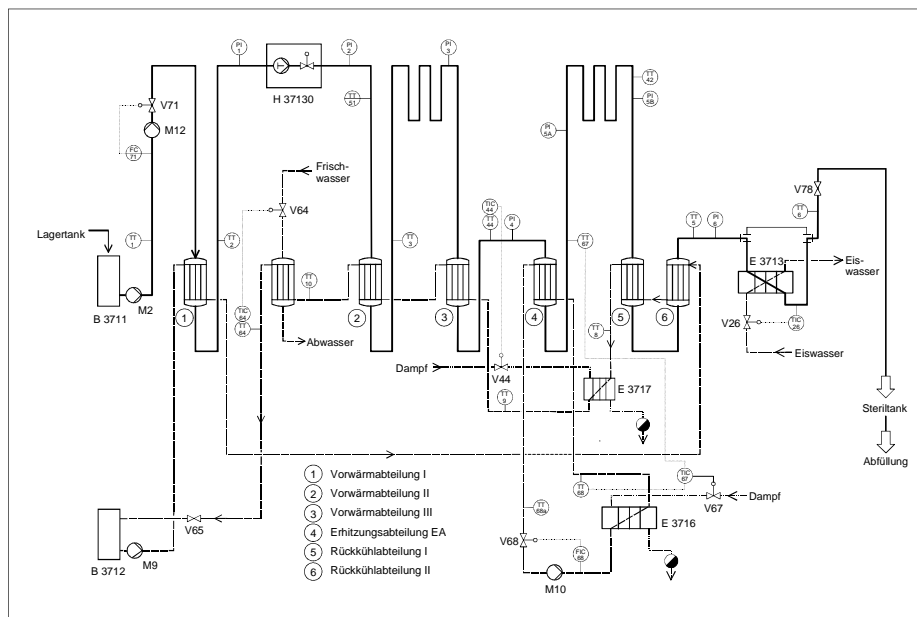


Abb. 1: Fließbild der Ultrahocherhitzungsanlage Typ TA-FLEX-Turbo

Aus dem Vorlaufbehälter B3711 (Volumen 100 Liter) wird die Milch von der Kreiselpumpe M2 (Hersteller Stamp, Typ FP 742/205 A, Motor 5.5 kW) zunächst über ein Anschluss-Panel (in Abbildung 1 nicht eingezeichnet), eine weitere Kreiselpumpe M12 (Hersteller LKM, Typ LKH 30/180, Motor 7,5 kW) und das Durchfluss-Regelventil V71 zur Vorwärmabteilung I gefördert. Die Vorwärmabteilung I ist aus zwölf 6 m langen,

hintereinander geschalteten Rohrmodulen (Typ BSTFM) aufgebaut, in denen die Milch von der Eingangstemperatur auf ca. 79 °C erwärmt wird. Von der Vorwärmabteilung I wird die Milch über das Anschluss-Panel weiter zur Homogenisiermaschine H 37130 (Alfa Laval Typ SHL 25) gefördert. Die Homogenisiermaschine ist am Ein- und Auslauf mit je einem Pulsationsdämpfer ausgestattet. Die Hochdruck-Kolbenpumpe der Homogenisiermaschine erzeugt den Homogenisierdruck und den Anlagendruck für die nachfolgende Produktlinie bis zum Druckhalteventil V78 (Alfa Laval Typ CPM-8-51).

Von der Homogenisiermaschine wird die Milch über das Anschluss-Panel in die Vorwärmabteilung II gepumpt. Die Vorwärmabteilung II setzt sich aus vier hintereinander geschalteten Rohrmodulen (Typ BSTFM) zusammen, in denen die Milch von ca. 82 °C auf 96 °C erwärmt wird. An die Vorwärmabteilung II schließt sich zunächst eine Vorheizhaltestrecke an, die aus Milchrohren der Abmessungen DN 40 und DN 50 zusammengesetzt ist. Nach dieser Heizhaltestrecke wird die Milch in der Vorwärmabteilung III auf 121 °C bzw. in der Erhitzungsabteilung auf die vorgegebene Erhitzungstemperatur von 138 °C erhitzt. Die Vorwärmabteilung III und die Erhitzungsabteilung sind aus je vier hintereinander geschalteten Turbo-Modulen (Typ BSTFM) aufgebaut, die aus jeweils 19 Innenrohren mit einem Innendurchmesser von 6 mm zusammengesetzt sind. Durch die geringen Strömungsquerschnitte werden in diesen Modulen bei einem Volumenstrom von ca. 7300 l/h Strömungsgeschwindigkeiten von 3,8 m/s erreicht. Dies entspricht ungefähr einer Verdoppelung der Strömungsgeschwindigkeit im Vergleich zu konventionellen Steriltube-Anlagen.

Von der Erhitzungsabteilung wird die Milch über den UHT-Heißhalter zu den Rückkühlabteilungen I und II geführt, in denen eine Abkühlung auf 103 °C bzw. 25 °C erfolgt. Rückkühlabteilung I besteht aus zwei hintereinander geschalteten Turbo-Modulen des oben beschriebenen Typs (BSTFM), Rückkühlabteilung II aus vierzehn hintereinander geschalteten Rohrmodulen (Typ BSTFM). Die Milch kann nach der Rückkühlung auf 25 °C optional über den Plattenwärmeaustauscher E3713 als Tiefkühler (bei ESL-Milch und H-Sahne) oder direkt über einen Steriltank zur aseptischen Abfüllmaschine gefördert werden (bei H-Milch).

2.2 Wärmeübertragereinheit

Die modular aufgebaute Wärmeübertragereinheit (UHT-Anlage) bestehend aus den Vorwärmabteilungen I, II und III, der Erhitzungsabteilung sowie den Rückkühlabteilungen I und II setzt sich, wie bei den Vorgängermodellen, aus hintereinander geschalteten Rohrbündelwärmeübertragern zusammen, die zu einer kompakten Rahmenkonstruktion übereinander und nebeneinander aufgebaut werden. Die einzelnen 6 m langen Rohrmodule werden stirnseitig mittels 180° Umlenkbögen miteinander verschraubt. Die Verbindung der Mantelräume der Rohrbündelwärmeübertrager wird über rechtwinklig aufgesetzte Stutzen mit Milchrohr-Rohrverschraubungen hergestellt. Die Rohrstützen dienen zusätzlich neben eingeschraubten Stützblechen zur Abstützung der Rohrmodule.

Die Rohrbündel in den Mantelrohren der einzelnen Rohrmodule sind in Längsrichtung beweglich – floating end Konstruktion – dadurch wird eine Spannungsrissskorrosion durch temperaturbedingte Längenänderung weitestgehend ausgeschlossen.

Die stirnseitigen Verbindungen der einzelnen Abteilungen untereinander sowie die Verbindungen mit vor- bzw. dazwischen geschalteten Anlagenteilen wie Vorlaufbehälter, Homogenisiermaschine, Vorheizhalter und UHT-Heißhalter, befinden sich ausschließlich auf der Frontseite des Grundrahmens. Die Verbindungsleitungen vom Zulaufbehälter zur Vorwärmabteilung I, von der Vorwärmabteilung I zur Homogenisiermaschine, von der

Homogenisiermaschine zur Vorwärmabteilung II, von der Vorwärmabteilung II zum Vorheizhalter und vom Vorheizhalter zur Vorwärmabteilung III werden über ein Anschluss-Panel geführt. Der Vorheizhalter ist neben der Wärmeübertragereinheit aufgebaut.

Alle Umlenkbögen und Verbindungsleitungen sind mit einem Hakenschlüssel leicht abschraubbar und die Rohrbündel der einzelnen Module können aus den Rohrmänteln herausgezogen werden.

2.3 Tetra Spiraflo Multitube MT Rohrmodule¹

Tetra Multitube S (smooth) Rohrmodule besitzen in den jeweiligen Abteilungen die gleichen Innenrohrabmessungen wie die oben beschriebenen BSTFM Rohrmodule und sind nach Angabe des Herstellers als strömungs- und wärmetechnisch gleichwertig anzusehen. Abhängig vom geforderten Produktvolumenstrom werden die Rohrbündel mit 7, 12, 19, 37 und 61 Innenrohren ausgeführt. Tetra Multitube C (corrugated) Rohrmodule hingegen bestehen nicht aus glatten, sondern aus spiralgerillten Innenrohren, die die Turbulenz der Produkt- und Wärmeträgerströmung und damit die Wärmeübertragung erhöhen. Die Verbindung der Mantelräume ist über aufgesetzte Rohrstutzen gegeben, die Rohrbündel der einzelnen Module können gegebenenfalls aus den Rohrmänteln herausgezogen werden. Zur Vermeidung von Längenänderungsbedingten Spannungen wurde die floating end Konstruktion, wie in der Ausführung BSTFM beschrieben, beibehalten. Die Umlenkbögen zur Verbindung der einzelnen Rohrmodule werden nicht über Milchrohrverschraubungen, wie bei den BSTFM Rohrmodulen, sondern über Flansche angeschraubt, was einen Betrieb in höheren Druckbereichen ermöglicht. Die Montage der selbsttragenden MT-Rohrmodule erfolgt über- und nebeneinander auf einem Grundrahmen. Zur Isolierung und um das Bedienungspersonal vor dem Kontakt mit heißen Rohren zu schützen, sind seitlich an der Wärmeübertragereinheit Schutzbleche angebracht.

2.4 Wasserkreisläufe (Abb. 1)

Das Erhitzen und Rückkühlen der durch die Rohrbündel strömenden Milch erfolgt mit im Gegenstrom durch die Mantelräume der Rohrmodule geführtem Wasser.

Das Wasser wird dazu in zwei separaten Kreisläufen durch die Anlage gefördert. Der erste Wasserkreislauf schließt die Vorwärmabteilungen und die Rückkühlabteilungen ein. Der zweite Wasserkreislauf versorgt die Erhitzungsabteilung.

2.4.1 Wasserkreislauf I

Aus dem Umlaufbehälter B3712 fördert die Kreiselpumpe M9 (Grundfoss Typ CRN8-140A/5,5kW) das Wasser zur Vorwärmabteilung I, in der die kalte Milch auf ca. 79 °C vorgewärmt wird. Von der Vorwärmabteilung I gelangt das Wasser zu den Rückkühlabteilungen I und II, in denen eine Abkühlung der heißen Milch von 138 °C auf ca. 25 °C stattfindet. Das nach Austritt aus den Rückkühlabteilungen ca. 126 °C heiße Wasser wird zunächst über den Plattenwärmeaustauscher E3717 (Alfa-Laval/CB76) geführt, dessen Dampfmenstrom am Durchfluss-Regelventil V44 (Camflex KV12, DN40) eingestellt wird (während Reinigung und Sterilisation), bevor es in die Vorwärmabteilung III gelangt. In der Vorwärmabteilung III erfolgt eine Erhitzung der Milch von 96 °C auf ca. 121 °C. Aus

¹ siehe auch Prüfbericht Weihenstephan W-E 104 / 97

Vorwärmabteilung III wird das Wasser in die Vorwärmabteilung II gefördert, in der eine Erwärmung der Milch auf ca. 96 °C stattfindet. Das nach Austritt aus Vorwärmabteilung II noch ca. 88 °C heiße Wasser gelangt schließlich über einen weiteren Rohrbündelwärmeübertrager, in dem eine zusätzliche Kühlung mit Frischwasser stattfindet, sowie das Druckhalteventil V65 in den Umlaufbehälter B3712 und wird von dort wieder der Vorwärmabteilung I zugeführt.

2.4.2 Wasserkreislauf II

Die Kreiselpumpe M10 (Grundfoss CRN8-40 FS/1,5 kW) fördert das Wasser über den dampfbeheizten Plattenwärmeaustauscher E3716 zur Erhitzungsabteilung, in der eine Erhitzung der Milch von 121 °C auf 138 °C stattfindet. Die Regelung der Erhitzungstemperatur der Milch erfolgt über den Dampfmengestrom für die Beheizung des Plattenwärmeaustauschers E3716, der am Ventil V67 (Samson 241/KV10, DN32) eingestellt wird (EMSR-Stelle TIC 67). Die Regelung des Heißwasser-Volumenstromes erfolgt über das Ventil V68 (Samson 241/KV25, DN40) und die EMSR-Stelle FIC 68.

2.5 Prozessautomation

Steuerung, Regelung und Überwachung der Anlage werden, wie bereits in Prüfbericht Kiel Nr. 646 dargestellt, über einen örtlich installierten Leitstand durchgeführt, dessen Komponenten z.T. durch weiterentwickelte Typen oder Geräte anderer Hersteller ersetzt wurden. Im einzelnen sind zu erwähnen:

- SPS-System SattCon S05-45
- Linienschreiber Endress & Hauser Mega Loc T (Prüfkennzeichen W-M2 / 97)
- Temperaturanzeigergerät Jumo PDA

3. Beschreibung des Verfahrensablaufs

Der Verfahrensablauf der UHT-Anlage wird detailliert in Prüfbericht Kiel Nr. 646 beschrieben. An dieser Stelle sollen lediglich die einzelnen Verfahrensschritte genannt und kurz erläutert werden (s. Abb. 2 und 3).

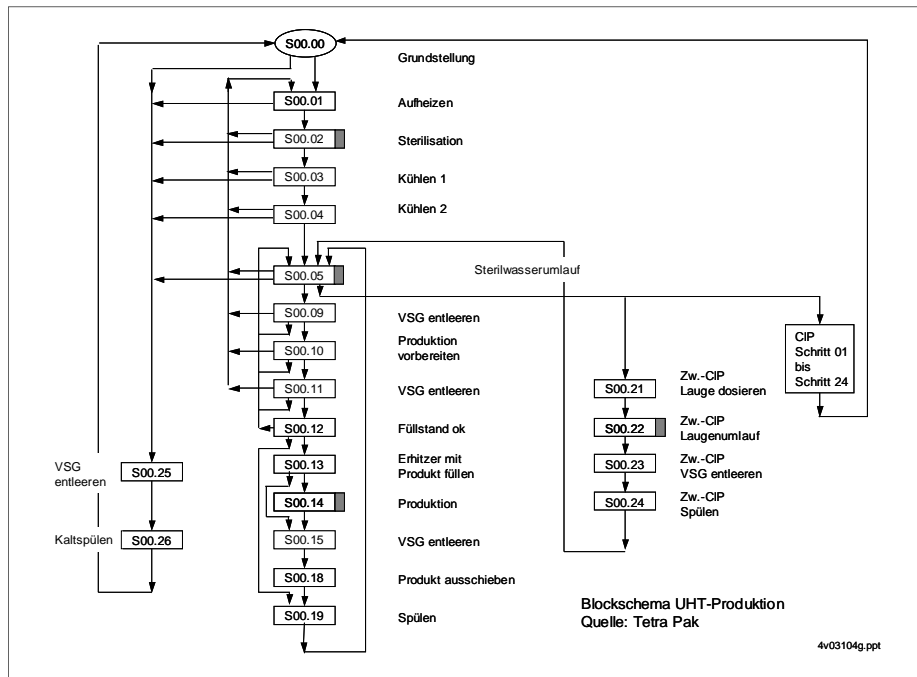


Abb. 2: Blockschema UHT-Produktion. Quelle: Tetra Pak

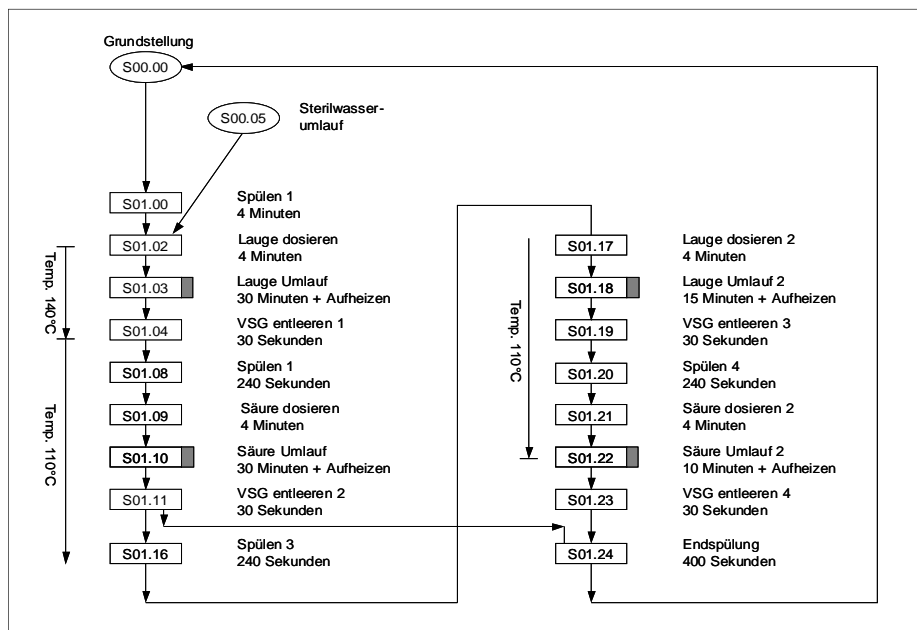


Abb. 3: Blockschema UHT-Reinigung; die dargestellten Zeiten entsprechen nicht den tatsächlichen (s. 4.2). Quelle Tetra Pak

3.1 Produktion

Schritt	Bezeichnung	Vorgang
S00.00	Füllen der Anlage mit Wasser	Der gesamte Milchfließweg wird über das Vorlaufgefäß mit Weichwasser gefüllt und die Anlage im Umlauf gefahren. ²
S00.01	Aufheizen	Die Anlage wird auf UHT-Erhitzungstemperatur aufgeheizt.
S00.02	Sterilisation	Die Sterilisation der Milchfließwege wird durchgeführt. Nach Ablauf der Sterilisationszeit unter Einhaltung der Minimum-Temperaturbedingungen wird der Zustand „Bereit zum Köhlen“ angezeigt.
S00.03	Kühlen 1	Die Anlage wird auf Produktionstemperaturniveau gebracht. Nach Einstellung des Produktionstemperaturniveaus wird der Zustand „klar für Produktion“ angezeigt.
S00.04	Kühlen 2	Stabilisation der Temperaturen.
S00.05	Sterilwasserumlauf	Sterilwasser wird im Milchfließweg im Umlauf gefahren. Die Anlage bleibt dabei auf Produktionstemperaturniveau. Der nächste Verfahrensabschnitt – die Produktion – muss manuell eingeleitet werden.
S00.09	Vorlaufbehälter entleeren	Kreislaufwasser wird durch Frischwasser ersetzt und dadurch gleichzeitig das Temperaturniveau in Teilen der Anlage abgesenkt.
S00.10	Produktion vorbereiten	UHT-Anlage und Abfüllmaschine werden aufeinander abgestimmt, d.h. durch Signalaustausch wird sichergestellt, dass beide Bereiche sterilisiert und klar zur Produktion sind.
S00.11	Vorlaufbehälter entleeren	Der Wasserzulauf zum Vorlaufbehälter wird geschlossen, der Produktzulauf wird geöffnet. Wasser im Vorlaufbehälter wird durch Produkt ersetzt.
S00.12	Füllstand OK	Nach Erreichen des Minimum-Niveaus wird das Füllstandniveau im Vorlaufbehälter zeitlich gesteuert weiter abgesenkt.
S00.13	Erhitzer mit Produkt füllen	Die Produktzufuhrleitung zum Vorlaufbehälter wird freigegeben und das noch in den Leitungen befindliche Wasser ausgeschoben. Die Produktfließwege werden mit Milch aufgefüllt.
S00.14	Produktion	Der Milchfließweg zum Steriltank bzw. zu den Verpackungsmaschinen wird freigeschaltet und die Milch unter den vorgegebenen Produktionsbedingungen wärmebehandelt.
S00.15	Vorlaufbehälter entleeren	Nach Beendigung der Produktion wird der Zulauf weiterer Ausgangsmilch in den Vorlaufbehälter unterbrochen.
S00.18	Produkt ausschieben	Der Wasserzulauf zum Vorlaufbehälter wird freigeschaltet und die Milch aus dem Milchfließweg in einen Sonderbehälter ausgeschoben.
S00.19	Spülen	Die Milchfließwege werden in einer vorgegebenen Zeit mit Wasser klargespült. Nach Ablauf der Zeit wird auf Schritt S00.05 Sterilwasserumlauf umgeschaltet.

² Hinweis des Herstellers: Der Einsatz von Weichwasser ist nur dann erforderlich, wenn die Wasserhärte mehr als 10° dH beträgt, um Kalkablagerungen in den Turborohren während der Füllung der Anlage zu vermeiden.

3.2 Reinigung

Aus Schritt S00.05 Sterilwasserumlauf wird die CIP-Reinigung über die Bedientastatur gestartet. Die nachfolgenden Reinigungsschritte laufen dann programmgesteuert ab.

Schritt	Bezeichnung	Vorgang
S01.02	Lauge dosieren	Alkalisches Reinigungsmittel wird in den Vorlaufbehälter dosiert und mischt sich mit dem im Umlauf gefahrenen Sterilwasser.
S01.03	Lauge Umlauf	Die Anlage wird im Umlauf gefahren und das alkalische Reinigungsmittel auf ca. 140 °C erhitzt.
S01.04	Vorlaufbehälter entleeren 1	Das alkalische Reinigungsmittel wird aus den Produktfließwegen ausgefahren. Nach Unterschreitung des Minimum-Niveaus wird Schritt S01.08 Spülen 1 eingeleitet.
S01.08	Spülen 1	Der Frischwasserzulauf für den Vorratsbehälter wird freigeschaltet und restliches alkalisches Reinigungsmittel aus dem Milchfließweg ausgeschoben.
S01.09	Säure dosieren	Saures Reinigungsmittel wird in den Vorlaufbehälter dosiert und vermischt sich mit dem im Umlauf gefahrenen Prozesswasser.
S01.10	Säure Umlauf	Das saure Reinigungsmittel wird auf ca. 85 °C erhitzt und im Umlauf gefahren.
S01.11	Vorlaufbehälter entleeren 2	Das saure Reinigungsmittel wird aus dem Produktfließweg ausgefahren. Nach Unterschreitung des Minimum-Niveaus wird Schritt S01.16 Spülen 3 eingeleitet.
S01.16	Spülen 3	Der Frischwasserzulauf für den Vorratsbehälter wird freigeschaltet und restliches saures Reinigungsmittel aus dem Milchfließweg ausgeschoben.
S01.17	Lauge dosieren 2	Alkalisches Reinigungsmittel wird in den Vorlaufbehälter dosiert und mischt sich mit dem im Umlauf gefahrenen Spülwasser.
S01.18	Lauge Umlauf 2	Die Anlage wird im Umlauf gefahren und das alkalische Reinigungsmittel auf ca. 110 °C erhitzt.
S01.19	Vorlaufbehälter entleeren 3	Das alkalische Reinigungsmittel wird aus dem Produktfließweg ausgefahren. Nach Unterschreitung des Minimum-Niveaus im Vorratsbehälter wird Schritt S01.20 Spülen 4 eingeleitet.
S01.20	Spülen 4	Der Frischwasserzulauf für den Vorratsbehälter wird freigeschaltet und restliches alkalisches Reinigungsmittel aus dem Milchfließweg ausgeschoben.
S01.21	Säure dosieren 2	Saures Reinigungsmittel wird in den Vorlaufbehälter dosiert und vermischt sich mit dem im Umlauf gefahrenen Spülwasser.
S01.22	Säure Umlauf 2	Das saure Reinigungsmittel wird auf ca. 85 °C erhitzt und im Umlauf gefahren.
S01.23	Vorlaufbehälter entleeren 4	Das saure Reinigungsmittel wird aus dem Produktfließweg ausgefahren. Nach Unterschreitung des Minimum-Niveaus wird Schritt S01.24 Endspülung eingeleitet.
S01.24	Endspülung	Der Milchfließweg wird mit Frischwasser gespült und dabei abgekühlt. Das Programm kehrt in die Ausgangsposition S00.00 Grundstellung zurück.

4. Prüfung und Ergebnisse

4.1 Standzeitversuch

Der Standzeitversuch wird durchgeführt, um zu überprüfen, ob die vom Hersteller angestrebte Standzeit einer Anlage unter Praxisbedingungen realisiert werden kann. Unter Standzeit versteht man die Zeit, die eine Erhitzungsanlage unter normalen Betriebsbedingungen ordnungsgemäß betrieben werden kann, bis eine Reinigung notwendig wird. Für UHT-Anlagen wird eine Mindeststandzeit von 8 Stunden gefordert (1).

Der Standzeitversuch wurde mit einer Ausgangsmilch durchgeführt, die den Anforderungen gemäß Richtlinie genügte.

Während des Standzeitversuchs wurden in zeitlich gleichmäßigen Abständen folgende Messwerte aufgenommen :

- die Milchttemperaturen am Ein- und Austritt der Wärmebehandlungsabteilung, wie im Fließschema (s. Abb.1) dargestellt
- die Milchdrücke am Ein- und Austritt der Wärmebehandlungsabteilungen, wie im Fließschema (Abb.1) dargestellt
- der Homogenisierdruck
- der Milchvolumenstrom am Eintritt des Erhitzers
- die Wasservolumenströme in den Wasserkreisläufen I und II

Darüber hinaus wurde die Funktionstüchtigkeit der Prozesssteuerung sowie der Sicherheitseinrichtungen überwacht.

Am Ende des Standzeitversuches wurden die milchberührten Teile der Anlage hinsichtlich der Belagbildung begutachtet und anschließend die Reinigung durchgeführt.

4.1.1 Druckverlauf in der UHT-Anlage

Die Hochdruckkolbenpumpe der Homogenisiermaschine liefert den Betriebsdruck für die gesamte nachgeschaltete Produktlinie. Aufgrund der Belagbildung, den daraus resultierenden höheren Strömungsgeschwindigkeiten und den proportional anwachsenden Druckverlusten, kommt es mit der Zeit zu einem Anstieg des statischen Druckes im System (Abb.4). In der Erhitzungsabteilung kommt es zunächst zu einem relativ starken Anwachsen des Belages während der ersten fünf Stunden und damit zu einem entsprechend steilen Anstieg des Druckverlustes bis auf einen Wert von ca. 11 bar. Von diesem Wert an verläuft die Belagbildung langsamer, und die Druckverlustkurve zeigt einen annähernd linearen Verlauf. Verglichen mit der Erhitzungsabteilung steigt der Druckverlust in Vorwärmabteilung III in der Anfangsphase langsamer und über die gesamte Produktionszeit annähernd linear an.

Der Gesamtdruckverlust der Anlage, gemessen vom Austritt der Homogenisiermaschine bis zum Austritt der Rückkühlabteilung II, hat am Anfang der Produktion einen Wert von ca. 20 bar und wächst annähernd linear, mit einem Anstieg von ca. 1 bar pro Stunde, bis zum Ende der Produktion nach 18 h auf ca. 40 bar an (Abb.5).

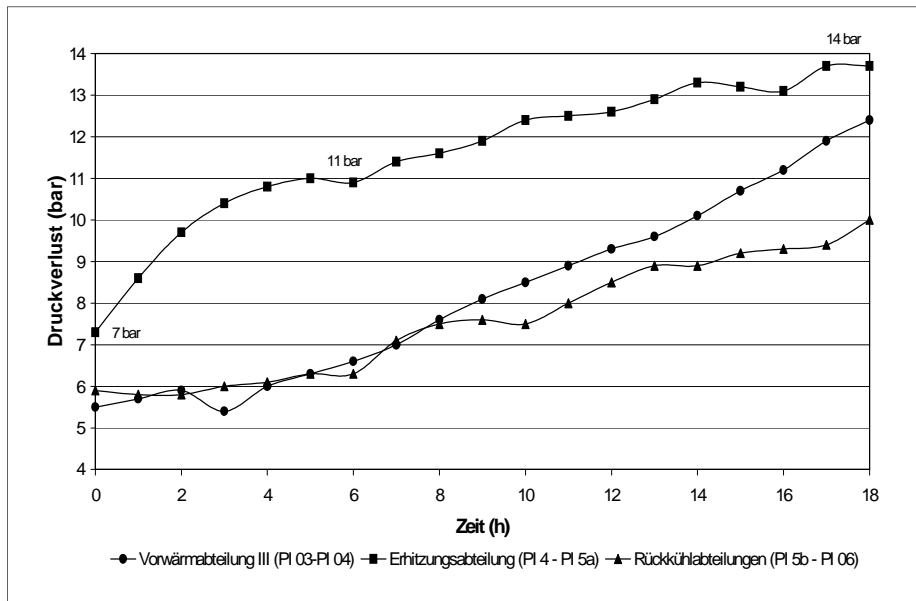


Abb. 4: Druckverlust in Vorwärmeabteilung III, Erhitzungsabteilung und den Rückkühlabteilungen I und II während des Standzeitversuchs

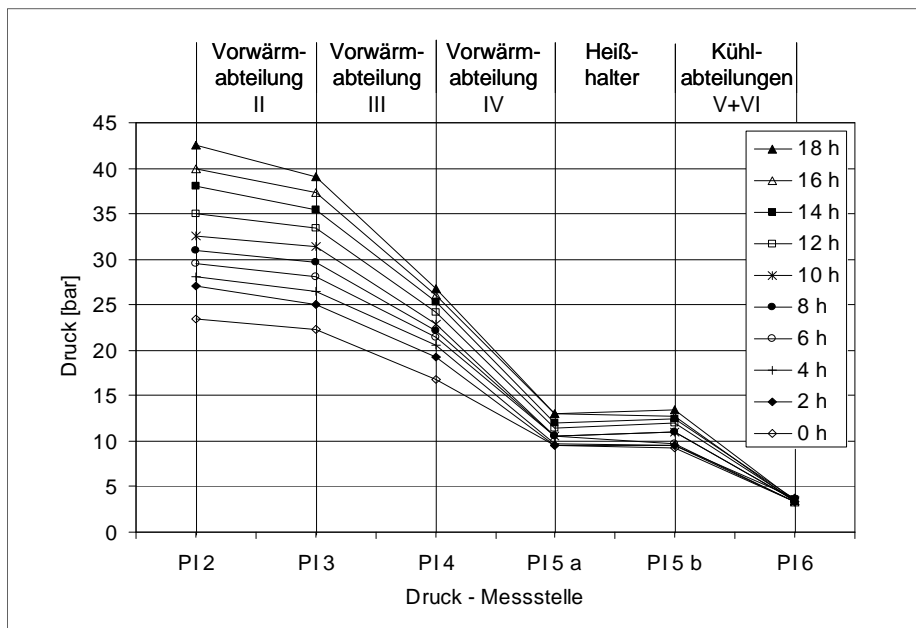


Abb. 5: Verlauf der Prozessdrücke während des Standzeitversuchs in den der Homogenisiermaschine nachgeschalteten Abteilungen

4.1.2 Temperaturverläufe

Eine Überprüfung der relevanten Temperaturmessstellen ergab, dass die Messwertabweichungen innerhalb der in der Prüfrichtlinie festgelegten Toleranzen lagen (2).

Die Prozesstemperaturen wurden in einem zeitlichen Abstand von einer Stunde mitgeschrieben und mit dem Ausdruck des Linienschreibers verglichen.

Die mittlere Erhitzungstemperatur der Milch (Erhitzungsabteilung) betrug 138,4 °C bei einer maximalen Abweichung von 0,2 °C nach oben und 0,1 °C nach unten.

Die gemessenen Prozess-Temperaturen entsprachen den in den technischen Unterlagen des Herstellers angegebenen Werten.

4.1.3 Funktionstüchtigkeit der Prozesssteuerung

Über die gesamte Dauer des Standzeitversuches arbeitete die Anlage störungsfrei. Alle Mess-, Steuer-, Regel- und Kontrolleinrichtungen funktionierten ordnungsgemäß und einwandfrei.

4.1.4 Begutachtung der Rohrbündelwärmeübertrager nach dem Standzeitversuch

Nach Ende des Standzeitversuches wurde die Anlage entleert und anschließend ca. 30 min. zwecks Abkühlung mit Weichwasser im Umlauf gefahren. Danach wurden an Vorder- und Rückseite der Wärmeübertragereinheit die Umlenkbögen abgeschraubt und die Module der Vorwärmannteilung III, der Erhitzungsabteilung, der Rückkühlabteilung I sowie zwei Module des Vorheißhalters begutachtet.

Die Innenrohre der Rohrbündel wiesen eine z.T. starke, nach 18 h Standzeit allerdings zu erwartende, Belagbildung und dementsprechende Verengung der Fließwege auf. Die Beläge in Vorwärmannteilung III (96-121 °C) waren schuppenartig in den Fließweg hineinragend, ungleichmäßig, von der Konsistenz schleimig; die Beläge in der Erhitzungsabteilung (121-138 °C) dagegen hart, mineralisch, ca. 1 mm stark und gleichmäßig.

Die Beläge in den Modulen der Rückkühlabteilung I waren gleichmäßig und fest. Nach der Begutachtung wurde die Anlage wieder zusammengebaut und unmittelbar danach die CIP-Reinigung der Anlage durchgeführt.

4.2 Reinigungsversuch

Es wurde folgendes Reinigungsprogramm angewendet:

Schritt	Vorgang	Dauer
S01.01	Spülen	5 min
S01.02	Lauge dosieren	15 s
S01.03	Lauge Umlauf / 140 °C	45 min
S01.04	Vorlaufbehälter entleeren 1	30 s
S01.08	Spülen 1	6 min
S01.09	Säure dosieren	15 s
S01.10	Säure Umlauf / 110 °C	15 min
S01.11	Vorlaufbehälter entleeren 2	30 s
S01.16	Spülen 3	6 min
S01.17	Lauge dosieren 2	15 s
S01.18	Lauge Umlauf 2 / 110 °C	15 min
S01.19	Vorlaufbehälter entleeren 3	30 s
S01.20	Spülen 4	6 min
S01.21	Säure dosieren 2	15 s
S01.22	Säure Umlauf 2	5 min
S01.23	Vorlaufbehälter entleeren 4	30 s
S01.24	Endspülung	12 min

4.2.1 Reinigungsergebnis

Zur Beurteilung des Reinigungsergebnisses wurden nach der Reinigung erneut die Rohrmodule der Vorwärmabteilung III, der Erhitzungsabteilung, der Rückkühlabteilung I sowie zwei Module des Vorheizhalters geöffnet.

Im ersten Rohrmodul der Vorwärmabteilung III wurde in einem Innenrohr eine Verstopfung festgestellt, die mit einem Hochdruckwasserstrahl ausgeblasen werden konnte. Hierbei handelte es sich wahrscheinlich um einen durch die Reinigung abgelösten Produktpfropfen aus dem Vorheizhalter, der sich in einem Innenrohr abgelagert hatte und durch die CIP-Reinigung nicht ausgespült werden konnte³. Die Innenrohre der anderen begutachteten Abteilungen waren makroskopisch sauber.

4.3 Temperatur-Zeit-Verhalten

Für die Berechnung der Temperatur-Zeit-Kurven und damit der thermischen Wirksamkeit des Prozesses wurden die während des Standzeitversuches aufgenommenen Prozess-Messdaten verwendet. Die Abmessungen der Anlage wurden vor Ort ermittelt und die Produktinhalte der Rohrmodule errechnet bzw. den technischen Unterlagen des Herstellers entnommen, Abb.6.

³ Nach Angabe des Herstellers ist geplant, an neuen TA-FLEX-Turbo Anlagen nach dem Vorheizhalter generell ein Sieb einzubauen, um so zu verhindern, dass sich abgelöste Produktpfropfen in den nachgeschalteten Abteilungen ablagern können.

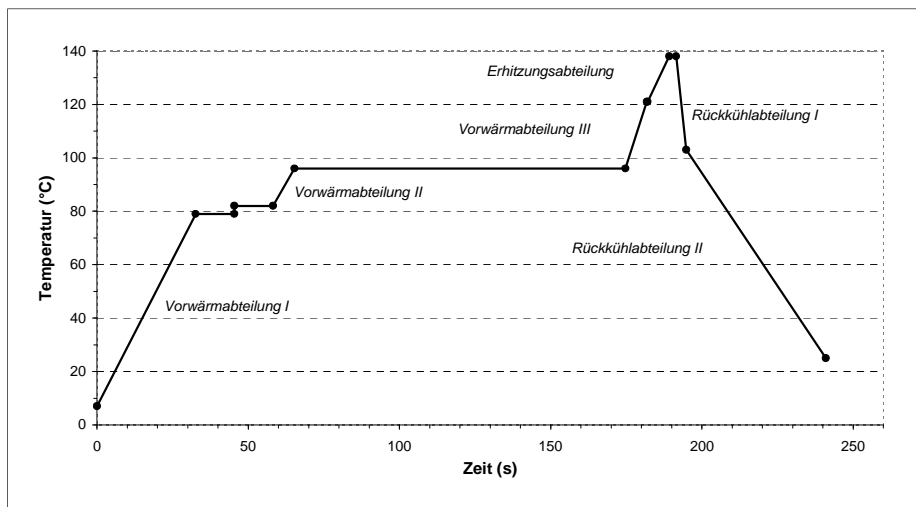


Abb. 6: Temperatur-Zeit-Diagramm der UHT-Anlage für die Schaltung BSTFM/7500 l/h (Prüfling)

Die Berechnungen des Temperatur-Zeit-Verhaltens für die Anlagen mit den vorgesehenen Tetra Spiraflö Multitube MT Modulen wurden unter Voraussetzung gleicher Verweilzeiten zwischen den einzelnen Abteilungen sowie der gleichen Vorheiz- und Heißhaltestrecken durchgeführt. Für die Berechnung der Temperatur-Zeit-Kurven wurden ebenfalls die während des Standzeitversuchs aufgenommenen Prozess-Temperaturen verwendet.

Gemäß Milchverordnung Anlage 6 Absatz 2.2 müssen die angewendeten Temperatur-Zeit-Bedingungen mindestens einem Sterilisationswert $F_0 = 3$ Minuten entsprechen. Diese Anforderung wird von allen beantragten Schaltungen erfüllt (4).

4.4 Chemische Analyse der Hitzeindikatoren

Während des Standzeitversuches wurden folgende Proben entnommen und im Institut für Chemie und Technologie der Milch der Bundesforschungsanstalt für Ernährung und Lebensmittel am Standort Kiel analysiert.

Probe Nr..	Beschreibung
1.	Ausgangsmilch, Vollmilch 3,5% Fett, gezogen im Vorlaufbehälter am 30.05.01 (Lagerung bis zur Analyse bei -20 °C) ¹
2.	Ausgangsmilch, Magermilch gezogen im Vorlaufbehälter am 29.05.01, (Lagerung bis zur Messung bei -20 °C)
3.	Magermilch, Anfang der Produktion abgepackt in Tetra Pak Behälter, 29.05.01, (Lagerung bis zur Messung bei 6 °C)
4.	Magermilch, nach ca. 14 h Produktionszeit, 30.05.01 abgepackt in Tetra Pak Behälter (Lagerung bis zur Messung bei 6 °C)
5.	Vollmilch 3,5% Fett, Ende der Produktion ¹ . 30.05.01, abgepackt in Tetra Pak Behälter (Lagerung bis zur Messung bei 6 °C)

¹Die Produktion wurde mit Magermilch begonnen und nach ca. 17 h auf Vollmilch umgeschaltet.

4.4.1 Durchgeführte Untersuchungen

- Bestimmung des Gefrierpunktes (entsprechend dem Normentwurf ISO/FDIS 5764/IDF 108:2001)
- Bestimmung des Lactulosegehaltes (nach §35 LMBG 01.00 31)
- Bestimmung des Furosingehaltes (nach Methodenentwurf VDLUFA-Methodenbuch)
- Bestimmung der säurelöslichen Molkeproteine (nach DIN 10473)
- Bestimmung des Proteingehaltes nach Kjeldahl (VDLUFA Methodenbuch C30.2)

4.4.2 Ergebnisse

	Gefrierpunkt / °C	Lactulose (mg/100g)	Furosin (mg/100g Protein²)	α-Lactalbumin (mg/100 ml)	β-Lactoglobulin (mg/100 ml)
1	-0,517 ¹	0,4	6,2	115,4	365,2
2	-0,515 ¹	0,7	6,1	114,8	375,3
3	-0,513	11,4	56,1	59,8	23,7
4	-0,519	10,8	54,7	63,1	27,3
5	-0,523	10,5	54,0	62,4	22,4

¹ Durch die Lagerung der Ausgangsmilchproben bei –20°C kann es zu einer Erhöhung des Gefrierpunktes kommen (in der Regel um ca. 0,003-0,005 °C)

² Die Furosingehalte der Milchproben auf den Proteingehalt des Hydrolysates bezogen (Bestimmung nach Kjeldahl)

Die Beurteilung der Hitzeindikatoren ergab, dass das angewendete UHT-Verfahren, im Vergleich mit konventionellen indirekten UHT-Anlagen, als sehr schonend hinsichtlich der hitzeinduzierten chemischen Veränderungen eingestuft werden kann.

Die Bestimmung des Gehaltes an freien Fettsäuren ergab keinen messbaren Unterschied zwischen den Ausgangsmilchen und der wärmebehandelten Milch.

4.5 Zusammenfassende Beurteilung

Die Firma Tetra Pak Processing GmbH, 21465 Reinbek, hat beim Institut für Chemie und Technologie der Milch der Bundesforschungsanstalt für Ernährung und Lebensmittel am Standort Kiel, die Ergänzungsprüfung der UHT-Anlage Typ TA-FLEX-Turbo (alte Bezeichnung Steritube) mit den Rohrmodulen BSTFM, Spiraflo Multitube MT 70, MT 85, MT 108 für die Nennvolumenströme 6500, 7500, 13000, 14500, 19000, 23000 und 25000 l/h beantragt. In der Vorwärmannteilung III, der Erhitzungsabteilung sowie in der Rückkühlabteilung I sollen dabei Rohrbündel zum Einsatz kommen, die 19, 37 bzw. 61 Innenrohre je Modul mit einem Innenrohrdurchmesser von 6 mm besitzen. Weiter sollen in der Vorwärmannteilung I und in der Rückkühlabteilung III z. T. spiralgerillte Innenrohre verwendet werden.

Die im Rahmen der Ergänzungsprüfung notwendigen Versuche unter Praxisbedingungen erfolgten in einer Norddeutschen Molkerei in Zusammenarbeit mit der zuständigen technischen Sachverständigen.

Die Versuche ergaben, dass

- das verwendete UHT-Verfahren den Anforderungen gemäß Anlage 6 Absatz 2.2 der Milch-VO genügt. Die Beurteilung der Hitzeindikatoren lässt auf eine, im Vergleich mit konventionellen indirekten UHT-Anlagen, sehr schonende Produktbehandlung schließen.
- die UHT-Anlage unter normalen Betriebsbedingungen und bei Verwendung normal hitzestabiler Milch die beantragte Standzeit von 18 h erreicht (geprüft für Rohrmodule Typ BSTFM).
- die Rohrmodule für Kontroll- und Wartungsarbeiten gut zugänglich und mit geringem Aufwand auseinander und zusammenzubauen sind (geprüft für Rohrmodule Typ BSTFM).
- die Anlage mit den erforderlichen Prozesssteuerungs- und Sicherheitseinrichtungen ausgerüstet ist.
- das vorgesehene CIP-Reinigungsprogramm insgesamt geeignet ist, die unter normalen Bedingungen mit normal hitzestabiler Milch betriebene Anlage nach einer Betriebszeit von 18 Stunden zu reinigen. Dabei wird empfohlen, die Rohrmodule der Vorwärmabteilung III, der Erhitzungsabteilung sowie der Rückkühlabteilung I (also alle Turborohrmodule) möglichst nach jeder CIP-Reinigung zu überprüfen und eventuell vorhandene Produktpfropfen in einzelnen Innenrohren zu beseitigen.

Aufgrund des insgesamt positiven Prüfergebnisses bestehen keine Einwände für den Einsatz der UHT-Anlage Typ TA-FLEX-Turbo mit den Rohrmodulen BSTFM, Spiraflo Multitube MT 70, MT 85 und MT 108 mit den angegebenen Abmessungen und Schaltungen (3) bei den Produktvolumenströmen 6500, 7500, 13000, 14500, 19000, 23000 und 25000 l/h.

5. Literatur

- (1) Richtlinie des Erhitzerausschusses "Typprüfung von Ultrahocherhitzungsanlagen für Milch zum Zwecke der amtlichen Zulassung"; Kieler Milchwirtschaftliche Forschungsberichte **37** (1) 45-102 (1985)
- (2) Richtlinie des Erhitzerausschusses "Mess-, Regel-, Kontroll- und Sicherheitseinrichtungen für Milcherhitzungsanlagen"; Kieler Milchwirtschaftliche Forschungsberichte **50** (4) 343-356 (1998)
- (3) Prüfbericht Ki-E 662/01 (nur für den Dienstgebrauch)
- (4) Milchverordnung vom 20. Juli 2000, Bundesgesetzblatt Jahrgang 2000 Teil I Nr. 36

6. Zusammenfassung

Kiesner, Chr., Meisel, H., Losch, M.: **Bericht über die Ergänzungsprüfung der Ultrahocherhitzungsanlage Typ TA-FLEX-Turbo (Steritube, TA-FLEX)**. Kieler Milchwirtschaftliche Forschungsberichte **56** (4) 203-218 (2004)

21 Milchwirtschaftliche Technologie (Typprüfung, UHT-Anlagen)

Die Überprüfung der eingereichten technischen Unterlagen sowie die Begutachtung und Kontrolle unter Praxisbedingungen haben gezeigt, dass die Ultrahocherhitzungsanlage Typ TA-FLEX-Turbo (Steritube, TA-FLEX) der Firma Tetra Pak den Anforderungen der Milchverordnung genügt und deshalb keine Bedenken gegen den Einsatz zum Herstellen von H-Milch bestehen.

Summary

Kiesner, Chr., Meisel, H., Losch, M.: **Report on the complementary test of the ultra-high-heating plant of the type TA-FLEX-Turbo (Steritube, TA-FLEX)**. Kieler Milch-wirtschaftliche Forschungsberichte **56** (4) 203-218 (2004)

21 Dairy technology (Type testing, UHT plants)

The testing of the submitted technical documentation and the expertise and testing under practice conditions revealed that the ultra-high-heating plant of the type TA-FLEX-Turbo (Steritube, TA-FLEX) of the company Tetra Pak fulfills the requirements of the Milk Ordinance. Therefore, there exist no objections against its use for manufacturing high-heated milk.

Résumé

Kiesner, Chr., Meisel, H., Losch, M.: **Rapport portant sur le test complémentaire du pasteurisateur UHT du type TA-FLEX-Turbo (Steritube, TA-FLEX)**. Kieler Milch-wirtschaftliche Forschungsberichte **56** (4) 203-218 (2004)

21 Technologie laitière (vérification du type, pasteurisateurs UHT (ultra haute température))

La vérification de la documentation technique présentée ainsi que l'expertise et le contrôle dans la pratique ont montré que le pasteurisateur UHT du type TA-FLEX-Turbo (Steritube, TA-FLEX) de la société Tetra Pak remplit les exigences du Règlement sur la production laitière. Il n'existe pas d'objections à l'utiliser pour la production de lait thermique.