

Anwendung funktioneller Keramiken für Technologien des Trocknens mit Impuls-Infrarot

Rachimov, R.C.; Ermakov, V.P.; John, P.; Rachimov, M.R.

Vorwort

Seit vielen Jahrtausenden trocknen die Menschen Güter auf natürliche Art insbesondere für die Ernährung, das Wohnen und das Kleiden mit dem Infrarot der Sonne – unterstützt durch Wind sowie durch Bewegung.

Seit Beginn der industriellen Revolution entstanden bis heute völlig neue Anforderungen an den stark wachsenden Bedarf an Trocknung:

- massenhafter zusätzlicher Einsatz von billigen fossilen Energieträgern sowie
- leistungsstarke Techniken und Technologien – insbesondere auf Basis der Konvektion

Ökologie und Energieeffizienz spielten und spielen selbst in der Gegenwart dabei eine untergeordnete Rolle. Bis heute beherrscht die konvektive Technologie noch immer das industrielle und handwerkliche Trocknen zu sicher mehr als 95 %.

Abgesehen von der existierenden Trocknung mit Hilfe von Mikrowelle, Vakuum, Induktion u.a. begann seit etwa 50 Jahren der Einzug der Infrarottrocknung und erst seit etwa 20 Jahren gibt es das Trocknen mit Impuls-Infrarot auf der Basis von Funktionskeramiken in Verbindung mit relevanten technologischen und konstruktiven Lösungen – kurz: IR.C-Technologie. Mit IR.C (**I**nfra**R**ed based on functional **C**eramics).

Somit können nun auf vielen Gebieten der Trocknung gegenüber der Trocknung unter natürlichen Bedingungen, dem konvektiven Trocknen und dem Trocknen mit klassischem Infrarot gravierende Fortschritte bei Qualität, Produktivität, Energieeffizienz und Kosten erzielt werden. Diese technologische Innovation wird daher zukünftig einen wichtigen Beitrag zur Lösung aktueller nationaler, aber auch globaler Probleme leisten, die es in den Bereichen Energie, Umwelt, Ernährung oder auch Gesundheit zu bewältigen gilt.

Das Ziel dieser Arbeit besteht in der Schaffung eines Systems für das effektive Trocknen von Gütern mit höchster Produktqualität und mit minimalem Aufwand an Energie und Zeit mit dem Impuls-Infrarot auf Basis funktioneller Keramiken. Untersuchungen zu Gütern biologischen Ursprungs werden in den Mittelpunkt gestellt, weil besonders an deren sensiblem Verhalten sehr gut auch Schlussfolgerungen für technische Güter abgeleitet werden können. Weiterhin wird das hier beschriebene effiziente Trocknen in Verbindung mit angrenzenden Technologien gebracht. So zum Sterilisieren von Gütern biologischen Ursprungs und Bauwerken (Schimmel) und so zum Polymerisieren von Lacken und Kunststoffen.

Zusammenfassend lassen sich mit IR.C hocheffiziente Anwendungen für das Trocknen folgender Güter erschließen: Mineralische Rohstoffe, Baustoffe, Bauwerke;

landwirtschaftliche Erzeugnisse, Lebensmittel, Futtermittel, Pharmaprodukte; Holz, Papier, Textil, Leder; Beschichtungen, Dispersionen, Lacke, Farben; Kunststoffe, Chemikalien, Kieselgel u.a; im analogen Sinne die Trocknung von Flüssigkeiten wie Blut, Milch u.a., die solare Gewinnung von Trinkwasser aus dem Meer u.a.; die Trocknung von Abfällen usw.

Mit IR.C können Techniken zum Trocknen eingesetzt werden wie Schranktrockner, Bandtrockner, Durchschub-Trockner, Fließbett-Trockner, Wirbelschicht-Trockner, Vakuum-Trockner, Solar-Trockner u.a.

Zudem ist mit IR.C ist der Einsatz vielfältiger Energiearten möglich, wie Elektroenergie, Solarenergie; die primären Energiearten wie Gas, Öl, Kohle, Holz, brennbare Abfälle und Gase; Restwärme in Gas, Wasser, Öl usw.

1. Grundlagen

Den besten Effekt bei der Trocknung mit Infrarot erreicht man dann, wenn die erzeugte Emission maximal durch das Wasser und minimal durch den Hauptstoff absorbiert wird. Auf den ersten Blick scheint das richtig zu sein. Worin besteht aber das eigentliche Problem beim Trocknen? Die Objekte dürfen nicht überhitzt und die aktiven Inhaltsstoffe müssen erhalten bleiben. Außerdem soll vor allem der Energie- und Zeitverbrauch gesenkt werden. Nicht zuletzt geht es um die einfache Nutzung und die Sicherheit der Trocknungstechnik.

Wichtig ist eine maximale Diffusion des Lösungsmittels (Wasser o.a.) aus den inneren Schichten des trocknenden Produktes. Bei dünnen Schichten ist das relativ einfach zu lösen. Wenn es dagegen um dicke Schichten geht, dann erweist sich dieses Problem als primär. Hier bestimmt genau diese Diffusion die Geschwindigkeit des Trocknens. Von der Vakuumtrocknung ist bekannt, dass das Vakuum den Prozess der Diffusion beschleunigen hilft. Natürlich ist aber dafür eine komplizierte und teure Konstruktion erforderlich. Daher ist das Vakuumtrocknen nur für auserlesene Anwendungen wirtschaftlich sinnvoll - nicht zur Lösung üblicher Trocknungsaufgaben.

Es ist ganz klar, dass die einfache Leistungserhöhung der Strahler die Trocknung nicht beschleunigt, dafür aber sehr schnell die Qualität der Zielprodukte gesenkt wird. Bei einer solchen Leistungserhöhung wird das Produkt überhitzt und die Oberfläche wird durch deren Destruktion und Polymerisation dunkel. Die Trocknungsgeschwindigkeit wird dadurch eher geringer. Die Oberfläche wird für das Lösungsmittel weniger durchlässig – egal, ob es sich um Nahrungsmittel, Farbstoffe, Kunststoffe oder Holz handelt.

Wie kann dieses Problem gelöst werden? Die einfachste Variante – die Anwendung von Infrarot-Impulsen mit hoher Dichte bei niedriger Durchschnittsleistung. Hierbei muss man sich an der Absorption des Wassers im Infrarotbereich orientieren, um eine effektive Trocknung der wasserhaltigen Objekte zu erzielen. Außerdem kann man aus einem Quant hoher Energie mehrere Energiequanten im Bereich der Wasserabsorption

erzeugen [1]. So erlaubt die Anwendung der funktionellen Keramik den Energieverbrauch zu verringern und die Qualität der Zielprodukte zu erhöhen.

Nehmen wir an, dass bei der Leistung P die Eindringtiefe von IR.C, wenn es sich bis zu einer bestimmter Größe abschwächt (gewöhnlich spricht man von einer zweifachen Abschwächung), also durch die Absorption des Produktes schwächer wird, beispielsweise 2 mm beträgt. Wenn wir mit Impulsen und damit mit einer 100fachen Strahlungsintensität arbeiten, dann steigt die Eindringtiefe der Strahlung IR.C. Wir erhalten dann in der Tiefe des Produktes eine deutlich größere Energiedichte (und den gleichen Extinktionskoeffizient (spezifische Durchdringung der Strahlung einer bestimmten Wellenlänge pro Dickeneinheit). Das heißt, die Tiefe der Durchdringung der Strahlung vergrößert sich beispielsweise um das Mehrfache.

Damit das Produkt nicht durch die Überhitzung verdirbt, müssen wir zwischen den 100fach stärkeren Impulsen keine Energie zuführen.

Typisch ist, dass man jetzt die zugeführte Durchschnittsleistung relativ erhöhen kann, weil die Energie nicht nur auf der Oberfläche, sondern auch auf das gesamte Volumen verteilt wird. Außerdem kühlt sich das Produkt wegen der besseren Diffusion des Lösungsmittels aus den inneren Schichten und seiner damit verbundenen stärkeren Verdunstung an der Oberfläche ab. Dadurch wird dem Produkt ein Teil der Energie entzogen (Verdunstungskühle).

Wenn man die Impulsbedingung beachtet, den Spektralbereich richtig auswählt und dazu die optimale Gasdynamik berechnet, dann kann das Produkt eine Temperatur bei seiner Erwärmung haben, die niedriger als die Temperatur der Umgebung ist.

Wir haben folgendes nachgewiesen: Die Temperatur des Gutes in Trockenschränken, wie z.B. vom Typ WOSTOK mit IR.C betrug nur 17-19°C und das bei einer Umgebungstemperatur von 30-38°C.

Um unsere Vermutung zu bestätigen, wurde die Impulskeramik auch im Vakuum verwendet. Das hat zu einer starken Wirkung geführt, weil das Vakuum selbst schon bei sehr niedrigen Temperaturen auf die Wasserdiffusion aus inneren Schichten wirkt, (weg: und) mit der Funktionskeramik wird jetzt die Trocknung deutlich beschleunigt.

Das Institut der Biochemie der Akademie der Wissenschaften der Republik Usbekistan bestätigt unsere Vermutungen am Beispiel der Trocknung von Rinder-Kolostrum (Erstmilch), das in 2ml Penicillin-Fläschchen gefüllt war. Infolge des durchgeführten Experiments ist die Trocknungsgeschwindigkeit gestiegen. Das führte zu einer deutlichen Verkürzung der Trocknungszeit auf vier Stunden, d.h. auf 17 %. Zum Vergleich: Die Trocknung im Vakuum ohne keramische Strahler erfolgt in 24 Stunden.

Wie bekannt, strahlt jeder Körper, dessen Temperatur höher als absolut Null ist, Energie in einem bestimmten Bereich ab, dessen Maximum von der Temperatur abhängt, so nach der Regel

$$\text{Wellenlänge des Strahlungsmaximums} = 2898/T,$$

wo T- die absolute Temperatur ist.

Wenn die Spektren für verschiedene Temperaturen abnehmen, dann erhalten wir Kurvenfamilien (Bild 1.).

Unter Beachtung des bereits Genannten wurde eine Keramik entwickelt, die eine kontinuierliche Emission der primären Quelle in eine Impulsemission eines bestimmten Infrarotbereiches transformiert. Dieser Wirkmechanismus wurde schon in [1] erläutert. Der Emissionsbereich wurde passend zum Bereich der Wasserabsorption gewählt. Wie läuft eine solche Transformation ab und wie funktioniert ihr Mechanismus?

Es wurde von uns ein ganze Gruppe von Keramiken sowie verschiedene Konstruktionen Anlagen und Geräten zum Trocknung verschiedener Objekte entwickelt. Wie bereits erwähnt, wird die hohe Effizienz solcher Anlagen vor allem durch die Impulserzeugung der Keramik bestimmt. Kriterium ist dabei die Beschleunigung der Trocknung durch die Wasserdiffusion aus tiefen Schichten – eine Phase, die sonst gewöhnlich sehr lange dauert.

Für die Prüfung dieser Idee wurde ein Gerät mit zwei Gruppen von Strahlern hergestellt, die mit Impulskeramik beschichtet waren. Das Objekt wurde auf ein Rost gelegt und im Anschluss von unten und oben mit Infrarotimpulsen bestrahlt (Bild 3).

Für einen Vergleich wurde ein zweites sonst gleiches Gerät hergestellt, dessen Strahler keine keramische Beschichtung besaßen.

Die Dicke der Schicht des Objektes (Möhre in Stäbchen und Würfel geschnitten) betrug drei cm. Die Geräte wurden auf eine Waage gestellt und die Abnahme der Masse der trocknenden Möhren wurde in Abhängigkeit von der Trocknungsdauer ermittelt. Einige der Ergebnisse sind im Bild 2 dargestellt. Wie daraus zu ersehen ist, war die Trocknungsgeschwindigkeit mit Impulskeramik wesentlich höher.

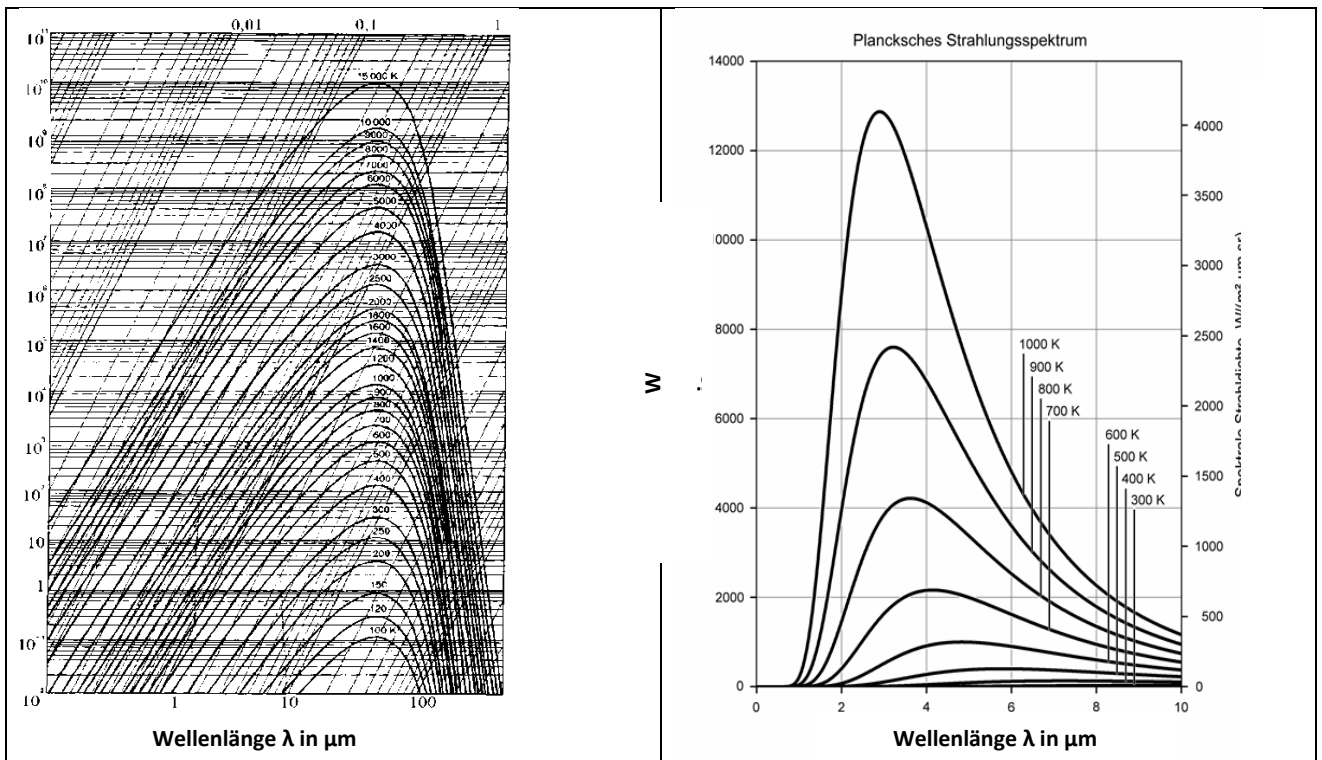


Bild 1. Spektrale Verteilung der Strahlung bei verschiedenen Temperaturen des Schwarzen Körpers nach dem Planckschen Gesetz

Eines der Hauptprobleme, besonders bei der Trocknung in einem Schrank, ist das Problem der Abführung des Dampfes, der sich bei der Verdampfung des Lösungsmittels bildet; das gilt insbesondere für Wasser.

Der Dampf sammelt sich im Trockner an und beginnt einen großen Teil der Energie der Strahler zu absorbieren, was zu der Überhitzung des Produktes führt. Das senkt nicht nur die Energieeffizienz, sondern verschlechtert auch die Qualität des Zielproduktes, weil sich das Produkt wegen des Dampfes zu erwärmen beginnt. Das Produkt wird dunkel und ungleichmäßig getrocknet. Für die Lösung dieses Problems sind von uns zwei Systeme der Dampferntfernung entwickelt worden.

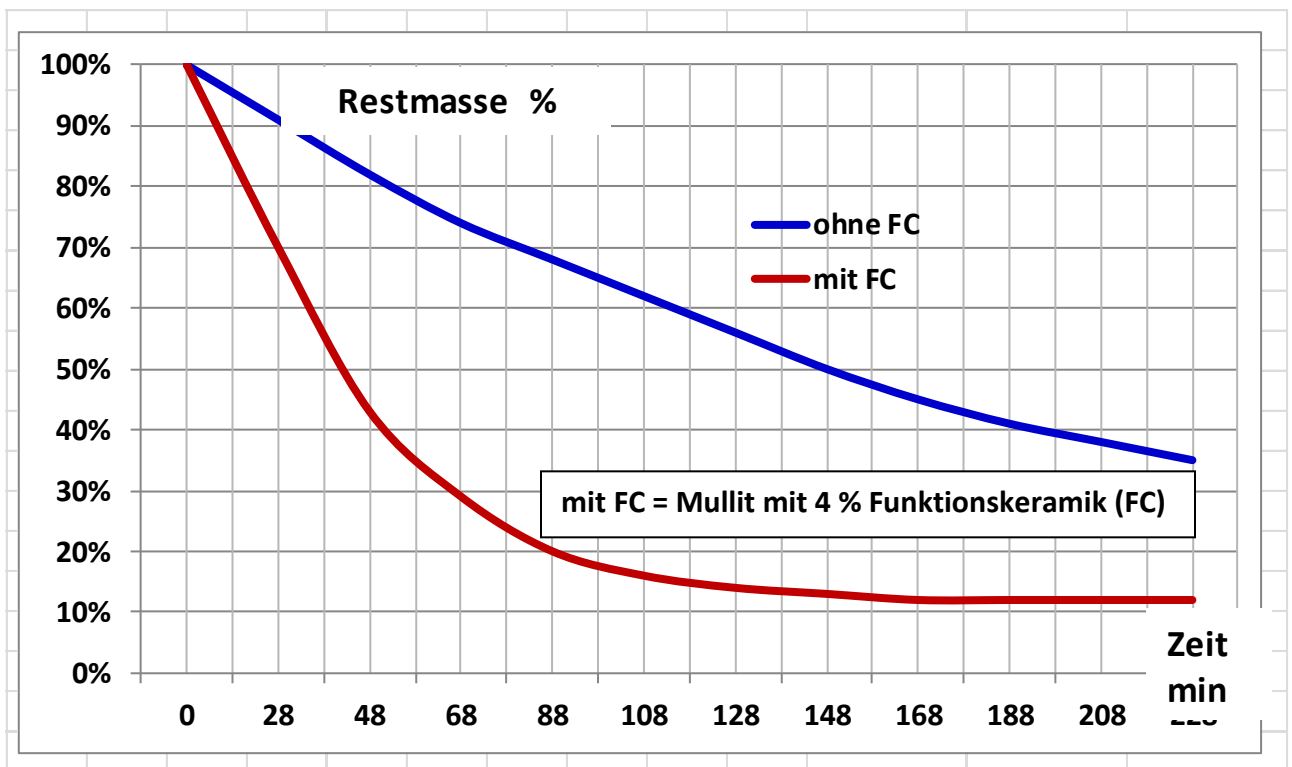


Bild 2. Abhängigkeit der Restmasse der Möhren von der Trocknungszeit

Varianten der Kombination „Mullit mit FC“: 0,5 %; 1 %; 2 %, 4 %

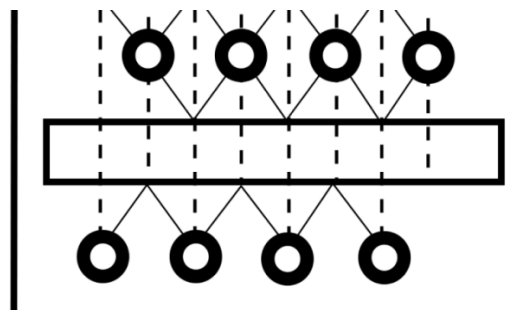


Bild 3. Schema zur Anordnung der Strahler

Möglichkeiten zur Abfuhr des Dampfes aus einem Trockner sind Absaugdüsen, Labyrinth-Systeme, Belüftungen mit unterschiedlichen Luftparametern (Feuchte, Temperatur, Geschwindigkeit oder andere). Durch eine entsprechende konstruktive und technologische Optimierung und Modellierung der Feuchteabfuhr kann der Energieaufwand um 15 bis maximal 50 % gesenkt werden.

Eine große Rolle spielt auch die richtige Auswahl der Anzahl und die Lage der Strahler. Von uns sind hierzu Varianten entwickelt worden, mit denen eine hohe Wirksamkeit erzielt wird.

Bekanntlich werden die Produkte durch das Trocknen nach dem Volumen her kleiner und von der Masse her leichter; z.B. verkleinert sich eine Zwiebel um 12 mal, eine Möhre – um 8 -11 mal, Kohl bis zu 40 mal usw. Darum kann man die Produkte z.B. in einem Trockner mit mehreren Etagen von oberen Etagen nach der Verringerung von Masse und Volumen auf die unteren Etagen mit verteilen. Damit wird dort wieder eine optimale Schichtdicke erzielt für die effiziente Feuchteabfuhr und Kühlung. Die so leer gewordenen oberen Etagen kann man wieder mit frischen Produkten auffüllen. Das hat zur Folge, dass die Produktivität der Anlage wesentlich gesteigert wird. Solches Herangehen ist besonders profitabel bei der kontinuierlichen Nutzung großer Anlagen.

Bei Bandtrocknern mit mehreren Etagen wird die Bandgeschwindigkeit noch unten hin aufgrund der Masse- und Volumenverkleinerung immer mehr verlangsamt. In diesem Zusammenhang werden etwa gleich dicke Schichten auf allen Bändern und damit eine gute verteilte Feuchteabfuhr und Kühlung und letztendlich eine hohe Produktqualität erreicht.

Man muss noch einmal hervorheben, dass bei einer optimalen Konstruktion, Funktionskeramik und Emitter-Temperatur die Produktentemperatur niedriger als die Umgebungstemperatur sein kann. Die Abkühlung erfolgt durch die intensive Verdunstung der abgegebenen Feuchte. Auf die Trocknungsgeschwindigkeit und die Produkttemperatur wirkt die Luftfeuchtigkeit. Für solche Bedingungen wurde eine spezielle Funktionskeramik entwickelt, die später noch erwähnt wird. Unsere Trockner haben ausgezeichnete Ergebnisse bei der Trocknung in den USA, in Malaysia, Singapur, Vietnam und Thailand gezeigt, wo eine Luftfeuchtigkeit von 95 bis 100% erreichen kann. Keine analogen vergleichbaren Trockner konnten auch nur annähernd in so guter Qualität trocknen. Außerdem war der Energieverbrauch sehr hoch und die Trocknungszeiten zu lang.

Welche Vorteile hat das Impulsregime? Bei einem kontinuierlichen Strahlungsregime wird das Infrarot praktisch nur von der oberen Schicht des Produkts absorbiert. Das führt dazu, dass Wassermoleküle und Mikroorganismen in tieferen Schichten des Produktes nicht erreicht werden. Weiterhin wird nur eine mangelhafte Trocknung und Sterilisation in der Tiefe erzielt. Es kommt zu einer Hautbildung mit Isolationswirkung, und schließlich zu einer Überhitzung und Qualitätsminderung an der Oberfläche. Mit anderen Worten - der Trocknungs- und Sterilitätsgrad ist sehr niedrig. Im Fall der Anwendung von Impuls-Infrarot dringen die Impulse bis in tiefe Schichten ein, vernichten die Mikroorganismen, aktivieren die Wassermoleküle und sichern somit eine hinreichende Sterilität und Trocknung der Produkte.

Es sind von uns vergleichende Untersuchungen zur Sterilisierung der Produkte nach der Trocknung mit

- (A) einfachen Strahlern und mit
- (B) funktioneller Keramik beschichteten Infrarot-Impuls-Strahlern

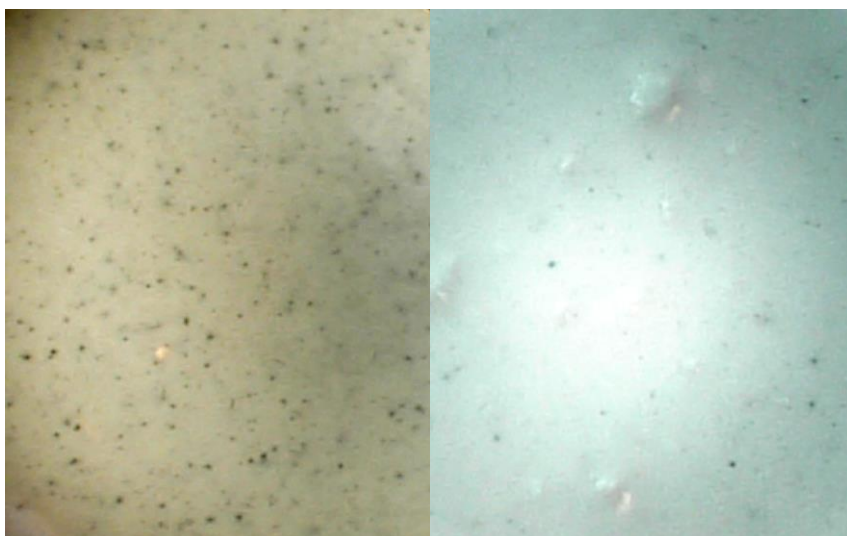
durchgeführt wurden. Bei (B) konnte die Kontamination um das 100.000fache gesenkt und damit praktisch eine vollständige Sterilität erzielt werden. Bei (A) dagegen wurde die Kontamination nur um das 5.000fache verringert. Durch die Versuchsreihe (B) wurden außerdem nahezu alle Vitamine erhalten - als Ausdruck einer sehr schonenden

Trocknung. Das gilt analog auch für andere sensible Güter, wie z.B. für temperatursensible Kunststoffe und Lacke.

Auf dem ersten Blick scheint es so, dass - je höher die Leistung der Impulse, umso besser und wirksamer ist die Trocknung. In der Realität stimmt es nicht. Die durchgeführten Experimente haben gezeigt, wenn man starke Impulse verwendet, verwandelt sich das Wasser in den Zellen der Produkte sehr schnell in Dampf und die Zellen „explodieren“ faktisch. Es ist klar, dass man in diesem Fall nicht von einer guten Qualität des Zielprodukts ausgehen kann. Aber dennoch wird eine 100%ige Sterilität erzielt, weil die Mikroorganismen auch Wasser enthalten, das sich ebenfalls explosionsartig in Dampf verwandelt und sie damit zerstört. Der zweite Grund ist der, wenn die Impulse zu stark sind, dann gehen sie weit durch das Produkt hindurch und damit wird der größte Teil der Energie nicht vom Produkt absorbiert.

Wenn wir zu der Variante zurückkehren, die schon betrachtet haben und zwar dass die Leistung eines Impulses 100-mal höher ist, als die durchschnittliche Leistung, dann beträgt die Eindringungstiefe etwa 200 mm. Bei einer Dicke des Produkts von nur 30-60 mm geht die meiste Energie verloren, weil sie nicht absorbiert wird. Hier ist notwendig, die Leistung des Impulses zu verringern. Außerdem muss man noch den Energieteil berücksichtigen, der durch eine „verdünnte“ Keramikschicht hindurchgeht und dabei sich nicht in Impulse verwandelt.

Basierend auf den erhaltenen vorläufigen Ergebnissen haben wir uns das Ziel gestellt, ein System zu schaffen, das eine effektive Trocknung mit höchster Qualität des Zielprodukts und einer hohen Sterilität bei minimalem Energie- und Zeitverbrauch erlaubt. Zur Auswahl und Modifizierung der Keramik erfolgte eine umfangreiche Forschung und Entwicklung. Es wurde weiterhin Mullit ausgewählt, das nach einer speziellen Technologie hergestellt wird und somit ein breites Transmissionsspektrum bis zu 25 µm hat und die Impulse der Funktionskeramik nicht absorbiert. Nach der Auswahl des „Verdünnungsmittels“ – in unserem Fall war es Mullit für die Impulsverdünnung – haben wir begonnen, mit Proportionen zwischen Mullit und der aktiven Impulskeramik zu experimentieren.



A

B

Bild 4: A – Keramik 4,0: Mullit – 96,0%, Impulskeramik – 4,0%.
 Bild 5: B - Keramik 0,5: Mullit - 99,5%, Impulskeramik – 0,5%.

Im Bild 4 und 5 sind die Mikrophotographien mit 100facher Vergrößerung von zwei „verdünnten“ Legierungen mit dem Inhalt 4% und 0,5% Impulskeramik dargestellt. Im Mullit kann man sehr gut die Kerne der aktiven Keramik sehen, die die Fähigkeit zur Energietransformation der primären Strahlungsquelle haben.

Die Erarbeitung optimaler Legierungen und Technologien wurde am Beispiel der Trocknung verschiedener Objekte von Obst und Gemüse durchgeführt. Solche Objekte reagieren sofort sehr sensibel auf harte Strahlungen oder auf eine ausbleibende Sterilisierung bei zu schwacher Strahlung. Untersuchungen wurden von dem Metschnikov-Institut für Sanitärhygiene (St. Petersburg) und dem Institut für Biochemie (Taschkent) speziell für uns durchgeführt. Infolge der durchgeführten Experimente stellte sich heraus, dass Mullit mit einem definiertem Anteil X an Impulskeramik optimal ist.

Zum Abschluss der Prüfung der Methodenwirksamkeit wurden Untersuchungen an Tierblut durchgeführt. Dieses Produkt wird für die Erzeugung von Liposomen benötigt, das zur gezielten Dotierung von Medikamenten benötigt wird. Dadurch sinkt der Bedarf an entsprechenden Medikamenten um das 5- bis 10fache. Darüber hinaus werden Nebenwirkungen deutlich reduziert und die direkte Wirkung prägnant erhöht. Die Untersuchungen der Qualität des getrockneten Blutes auf Basis funktioneller Keramiken, sind im Institut für Biochemie an der Akademie der Wissenschaften der Republik Usbekistan unter Leitung von Prof. Isaew durchgeführt worden. Die Ergebnisse haben gezeigt, dass das Blut 99-100% seiner Aktivität beibehält.

Weiterhin wurden Blätter des Maulbeerbaums getrocknet, um auch an dieser Anwendung die Wirksamkeit weiter zu überprüfen. Wenn die Blattfermente des Maulbeerbaums sich inaktivieren, frisst der Seidenspinner sie nicht, weil er solche Nahrung nicht verdauen kann. Nach unserer Trocknung behalten die Blätter 100% der

Aktivität der Fermente. Der Leiter des Labors im Institut für Seidenforschung an der Akademie der Wissenschaften der Republik Usbekistan Madyarow hat diese Trocknungstechnologie für 22 Futterarten aus Lebensmittelabfällen weiterentwickelt und entwickelte daraus ein spezielles Schema für die Ernährung der Seidenspinner. Damit erhält man jetzt Seide, die allen internationalen Vorgaben entspricht. Die Ergebnisse dieser Arbeiten wurden auch mit Erfolg in Malaysia, Südkorea und in Japan übernommen, wo sie bis heute genutzt werden.

2. Sterilisation und Polymerisation bei der Trocknung

Jeder Organismus, egal ob es Bakterien, Pilze, Viren usw. sind, vermehrt sich auf Basis der entsprechenden DNA oder RNA durch kopieren. Das Kopieren gehört zum Syntheseprozess. Diese Synthese wird durch bestimmte Fermente verwirklicht, zum Beispiel durch das kopierende Ferment Telomerase. Hepatitis-A hat das Ferment der RNA-Polymerase, Hepatitis-B – DNA-Polymerase, Onkoviren oder AIDS-Virus – das Revertase Ferment usw. Während des Kopierungsprozesses wächst die DNA- oder RNA-Kette. Dieses Wachstum geht durch die Bildung eines Ferment-Substrat-Komplexes, der ein verlängerndes Radikal ist. Die Impulskeramik bildet Hilfsradikale aus Lipiden oder Superoxiden, die weiter durch den zweiten Impuls die wachsenden Radikale (die Ferment-Substrat-Komplexe) mit diesem Hilfsradikal zu rekombinieren zwingt. So stirbt die gesamte Infektion ab.

D.h. bei der Trocknung mit IR.C können gleichzeitig und gezielt erhebliche Nebeneffekte bei der Sterilisation (im allgemeinen Sinne) von biologischen und technischen Gütern erzielt werden.

Das gilt auch analog für Polymerisation von Kunststoffen, Lacken, biologischen Gütern usw. in Bezug auf relevante Anwendungen. Spezielle Arten an IR.C wirken hier gezielt z.B. auf die Ausbildung besonders langer und damit hochwertige Molekülketten.

3. Anwendungen

3.1 Trocknungen von Fruchtpasten und spezieller Nahrungs- und Futtermittel

In universellen Trockenschränken mit funktionellen Keramiken wurde Fruchtpaste in Form von Chips für die Lebensmittelindustrie getrocknet. Diese Arbeiten erfolgten gemeinsam mit Dr. P. John (Lichtenberg). Die aus getrockneter Fruchtpaste hergestellten Chips sind ein neues Produkt und folglich gab es dafür auch keine gewöhnliche Technologie zur Herstellung.

Alle Versuche, die Fruchtpaste nach anderen Methoden zu trocknen, z.B. in gewöhnlichen Trockenschränken und Öfen oder auch mit Hilfe der Mikrowelle, brachten keine positiven Ergebnisse. Die Fruchtpaste selbst ist sehr sensibel in Bezug auf Überhitzung bei der Trocknung wegen des großen Zuckergehalts. Das äußert sich zum Beispiel darin, dass bei Überhitzung oder Verbrennung des Produkts der

Nachgeschmack von verbranntem Zucker bestehen bleibt. Neben der Gefahr der Verbrennung des wertvollen Fruchtzuckers können auch Verluste an extraktiven aromatischen Wertstoffen eintreten, was zum Verlust des typischen Geschmacks führt, der für jedes Nahrungsmittel charakteristisch ist. Die einfache Niedrigtemperaturtrocknung erlaubt nicht, dass die Fruchtpaste bis zum minimalen Feuchtigkeitsniveau trocknet, um eine qualitativ knusprige Eigenschaften der Chips erreicht werden.

Positive Ergebnisse sind nur mit dem Trockner erreicht worden, der mit Emittlern ausgestattet ist und welche mit funktionellen Keramiken nach Entwicklungen vom Prof. Rachimov [2] beschichtet wurden.

Für die Untersuchungen ist Dattelpaste mit einer Feuchtigkeit von 17-18% und einem Glukosen Gehalt etwa 35% verwendet worden. Für die Erhaltung spezifischer Qualitätseigenschaften, die charakteristisch für dieses Produkt sind, muss die Restfeuchtigkeit der Dattelpaste auf weniger als 3 % gebracht werden. In der folgenden Tabelle 1 wird ein Beispiel der Trocknung (in unserem Trockenschrank) dargestellt. Die Dauer der Trocknung der Fruchtpaste beträgt in unterschiedlichen Etagen 7-12 Minuten (in Abhängigkeit von der Beladung des Trockenschanks mit dem Produkt.)

Tabelle 1. Trocknung von Fruchtpaste bei der Herstellung der Fruchtchips

Dauer 7 Min.	Etage 1	Etage 2	Etage 3	Etage 4	Etage 5
Anfangsgewicht (g)	24.3	21.6	23.2	23.6	20.6
Gesamtgewicht feucht (g)	113.3				
Trockengewicht (g)	21.2	18.4	19.4	20.4	17.2
Gesamtgewicht trocken (g)	96.6				
Ausgangsfeuchte %	17				
Endfeuchte %	2,26				

Chips aus den Fruchtpasten sind ein neues Produkt. Das Trocknen ist hier nur mit IR.C möglich. Andere marktübliche konvektive oder Infrarot-Trockner sind dafür ungeeignet.

Ähnlich wie Dattelfruchtpaste verhält sich pasteförmiges Material aus der Vakuum-Extrusion hochwertiger Biomaterialien für die pharmazeutische Industrie beim Trocknen.

Der DEGUSSA Konzern beschäftigt sich mit der Herstellung spezieller Produkte, z.B. Methionin. Diese Aminosäure erlaubt nicht eine Trocknung nach gewöhnlichen Methoden, weil dabei die Destruktion des Produkts erfolgt. Die Trocknung auf Basis spezieller Keramiken ist die einzige annehmbare Technologie für die Trocknung dieses Stoffes. In 10 bis 25 Minuten in Abhängigkeit von der zugeführten Leistung erfolgt die Trocknung bis zur definierten Restfeuchte.

Es sind aus den vorausgehenden Forschungsarbeiten für die Vorbereitung von industrieller Anwendung von Trocknungstechnologien auf Basis von Impuls-Infrarot mit funktionellen Keramiken (IR.C) in folgenden Richtungen durchgeführt worden:

- Kräuter- und Pflanzenfuttertrocknung für die Anwendung in der Tier- und Geflügelzucht, außerdem die Trocknung von Hundefutter. Es wurden Futterarten mit hohem Vitamingehalt und Hauptnahrungsstoffen erhalten, die die Qualität des Produkts deutlich charakterisieren;
- Trocknung von Verpackungstoffen aus biologischem Rohstoff (der Bio-Verpackungstoff);
- Trocknung von Zwieback (der Zwieback wird besonders fein und krümelig);
- Malztrocknung für die Bierproduktion;
- Trocknung von Suppen und anderer verschiedener Gerichte mit der Absicht, die Ernährung als Konzentrate für eine schnelle Zubereitung zu erhalten, dabei behält das fertige Produkt alle Geschmacks- und Qualitätswerte. Das ist die wichtigste und interessanteste Richtung. Die physikalisch-chemischen Untersuchungen der Qualität der fertigen Produkte und die Verlustbewertung der Hauptnahrungsstoffe mit der IR.C-Trocknung zeugen davon, dass nur diese Methode der Trocknung die höchste Sicherheit des Eiweißstoffes, der Lipiden, der biologisch aktiven und extra aktiven Stoffe, der Vitamine erhalten kann. Der niedrige Gehalt an Mikroben in diesen Produkten beweist ihren guten sanitär-bakteriologischen Zustand, der sich auf die Haltbarkeit der Nahrungsmittel auswirkt. In keinem der untersuchten Halbfabrikate sind konditional-pathogene und pathogene Bakterien festgestellt worden; fertige Produkte hatten einen sehr niedrigen Kolibakterien-Gehalt. Es wurde das usbekische Nationalgericht Plov mit IR.C getrocknet. Bei einer gewöhnlichen Trocknung verliert das Gericht seinen Geschmack und andere wertvolle Eigenschaften. Die Qualitätsbewertung beruft sich auf eine experimentale sensorische Bewertung von Verkostern. Bei einem mit IR.C getrockneten und wieder aufbereiteten Plov bewiesen die Ergebnisse der Verkostung, dass solche Kennwerte wie Geschmack, Duft, Saftigkeit, Konsistenzgleich wie bei einem frisch gekochten Plov ist.
- Bei der Trocknung auf Basis IR.C besteht die Möglichkeit, für Fertiggerichte und Nahrungsmittel eine relativ lange Haltbarkeit zu erzielen. Bei einer unabsehbaren Lagerung dieser Produkte, die zuvor komplett verarbeitet wurden, werden die vollständigen und typischen Nahrungsmittel-Qualitäten erhalten. Die Wiederherstellungsdauer der Produkte beträgt in der Regel nur drei Minuten.

Alle Kontroll- und Vergleichstrocknungen verschiedener Nahrungsmittel und der industriellen Stoffe haben gezeigt, dass man mit IR.C hohe wirtschaftliche und qualitative Ergebnisse bei der Trocknung verschiedener Produkte und industrieller technischer Stoffe erhalten kann.

3.2 Trocknungen von Obst und Gemüse in Bandanlagen bei erhöhter Luftfeuchte

Die Wirksamkeit traditioneller Trocknungstechnologien ist sehr niedrig, besonders bei erhöhter Luftfeuchte. Gemeinsam mit dem Institut für Nacherntetechnologien sind Untersuchungen zur Wirksamkeit der Trocknung mit IR.C durchgeführt worden. Dieses Institut hat Kontrolltrocknungen von Nahrungsmittel mit dem IR.C-Serien-Trockner WOSTOK durchgeführt. Die Ergebnisse wurden mit einem konvektiven Serien-Trockner aus China verglichen; zudem muss angeführt werden, dass die Vergleiche unter lokalen subtropischen Klimabedingungen stattfanden [6].

Die analogen Untersuchungen zeigten, dass die Trocknungsdauer um 1,6- bis 3,5-mal kürzer war; das heißt, dass die Qualitätswerte bei WOSTOK deutlich besser waren.

Alle folgenden vergleichenden Daten sind vom Institut der Nacherntetechnologien. Diese Daten entstanden bei tropischem Klima mit hoher Feuchte und somit unter ungünstigen Bedingungen für die Trocknung von Getreide, Obst und Gemüse. Als Beispiele dazu dient die Trocknung von Erdnüssen, Mango und Bananen – s. Tabelle 2 sowie Bild 6 und 7.

Tabelle 2. Wirksamkeit des Trockners WOSTOK am Beispiel Trocknung von Erdnüssen

Dauer	Feuchtigkeit (%)		Verlust an Feuchte zur Ausgangsfeuchtigkeit (%)	
	IR.C WOSTOK	Konvektive Trocknung	IR.C WOSTOK	Konvektive Trocknung
0	45,20	45,20	0	0
1,30	28,60	-	16,60	-
2,00	22,98	38,12	22,22	6,08
3,00	15,30	-	29,90	-
4,00	11,20	32,78	34,00	12,42
5,00	7,90	-	37,30	-
5,30	7,43	-	37,78	-
7,00	-	24,37	-	20,83
9,15	-	20,20	-	25,00
11,15	-	16,05	-	29,15
13,00	-	11,87	-	34,33
16,30	-	8,54	-	36,74

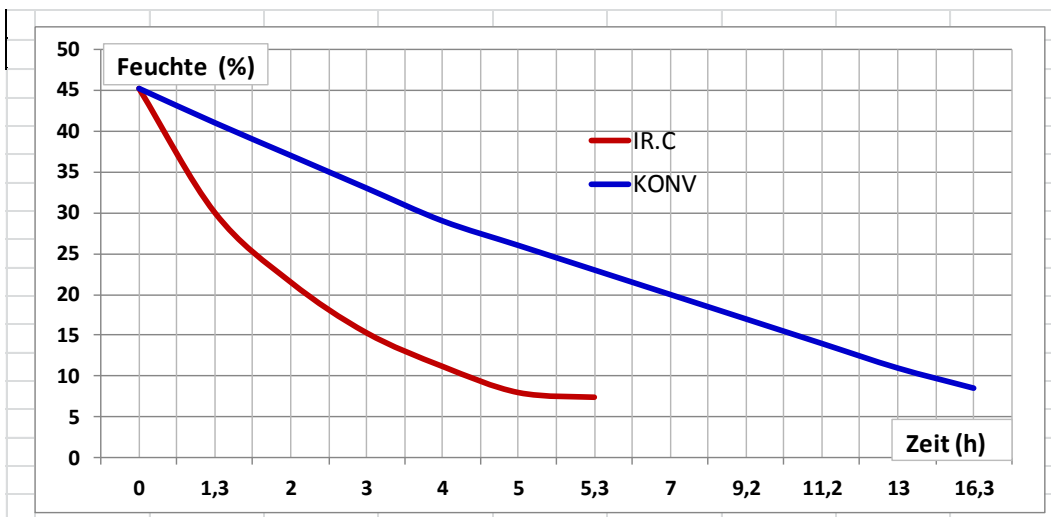


Bild 6: Dynamik der Erdnusstroeknung im Vergleich

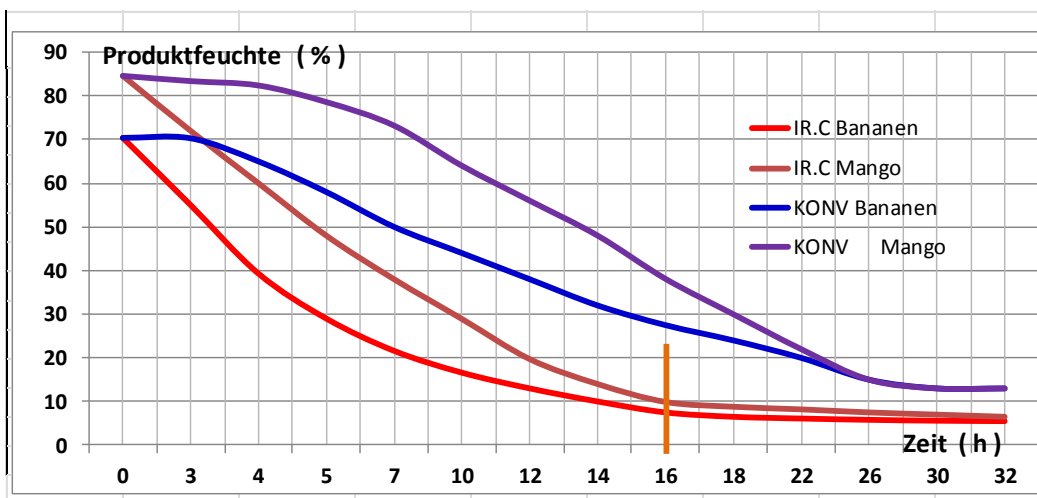


Bild 7: Dynamik der Mango- und Bananentrocknung im Vergleich

In der Graphik sind u.a. folgende Unterschiede beider Technologien zu sehen:

- Die Trocknung beginnt auf Grund der sofortigen und tiefen Eindringung der Infrarot-Impulse bei IR.C wesentlich schneller. Bei Konvektion verläuft die Startkurve flacher.
- Die Endfeuchte wird bei IR.C nach etwa 16 Minuten rund doppelt so schnell erreicht.
- Die Endfeuchte bei Konvektion ist auf etwa 13 % begrenzt. Bessere, niedrigere Werte bei Bedarf bis 0 % können nur mit IR.C auch bei niedriger, limitierter Temperaturvorgabe erreicht werden.

So erlaubt die IR.C-Technologie in Trocknungsanlagen bei einer Luftfeuchtigkeit von fast 100% die Wirksamkeit der Trocknung zu erhöhen, die Energiekosten zu senken und die Trocknungsdauer um 1,6 ... 3,5-mal im Vergleich zur konvektiven Technologie zu verringern. Außerdem lag die Qualität des Zielproduktes bei IR.C wesentlich über der bei der Konvektion.

3.3 Trocknungen von Reis und Mais in Bandanlagen bei erhöhter Luftfeuchte

Die Aufgabe der Verarbeitung und Lagerung der Reisernte steht nicht nur vor den Ländern in Süd-Ost-Asien. Das gleiche Problem existiert auch in Europa, Afrika und Amerika. Prof. Rachimov hat sich mit Fachleuten dieser Regionen getroffen. Man kann festhalten, dass etwa ein Drittel der weltweiten Ernte wegen mangelhafter Verarbeitung und Lagerung verloren geht [3]. Die Hauptmängel liegen bei einer unzureichenden Trocknung und der damit verbundenen vorbeugenden Sterilisation des Getreides und Reises. Die ursprüngliche Wirksamkeit der traditionellen Trocknungstechnologien ist sehr niedrig, besonders bei hoher Luftfeuchte. Gemeinsam mit dem Institut der Nacherntetechnologien (Vietnam) sind Untersuchungen zur Wirksamkeit verschiedener Technologien im Vergleich zur IR.C-Technologie durchgeführt worden. Auf der Basis der Anlage WOSTOK, sind vergleichende Trocknungen von Nahrungsmitteln durchgeführt worden. Der Ergebnisvergleich erfolgte mit einer hochproduktiven und serienmäßigen Infrarot-Trocknungsanlage (ohne Funktionskeramik) aus China. Die Qualität des Getreides und des Reises bei der Trocknung auf der Anlage WOSTOK war besser. Die erzielten Ergebnisse wurden analysiert und optimiert; zudem erfolgte entsprechend der lokalen tropischen Klimabedingungen die Auswahl eines speziellen Keramiktyps, der eine veränderte Leistung der Strahler zur Folge hatte. Die Erprobung der nun modernisierten Serienanlage WOSTOK 1 und die damit erzielten Ergebnisse haben gezeigt, dass die Trocknungsdauer im Vergleich zu vorhergehenden Werten, die mit der Serienanlage WOSTOK erzielt wurden, sich um 1,6 ...3,5-mal verringerten und dazu noch eine höhere Qualität erzielt wurde.

Tabelle 3: Die Wirksamkeit der Anlage WOSTOK 1 bei der Trocknung von Mais

Dauer Trocknung (h)	Produktfeuchte (%)		Feuchteverlust im Vergleich zur Ausgangsfeuchte (%)	
	WOSTOK 1 IR.C	Infrarot-Trockner ohne Keramik	WOSTOK 1 IR.C	Infrarot-Trockner ohne Keramik
	43.8	43.8	0	0
1	36.8	42.1	7.0	1.7
2	28.8	40	15.0	-
3	21.2	37.6	22.6	6.2
4	14.5	33.3	-	10.5
5	7	29.5	33.2	-
6	-	24	-	14.3
7	-	17.6	-	26.2
8	-	14.6	-	29.0
9	-	11.6	-	32.2

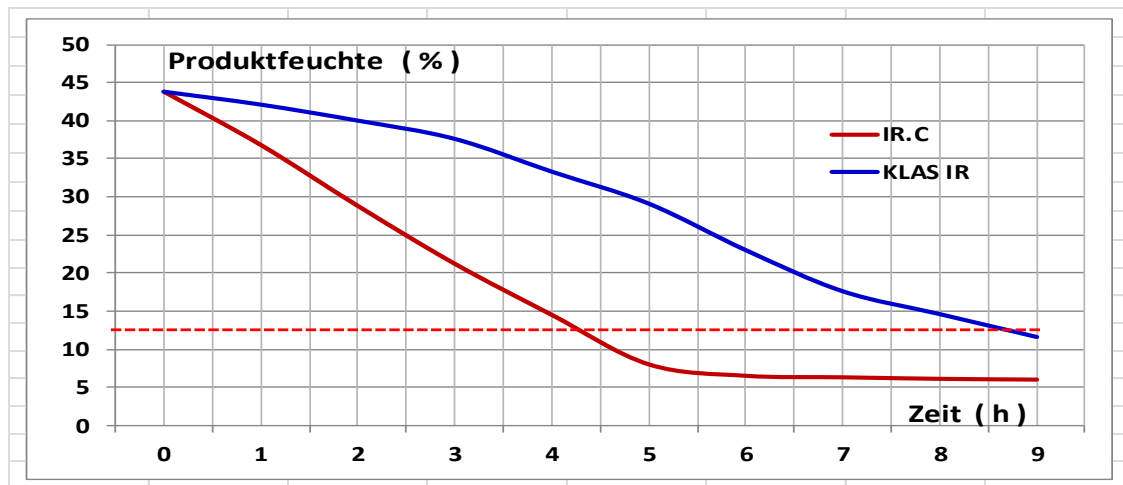


Bild 8. Dynamik der Maistrocknung IR.C im Vergleich mit IR ohne Keramik

3.4 Trocknungen von Obst und Gemüse

Es wurden vielfältige Trocknungsversuche mit Konvektion, klassischem Infrarot und IR.C an verschiedenen Obst- Gemüsearten durchgeführt. IR.C war immer eindeutig prävalent. Darüber hinaus hat IR.C noch besondere Vorteile.

Tabelle 4: Wirksamkeit von IR.C beim Trocknen von Gemüse und Obst

Obst und Gemüse	Temp. °C	Feuchte %	Endfeuchte %		Feuchte-Verlust %		Trocken-Zeit h	
			IR.C	IR China	IR.C	IR China	IR.C	IR China
Start-Parameter			IR.C	IR China	IR.C	IR China	IR.C	IR China
Zwiebel	55-60	94,66	9,22	9,38	85,44	85,28	4,12	9,08
Eryngium	55-60	92,01	10,8	11,17	81,19	84,94	3,03	7,25
Dill	60-65	88,45	9,02	9,35	79,43	79,10	5,09	8,33
Paprika (gelb)	60-65	82,20	8,11	8,25	74,09	73,95	6,06	9,12
Tomaten	60-65	93,84	9,75	10,14	84,09	83,70	6,20	14,03
Kartoffel	60-65	78,28	10,4	11,05	67,86	67,23	5,00	9,40
Möhren	60-65	87,84	8,72	9,25	79,12	78,59	6,20	14,10
Ananas	60-65	84,61	9,46	10,23	75,15	74,38	6,03	10,12

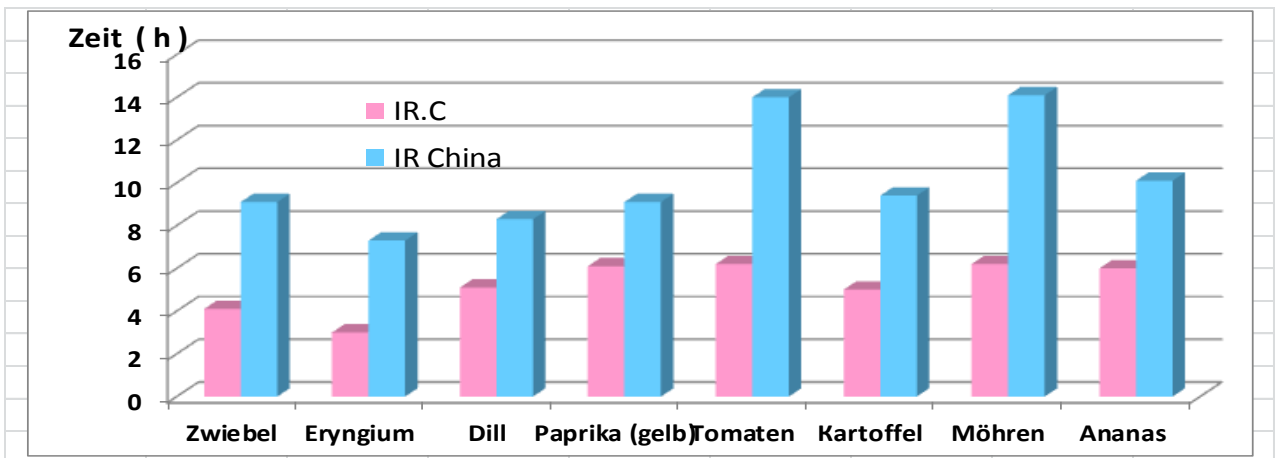


Bild 9. Obst- und Gemüsetrocknung – Vergleich der Trocknungszeit

Im Durchschnitt kann die Trockenzeit für Obst und Gemüse mit IR.C im Vergleich zu einem klassischen Infrarot etwa um 50 % verringert werden. Greift man auf die im Wesentlichen verbreitete konvektive Trocknung zurück, kann die Trockenzeit mit IR.C sogar auf 25 % und darunter gesenkt werden. Quelle: [6].

3.5 Trocknungen von Reis

In der Tabelle 5 ist die Wirksamkeit von IR.C bei der Reistrocknung (Paddy-Reis) mit folgenden Vergleichen dargestellt.

- IR.C 1 - Trocknung bei 42 ...55⁰C und halber Leistung der Anlage.
- IR.C 2 - Trocknung bei 60 ...65⁰C und voller Leistung der Anlage
- KONV - Konvektive Trocknung bei 55 ...60 °C mit voller Leistung der Anlage

Tabelle 5. Reistrocknung bei verschiedenen Temperaturen und Leistungen

Dauer (h)	Feuchte (%)			Feuchteverlust (%)		
	IR.C 1	IR.C 2	KONV	IR.C 1	IR.C 2	KONV
0	20,6	26,3	26,3	0	0	0
1	13,5	17,3	25,2	6,1	9,0	1,1
2	11,1	12,9	17,9	9,5	13,4	8,4
3	8,7	9,2	14,9	11,9	17,1	11,4
6	-	-	12,9	-	-	13,4
7	-	-	11,3	-	-	15,0

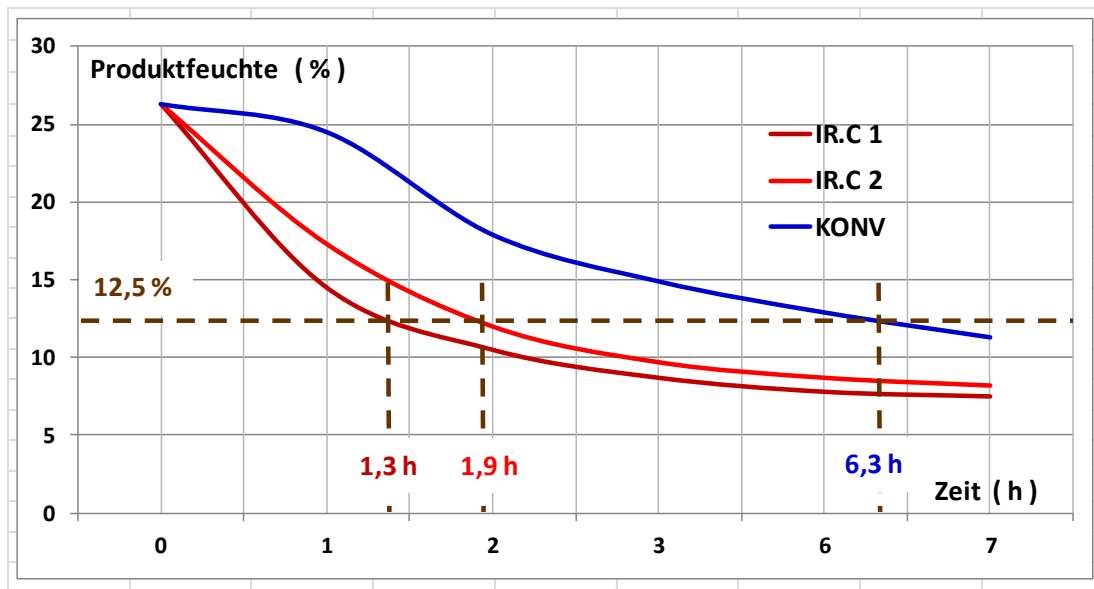


Bild 10: Dynamik der Reistrocknung

Danach wird die Zielfeuchte von 12,5 % bei KONV erst nach 6,3 h (100 %) erzielt. Mit IR.C 2 wird dieser Wert bereits nach 1,9 h (30 %) und mit IR.C 1 schon nach 1,3 h (21 %) im Vergleich zu KONV erreicht.

Tabelle 6: Einfluss der Feuchte des Ausgangsstoffes und des Energieverbrauchs während der Trocknung auf die Rißbildung des Reises

Feuchte Grad	Anzahl	Temp. °C	Feuchte %		Energie kWh/kg	Zeit h	Rißbildung Grad	
			Start	Ziel				
1	2	30-35	16,5	13,97	0,05	0,45	30+35	39
1	2	35-40	16,5	13,70	0,05	0,30	30+35	42
1	2	40-45	16,5	13,70	0,10	0,30	30+35	45
2	3	30-35	16,5	13,45	0,08	1,30	30+35	34
2	3	35-40	16,5	13,55	0,116	1,15	30+35	40
2	3	40-45	16,5	13,75	0,126	0,45	30+35	41

Es ist bekannt, dass Rißbildung des Reises abhängt von der Feuchte, der Trocknungsgeschwindigkeit, dem Schälen sowie Waschen und vor allem auch von der Trocknungstechnologie.

Das Ziel besteht folglich in einer hohen Qualität (vor allem durch geringe Rißbildung) in Verbindung mit einer hohen Produktivität (einer entsprechenden Trocknungsgeschwindigkeit) und Energieeffizienz.

Die Trocknungsindustrie muss ein minimales Verlustniveau sichern. Der Grad der Rißbildung wurde im Institut der Nacherntetechnologien in Hanoi mit bekannten Methoden bestimmt.

Auf Basis aller bisher ermittelten und analysierten Vergleichsdaten für Reis, Mais und Getreide bei der Trocknung wurde ein Bandtrockner auf Basis IR.C entwickelt, gebaut

und erfolgreiche erprobt. Der Bandrockner hatte sieben Etagen. Dabei erwies es sich als vorteilhaft, dass das Trockengut beim Übergang von einem auf das andere Band immer umgeschüttet wurde [7].

3.6 Trocknung von Teigwaren mit IR.C

Die Teigwarenherstellung besteht aus vielen Vorgängen, dabei ist die Trocknung der Hauptvorgang. Bezeichnender Weise werden verschiedenen Sorten bei unterschiedlichen Temperaturen getrocknet, deshalb differiert auch die Trocknungsdauer.

Die röhrenförmigen (langen) Sorten werden bei der niedrigen Temperatur (30-40°C) innerhalb von 20-24 Stunden, manchmal sogar 36 Stunden lang getrocknet; bei einer Temperatur von 50-55°C beträgt die Trocknungsdauer dagegen 12-14 Stunden. Das ist die Technologie der normalen Trocknung.

Die kurzgeschnittenen Sorten werden bei einer Temperatur von 50-55°C ca. 4-8 Stunden lang getrocknet (ohne Dauer der Produktenstabilisierung, welche 3-4 Stunden anhält).

Bei der Hochtemperaturabtrocknung (70-85°C) werden die langen Sorten 10 Stunden getrocknet. Die kurzen Sorten ca. 3-6 Stunden lang.

Die extreme Hochtemperaturabtrocknung wird bei der Temperatur von 100-130°C durchgeführt. Die langen Sorten werden dabei 4-6 Stunden getrocknet, die kurzen dagegen 80-160 Minuten.

Diese Optionen der Prozesse entsprechen der Veränderung der Ausgangsfeuchtigkeit des Produkts von 30% bis auf 12,5%. Getrocknet wird in Trocknern ohne Luftherwärmung, Fließbandtrockner, Kammertrockner u.a. Bei bekannten Trocknungstechnologien führt eine zu schnelle Trocknung zur Rißbildung und zu einer Erhöhung der Bruch- und Krümelmenge. Eine zu langsame Trocknung (besonders bei der zusätzlichen Befeuchtung der Kammer) führt zur Entwicklung einer schädlichen Mikroflora Säure bildender Bakterien, die den Säuregehalt des Produktes erhöhen und so zu Unbrauchbarkeit der Teigwaren führen.

Primäre Aufgaben bei der Teigwarenherstellung sind:

- Leistungssteigerung bei Verringerung des Energieverbrauchs,
- Verbesserung der Verbrauchsqualität bei fertigen Waren (Ästhetik, keine zerkochten Produkte),
- Erhalt eines hohen Nährwertes des Produktes

Alle diese Faktoren kann man bei der Anwendung der korrekt ausgewählten funktionellen Keramik und eines analog eingesetzten IR.C erreichen.

Hierzu wurde ein experimentales Fließband für die Teigwarentrocknung entwickelt und hergestellt. Probereihen liefen im Teigwarenwerk ZESNA-TAU (Alma-Ata, Kasachstan).

Die Ausgangsdaten der Konstruktion:

- Breite des Netzbandes 600 mm
- Länge der Arbeitszone 3.550 mm
- Länge der Emittler –620 mm – Anordnung quer zur Bandbewegung über dem Produkt und unter dem Netzband
- Emittler aus Quarzrohr 12mm
- Anzahl der Emittler 64 Stück,
- durchschnittliche Leistung 147 W je Emittler
- elektrische Nennleistung 9.400 W
- maximale Leistungsdichte: 4.270 W/m²

Die Emittler hatten unterschiedliche elektrische Parameter in Abhängigkeit von ihrer Lage in der Arbeitszone. Die Arbeitszone besteht aus drei Bereichen mit unterschiedlicher IR.C-Intensität. Am Anfang der Linie wurde eine hohe Intensität gewählt - die Temperatur des Produkts musste hier in der Vortrocknung schnell auf Trocknungsniveau gebracht werden. Dann gelangte das Produkt in die Hauptzone der intensiven Trocknung. In einem folgenden Arbeitsgang wurde in der sogenannten dritten Zone die Produktfeuchte bis zum erforderlichen Minimum gebracht. Die Trocknung bei ZESNA-TAU wurde mit einem konvektiven serienmäßigen Trockenschrank aus Italien verglichen (Z.D.J. Engineering Limited Organisation – Entwickler Dr. Milan Jejel), dessen Arbeitsleistung 31 kW betrug.

Der konvektive Trockenschrank hat eine ähnliche Produktivität wie der experimentelle IR.C-Trockner. Die Daten der experimentellen Trocknung mit IR.C:

- Mehl aus Weichweizen nach dem staatlichen Standard Nr. 20394-87;
- Ausgangsfeuchtigkeit des Teiges – 30% (der Teig ohne Eier- und Anreicherungs Zusatz);
- Trocknungsdauer des Produkts auf dem Fließband: 7:30 Minuten
- Teigwarenform: Band-Nudeln, 15 ...17 mm breit mit wellenförmigen Rändern, 20 ...30 mm lang

Die Arbeit mit dem IR.C-Fließband hat gezeigt, dass die Teigwaren nach der Trocknung hart-elastisch und glasartig im Bruchbereich waren. Dazu hatten sie eine gleichmäßige Struktur in der Tiefe.

Tabelle 7. Konvektive Trocknung im Trockenschrank

Phasen	Prozessdauer min	Temperatur °C	Feuchte Produkt %
Vortrocknung			Start: 33,0
1	10	65-70	25,0...28,0
2	50	72-78	19,5...20,0
Trocknung			
3	150	70-77	17,0
4	100	55-60	15,0
5	90	50-60	12,5
+ Stabilisation	Gesamt: 6:40 h +		
6	3 ...4 h		12,5 ...13,0

Zur Trocknung mit IR.C:

Zur Bestimmung der Trocknungsdynamik ist jeweils das Gewicht der Probe gemessen worden. Dabei standen drei Einwaagen mit 1000 +/- 2 g zur Verfügung. Das Transportband war auf der ganzen Länge voll gefüllt. Die Kontrollzonen wurden in den Produktenfluss eingeordnet. Ein Produktdurchgang durch die aktive Zone dauerte 7:30 min; folgende Meßleistungen lassen sich hierzu festhalten:

Tabelle 8. Die Ergebnisse des Gewichts bei der Trocknung mit IR.C

vor der aktiven Zone g	nach der aktiven Zone g	Gewichtsabnahme g
1000	876	124
1000	886	114
1000	880	120

Das durchschnittliche Gewicht nach der Trocknung betrug demnach 880,76 g. Das entsprach 20% Restfeuchte bei einer 30% Startfeuchte.

Tabelle 9. Effizienz der Trocknung im Vergleich:

Technologie	Arbeitsleistung W	Trockenzeit min	Energie Wh/h
KONVEKTION	31.000	60,0	31.000
IR.C	9.400	7,5	1.175

Für eine Produkteinheit auf Basis IR.C wird demnach 26-mal weniger Energie im Vergleich zur traditionellen konvektiven Technologie benötigt. Ein Teil des Trockengutes passierte zweimal die aktive Zone. Probemenge des Trockengutes nach der Vortrocknung wurde auf ein Rost gebracht und im Freien endgetrocknet und stabilisiert. Nach dem Aussehen waren die in der folgenden Tabelle so fertig getrockneten Güter gleich denen, die traditionell getrocknet wurden. Die wichtigste Verbrauchereigenschaft der Teigwaren ist ihr Zustand nach dem Kochen. Das Kochen ist nach dem staatlichen Standard Nr. 14849-89 durchgeführt worden. Die folgende Tabelle weist die Kochergebnisse aus:

Tabelle 10. Verbrauchs- und Qualitätseigenschaften der getrockneten Teigwaren

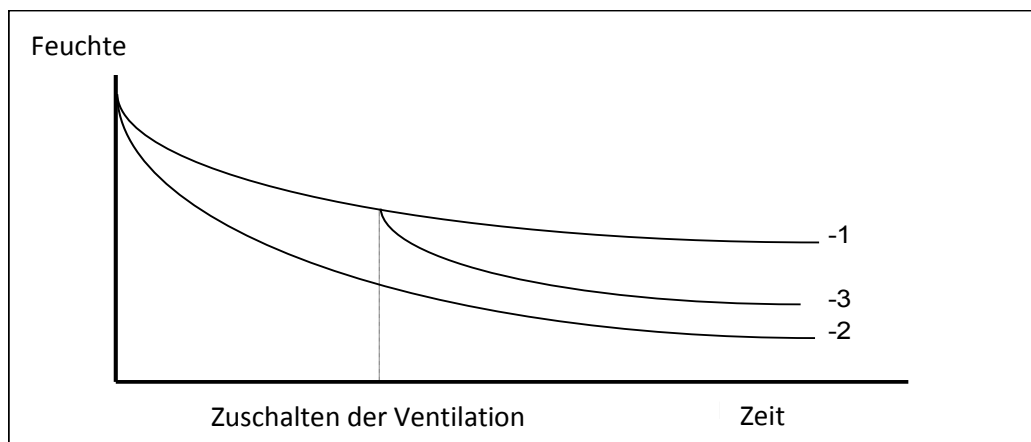
Position Nº	Sorte	Technologie	Kochen- dauer min	Ergebnisse
1	Band- nudeln	KONVEKTION	12	stark zerkocht; kleben aneinander Wasser ist getrübt
2		IR.C	16	nicht zerkocht; fast kein verkleben Wasser ist fast durchsichtig
3	Hörnchen	KONVEKTION	15	30% zerkocht; kleben aneinander
4		IR.C	15	nicht zerkocht, kein aneinanderkleben

Zusammenfassung

Der Vergleich von Position 1 und Position 2 (sogar bei der Steigerung der Kochdauer von 12 bis 16 Minuten) zeigt, dass die Teigware nach der IR.C-Trocknung nicht zerkochte und auch nicht aneinanderklebte.

Die Trocknung der Teigwaren mit IR.C unterscheidet sich wesentlich von der gewöhnlichen konvektiven Trocknung. Beim Trocknen muss kontinuierlich der aus dem Produkt freigesetzte Dampf mit Luftspülung entfernt werden.

Freigesetzter Dampf absorbiert sehr stark das IR.C und überhitzt sich dabei. Das Trocknen, aber auch die Produktqualität würden hier erfahren eine erhebliche Störung erfahren, deshalb muss der Trockenraum optimal belüftet werden. Eine zusätzliche Befeuchtung ist unzulässig.



Hierin sind: 1 – Trocknung mit schwachen Lüftung;
2, 3 – Trocknung mit verstärkter Luftabsaugung
Bild 11. Dynamik der Trocknung im geschlossenen Raum.

Das Schaubild, welches die klassischen Trocknungsprozesse im geschlossenen Raum charakterisiert, zeigt, dass man die besten Ergebnisse bei Zwangslüftung erhält [9].

3.7 Bandtrocknungen von Schüttgütern

Für die Trocknung von Schüttgütern ist ein spezielles und universelles IR.C-Modul entwickelt worden, das die Trocknung solcher Stoffe unter realen Produktionsbedingungen mit erhöhter Gefahr für Verschmutzung erlaubt. Das Bandmodul, welches über einem Fließband positioniert wurde, ist mit einem Schutz gegen Staub ausgestattet, ist explosionsicher und es kann offen oder mit einer Überdachung genutzt werden. (Das Modul wird über einem Fließband positioniert.) Weitere Module können hinzugefügt werden. Die Hauptkenndaten des Moduls sind:

- Abmessung 480 x 600 x 180 (mm);
- Nennleistung 600W (regulierbar von 50 bis 600 W mit Fernsteuerung);
- Bandbreite 400 mm
- aktive Länge 500 mm unter IR.C

Gemeinsam mit INFRA-POLYMER (Usbekresinotechnika) sind Untersuchungen mit zehn solcher ähnlichen Module über einer aktiven Bandlänge von fünf Metern durchgeführt worden.

Tabelle 11 stellt Testergebnisse, Bild 12 die Abhängigkeit der Dynamik der Kreidetrocknung bei unterschiedlicher Feuchte dar.

Das Transportband ist auf die Trocknung von Schüttgütern ausgelegt, die zur Herstellung von Gummierzeugnissen benötigt werden: Kreide, Ruß, Zinkweiß, Schwefel, Kolophonium, Thiuram, Microcalcite, usw.

Tabelle 11. Trocknung von Kreide mit unterschiedlicher Feuchte

Zeit min	Ausgangsfeuchte der Kreide (%)							
	1.60	2.40	3.20	3.70	5.20	6.90	7.80	10.30
0	1.6	2.4	3.2	3.7	5.2	6.9	7.8	10.3
2	0.23	0.5	1.36	1.44	2	2.36	2.46	4.96
2.4	0.18	0.34	0.94	1.04	1.3	1.76	1.7	3.69
3	0.14	0.19	0.58	0.68	0.94	1.26	1.2	2.68
4	0.1	0.13	0.35	0.53	0.63	0.86	0.84	1.69
6	0.09	0.11	0.19	0.38	0.47	0.72	0.62	1.29

Der Vergleich mit konvektiven Standardanlagen zeigte, dass mit IR.C die Produktivität 3-mal höher und der energetische Leistungsbedarf 3-mal niedrig sind. Demnach ist die Energieeffizienz 9-mal höher.

Modulgruppen und Bänder können je nach Bedarf nach Produktivität und Produktart zu beliebigen Längen zusammengestellt werden.

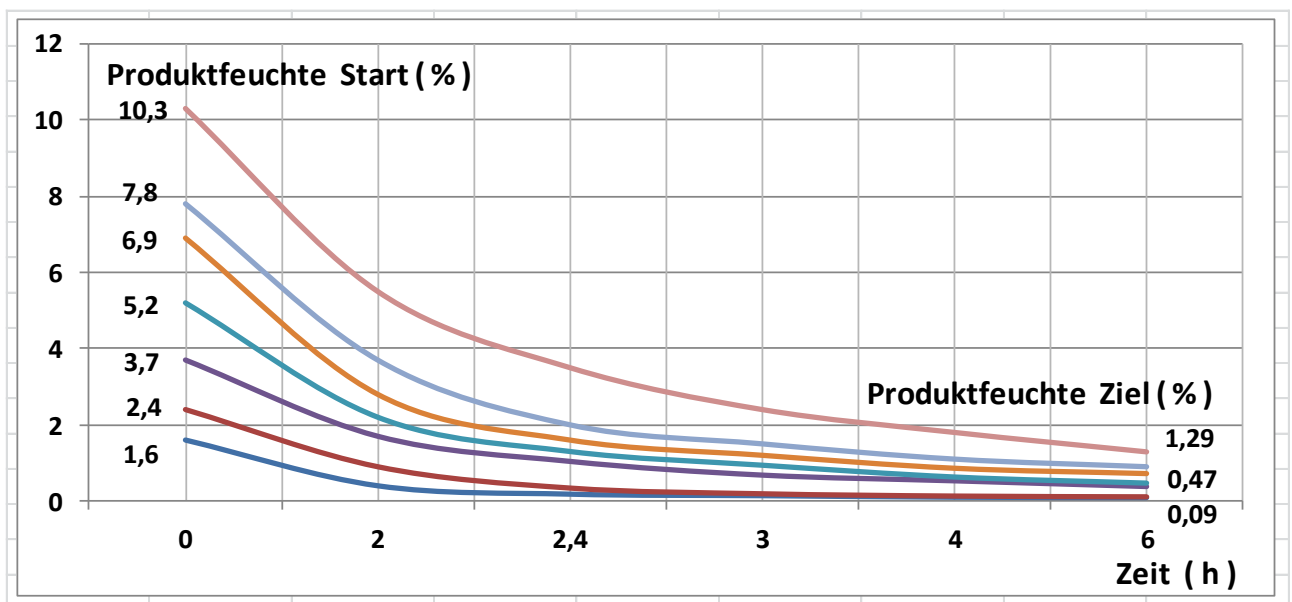


Bild 12. Dynamik der Trocknung von Kreide bei unterschiedlicher Feuchte

So kann mit IR.C bei der Trocknung der Energie- und Zeitverbrauch wesentlich gesenkt und eine Qualität erzielt werden, die mit anderen Technologien unerreichbar ist. Hinzu kommt, dass der Prozess der Trocknung und die Konstruktion der Anlage wesentlich vereinfacht werden.

3.8 SOLARE TROCKNUNG MIT IR.C AUF BASIS VON POLYMERERFOLIE

Aus der derzeitigen Vielfalt relativ teurer Solaranlagen wurden spezielle und effiziente Thermosolare und Photovoltaik-Lösungen auf Basis IR.C erforscht und entwickelt. Sie zeichnen sich durch einfache Konstruktionen mit hoher technischer Charakteristik aus.

In den vergangenen 20 Jahren haben wir intensiv an Technologien zur Produktion funktioneller Keramiken als primäre Quelle für das Impuls-Infrarot (IR.C) gearbeitet und dabei effiziente Anwendungen für die Trocknung, aber auch für Medizin, Sterilisation, Polymerisation, Heizung, Erwärmung usw. entwickelt.

In (1) ist erklärt, wie das Impuls-Infrarot (IR.C) durch Erwärmung der Funktionskeramiken entsteht. Im Ergebnis der thermo- oder thermochemischen Prozesse in der Keramik können sich in der oberen Schicht der kristallinen Kerne p-p- oder r-r-Barrieren bilden – gemäß der Natur und der Mischungskonzentration der beteiligten Stoffe und deren Reinheit.

Wir verweisen darauf, dass keramische Materialien mit breiten Spektren und Temperaturen bis zu 300-400°C für die Photovoltaik uninteressant sind.

Bei einer Erhöhung der Temperatur überschreiten die durch Wärme angeregten Elektronen in den für die Impulse relevanten Atomen eine Barriere, stauen sich in der oberen Schicht, bilden elektrische Felder und verringern dann wieder die Höhe der Barrieren.

Man kann annehmen, dass es für diese keramischen Kerne eine Schwellentemperatur gibt, über der die Höhe der Barrieren unwesentlich wird. Die Spannung des elektrischen Feldes erreicht solche Werte, dass der Zustand der in der oberen Schicht angesammelten Elektronen instabil ist.

Dann erfolgt der umgekehrte Elektronenübergang in das Kernvolumen, wo sie überflüssig werden und ihre Rekombination mit den Ionen der relevanten Atome die Infrarot-Impuls-Strahlung verursacht. Da die Elektronengeschwindigkeit in der Keramik etwa 10^7 cm/Sek beträgt, ist sie um zwei Dimensionen höher, als die Geschwindigkeit der Wärmeübertragung. Damit liegt die Geschwindigkeit der Wärmeübertragung etwa im Bereich der Schallgeschwindigkeit (10^5 cm/sec). Elektronengeschwindigkeit wird durch die Geschwindigkeit der Erzeugung und der Speicherung der freien Elektronen bestimmt. Gerade mit diesem Faktor kann man die Wiederholfrequenz der Impulse bei erhöhter Leistung erklären – sie beträgt etwa 430 Impulse pro Sekunde.

So wandelt sich die Energie der primären Strahlungsquelle durch die von der Keramik absorbierte Wärme in Impulse eines bestimmten Spektralbereiches um, die schon in Zielobjekte in große Tiefe proportional der Impulsintensität eindringen können. Das

erlaubt insbesondere das sonst langsamste Stadium der Trocknung wesentlich zu beschleunigen, nämlich die Wasserdiffusion aus inneren, tieferen Schichten. Die Zeit für diese Trocknung hat faktisch wesentlichen Einfluss auf die gesamte Trocknungsgeschwindigkeit. Dadurch werden größere Schichtdicken für ein wirtschaftliches Trocknen in einer noch weiter verbesserten Qualität möglich, weil es keine Überhitzung wegen einer intensiven Feuchtigkeitsverdampfung an der Oberfläche gibt. Man kann den Energieverbrauch und die Zeit für aktive IR.C-Trocknung wesentlich senken.

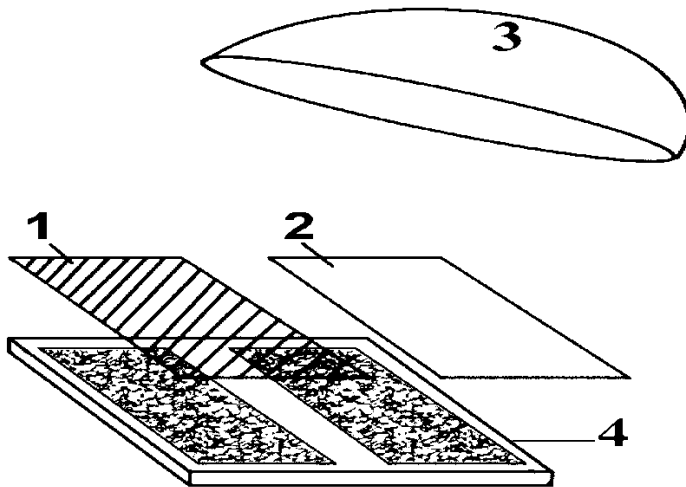


Bild 13. Schema eines Trockners mit Polyäthylenfolie mit 1% FC Keramik (1) und einfacher Polyäthylenfolie ohne FC (2); Strahler (3), Trockengut auf einem Rost (4)

Es ist von uns die spezielle Polymerfolie als Strahler entwickelt worden, die 1% FC enthält. Die vergleichenden Trocknungsversuche wurden am Beispiel von Möhren (-Material) einmal mit und ohne FC durchgeführt. Die Basisfolie kann Ultraviolettstrahlungen in sichtbares Licht umwandeln. Außerdem hat sie eine garantierte hohe Nutzungsdauer unter der Sonne von nicht weniger als fünf Jahren.

Um reproduzierbare Ergebnisse zu erhalten, wurde eine Halogenlampe mit einer Leistung von 500 W zusammen mit einem Reflektor als Imitator der Sonne verwendet. Damit werden gleichzeitig destabilisierende Einflussfaktoren, die ständig bei der Sonnenstrahlung auftreten, eliminiert. Ferner wird ein gleichmäßiges Feld der Beleuchtung in der Arbeitszone des Versuchstandes erzeugt - s. Bild 13. Die Leistungsstärke betrug etwa 1.000 W/m^2 .

Die Ergebnisse werden im Bild 14 illustriert.

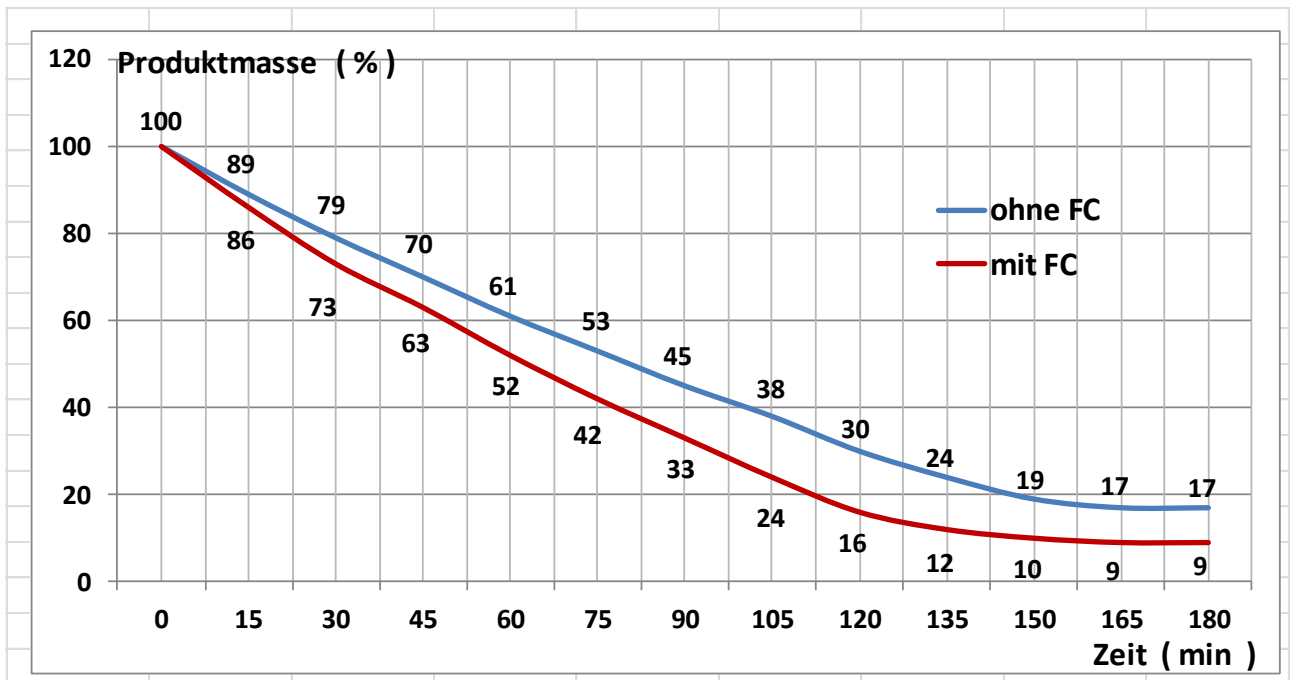


Bild 14. Trocknungsdynamik im Vergleich mit und ohne FC am Beispiel von Möhre

Wie daraus folgt, ist die Trocknungsgeschwindigkeit durch FC in der Polymerfolie um 30 ... 35% gestiegen. Mit der Transformation der primären Wärmeenergie in die der Infrarot-Impulse kann vermutet werden, dass je Photon mit der Energiestärke 1,5-2 eV theoretisch fünf bis sechs Photonen mit der Energiestärke 0,15 eV erzeugt und die dann vom Wasser absorbiert werden und seine Verdampfung sichern.

Es ist charakteristisch, dass IR.C bis zu tiefen Entwässerungsstufen ohne Qualitätsverlust des Produkts eindringen kann. Auch das folgende Experiment wurde durchgeführt, das die Rolle der Keramik in diesem Prozess zu bewerten erlaubt. Statt des getrockneten Produktes wurde schwarzes Papier eingebracht und unter das Papier ein Thermoelement. Wie es aus Bild 15 folgt, verändert sich die Temperatur in Abhängigkeit von der Bestrahlungszeit in beiden Varianten fast gleich, aber die Trocknungsgeschwindigkeit des Produkts war ursprünglich viel größer im Fall der Anwendung der FC im Kunststoff.

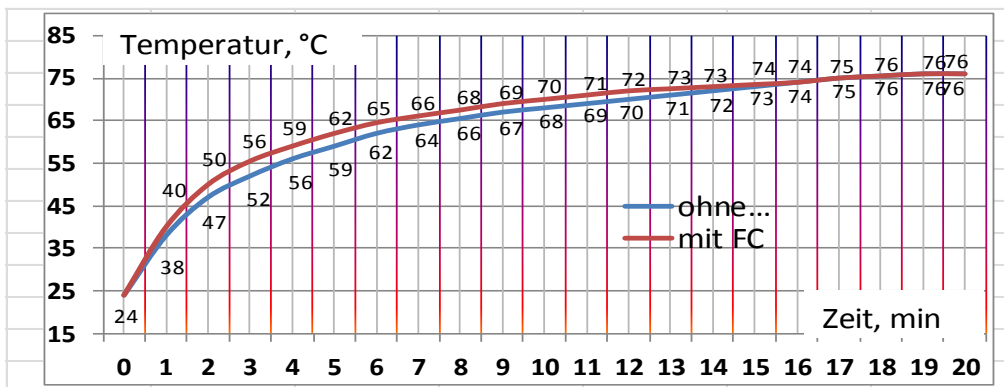


Bild 15: Dynamik der Temperaturen bei Anwendung Folien mit FC und ohne FC

3.9 Bautrocknung

Die Anwendung des Infrarots auf Basis funktioneller Keramiken (IR.C) in Gebäuden zum Heizen und Trocknen als Einheit zählt mit zu den weltweit größten Potentialen zur Energieeinsparung und somit im weitesten Sinne zum Wohle für Menschen, Tiere und Pflanzen.

Bauwerke, Bauelemente und Baustoffe werden feucht:

- a) technologisch bedingt bei ihrer Fertigung – z.B. durch Verwendung von Wasser für Fugenmörtel, Estrich, Putz, Farbe, Lacke, Klebstoffe usw. – *das Interesse am beschleunigten und gründlichem Trocknen wächst.*
- b) bei Havarien (Wasserrohrbruch u. a.) und bei Hochwasser. *Naturkatastrophen mit Hochwasser steigend#*
- c) durch aufsteigende Nässe aus dem Grund bei ungenügender Feuchte-Isolierung – *sehr verbreitet.*
- d) Menschen leben in Gebäuden. Dabei entsteht viel Feuchte durch Atmen, Kochen, Duschen, Reinigen usw.. *Andererseits verschlechtert sich die Abfuhr dieser Feuchte dramatisch durch*
 - i. zu geringes Lüften, incl. abgedichtete Türen und Fenster
 - ii. thermische Wandisolierung mit Feuchteisolationseffekt,
 - iii. Übergang bei Beleuchtung von Glühlampen (93 % Infrarot-Anteil) hin zu LED (ohne Infrarot-Anteil)
 - iv. konvektive Heizung – Feuchte kondensiert auf den kälteren Wänden
- e) durch wachsende Barrieren gegen das Infrarot der Sonne durch Reflexionsschichten an Fenstern, Fassaden und Dächern

Diese Feuchte führt aktuell zum Anwachsen folgender Probleme

- A. Ausbildung von Schimmel in Verbindung mit Erkrankungen der Menschen. Etwa ein Drittel (Tendenz steigend) aller Wohnungen und Menschen in Deutschland und in vielen weiteren Ländern ist davon betroffen! Das ist weltweit ein großer humaner Verlust.
- B. Erhöhter Energieaufwand für das Heizen. Nicht selten treten so Wandfeuchten von plus 4 % und mehr auf. Damit verdoppelt sich der Energieaufwand zum Heizen – das ist weltweit ein großer energetischer und ökologischer Verlust!

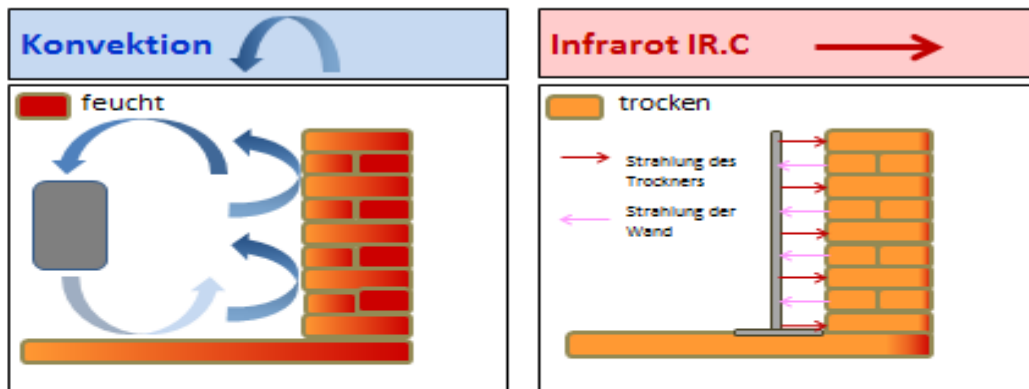
Mit der IR.C-Technologie kann ein entscheidender Beitrag zur Lösung der genannten Probleme erbracht werden durch:

A. Direkte Bauwerkstrocknung inclusive Schimmelbekämpfung



Bild 16: IR.C-Bautrockner mit Funktionskeramik FC

Vorteile bei der Bautrocknung und Schimmelbeseitigung mit IR.C



1. Wesentlich schnellere und tiefere Trocknung als mit Konvektion; dadurch:
2. Deutlich niedrigerer Energie- und Leistungsbedarf
3. Sichere Liquidierung von Pilzen – damit kein Krankheitsrisiko
4. Damit folgende weitere Vorteile:
 - Geringere Trocknungskosten und schneller wieder nutzbar
 - Um bis zu 50 % niedrigere Heizkosten durch trockene Wände

Bild 17: Vergleich konvektiver und infraroter Bautrocknung mit IR.C

Es sind funktionelle Keramiken FC entwickelt worden, mit denen eine kombinierte Wirkung des IR.C erzielt werden kann.

Diese IR.C trocknet einerseits sehr schnell und energetisch effizient bis in die Tiefe dicker Wände. Andererseits können wirkungsvoll Pilze auf und im Bauwerk liquidiert werden.

B. Thermosolare Trocknung, Heizung und Kühlung

Der Anteil von Fensterflächen an Gebäuden wächst. Dazu wächst auch gegenwärtig der Anteil reflektierender Beschichtungen, die insbesondere das Durchdringen von Infrarot der Sonne nicht nur im Sommer, sondern auch im Winter stark reduzieren. Das gilt analog für Außenwände und Dächer.

Eine Alternative dazu bietet die Anwendung der IR.C-Technologie. Hier werden die Fenster (sinngemäß auch Außenwände und Dächer) mit Funktionskeramik beschichtet. Die Transparenz des sichtbaren Lichtes wird dadurch nicht beeinträchtigt. Diese Schicht sichert im Sommer wie auch im Winter die Transparenz des lebensnotwendigen Infrarots der Sonne für Menschen, Tiere und Pflanzen.

Gleichzeitig unterstützt dieses Infrarot die Trocknung und Entkeimung der Wände, Fußböden und anderer Objekte im Raum. Das Infrarot der Sonne ist damit ein unverzichtbarer natürlicher und praktisch kostenloser Beitrag

- zum Wohlbefinden von Mensch, Tier und Pflanze,
- zur Liquidierung von Pilzen und
- zur Trocknung der Wände u.a.

Darüber hinaus sind solche Räume dank des thermosolaren Umschalteffektes der Funktionskeramik im Sommer dennoch um bis zu 14 °C kühler und im Winter um bis zu 12 °C wärmer.

C. Raumluftheregenerierung und Heizung

Durch spezielle IR.C-Geräte auf Basis von Elektroenergie, warmer Medien (Gas, Wasser, Dampf, Öl) oder Solarenergie wird hocheffizient die Raumlufte erwärmt und gleichzeitig werden Mikroorganismen (Pilze, Bakterien und Viren) liquidiert. Die so regenerierte Raumlufte ist sehr angenehm. Es werden keine Pilzsporen im Unterschied zur klassischen konvektiven Heizung im Raum verteilt. In dem Maße entstehen deutlich weniger Pilzkulturen an den Wänden. Diese Anwendung basiert auf Erfahrungen der modernen Raumfahrt. Der Energieaufwand zum Heizen wird auf etwa 25 % im Vergleich zum klassischen konvektiven Heizen reduziert.

D. Indirekte Bauwerkstrocknung während der Heizung

Eine direkte Heizung in Räumen mit IR.C ist auf den zeitlichen und örtlichen differenzierten Wärmebedarf der jeweiligen Objekte (Menschen, Tiere, Pflanzen, Gegenstände) flexibel ausgerichtet. Es werden also nur dann und dort IR.C-Strahler in der Nähe der Objekte eingeschaltet, wenn aktuell konkreter lokaler Wärmebedarf bei den Objekten vorhanden ist.

Ferner tritt zusätzlich folgender Trocknungs-Nebeneffekt ein: Das IR.C, das nicht auf das jeweilige Objekt trifft, wird von den erreichbaren Wänden, Decken, Fußböden usw. absorbiert. Dabei verdunstet tendenziell vorhandene Feuchtigkeit, was zur Folge hat, dass sowohl die Wärmeleitfähigkeit dieser Teile des Bauwerks als auch die damit verbundenen Energieverluste deutlich reduziert werden. Damit wird eben auch Pilzen die wichtigste Lebensbedingung entzogen – das Wasser.

Bei einer klassischen konvektiven Heizung tritt genau der entgegengesetzte Effekt auf. Die im Raum vorhandene Feuchtigkeit kondensiert tendenziell auf den kälteren Wänden.

Die Wände werden feuchter, somit erhöhen sich die Wärmeleitfähigkeit und natürlich auch die Energieverluste und tendenziell der Pilzbefall erheblich.

Nutzen aus der Ganzheit dieser vier Teilanwendungen

Je nach Bedingungen, Technologien und Maßnahmen kann damit folgender Nutzen im Vergleich zur allgemein verbreiteten konvektiven Bautrocknung mit warmer Luft und/oder Luftentfeuchtung bei gleichen Zielparametern (z.B. vollständige Trocknung in einer Tiefe der Wand von 35 cm) erzielt werden:

- Verkürzung der Trocknungszeit auf 10 ...5 %
- Senkung des Energieverbrauchs für das Trocknen auch auf 10 ...5 %
- Senkung des nachfolgenden Energieverbrauchs in kWh/m² x a für das Heizen auf z.B. 50 ...25 % u.a. durch wirksame Senkung der Wandfeuchte
- Liquidierung von Pilzen in Verbindung mit der spürbaren Verbesserung der gesundheitlichen Werte und des Wohlbefindens

Quellen: [12].

3.10 Trocknen von Lacken, Farben und Beschichtungen

Wasser oder andere Lösungsmittel sind durch Trocknen aus flüssigen Lacken, Farben und Beschichtungen auf Oberflächen beschichteter Objekte zu entfernen und ggf. sind bestimmte Polymere noch zu vernetzen.

Bei der in der weltweiten Praxis dominierenden konvektiven Trocknung beginnt der Prozess in der Regel an der Oberfläche dieser dünnen Schichten und setzt sich dann von außen nach innen relativ langsam und energieintensiv fort.

Bei der klassischen Infrarot-Trocknung werden gegenüber der konvektiven Trocknung bereits gute Fortschritte erzielt.

Das Trocknen von Lacken, Farben und Beschichtungen zählt mit zu den energieintensivsten Teilprozessen in der industriellen Fertigung von Fahrzeugen und anderen Gütern.

Das Trocknen und Vernetzen von flüssigen Lacken, Farben und Beschichtungen mit IR.C erfolgt je Schichtmaterial, Schichtdicke, Substrat, Aufgabe, Energieart usw. mit speziellen unterschiedlichen funktionellen Keramiken, Emittern und Technologien.

Als primäre Energiearten zur Erzeugung von IR.C finden Verwendung:

- warme Medien (Wasser, Dampf, Öl, Gase)
- Elektroenergie
- Solarenergie

Für diese drei Energiearten eignen sich vorzugsweise Strahler und Module aus Flach- oder Stabemitter mit Reflektor; hier variiert zudem die Strukturierung der Emitter, da sie sowohl einzelnen, ebenflächig oder räumlich angeordnet sein können.

Die Vorteile von IR.C beim Trocknen dünner Schichten o.g. Materialien gegenüber dem klassischen Infrarot sind folgende:

- Es kann die emittierende Wellenlänge so gestaltet werden, dass ein Optimum zur Absorption und Transformation des Schichtmaterials erzielt werden wird.
- Es können die Impulseigenschaften des Emitters so gestaltet werden, dass ein schnelles und bedarfsgerechtes tiefes Eindringen erfolgt.
- Es können die Absorptions- und Emissionseigenschaften der Emitter untereinander so gestaltet werden, dass IR.C-Energien, die nicht auf das Gut treffen, weitestgehend Energie erhaltend im System bleiben.

Nutzen aus der Anwendung der IR.C-Technologie

Bild 18 veranschaulicht die starke Verkürzung des Zeitaufwandes z.B. zum Trocknen und Vernetzen von Lacken mit IR.C 14 gegenüber bestehenden Technologien.

So kann beispielsweise die Trockenzeit am Beispiel Basislack von 16 Minuten mit Konvektion auf 2,5 Minuten (und somit auf 16 %) mit zu IR.C 14 verkürzt werden.

Eine solche Zeitreduzierung bei gegebener Produktivität ist etwa gleichbedeutend mit einer analogen Verkleinerung und Verbilligung der Trocknungsanlage.

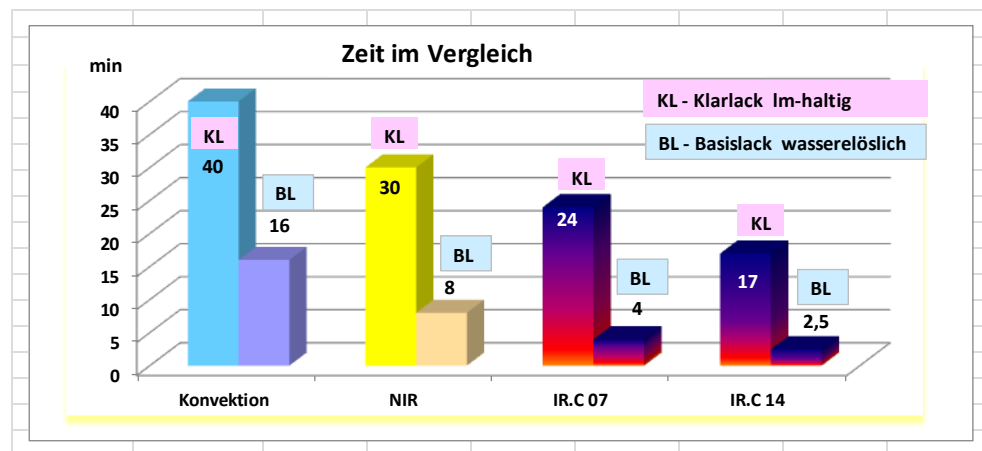


Bild 18: Trocknungszeiten im Vergleich verschiedener Technologien

Aktuell ist IR.C 14 im Jahr 2014 diese Lösung als optimale Kombination von:

- beschleunigtes Abdunsten und Vortrocknen mit Niedrigtemperatur-Strahlern (kleiner 100 °C) mit der Funktionskeramik D1
- intensives Haupt-Trocknen mit Strahlern (350 °C) mit der Funktionskeramik D2
- intensives Nachtrocknen und Polymerisieren mit Strahlern (600 °C) mit der Funktionskeramik P2
- Unterstützung der Kühlung und Lösungsmittelabfuhr durch Konvektion in jedem der genannten Teilschritte

Neben der Zeitverkürzung sind ähnliche Einsparungen bei der Energiemenge und den Energiekosten möglich. Der Vorgang von Trocknung und Vernetzung von Lacken ergab nachweislich - im Vergleich zur Konvektion mit IR.C 14 - eine Senkung auf bis zu 20%.
Quellen: [8], [10], [11], [13].

3.11 Besonderheiten bei Trocknen von Obst, Früchten, Gemüse, Kräutern, Pilzen, Sprossen u.a.

Es sollen hier drei Trocknungs-Technologien miteinander verglichen werden.

- A. natürliche Trocknung mit Sonne und Wind - weltweit am stärksten verbreitet
- B. Trocknung mit Konvektion - dominierend in Industrielle und Handwerk
- C. Trocknen auf Basis IR.C - neu für Industrie, Handwerk und Landwirtschaft

Folgende primäre Energien stehen für das Trocknen mit IR.C zur Auswahl: Solare Energie, Elektroenergie und Energie warmer Medien (Wasser, Gase, Öle)

Dabei können durch die nachstehenden Kriterien deutliche Vorteile von C im Vergleich zu A und B erzielt werden; die Untersuchungen wurden an Apfelchips durchgeführt

Tabelle 12: Vorteile beim Trocknen von Obst mit IR.C im Vergleich

		A natürlich	B konvektiv	C IR.C
Trocknungstemperatur	°C	50	80	60
Restfeuchte	%	12	10	2
Haltbarkeit ohne Konservierung	%	10 %	30 %	100%
sensorische Werte	%	60 %	40 %	100 %
Trockenzeit	h	48	8	2
Investitionsbedarf	%	15 %	100 %	30 %
Wertstoffgehalt	Note (1-5)	3	4	1
Pilzbelastung	Note (1-5)	5	3	1
Schadstoffgehalt	Note (1-5)	2	4	1
Energiebedarf	kWh/kg (%)	0 %	100%	20 %
Entkeimungseffekt	Note (1-5)	5	4	1

Bei der direkten solaren IR.C-Trocknung werden transparente Folienzelte oder mit Blech verkleidete Tunnel oder Kammern mit der Funktionskeramik D2 dotiert oder beschichtet. Damit tritt gegenüber A mit IR.C eine deutliche Verbesserung ein.

Bei industriellen oder gewerblichen Trocknern nach dem Tunnel- oder Kammerprinzip, nach dem Fließbettprinzip oder im Vakuumtrockner werden flache oder stabförmige Emitter eingesetzt, die mit D2 beschichtet sind. Damit tritt mit IR.C eine deutliche Verbesserung ein.

Damit können neben den klassischen Produkten wie Obst, Gemüse, Kräutern, Pilze, Sprossen auch Getreide, Reis, Kaffee und ähnliche körnige Produkte, aber auch Tee und Kaffee vollständig getrocknet werden.

3.12 Abtrocknen von Frischeprodukten wie Salat, Spinat u.a.

Gereinigte und sofort verzehrbare Frischeprodukte bietet zunehmend der Handel, welche in Kühltruhen bei vier Grad Celsius gelagert werden, an.

Nachdem diese Nahrungsmittel gewaschen wurden, erfolgt eine leichte und schonende mechanische Vortrocknung in Zentrifugen bis auf etwa 10 % Oberflächenfeuchte. Später werden diese Produkte unter IR.C im Bereich von 4 ...20 Grad Celsius auf etwa 1 ... 2 % Restfeuchte auf der Oberfläche fertig abgetrocknet. Während dieser Trocknung wird das Blattwerk durch einen Luftstrom ständig in Bewegung gehalten. Damit erreicht man die Abfuhr der Feuchte, ein gegenseitiges Abwischen von Restfeuchte und schließlich eine Durchmischung unterschiedlich abgetrockneter Blätter. Weiterhin wird durch IR.C eine relative gute Pasteurisierung erzielt.

Diese Art der Trocknung ist nach Zeit und Energie wesentlich effizienter als konvektive Technologien im genannten Temperaturbereich. Das Produkt weist eine hohe Frische auf und hat in diesem Zustand eine deutliche längere Haltbarkeit.

Der Handel bietet zunehmend solche sauberen und sofort verzehrbaren Frischeprodukte an, die bei vier Grad Celsius in Kühltruhen lagern.

3.13 Erzeugung von Trinkwasser

Die Gewinnung von Trinkwasser aus dem Meer sowie aus Flüssen, Seen, Brunnen und Oasen mit Hilfe der Solarenergie ist eines der dringendsten, interessantesten und effizientesten IR.C-Projekte. Die Technologie dazu lässt sich prinzipiell dem Trocknen zuordnen, weil hierbei das Wasser aus einer Lösung (z.B. Salzwasser) verdunstet oder verdampft wird. Allerdings ist das primäre Endprodukt nicht wie sonst der getrocknete Rest - z.B. das Salz, sondern eben das Wasser-Kondensat.

Eine Trinkwasseranlage ist prinzipiell wie folgt aufgebaut:

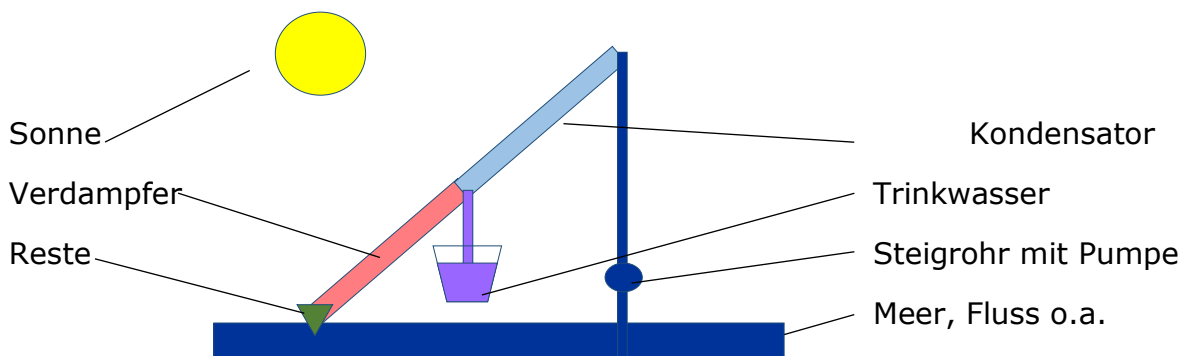


Bild 19: schematischer Aufbau einer solaren Trinkwasseranlage auf Basis IR.C

Das Kernstück ist der Verdampfer. Auf der Sonnenseite befindet sich auf einem Stahlblech die stark absorbierende FC vom Typ A2 mit einem Strahlungsfaktor von 80 ...90 %, d.h. mit $\alpha = 80 \dots 90 \%$ und demzufolge mit der niedrigen Emission $\varepsilon = 20$

...10 %. Damit werden Temperaturen im Stahl von bis zu 300 Grad Celsius möglich. Auf der Innenseite dieses Stahlbleches ist die FC vom Typ D4 vorhanden, welche bei 250 Grad Celsius das IR.C erzeugt und damit hocheffizient unter Resonanz das Wasser verdampft.

Der Wasserdampf steigt nach oben in den Kondensator und wird dort als Trinkwasser durch Kondensation an einem Kühler verflüssigt. Dank D4 und dem damit erzeugten IR.C ist das gewonnene Wasser frei von "Resten" wie Salz, Schmutz und Mikroorganismen; zudem erfolgt ein Schutz des Kondensators vor Sonnenerwärmung durch hochreflektierendes Material. Das bei der Kühlung vorgewärmte Wasser bringt diesen energetischen Vorteil mit in den Verdampfer ein.

3.14 Stimulierung von Saatgut im Zusammenhang mit der Trocknung und Entkeimung

Mit speziellen FC kann die Trocknung und Entkeimung von Saatgut auch mit einer gravierenden Stimulierung des Wachstums von Pflanzen bis auf 150 % und einer deutlichen Einreichung der Wertstoffe in der Pflanze unterstützt werden [5].

4. Technisch-technologische Grundlagen – in Übersichten

Wasser u.a. Flüssigkeiten im Gut

Zu trocknende Güter weisen unterschiedliche Wasseranteile vor und nach der Trocknung auf. Die folgende Gliederung vermittelt dazu einen Überblick

<u>Start</u>		<u>Ziel</u>
0,1 %	z.B. PET-Kunststoffgranulat, ...	auf 0,005 %
1,0 %	z.B. PA-Kunststoffgranulat, Zucker, ...	auf 0,04 %
10 %	z.B. Ziegelbauwerk, Estrich,	auf 1 %
15 %	z.B. Papier	auf 5 %
20 %	z.B. Reis, Getreide, Nudeln, ...	auf 12,5 %
30 %	z.B. Holz	auf 8 ...12 %
40 %	z.B. Kieselgel	auf < 1 %
50 %	z.B. wasserlöslicher Basislack	auf < 1 %
.....		
85 %	z.B. Obst, Gemüse, Suppen, Fleisch	auf 122 %
99 %	z.B. Wasser, Blut, Milch, ...	auf 1 ... 0,04 %

Emitter, Strahler, Module als Baugruppen

A. Primäre Energien und Temperaturen

- Solarenergie: 63 ... 350 Grad Celsius
- Elektroenergie: 160 ... 630 Grad Celsius
- Energie aus Gas: 400 ...1.000 Grad Celsius
- Rest-Wärme in Medien (Wasser, Öl, Gas): 631.000 Grad Celsius

B. Werkstoffe, FC, Größen und Formen

Stahl, Keramik, Quarzglas, Kupfer, Aluminium u.a. als Rohre, Bänder, Kassetten, flache Radiatoren u.a. – innen u/o außen beschichtet mit FC der Typen D1, D2, D3, D4 je nach Bedarf und in folgenden Größen:

- Emitter- bzw. Strahler-Längen: 100 mm ...4.000 mm
- Strahler- bzw. Modulflächen: 1 cm² ... 160 m².

Als Strahler-Formen (mit oder ohne Reflektor) für diese Baugruppen sind möglich:

- Punktstrahler
- Linienstrahler
- Flächenstrahler
- Hauben- oder Tunnelstrahler

C. Anordnung der Strahler - Duplex-Effekt

In die folgenden Trocknerarten gehen die genannten Baugruppen einzeln, gegenüberliegend oder in räumlicher Anordnung ein. Bei diesen beiden zuletzt genannten Anordnungen wird zusätzlich noch der energiesparende Duplex-Effekt erzielt. Dank der speziellen Funktionskeramik FC emittieren diese Oberflächen nicht nur IR.C, sondern absorbieren auch dieses Infrarot. In der Praxis trifft z.B. in einem Trockner ein möglichst großer Teil des IR.C auf das zu trocknende Gut und wird dort weitestgehend absorbiert. Der übrige Teil des von den Strahlern emittierten IR.C geht am Gut vorbei. Dieser Teil wird aber weitestgehend von gegenüberliegenden Strahlern dank der besonderen Eigenschaft der FC wieder absorbiert. Die so wieder absorbierte Energiemenge braucht in diesem Sinne nicht als primäre Energie aufgenommen werden.

D. Trocknerarten mit Bezug auf IR.C

Bei den folgenden Trocknerarten handelt es sich grundsätzlich um bekannte Konstruktionen, die im Wesentlichen mit konvektiver Wärme arbeiten. Wenn ähnliche Wirkprinzipien jetzt alleinig oder in Kombination mit Konvektion mit IR.C arbeiten, gelten folgenden Besonderheiten. Für die Kombination mit der Konvektion gilt prinzipiell Folgendes:

Eine verhaltene Absaugung freigesetzter Feuchte mit einem optimalen Anteil an Spülluft unterstützt die Trocknung. Die frische Spülluft wird dabei mit angesaugt. Sie sollte möglichst kalt und damit relativ trocken sein.

a) Linientrockner

Hiernach werden ein oder mehrere Linienstrahler (i.d.R. Stab – oder Rohrstrahler mit Reflektor) gegenüber einem Gut positioniert. Die Anordnung kann linienförmig, flächig oder räumlich erfolgen. Gut u/o Strahler bewegen sich dabei oder befinden sich in Ruhestellung.

Beispiele: über Gütern auf Transportband, Vibrationsrinne usw., bei Lacktrocknung usw.

b) Flächentrockner

Danach werden ein oder mehrere Flächenstrahler (Module aus Stab – oder Rohrstrahler mit Reflektor, ebenflächige Radiatoren o.a.) gegenüber einem Gut positioniert. Die Anordnung kann flächig oder räumlich erfolgen. Gut u/o Strahler bewegen sich dabei oder befinden sich in Ruhestellung.

Beispiele: bei Lacktrocknung, Bauwerkstrocknung usw.

c) Haubentrockner

Dieser Trocknerart zufolge bilden mehre Linien- u\o Flächenstrahler in räumlicher Anordnung eine Haube über einem Gut. Gut u/o Strahler bewegen sich dabei oder befinden sich in Ruhestellung. Die Haube kann die Form eines Quaders, Prismas oder Zylinders haben. Sie kann aber auch eine Form haben, die genau der 3-D-Kontur des zu trocknenden Gutes entspricht – beispielsweise der Form einer definierten Autotür. Das hat bei IR.C den zusätzlichen Vorteil, dass der Abstand von Strahler zum Gut überall minimal gleich ist.

d) Schranktrockner

Diese Trockner auf Basis IR.C bestehen aus einem oder mehreren (z.B. bis 12) Schubfächern (Rosten). Flach- oder Linienstrahler strahlen i.d.R. beidseitig (von unten und von oben) auf das auf dem Rost befindliche Gut. Die Absaugung der Feuchte mit Spülluft erfolgt entweder nach den genannten Injektor- bzw. Labyrinth-Prinzip.

Beispielgrößen:

- Rostgröße: 400 x 600 mm ca. 0,25 m²
- Etagen 8 mit je zwei Rosten
- Trocknerfläche 4 m²
- Trocknervolumen 0,8 m³
- Trocknerfläche/Volumen 5 m² je m³

e) Durchschub-Tunnel-Trockner

Aufbau und Funktionsweise ist analog wie beim Schranktrockner. Er kann aus einer bzw. aus bis zu 12 Etagen bestehen.

Der Unterschied besteht in folgenden Punkten:

- dieser Trockner ist in der Tiefe um z.B. 5 bis 20 Roste verlängert
- Die beschickten Roste werden vorn mit feuchtem Gut belegt,
- dann kontinuierlich durch den Trockner geschoben und
- am Ende wird das getrocknete Gut entnommen.
- Durch den kontinuierlichen Durchschub können die Abstände zwischen Strahler und Gut weiter verringert und somit die Raumproduktivität in kg je m³ weiter erhöht werden.
- Die Ausstattung mit aktiven Strahlern über die Länge des Trockners kann gemäß der Trocknungskurve und dem verringertem Energiebedarf schrittweise deutlich verringert werden.
- Beschickung und Entnahme können automatisiert aus bzw. in Stapellager mit Rosten erfolgen.

Beispielgrößen:

• Rostgröße	400 x 600 mm	ca. 0,25 m ²
• Etagen	8	
• Trockner nebeneinander	2	
• Trockner hintereinander	20	
• Trocknerfläche der Anlage	80 m ²	
• Anlagenvolumen	14 m ³	
• Trocknerfläche/Volumen	5,7 m ² je m ³	

Mit der Größe „Trocknerfläche/Volumen“ ist dieser Trockner, verglichen zu dem vorherigen Schranktrockner und den nachfolgenden Bandtrockner, unübertroffen.

f) Band-Tunnel-Trockner

Dieser Trockner hat bei einem kontinuierlichen Betrieb die Vorteile des Durchschub-Tunnel-Trockners. Er kann aus einem bzw. bis zu acht Bändern bestehen.

Der Unterschied äußert sich in folgenden Punkten:

- Das Gut wird kontinuierlich auf das oberste Band aufgetragen.
- Am Ende des ersten Bandes wird das Gut auf das nächste Band übertragen, dabei wird es i.d.R. gewendet usw.
- Entsprechend der fortschreitenden Trocknung sinkt der Energieverbrauch und das Volumen wird kleiner. Demzufolge sinkt die Zahl der installierten Strahler hyperbolisch und die Bandgeschwindigkeiten werden von Band zu Band geringer, damit wird eine gleichmäßig hohe Bandbeladung erreicht.
- Die Strahler auf der Basis von Elektroenergie oder warmer Medien sind einseitig jeweils über dem Band oder ggf. auch zusätzlich noch unter dem Band angeordnet.

Beispielgrößen:

• Bandgröße	2.000 x 10.000 mm	= 20 m ²
• Bänder	8	
• Trocknerfläche der Anlage	160 m ²	
• Anlagenvolumen	40 m ³	
• Trocknerfläche/Volumen	4 m ² je m ³	

g) Solar-Trockner als Haube, Schrank, Tunnel u.a.

Hierzu gibt es drei grundlegende Technologien auf Basis FC:

- Kunststoffolie aus PE, PP o.a. mit ein- oder aufgebracht FC hat eine Mehrfachfunktion:
 - Absorption der Solarenergie

- Transformation in ein bedarfsgerechtes Spektrum
- Emission in eben diesem Spektrum zusammen mit Impulsen auf das Gut

Hier liegen die Temperaturen etwa im Bereich zwischen 4080 Grad Celsius. Die Solarenergie wird direkt in IR.C-Energie umgewandelt und in ein Trockengut gebracht. Das ermöglicht eine Effizienzverbesserung im Vergleich zum gewöhnlichen solaren Trocknen mit Kunststoffolie, aber ohne FC im Bereich von 25 ...40 %.

- Metallblech mit zwei verschiedenen Arten von FC:
 - auf der Sonnenseite - Absorption der solaren Energie
 - auf der Seite des Gutes - Emission des erforderlichen IR.C

Hier liegen die Temperaturen etwa im Bereich zwischen 200300 Grad Celsius. Die solare Energie wird direkt über die Wärmeleitung des Metallblechs in IR.C-Energie umgewandelt und in ein Trockengut gebracht. Das ermöglicht eine Effizienzverbesserung im Vergleich zum gewöhnlichen solaren Trocknen mit Kunststoffolie, aber ohne FC im Bereich von 40 ...100 %. Zusätzlich können noch Güter getrocknet, gebacken, geröstet, sterilisiert, gegart, polymerisiert usw. werden, für die höhere Prozesstemperaturen im genannten Bereich erforderlich sind. Zusätzlich kann Trinkwasser gewonnen werden.

- Medium mit zwei verschiedenen Arten von FC:
 - Auf der Sonnenseite arbeitet ein Radiator (flach ohne Konzentration oder (ein Rohr mit CSP-Konzentration), der mit FC vom Typ A2 beschichtet ist. Im Radiator werden Salz, Öl, Wasser, Dampf u.a. erwärmt und in einen gut isolierten Speicher geleitet. Je nach Medium und Aufgabe können so Temperaturen im Medium von 801.000 Grad Celsius erzeugt und gespeichert werden.
 - In einer wirtschaftlich sinnvollen Entfernung (beispielsweise bis zu einem km) werden Emitter bzw. Strahler mit diesen warmen Medien versorgt. Bei denen befindet sich auf der dem Trockengut zugewandten Seite eines Radiators eine FC vom Typ D1D7.

Die solare Energie wird hier also indirekt über einen Medienspeicher an einem anderen Ort und ggf. zu einer anderen Zeit in IR.C-Energie umgewandelt und in ein Trockengut gebracht. Das ermöglicht eine Effizienzverbesserung im Vergleich zum gewöhnlichen solaren Trocknen mit Kunststoffolie, aber ohne FC im Bereich von bis zu 200 %. Zusätzlich können noch Güter getrocknet, gebacken, geröstet, sterilisiert, gegart, polymerisiert usw. werden, für die höhere Prozesstemperaturen im genannten Bereich erforderlich sind; zusätzlich kann Trinkwasser gewonnen werden. Eine solche Technologie kann auch in Zeiten ohne oder mit nur geringem Solaraufkommen genutzt werden.

h) Vakuum-Trockner

Diesbezügliche Hauben, Schränke, Durchlaufanlagen u.a. können mit zusätzlich integrierten IR.C-Baugruppen die Effizienz und Produktqualität erheblich verbessern. Bei Vakuum fehlt bekanntermaßen die konvektive Komponente der sonst üblichen Energieübertragung. Für die Übertragung von IR.C vom Emittor auf das Gut ist das Vakuum kein Hindernis. Im Gegenteil: es unterstützt die Übertragung von IR.C, da nur relativ kleine Mengen an Wasserdampf bzw. Luftfeuchte als Hindernis auftreten. Die Effizienzverbesserung wird auf Basis erster Ergebnisse o.g. Anwendungen wenigsten auf 30 % geschätzt. Bezogen auf die extrem hohen Investitionskosten z.B. bis zu zehn Mio. Euro bezogen auf 100 m² entspräche eine solche Effizienzverbesserung einer Einsparung von Investitionen in Höhe von drei Mio. Euro im Vergleich zu einem dazu relativ geringen Aufwand für die Ausrüstung mit IR.C-Technik.

i) Fließbett-Trockner

Bei konvektiven Fließbett-Trocknern wird bekanntlich warme Luft zur Erfüllung folgender drei Aufgaben eingebracht:

- a) Sicherung einer ständigen Bewegung des Gutes auf dem Fließbett
- b) Übertragung von Wärme auf das Gut zur Freisetzung der gebundenen Feuchte
- c) Abfuhr der freigesetzten Feuchte

Bei Fließbett-Trocknern auf Basis von IR.C wird die oben genannte Aufgabe b) durch das IR.C ersetzt. Dieses Infrarot wird wesentlich effizienter zur Freisetzung der Feuchte in das Gut eingebracht.

Die Aufgaben a) und b) werden modifiziert – es wird keine warme, sondern kalte Luft eingebracht – z.B. 10 ...20 Grad Celsius mit 50 % Feuchte. Im Verlaufe der Trocknung erwärmt sich die Luft am Gut z.B. auf 60 ...70 Grad Celsius. Damit sinkt theoretisch deren Feuchte auf z.B. 10 ...20 %. In diesem Zustand erhöht sich die Aufnahmefähigkeit der Luft an Feuchte beachtlich. Das führt zu einem weiteren Effizienzgewinn bei dieser Trocknung.

j) Vibrations-Trockner

Bei klassischen Vibrations-Trocknern wird gewöhnlich Kontaktwärme in den Boden oder in die Wanne als vibrierenden aktiven Teils der Anlage eingebracht. Zusätzlich kann noch konvektive Wärme über das Gut zugeführt werden.

Wenn hier IR.C integriert wird, dann bestehen dazu zwei Möglichkeiten:

a) Boden bzw. Wanne werden mit FC beschichtet - damit wird neben der Kontaktwärme im Moment der unmittelbaren Berührung des Gutes mit der Wandung auch noch IR.C eingebracht und zwar in dem Moment, wenn das Gut keinen unmittelbaren Kontakt hat. Dieser Zeitanteil wird auf mehr als 75 % geschätzt.

b) Anstelle von konvektiver Wärme wird von oben IR.C durch Strahler eingebracht. Ein Teil der bisher üblichen konvektiven Wärme dient nur noch als Spühl-Luft zur Abfuhr der Feuchte.

k) Rohr-Trockner

Derzeit werden solche Trockner zum Trocknen und Vernetzen von Beschichtungen auf Oberflächen von langen oder "endlosen" Stabprofilen, Rohren, Drähten, Bändern, Bahnen aus Metall, Kunststoff, Textil, Holz usw. eingesetzt und in der Regel konvektiv beheizt. Der Vorteil besteht darin, dass die innere Geometrie des Trockners sich relativ gut an die Größe und an das Profil des Gutes anpasst und damit energetische und produktive Vorteile entstehen.

Diese Vorteile werden noch um ein Vielfaches größer, wenn solche Rohr-Trockner innen mit FC beschichtet sind und konzentrisch IR.C auf die Oberfläche des Gutes eingebracht wird. IR.C, welches nicht unmittelbar auf die Gutoberfläche trifft, wird von gegenüberliegenden Flächen, die mit FC beschichtet sind, absorbiert und gleichzeitig wieder emittiert. Dieser bereits oben vorgestellte Duplex-Effekt trägt hier besonders zur Verbesserung der Energieeffizienz bei - gilt aber prinzipiell für alle Trocknungstechniken auf Basis IR.C mit räumlich angeordneten und mit FC beschichteten Strahlern.

E. Synergie-Effekte beim Trocknen mit IR.C

Das Hauptziel beim Trocknen ist natürlich ein effizient und ausreichend getrocknetes finales Gut.

Häufig ist aber das Trocknen nur eine erforderliche Vorstufe für nachfolgende oder zeitlich synchrone weitere technologische Prozessstufen. Dazu zählen das Erwärmen, Schmelzen, Polymerisieren, Sterilisieren, Pasteurisieren u.a.

Unter den klassischen Bedingungen der Konvektion werden dabei i.d.R. nur die konvektiven Parameter verändert wie Temperatur, Feuchte, Druck und Geschwindigkeit; ggf. werden andere Technologien mit eingebracht - z.B. die UV-Technologie zum Aushärten (Polymerisieren) von Lack.

Bei der thermischen Bearbeitung der Güter im Rahmen der genannten Prozessstufen auf Basis IR.C besteht hier die Besonderheit darin, dass je nach der Art der Prozessstufen, bedarfsgerecht unterschiedliche FC und damit jeweils gezielte IR.C eingesetzt werden können. Durch diese Differenzierung von IR.C können insgesamt erhebliche Effizienz- und Qualitätsvorteile gegenüber der Konvektion erreicht werden.

FAZIT

Die Anwendung des Impuls-Infrarot auf Basis funktioneller Keramiken (IR.C) bei der Trocknung und bei angrenzenden Technologien erlaubt den Energie- und Zeitverbrauch und somit die variablen Kosten wesentlich zu senken, die Produktqualität und somit die Verkaufschancen deutlich zu verbessern sowie Konstruktion und Technologie zu vereinfachen, zu erleichtern und zu verbilligen.

LITERATUR

[1] Rachimov, R.Ch.; John, P.: Mechanismus zur Erzeugung von Infrarotimpulsen mit funktionellen Keramiken. QUCOSA, TU Bergakademie Freiberg, 14.03.2014;
<http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:bsz:105-qucosa-135637>

[2] Рахимов Р.Х. Устройства сушки, стерилизации, обогрева, гриль нового типа с активными элементами из функциональной керамики. Новые материалы и приборы. Тезисы докладов I международной научной конференции. Ташкент, 2-4 ноября 1994 г. с.47

[3] <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/165619/umfrage/ernteverlust-durch-schadorganismen/>

<http://www.zeit.de/wirtschaft/2011-03/hunger-ernte-verluste>

http://www.brot-fuer-die-welt.de/fileadmin/mediapool/2_Downloads/Kirche_und_Gemeinde/Ernaehrung/Aktuell_35_Lebensmittelverschwendung_Internet.pdf

[4] Рахимов Р.Х., Ермаков В.П. Автоматическая система управления процессом сушки. Международная научная конференция "Infra-2000". Сборник научных статей. Т. 2000, с.202-204

[5] Рахимов Р.Х. СТИМУЛЯЦИЯ РАЗВИТИЯ РАСТЕНИЙ ИЗ СЕМЯН ОБРАБОТАННЫХ ИМПУЛЬСНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ, ГЕНЕРИРУЕМЫМ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ КЕРАМИКОЙ; Академия наук Республики Узбекистан; Заведующий лабораторией №1 Института Материаловедения

[6] Рахимов Р.Х., Ермаков В.П; Конвейерная сушка овощей и фруктов при повышенной влажности воздуха Труды международной конференции "Возобновляемые источники энергии и гелиоматериаловедение" Ташкент 2005 г. 29-30 сентября с. 133-136

[7] Рахимов Р.Х., Ермаков В.П. Конвейерная сушка риса и кукурузы при повышенной влажности воздуха. Труды международной конференции "Возобновляемые источники энергии и гелиоматериаловедение" Ташкент 2005 г. 29-30 сентября с. 125-130

[8] Рахимов Р.Х., Ермаков В.П. Применение функциональной керамики для сушки красок, полимеризации высокомолекулярных соединений и вулканизации резин. Труды международной конференции "Возобновляемые источники энергии и гелиоматериаловедение" Ташкент 2005. с. 228-232

[9] Рахимов Р.Х., Ермаков В.П. Применения функциональной керамики в процессах сушки макаронных изделий. Труды международной конференции "Возобновляемые источники энергии и гелиоматериаловедение" Ташкент 2005. с. 118-123

[10] John, P.: Schnelle und energiesparende Trocknung von Wasserlacken - IR.C und Konvektion kombiniert. JOT Journal für Oberflächentechnik 6/2009

[11] Wollweber, S.: Lacktrocknung mit Infrarot; JOT Journal für Oberflächentechnik 6/2000; S. 34, 35

[12] Rauch, P.: Trocknung von feuchten Bauteilen mit einer Infrarotflächenheizung; <http://www.ib-rauch.de/bautens/infrarot.html>. In Bauen & Wohnen

[13] Reh, W.; John, P.: Schneller, energiesparend und materialschonend trocknen. JOT Journal für Oberflächentechnik 2/2008, S.28/29