

# Immer noch speziell? – Verfahren zur Ernte von Faserhanf

Hans-Jörg Gusovius, Thomas Hoffmann, Jörn Budde, Carsten Lühr

Etwa zwanzig Jahre nach der Wiedezulassung des Hanfanbaus in Deutschland steht eine Vielzahl unterschiedlicher Ernteverfahren zur Verfügung. Etablierte, aber auch neuere Maschinenentwicklungen erlauben die Bereitstellung von Rohstoffen für die industrielle Weiterverarbeitung oder für die Verwendung als Nahrungs- oder Futtermittel. Der erforderliche Spezialisierungsgrad führt zwar zu hohen, aber – im Vergleich zu etablierten Kulturen – nicht außergewöhnlichen Verfahrenskosten. In der vorliegenden Studie wurden bestehende Erntesysteme unter heimischen Anbaubedingungen analysiert. Technische Weiterentwicklungen sind jedoch erforderlich, um die Wettbewerbssituation sowohl um Anbauflächen als auch der aus Faserhanf hergestellten Halbzeuge und Produkte zu verbessern.

## Schlüsselwörter

Faserhanf, Ernte, Verfahren, Technologien, Bewertung

Die Wiedezulassung des Hanfanbaus in Deutschland im Jahre 1996 hatte eine schnelle Zunahme von Anbauflächen und die Etablierung einer Vielzahl von Verarbeitungsbetrieben zur Fasergewinnung zur Folge. Nach einer euphorischen Anfangsphase durchlebte die Branche bis in das erste Jahrzehnt des neuen Jahrtausends eine wechselvolle Entwicklung. Der eher mittel- bis langfristige Zugang von Produkten in die industrielle Verwertung sowie auch technologische Probleme entlang der Wertschöpfungskette führten nahezu zum Erliegen von Anbau und Verarbeitung (BRÜCKNER und STEGER 2013).

Im Wesentlichen unabhängig von der Rohstoffart und -herkunft ist in den vergangenen drei Jahrzehnten jedoch ein zunehmendes Interesse an Naturfasern in verschiedenen Industriebereichen, insbesondere in der Verbundwerkstoffindustrie, zu verzeichnen. Allein zwischen 2005 und 2012 erhöhte sich die in der europäischen Automobilindustrie eingesetzte Menge an Bastfasern um fast 40 % auf ca. 30.000 t a<sup>-1</sup> (DAMMER et al. 2013). Da einerseits das Interesse an regional erzeugten Rohstoffen zunimmt und sich andererseits neue Vermarktungsmöglichkeiten für weitere Bestandteile der Hanfpflanze ergeben, sind Stand und Perspektiven der verfahrenstechnischen Lösungen zur Ernte und Bereitstellung unter heimischen Bedingungen einer kritischen Beurteilung zu unterziehen.

## Ausgangslage

Traditionell orientierte sich die technische Ausstattung landwirtschaftlicher Betriebe oder auch von Lohndienstleistern an dem Erfordernis, möglichst ganzstängelige Faserpflanzen für die weitere Verarbeitung zu textilen Rohstoffen zu ernten. Obwohl infolge der Verlagerung der textilen Wertschöpfung nach Asien das Interesse an nicht oder wenig eingekürztem Pflanzenmaterial zurückging, wurden im Rahmen von Forschungs- und Entwicklungsvorhaben Anstrengungen unternommen, um auch für diese Bereitstellungskette moderne agrartechnische Lösungen zu entwickeln (Abbildung 1 und 2).



Abbildung 1: Prototyp einer Erntemaschine des IWNIRZ für die querparallele Ablage der Hanfstängel bei gleichzeitiger separater Gewinnung der Blüten- bzw. Samenstände (Foto: R. Kaniewski)



Abbildung 2: Prototyp einer Erntemaschine für die querparallele Ablage der Hanfstängel (Fa. Kranemann) (Foto: H.-H. Kranemann)

Zwischen Ende der 90er Jahre und 2007 wurden sowohl durch das polnische Institut für Naturfasern und Medizinalpflanzen (IWNIRZ) in Poznan (Abbildung 1) (PARI et al. 2015) als auch durch das deutsche Unternehmen für Sondermaschinenbau Kranemann GmbH (Klocksinn/Blücherhof) (Abbildung 2) Erntemaschinen entwickelt und erprobt, um Hanfstängel nach der Mahd in paralleler Anordnung auf dem Feld abzulegen. Damit ist die wesentliche Voraussetzung geschaffen, das anschließend getrocknete und geröstete Pflanzenmaterial in dieser Ordnung zu Rundballen zu pressen und durch das sogenannte Schwingen für die textile Weiterverarbeitung aufzubereiten (AMADUCCI und GUSOVIVUS 2010). Damit ordnet sich dieses Verfahren in der schematischen Darstellung von Prozessfolgen für die Ernte von Faserhanf in die Prozessschritte 14 bis 17 bzw. 6 in Abbildung 3 ein. Da auch das Interesse an einer Wiederbelebung der Textilproduktion aus heimischen Bastfaserpflanzen in Europa zunimmt, ist von einer Nachfrage solcher Erntetechnikentwicklungen z.B. in Italien oder auch in osteuropäischen Ländern auszugehen.

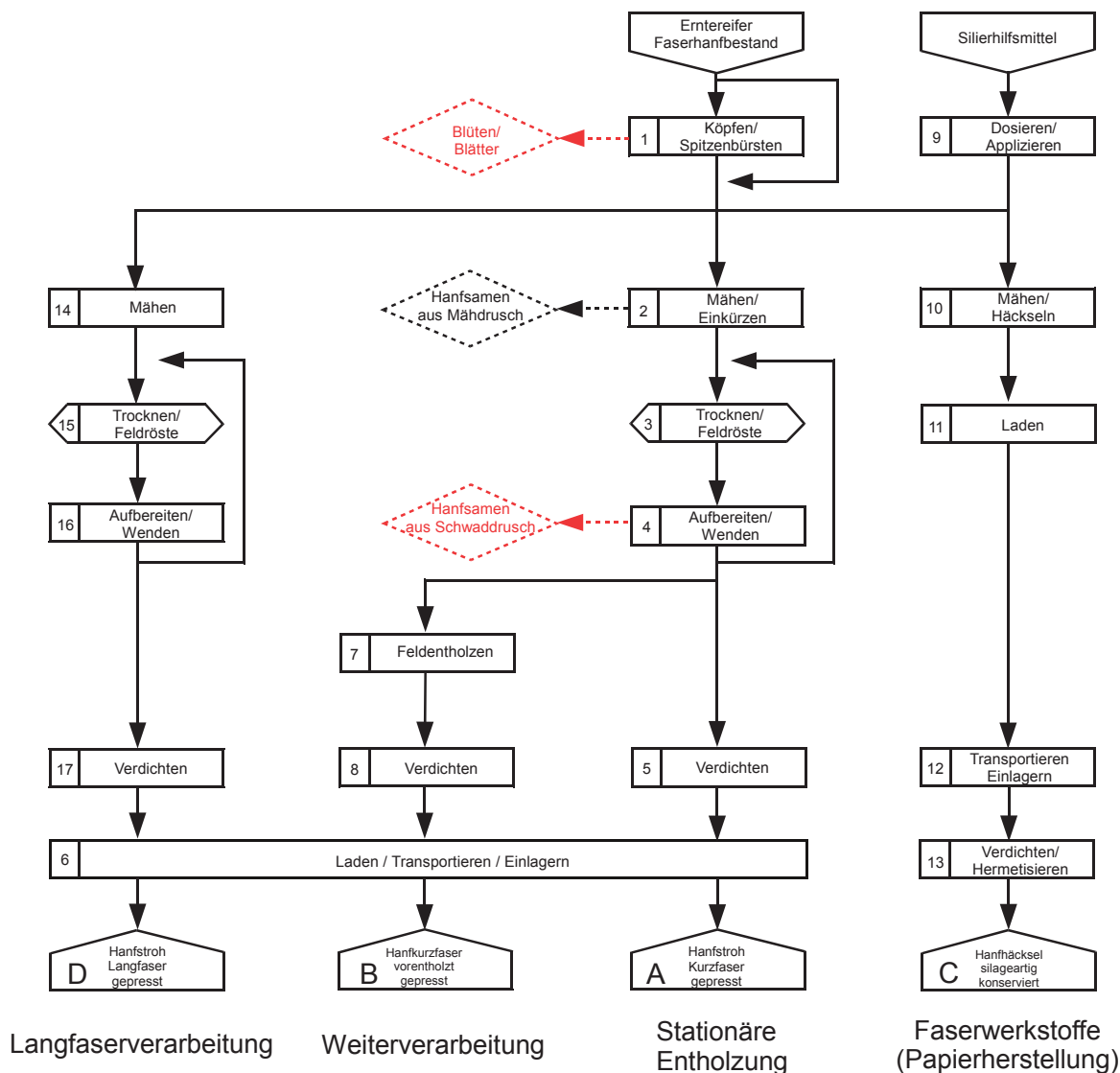


Abbildung 3: Prozessfolgen für die Ernte von Faserhanf

### Erntesysteme für die ausschließliche Stängelnutzung

Vorrangig haben sich jedoch der Anbau und die Bereitstellung von Naturfaserrohstoffen für die weitere Verarbeitung in technischen Produkten der Dämm- oder Verbundwerkstoffindustrie entwickelt. In diesen Märkten besteht ein enormer Preisdruck, sodass sich technische Entwicklungen für die Ernte im Wesentlichen auf hohe Flächenleistungen sowie geringe Verfahrenskosten orientiert haben. Bestimmend für die Entwicklungen war und ist das Erfordernis, die langen Pflanzenstängel einzukürzen. Nur so können Folgeprozesse der Schwadbearbeitung und des Kompaktierens in Quader- bzw. Rundballen ohne Komplikationen ablaufen. Dazu wurden Mitte der 90er Jahre bereits Maschinensysteme entwickelt und in die Praxis umgesetzt, die diese Anforderung mit unterschiedlichen Wirkprinzipien erfüllten (Abbildung 3, Prozessschritte 2–6) (AMADUCCI und GUSOVIVUS 2010).

Das Maschinensystem „HempCut“ mit Arbeitsbreiten von 3,0 bzw. 4,5 m wurde in den 90er Jahren in den Niederlanden entwickelt. Es gilt heute als das am weitesten verbreitete Erntesystem für

Hanf, aber z.B. auch für die industrielle Bereitstellung von Kenaf. Die durch die Firma Wittrock (Rhede-Brual) vertriebene Technik basiert auf einem reihenunabhängigen Mähvorsatz sowie einem adaptierten Häckseltrommelaggregat mit nur einer Messereinheit (AMADUCCI und GUSOVIVUS 2010). Als Trägerfahrzeug kommt häufig ein Claas Selbstfahrhäcksler Typ 492/493 zum Einsatz, wobei das herstellerseitige Häckselaggregat durch das genannte Modul mit Kemper-Mähvorsatz ersetzt wird. Die variable Antriebssteuerung der Trommeleinheit erlaubt das Einkürzen der Faserpflanzenstängel auf Längen von 150 bis 600 mm. Die Trägermaschine bleibt auch in anderen Feldkulturen einsatzfähig, was hohe jährliche Einsatzzeiten und damit geringere Maschinenkosten ermöglicht.

Die Firma Kranemann (Klocksinn-Blücherhof) geht mit dem Erntesystem „Blücher“ einen anderen Weg. Der Basisschnitt sowie die Zerkleinerung in bis zu 80 cm lange Stängelabschnitte durch Messerscheiben, die vertikal angebracht sind, erfolgt in aufrechtem Zustand der Pflanze (AMADUCCI und GUSOVIVUS 2010). Beide Teilprozesse werden gleichzeitig durchgeführt. Dabei übernehmen kurvenbahngeführte „Finger“ in beiden Fördertrommeln den Transport der Biomasse hinter den Mähvorsatz. Beide Erntesysteme hinterlassen auf dem Feld ein 80–110 cm breites Schwad. Insbesondere bei den im Hanfanbau oft hohen Biomasserträgen sind für eine gleichmäßige Trocknung und Röste ein- bis mehrmalige Wende- bzw. Schwadvorgänge erforderlich.

Ein anderer Ansatz verfolgt das Ziel, das aus dem Getreide- bzw. Futterbau bekannte Scherenschnittprinzip mit Finger- bzw. Doppelmesserschneidwerken zur Ernte von Faserhanf einzusetzen. Eine zwei- bis vierstufige vertikale Anordnung mehrerer Messerbalken ermöglicht damit gleichermaßen die geforderte Einkürzung der Pflanzenstängel. Das tschechische Unternehmen Tebeco brachte 2007 ein dreistufiges Anhängegerät auf Basis eines Schneidwerkssystems mit Stahl-Doppelfingern (Gebr. Schumacher GmbH, Eichelhard) auf den Markt (PARI et al. 2015). Vergleichbare Entwicklungen sind auch aus England und Deutschland bekannt. Insbesondere in der ersten Dekade nach Wiederzulassung des Hanfanbaus war die Nachfrage nach Doppelmessersystemen groß und konnte u. a. von sächsischen Maschinenbaubetrieben mit verschiedenen Entwicklungen (z. B. „HMG“ Hanf-Mäh-Gerät) bedient werden (GUSOVIVUS und PAULITZ 2009).

Vorteile solcher Erntesysteme ergeben sich aus dem vergleichsweise geringen Antriebsleistungsbedarf von  $2,5 \text{ kW m}^{-1}$  Arbeitsbreite und pro Mähstufe (WENNER et al. 1986, GUSOVIVUS und PAULITZ 2009) sowie der Breitablage der gemähten Biomasse. Positive Effekte für die Feldtrocknung und Röste sind nachgewiesen (GUSOVIVUS 2002) und werden auch von Praktikern bestätigt. Jedoch ist zu konstatieren, dass sich Erntemaschinen auf Basis von Finger- bzw. Doppelmesser-Messerbalken bisher am Markt nicht durchgesetzt haben. Die Ablehnung beruht häufig darauf, dass das Erntegut prinzipbedingt überfahren und damit oft verschmutzt wird. Um störungsfrei arbeiten zu können, müssen die Messerklingen häufig nachgeschärft oder Mähmesser gewechselt werden.

### **Erntesysteme für die duale Pflanzennutzung**

Erntesysteme für die ausschließliche Stängelnutzung wurden bzw. werden vor allem in nördlichen Regionen eingesetzt, in denen die Gewinnung der Hanfsamen witterungsbedingt problematisch ist. Jedoch haben die ökonomischen Zwänge sowohl auf der Abnehmerseite als auch im Wettbewerb um Anbaufläche dazu geführt, dass die Samenernte neben der reinen Stängelnutzung auch außerhalb der traditionellen Anbaugelände zugenommen hat. Dazu war die Anpassung bestehender bzw. die Entwicklung spezieller Erntetechnologien erforderlich.

In den traditionellen Anbaugebieten Frankreichs werden u. a. für die Saatgutproduktion bereits seit Jahren konventionelle Mähdrescher mit Axialfluss-Prinzip eingesetzt. Es handelt sich dabei allerdings um ein zweiphasiges Erntesystem, bei dem mit dem Mähdrescher lediglich die Pflanzenspitzen geerntet und gedroschen werden. Die Mahd des verbleibenden Reststängels erfolgt anschließend mit Doppelmesser-Mähwerken (DESANLIS et al. 2013).

Zur Vereinfachung des Ernteprozesses (einphasige Ernte, Einkürzen der Stängel) entwickelten die Firmen Götz (Bühl/Moos), Bafa (Malsch) und Deutz-Fahr (Lauingen) Anfang des neuen Jahrtausends das Erntesystem „Hanfvollernter“. Es basiert auf einem Mähdrescher mit Hordenschüttlern in Kombination mit dem „HempCut“-Mäh- und Zweimesser-Einkürzmodul (MASTEL 2002). Nachteile dieses Konzeptes ergeben sich vor allem aus dem Umstand, dass die gesamte geerntete Biomasse durch die Dresch- und Strohreinigungseinheit läuft. Insbesondere bei hohen Frischmasse-Erträgen von über  $20 \text{ t ha}^{-1}$  führt dies durch eine verringerte Fahrgeschwindigkeit sowie die enormen Belastungen der betreffenden Maschinenkomponenten zu einer Reduzierung der Flächenleistung. Die partielle Entholung des Faserpflanzenstrohs im Dreschsystem resultiert in einem etwas geringeren Strohertrag, kann jedoch auch positive Effekte auf Feldtrocknung und -röste haben (GUSOVIVUS 2002). Bereits bei der ersten umfangreichen Prüfung der Maschine zeigte sich aber, dass die Mahd mit dem reihenunabhängigen Kemper-Mähvorsatz hohe Ertragsverluste durch ausfallende Samen verursachen kann (MASTEL 2002). Ungeachtet der technischen Bewertung und der vorangegangenen Tests sind 15 dieser Systeme in Europa im Einsatz.

Nach entsprechenden Vorentwicklungen in Frankreich setzt hier das neue Konzept „Double-Cut-Combine“ eines niederländischen Landmaschinenunternehmens an (PROFI 2014). In Zusammenarbeit mit dem Faseraufbereitungsunternehmen Hempflax (Oude Pekela) wurde ein Mähdrescher so modifiziert, dass bei spezieller Hochschnitthanordnung des Getreideschneidwerkes die Pflanzenspitzen des Hanfbestandes separat gemäht werden (Abbildung 4). Die Belastung der eigentlichen Mähdrusch- und Reinigungsorgane wird deutlich reduziert, da der verbleibende Reststängel unterhalb des Getreideschneidwerkes mit dem erprobten „HempCut“-Modul gemäht, zerkleinert und auf dem Feld abgelegt wird. Die direkte Überführung des oberen Pflanzenteils in den Schneidwerkstrog soll die Samenverluste reduzieren.

Die Entwicklung des ebenfalls niederländischen Faseraufbereitungsunternehmens DunAgro (Oude Pekela) in Kooperation mit der Firma Wittrock (Rhede-Bruul) zielt dagegen darauf ab, Blätter und Blüten sowie – sofern bereits ausgebildet – die Samen durch ein vor dem Maschinenträger geführtes spezielles Strip-Aggregat abzutrennen (Abbildung 3, Prozessschritte 1–6). Aufgrund der i. d. R. verspäteten Samenreife kann auf deren Ernte insofern verzichtet werden, da der Abnehmer eine hohe Wertschöpfung aus den Inhaltsstoffen der Blätter und Blüten generiert. Weitere Vorteile der Abtrennung ergeben sich aus der deutlich verbesserten Strohtrocknung und -röste der wiederum mit dem „HempCut“-Modul gemähten Reststängel (Abbildung 5).



Abbildung 4: Double-Cut-Combine (Foto: M. Reinders)



Abbildung 5: Claas Xerion mit Hemp-Stripper (Foto: A. Dun)

Innerhalb des gegenwärtig laufenden EU-Vorhabens „MultiHemp“ wird ein Verfahren entwickelt, mit dem die Samenernte während des Prozessschrittes der Schwadbearbeitung realisiert werden soll. Um eine gleichmäßige Abtrocknung und Rüste der Biomasse zu ermöglichen, ist es erforderlich, das Gut mindestens einmal zu wenden bzw. zu schwaden. Der Grundgedanke des neuen Ansatzes zur Samengewinnung ist, dass bei entsprechend gewähltem Mahdzeitpunkt eine zusätzliche Nachreife der Samen an den gemähten und auf dem Feld abgelegten Pflanzen stattfindet (Abbildung 3, Prozessschritte 1–3 und 4 sowie 5–6). Dadurch soll ein höherer Samenertrag, eine gleichmäßigere Abreife sowie eine bessere Qualität der Samen erreicht werden. Vergleichbare Verfahren werden bei der Ernte bestimmter Sommerfrüchte oder der Saatgutproduktion angewendet. Auch aus Frankreich sind solche in der Vergangenheit praktizierte Verfahren bei der Produktion von Hanfsaatgut bekannt (THOUMINOUT 2015, persönliche Mitteilung).

Zur Umsetzung des neuen Verfahrens soll eine neue Maschine eingesetzt werden, die die Hanfstrohschwade schonend über einen Bandförderer aufnimmt, die Samen über einen fremd erregten Schwingboden ausschüttelt und anschließend gewendet wieder auf dem Feld ablegt (Abbildung 6). Damit kann der Einsatz kostenintensiver, teils spezieller Mähdruschtechnik vermieden werden. Ziel ist es, die Aufwendungen für die kombinierte Stroh- und Samenernte zu reduzieren sowie Ertrag und Qualität der geernteten Hanfsamen zu verbessern.

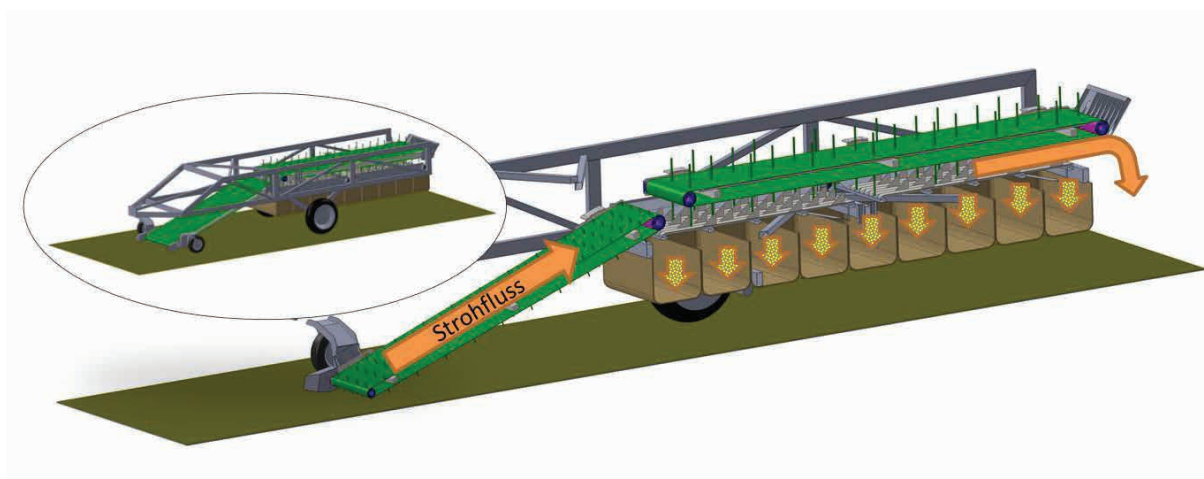


Abbildung 6: Schematische Darstellung der Maschine zur Samengewinnung aus im Schwad abgelegten Hanfpflanzen

Die Maschine wird in Kooperation zwischen dem Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim (ATB) und der Firma Kranemann entwickelt und soll in ersten praktischen Erprobungen zur Ernte 2016 eingesetzt werden. Erst anschließend sind genauere Angaben zu Maschinenkosten und Flächenleistungen und damit zu den Verfahrenskosten möglich.

### Erntesystem für die Ganzpflanzennutzung

Bereits seit einigen Jahren wird am ATB an einem neuen Verfahren zur Bereitstellung und Verarbeitung von Hanf-Ganzpflanzen mittels Feuchtkonservierung gearbeitet (PECENKA et al. 2007, IDLER et al. 2011). Zur Ernte der Hanfpflanzen kann nach bisherigen Erfahrungen hofübliche Technik eingesetzt werden, wie sie auch bei der Futterbereitstellung z.B. von Silomais genutzt wird (Abbildung 3, Prozessschritte 9–13). Die Mahd des Bestandes z.B. mit dem reihenunabhängigen Kemper-Mähvorsatz sowie die Zuführung und Zerkleinerung mit den eigenen Aggregaten des Häckslers gelingen im Wesentlichen störungsfrei (Abbildung 7).



Abbildung 7: Hanfernte zur Feuchtkonservierung (Foto: R. Pecenka)

Aus den Niederlanden ist der praktische Einsatz eines Gespannes aus selbstfahrendem Feldhäcksler und Quaderballenpresse bekannt. Die aus dem Schwad aufgenommenen Hanfpflanzen werden ebenfalls auf Partikelgrößen bis 50 mm zerkleinert und über den Auswurfbogen direkt in das Presswerk der Ballenpresse gefördert (Abbildung 8). Die Quaderballen werden anschließend mit Folie umwickelt und dienen u. a. Milchviehbetrieben als Rationsanteile in der Fütterung. Mit Ausnahme einer zusätzlichen Antriebseinheit für die angehängte Ballenpresse sind keine speziellen Modifikationen der technischen Grundausstattung erforderlich.



Abbildung 8: Schwadhäckseln mit angehängter Ballenpresse (Foto: H.-J. Gusovius)



## Verfahrenstechnischer Bewertungsansatz

Auf Grundlage der vorhandenen Datenbasis kann keine umfängliche Kapazitäts-, Funktions- und Aufwandsbewertung durchgeführt werden. Jedoch wird mithilfe von Herstellerangaben, Informationen aus der landwirtschaftlichen Praxis sowie eigenen Messungen der Versuch einer vergleichenden Kapazitäts- und Aufwandsanalyse der Erntesysteme unternommen, ohne nachfolgende Prozessschritte wie z. B. Bergung und Lagerung zu betrachten. Dazu stehen Angaben zu Investitionskosten, fixen und variablen Maschinenkosten, Lohnkosten sowie Flächenleistungen zur Verfügung. Die Daten beruhen auf eigenen Messungen bzw. Befragungen sowie standardisierten KTBL-Ansätzen (KTBL 2014, KTBL 2015). Aufgrund der sehr individuellen Regelungen zur Vergütung der Ernteprodukte ist eine verfahrensübergreifende und damit vergleichende Bewertung mit Bezug auf die Erlöse nicht zielführend.

Trägersysteme wie selbstfahrende Systemtraktoren oder Feldhäcksler werden in landwirtschaftlichen Betrieben bzw. Lohnunternehmen außer zur Hanfernte auch für andere Kulturen eingesetzt. Die teilweise sehr hohen Investitionskosten bis zu 600.000 € verteilen sich so auf einen größeren Umfang von Flächen bzw. Einsatzstunden, was zu einer Kostenreduktion beiträgt. Im Falle der beiden betrachteten Mähdruschsysteme „Hanfvollernter“ sowie „Double-Cut-Combine“ wird davon ausgegangen, dass die Grundmaschinen ebenfalls zur Ernte anderer Feldkulturen eingesetzt werden können. Daher wird bei der Ermittlung der Maschinenkosten in allen Fällen von den nach KTBL (2014) empfohlenen Einsatzzeiten bzw. Abschreibungsdaten ausgegangen. Zur besseren Vergleichbarkeit mit der Bewertung von Standardverfahren nach KTBL wird bei der Ermittlung der Verfahrenskosten ausschließlich der Bezug zur Einsatzfläche hergestellt. Diese ist mit den dort angegebenen Auslastungsschwellen (AS) vergleichbar. Für den Lohnkostenansatz wurden  $17,50 \text{ € h}^{-1}$  berücksichtigt.

Eine Bewertung der vorgestellten Erntesysteme zur Parallelablage der Stängel für eine textile Verwertung sowie des Prototypen zur Schwadentsamung ist nicht möglich, da es sich bisher nicht um Serienmaschinen im praktischen Einsatz handelt. Angaben zu den Investitionskosten sowie Flächenleistungen sind daher nicht verifizierbar. Bei der Betrachtung der beiden Erntesysteme auf der Basis von Vierebenen-Doppelmessermähwerken wurde das Zugfahrzeug in der jeweils erforderlichen Leistungsklasse berücksichtigt. Gleiches gilt für die Erntesysteme „Blücher 03“ sowie „HempCut 4500“, für deren Einsatz in der Regel ein Selbstfahr-Feldhäcksler genutzt wird.

Einen deutlichen Einfluss auf den Arbeitszeitbedarf, aber auch auf die Verfahrenskosten haben die Arbeitsbreite sowie die Arbeitsgeschwindigkeit (Abbildung 9). Fortschritte bei der Maschinenentwicklung, z.B. bei den Doppelmessersystemen „HMG“ (Arbeitsbreite HMG 4-240: 2,4 m, HMG 4-5000: 5 m), ermöglichen eine Reduzierung der erforderlichen Aufwendungen von 68 auf  $56 \text{ € ha}^{-1}$ . Die höchsten Verfahrenskosten werden für die beiden auf Mähdreschern basierten Erntesysteme mit  $146 \text{ € ha}^{-1}$  (Double-Cut-Combine) bzw.  $155 \text{ € ha}^{-1}$  (Hanfvollernter) ermittelt. Trotz Arbeitsbreiten von maximal 4,55 m ist aufgrund hoher Masseströme von einer vergleichsweise geringeren Arbeitsgeschwindigkeit auszugehen. Bei Betrachtung der gesamten Wertschöpfungskette ist jedoch zu berücksichtigen, dass im Gegensatz zu den Erntesystemen für die ausschließliche Stängelnutzung (HMG, „Blücher“, „HempCut“) bei den auf Mähdreschern basierten Erntesystemen aus der Samengewinnung je nach Ertrag ( $0,7\text{--}1,5 \text{ t ha}^{-1}$ ) und Qualität eine deutlich höhere Wertschöpfung von bis zu 50 % realisiert wird ( $900\text{--}1.500 \text{ € t}^{-1}$ ).

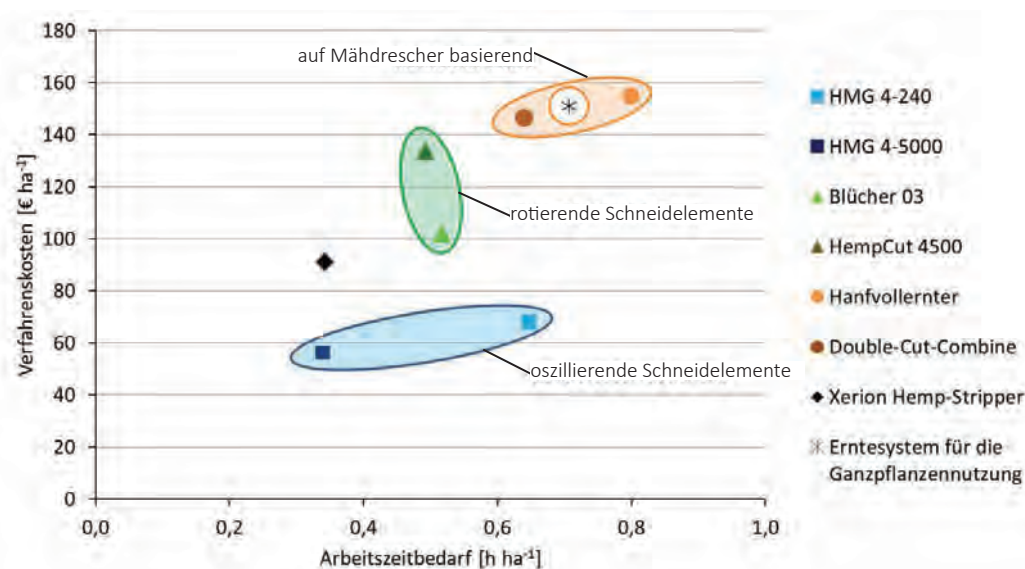


Abbildung 9: Arbeitszeitbedarf und Verfahrenskosten verschiedener Hanferntesysteme mit Zuordnung zu Wirk- bzw. Arbeitsprinzipien

Mit dem auf einem Claas Xerion 400 basierenden Erntesystem (Xerion Hemp-Stripper) sind bei einer Arbeitsbreite von bis zu 6 m die höchsten Flächenleistungen ( $2,9 \text{ ha h}^{-1}$  bzw.  $0,34 \text{ h ha}^{-1}$ ) erreichbar. Erste Zeitstudien sowie Angaben des Betreibers zeigen, dass Arbeitsgeschwindigkeiten bis zu  $9 \text{ km h}^{-1}$  möglich sind. Dies setzt jedoch bestimmte Bedingungen bei der Auswahl und Vorbereitung der Anbauflächen sowie einen hohen Automatisierungsgrad der Maschinenkomponenten voraus.

Im Bereitstellungsverfahren für feucht zu konservierende Ganzpflanzenrohstoffe zeigt sich, dass technologische Verbesserungen erforderlich sind. Der durch Frischmasseerträge von bis zu  $20 \text{ t ha}^{-1}$  bedingte hohe Massestrom und die für eine erfolgreiche Konservierung zu realisierende Partikelgröße des Erntegutes führen zu einem vergleichsweise hohen Arbeitszeitbedarf von  $0,71 \text{ h ha}^{-1}$ .

## Schlussfolgerungen

Die Mehrzahl der Technologien zur Ernte von Hanf zeichnen sich auch weiterhin durch einen vergleichsweise hohen Spezialisierungsgrad aus. Zwar wird in aller Regel versucht, auf landwirtschaftsübliche Trägerfahrzeuge zurückzugreifen, jedoch sind aufgrund des speziellen Erntegutes weiterhin teils umfangreiche Modifikationen bzw. Gerätekopplungen erforderlich. Dies gilt insbesondere für den Fall, dass die gesamte Biomasse oder auch Teile davon rotierende Drusch- und Reinigungsorgane durchlaufen. Aufgrund der Länge der Stängel und der hohen Zugfestigkeit der Bastfasern besteht eine erhebliche Wickelgefahr. Dagegen sind geeignete Schutzmaßnahmen zu ergreifen. Hohe Biomasse-Erträge sowie die besonderen mechanischen Eigenschaften des Erntegutes bedingen oft enorme Belastungen der betroffenen Maschinenkomponenten. Geringere Flächenleistungen sowie Verschleiß bedingen höhere Reparaturaufwendungen; eine geringere Nutzungsdauer der Maschinen(komponenten) sind ggf. zu berücksichtigen. Im Vergleich mit anderen Verfahren zeigt sich aber auch, dass weder Flächenleistungen noch Verfahrenskosten wesentliche Unterschiede zum Getreidedrusch ( $115 \text{ € ha}^{-1}$ ) oder Maishäckseln ( $140 \text{ € ha}^{-1}$ ) aufweisen (KTBL 2015).

## Literatur

- Amaducci, S.; Gusovius, H. (2010): Hemp-Cultivation, Extraction and Processing. In: Müssig, J.; Stevens, C. (eds.): Industrial Applications of Natural Fibres Structure, Properties and Technical Applications. John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, West Sussex, United Kingdom, pp. 109–134
- Brückner, T.; Steger, J. (2013): Quantitative und qualitative Bedarfsanalyse für Naturfasern und Optionen zur regionalen Sicherung der Rohstoffbereitstellung in Deutschland. Abschlussbericht zum FNR-Fördervorhaben 22034311, Waldenburg, Gülzow
- Dammer, L.; Carus, M.; Raschka, A.; Scholz, L. (2013): Market Developments of and Opportunities for bio-based products and chemicals. Report for Agentschap NL, nova-Institute for Ecology and Innovation, Hürth
- Desanlis, F.; Cerruti, N.; Warner, P. (2013): Hemp agronomics and cultivation. In: Bouloc, P.; Allegret, S.; Arnaud, L. (eds.): Hemp: industrial production and uses. Cabi Publishing Wallingford, Oxfordshire, United Kingdom, pp. 98–124
- Gusovius, H.-J. (2002): Stoffwandlungen und Umwelteinflüsse in Verfahrensketten für Faserhanf., Dissertation, Humboldt-Universität zu Berlin, Cuvillier-Verlag, Göttingen
- Gusovius, H.; Paulitz, J. (2009): Current developments for efficient raw material supply procedures enforcing cost-effective bast fibre production in Europe. Journal of Biobased Materials and Bioenergy 3, pp. 262–264, DOI: <http://dx.doi.org/10.1166/jbmb.2009.1031>
- Idler, C.; Pecenka, R.; Füll, C.; Gusovius, H. (2011): Wet Processing of Hemp: An Overview. Journal of Natural Fibers 8(2), pp. 59–80, DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/15440478.2011.576089>
- KTBL (2014): Datensammlung Betriebsplanung Landwirtschaft 2014/15. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V., Darmstadt
- KTBL (2015): Verfahrensrechner Pflanze. <http://www.ktbl.de>, Zugriff am 16.7.2015
- Mastel, K. (2002): Prüfung des Prototyps einer Maschine zur Ernte von Hanfstroh und Hanfkörnern. In: Informationen für die Pflanzenproduktion – Sonderheft 2/2002, LAP Forchheim
- Pari, L.; Baraniecki, P.; Kaniewski, R.; Scarfone, A. (2015): Harvesting strategies of bast fiber crops in Europe and in China. Industrial Crops and Products 68, pp. 90–96, DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.09.010>
- Pecenka, R.; Idler, C.; Grundmann, P.; Füll, C.; Gusovius, H. (2007): Tube ensiling of hemp – Initial practical experience. Agrartechnische Forschung (Agricultural Engineering Research) 13(1), pp. 15–26
- Profi (2014): Two headers for Dutch combine harvester. Profi - Magazin für Agrartechnik, Online-Newsletter vom 2.9.2014, <https://www.profi.com/news/Two-headers-for-Dutch-combine-harvester-1530620.html>, Zugriff am 26.5.2015
- Wenner, H.-L. (1986): Die Landwirtschaft, Band 3: Landtechnik Bauwesen. BLV Verlagsgesellschaft mbH, München, 8. Aufl.

## Autoren

**Dr. Hans-Jörg Gusovius, Dr. Jörn Budde, und Dipl.-Ing. Carsten Lühr** sind wissenschaftliche Mitarbeiter, **Dr. Thomas Hoffmann** ist Leiter der Abteilung „Technik der Aufbereitung, Lagerung und Konservierung“ im Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V. (ATB), Max-Eyth-Allee 100, 14469 Potsdam, E-Mail: [hjgusovius@atb-potsdam.de](mailto:hjgusovius@atb-potsdam.de)

## Hinweise

Teile der Datenerhebung und Forschung, die zu den vorgestellten Ergebnisse geführt haben, erhielten Mittel aus dem Siebten Rahmenprogramm der Europäischen Union für Forschung, technologische Entwicklung und Demonstration im Rahmen des Grant Agreement Nr. 311849.