

# Thermischer Aufschluss von Rapssaat

## Hochfrequenzenergie verbessert die mechanische Abpressung

*Eine thermische Vorbehandlung von Rapssaat ermöglicht grundsätzlich eine Steigerung der Ölausbeute bei einer mechanischen Ölgewinnung. Negative Effekte auf die Ölqualität sind nach bisherigen Ergebnissen nicht zu erwarten; teilweise wird durch eine Inaktivierung von lipolytischen Enzymen sogar eine Qualitätsverbesserung erreicht. Der Einsatz von Hochfrequenzenergie bei der thermischen Vorbehandlung von Ölsaaten stellt damit einen grundsätzlich denkbaren Ansatzpunkt für zukünftige Entwicklungen in der Ölsaatenverarbeitung dar.*

Dipl.-Ing. agr. Christoph Oberndorfer ist als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Agrartechnik in Göttingen (Leitung: Prof. Dr. Wolfgang Lücke), Gutenbergstrasse 33, 37075 Göttingen, tätig; e-mail: cobernd@gwdg.de

### Schlüsselwörter

Thermische Behandlung von Rapssaat, Hochfrequenzenergie, Rapsölgewinnung, Ölqualität

### Keywords

Thermal treatment of rapeseed, RF-energy, oil extraction, oil quality

Literaturhinweise sind vom Verlag unter LT 99 509 erhältlich oder über Internet <http://www.landwirtschaftsverlag.com/landtech/local/fliteratur.htm> abrufbar.

Der Einsatz von Hochfrequenz- (HF-) und Mikrowellenenergie ist vor allem im Bereich der Lebensmittelindustrie mittlerweile ein gängiges Verfahren, wenn es um die Zubereitung und Desinfektion von Convenience-Food geht. Weniger bekannt ist, dass sich diese Energieformen prinzipiell auch für andere Zwecke im Rahmen der Verarbeitung landwirtschaftlicher Produkte nutzen lassen. Ein Beispiel dafür ist die thermische Behandlung von Rapssaat zur Verbesserung der Ausbeute und Qualität bei der Pflanzenölgewinnung. Diese Verfahren haben bisher keine praktische Relevanz, scheinen aber aufgrund einiger Vorteile das Potential für zukünftige Nutzungen zu bieten.

### Physikalische Grundlagen der Hochfrequenzerwärmung

Zum besseren Verständnis soll zunächst auf einige physikalische Grundlagen der Anwendung von HF-Energie für thermische Zwecke eingegangen werden [1, 2].

Bei der in den vorliegenden Versuchen verwendeten Energieform handelt es sich um hochfrequente elektromagnetische Wellen mit einer Schwingungsfrequenz  $f$  von 27,12 MHz, was entsprechend der Gleichung (1)

$$\lambda_0 = \frac{c}{f} \quad \left( \text{mit } c_{\text{Luft}} = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right) \quad (1)$$

einer Freiraumwellenlänge  $\lambda_0$  von rund 11 m entspricht.

Der Erwärmungsmechanismus unterscheidet sich von gängigen Methoden, bei denen die für die Temperaturerhöhung notwendige Energie in Form von Wärme durch Konvektion, Wärmeleitung oder -strahlung von außen zugeführt wird, grundsätzlich dadurch, dass die Energieübertragung ohne Aufheizung der Umgebung über das Hochfrequenzfeld stattfindet. Die Wärmeentwicklung erfolgt erst durch Wechselwirkung mit polaren Substanzen und einer damit verbundenen Absorption der im elektromagnetischen Feld gespeicherten Energie im Gutinneren („Prinzip der inneren Erwärmung“). Dabei entwickeln im Probenmaterial enthaltene Stoffe mit Dipolcharakter („Dielektrika“) das Bestreben, sich entsprechend dem elektromagnetischen Wechselfeld auszurichten. Dies führt zu einer durch die Mas-

senträgheit der Moleküle bedingten Rotationsbewegung, was wiederum durch verstärkte intermolekulare Reibung eine Temperaturerhöhung bedingt. Das Ausmaß dieser Wechselwirkung wird durch die Durchlässigkeit des Materials für HF-Wellen bestimmt und mathematisch als komplexe Größe, die meist auf die verlustfreie dielektrische Durchlässigkeit des Vakuums bezogen wird, beschrieben:

$$\frac{\epsilon^*}{\epsilon_0} = \frac{\epsilon'}{\epsilon_0} - j \cdot \frac{\epsilon''}{\epsilon_0} = k' - j \cdot k'' \quad (2)$$

- $\epsilon^*$ : Dielektrische Durchlässigkeit für HF-Wellen
- $\epsilon_0$ : Dielektrische Durchlässigkeit für HF-Wellen im Vakuum
- $k'$ : Relative Dielektrizitätskonstante (Speicheranteil)
- $k''$ : Relative Verlustzahl (Verlustanteil)

Durch die Absorption der Strahlung im Dielektrikum tritt dabei eine Verlustleistung  $P_V$

$$P_V = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot \epsilon_0 \cdot k'' \cdot E_{\text{eff}}^2 \quad (3)$$

- $f$ : Schwingungsfrequenz der elektromagnetischen Wellen
- $\epsilon_0$ : Absolute Dielektrizitätskonstante im Vakuum
- $E_{\text{eff}}$ : Effektive Feldstärke

auf, die schließlich für eine differentiell kleine Volumeneinheit in Abhängigkeit von der Applikationsdauer  $\Delta t$  zu einer Temperaturerhöhung  $\Delta T$  führt:

$$\Delta T = \frac{P_V \cdot \Delta t}{\rho \cdot C_p} \quad (4)$$

- $\rho$ : Dichte des Dielektrikums
- $C_p$ : Spezifische Wärmekapazität des Dielektrikums

Aufgrund der Absorption der HF-Energie durch das Dielektrikum ist mit zunehmender Eindringtiefe eine exponentielle Abnahme der Feldstärke und der Verlustleistung feststellbar, was bei großen Körpern zur Ausbildung einer Erwärmungszone im Randbereich führt. Besondere Bedeutung kommt in diesem Zusammenhang der theoretischen Eindringtiefe der HF-Wellen zu, die in der Regel als diejenige Eindringtiefe definiert wird, bei der die Verlustleistungsdichte auf 37 % ( $\approx 1/e$ ) ihres Ausgangswertes reduziert ist. Sie lässt sich in der Theorie für einen unendlich ausgedehnten homogenen Körper, den sogenannten „physikalischen Halbraum“, näherungsweise durch die Gleichung (5)

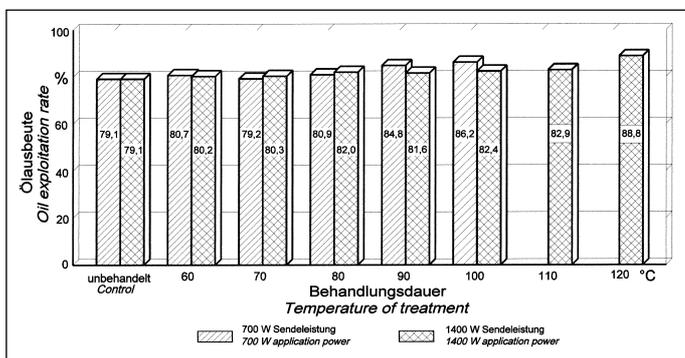


Bild 1: Auswirkungen einer thermischen Vorbehandlung von Rapssaat mit Hochfrequenzenergie ( $f=27,12$  MHz) bei unterschiedlichen Sendeleistungen und Temperaturen auf die Ölausbeute bei mechanischer Extraktion

Fig. 1: Influence of thermal pretreatment of rapeseed using Rf-energy ( $f=27,12$  MHz) with different power stages and temperatures on oil yield, when mechanically extracted

$$S_{\text{theoret.}} = \frac{\lambda_0 \cdot \sqrt{k'}}{2\pi \cdot k''} \quad (5)$$

$\lambda_0$ : Wellenlänge im Vakuum beschreiben. Als grobe Faustregel für praktische Anwendungen gilt, dass die Leistung des HF-Feldes auf einer Strecke, die einem Zehntel der Wellenlänge entspricht, auf etwa 37 % zurückgeht.

Es muss abschließend noch darauf hingewiesen werden, dass es sich bei biologischen Materialien nicht um homogene Körper aus einem einheitlichen Stoff handelt, sondern um ein Gemisch verschiedener Substanzen, das ungleichmäßige Konzentrationsverteilungen von dielektrisch unterschiedlich aktiven Stoffen aufweist, weshalb die dargestellten Grundsätze meist nur in sehr begrenztem Maß exakte Aussagen über das Erwärmungsverhalten ermöglichen. Als Resultat tritt häufig eine ungleichmäßige Temperaturverteilung mit einer stärker erhitzten Randschicht auf, in der der Hauptteil der Feldenergie absorbiert wird. Aufgrund der großen Wellenlänge von rund 11 m kann man bei der Applikation von HF-Energie jedoch davon ausgehen, dass dieser Effekt kaum zum Tragen kommt, da die Abmessungen der relevanten landwirtschaftlichen Produkte im Verhältnis zur Wellenlänge sehr klein sind. Die Randzone ist in diesem Fall so weit ausgedehnt, dass sie sich aufgrund der geringen Produktmaße über die gesamte Probe erstreckt. Eine stärkere Erwärmung dieser Randzone findet zwar prinzipiell statt, für praktische Anwendungen kann jedoch von einer gleichmäßigen Erwärmung und einer homogenen Temperaturverteilung im gesamten Probenmaterial ausgegangen werden. Dies ist ein wesentlicher Vorteil der Applikation von HF-Energie, da Vergleichbares bei der Verwendung von Mikrowellenenergie für thermische Zwecke nicht zu realisieren ist, da hier im Gegensatz zum Einsatz von HF-Energie sehr ausgeprägte thermische Randzonen sowie durch Wellenreflexion und -überlagerungen im vergleichsweise ungerichteten Mikrowellenfeld sogenannten „hot spots“ (lokale Überhitzungen) auftreten.

### Aufbau der Versuchsanlage

Im Wesentlichen besteht der für die dargestellten Untersuchungen verwendete Versuchsaufbau aus einem HF-Generator, der die notwendige Grundschwingung von 27,12 MHz erzeugt, einem automatischen Anpassungs- und Regelungsnetzwerk, das eine optimale Umsetzung der HF-Energie im Material gewährleistet, und dem Applikator. Dieser ist wie ein einfacher Plattenkondensator aufgebaut und besteht aus zwei in ihrem Abstand variablen Aluminiumplatten als Elektroden, zwischen denen die Probe plaziert wird. Anschließend wird der Plattenabstand soweit verringert, dass die beiden Kondensatorplatten in direktem Kontakt zum Probenmaterial stehen. Dies ist wichtig, da ein Luftspalt zwischen Platte und Produkt das elektromagnetische Feld und damit die Erwärmung beeinflusst. Um trotz der elektrischen Isolationswirkung der Luft eine Erwärmung des Probenmaterials zu erreichen, müssen sehr hohe Spannungsdifferenzen bis zu mehreren Kilovolt aufgebaut werden, die nahezu die kritische Durchschlagfeldstärke erreichen, so dass es zu Funkenüberschlägen und Verbrennungen kommen kann.

### Durchführung der Versuche

Bei den Versuchen wurde handelsüblicher 00-Raps in Proben von 500 g in einem rechteckigen Behälter aus dielektrisch inaktivem Kunststoff zwischen den Kondensatorplatten positioniert und mit zwei unterschiedlichen Leistungsstufen (700 W und 1400 W) auf Endtemperaturen von 60 °C bis 120 °C erwärmt. Parallel dazu wurde als Vergleich für beide Versuchsreihen eine unbehandelte Kontrollprobe gezogen. Das behandelte Material wurde mit einer Laborschneckenpresse IBG Monforts Typ CA 59 G unter konstanten Bedingungen (Presskopftemperatur 70 °C, Schneckendrehzahl 50 min<sup>-1</sup>, Ø Düse 6 mm) abgepresst und die Menge des abfließenden Rohöls gravimetrisch erfasst. Aus diesem Wert wurde die Ölausbeute als relative Größe berechnet, indem die erfasste

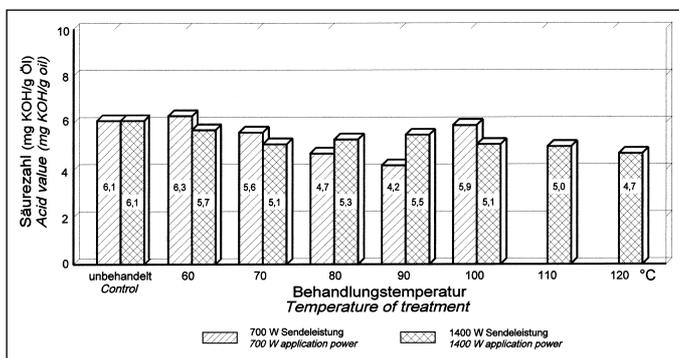


Bild 2: Einfluss einer thermischen Vorbehandlung von Rapssaat mit Hochfrequenzenergie ( $f=27,12$  MHz) bei verschiedenen Sendeleistungen und Temperaturen auf die Säurezahl des mechanisch gewonnenen Öles

Fig. 2: Influence of thermal pretreatment of rapeseed using Rf-energy ( $f=27,12$  MHz) with different power stages and temperatures on the acid value, when mechanically extracted

Rohölmenge auf die im Ausgangsmaterial (Ölgehalt 47,8 % nach Soxhlet) enthaltene Gesamtölmenge bezogen wurde.

Für die nachfolgende Qualitätsanalyse wurde das Rohöl einer Reinigung durch Sedimentation unterzogen und anschließend gemäß den amtlichen Untersuchungsmethoden nach § 35 LMBG [3] auf den Gehalt an freien Fettsäuren (Säurezahl) analysiert.

### Ergebnisse

Bei der Ölausbeute (Bild 1) ist eine deutliche Steigerung des Abpressgrades von 79,1 % bei den unbehandelten Kontrollvarianten bis auf maximal 88,8 % in der besten Variation bei einer Sendeleistung von 1400 W und einer Temperatur von 120 °C zu erkennen. Dabei deutet sich auch an, dass die Versuchsreihe mit der höheren Sendeleistung von 1400 W vor allem im höheren Temperaturbereich oberhalb von 90 °C einen stärkeren Anstieg aufweist als die Varianten mit der niedrigeren Sendeleistung. Allerdings konnte die Reihe mit dem geringeren Energieeintrag aus technischen Gründen nicht konsequent bis zum Ende durchgeführt werden, da die Sendeleistung wegen zu hoher Wärmeverluste des Probenbehälters nicht ausreichte, um die hohen Temperaturen zu erreichen.

Bei den im Öl enthaltenen freien Fettsäuren wurde ein in seiner Tendenz deutlich erkennbarer Rückgang von 6,1 mg KOH/g Öl bei den Kontrollvarianten auf minimal 4,2 mg KOH/g Öl festgestellt (Bild 2). Bemerkenswert ist, dass bis auf eine Ausnahme alle Proben niedrigere und somit bessere Werte als die unbehandelten Varianten aufweisen. Weitere Untersuchungen an denselben Proben zeigten, dass dieser Effekt auf eine effiziente Inaktivierung lipolytischer Enzyme durch die HF-Behandlung zurückzuführen ist. Dadurch wird verhindert, dass im Zuge der Pressung eine verstärkte Abspaltung von Fettsäuren aus den Triglyceriden stattfinden kann, obwohl das Material und das abfließende Öl Temperaturen erreichen, die optimale Reaktionsbedingungen für diese Enzyme bieten.