

| | |
|---------------------|--|
| Zeitschrift: | Tec21 |
| Herausgeber: | Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein |
| Band: | 128 (2002) |
| Heft: | 39: Waldbilder |
| Artikel: | High-Tech-Systeme für die Nutzung des Waldes: hoch mechanisierte Holzerntesysteme in der Schweiz |
| Autor: | Henimann, Hans Rudolf |
| DOI: | https://doi.org/10.5169/seals-80485 |

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 13.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

High-Tech-Systeme für die Nutzung des Waldes

Hochmechanisierte Holzerntesysteme in der Schweiz

Auf sechs Beinen schreitet eine Maschine durch den Wald, Bäume fällend. Das Schrittmuster ähnelt dem Gang der Stabheuschrecke. Erste Prototypen einer solchen Maschine gehen schon durch unsere Wälder. In ein paar Jahren hat sich dieses Szenario vielleicht zum Standard entwickelt. Mit immer ausgeklügelteren Maschinen kommt nämlich die Holzerntesystemtechnik auf den Markt. Der vorliegende Beitrag stellt den Stand der Holzerntesystemtechnik in Europa und die dazugehörigen maschinentechnischen Entwicklungen vor.

Viele Personen verbinden die Nutzung des Waldes heute noch mit dem Bild des Holzfällers, das Ferdinand Hodler im Jahr 1910 gemalt hatte. Während damals die handwerkliche Arbeit dominierte, wurden in den letzten 30 Jahren hochmechanisierte Holzerntesysteme entwickelt, die dem Prinzip «keine Hand ans Holz» folgten. Mittlerweile werden solche hochmechanisierten Systeme auch in der Schweiz eingesetzt (siehe Kasten). Die Ernte des Holzes ist technisch ein äusserst anspruchsvoller Vorgang. Ein Baum, der geerntet wird, weist im Durchschnitt eine Masse von ein bis zwei Tonnen auf. Es kann aber auch vorkommen, dass Bäume mit einer Masse von bis zu fünf Tonnen zu ernten sind. Eine zweite Schwierigkeit sind die sehr heterogenen Geländebedingungen in der Schweiz: lediglich 30 Prozent der gesamten Waldfläche können mit Radfahrzeugen befahren werden. Viele Böden des Voralpengürtels weisen eine derart schlechte Bodentragsfähigkeit auf, dass ein Fahren direkt im Gelände praktisch unmöglich ist. Ein weiteres Problem sind die klimatischen Bedingungen: rund 40 Prozent der Waldfläche liegen in Höhenlagen oberhalb 1200 Meter über Meer. Je nach Geländeeigenschaften stützt sich die Holzernte auf drei technologische Prinzipien (Bild 2) bodengestützt (bis zu 50% Hangneigung), seilkrangestützt und luftfahrzeuggestützt (ab 50% Hangneigung). Der Entscheid zugunsten eines Holzerntesystems geschieht



1

Sechsbeinige Schreit-Erntemaschine (Konzept-Maschine der Firma Plustech Oy, Tampere, Finnland). Das Gehprinzip ist die flexibelste Form der Fortbewegung in inhomogenem Gelände. Die Schrittmuster sind der Stabheuschrecke nachempfunden (Bild: Plustech Oy, Finnland)

zunächst nach folgenden Kriterien: Fortbewegungsfähigkeit der Fahrzeuge im Gelände, Bearbeitungsfähigkeit (Fällen, Entasten, Einschneiden) sowie Handhabungs- und Transportfähigkeit der Systeme. Die Fortbewegungsfähigkeit ist das Hauptkriterium zur Abgrenzung der Holzerntesysteme. Sie ist eine Funktion der Fahrzeugeigenschaften, der Interaktion Fahrzeug-Boden (Rad, Raupe), der Tragfähigkeit des Bodens und der Hangneigung. Abbildung 5 zeigt die Steigfähigkeit für zwei Fahrzeugtypen: einem speziell für Steilhänge entwickelten Raupen-Harvester und einem Rad-Forwarder (Transportgerät).¹ Die maximale Steigfähigkeit des Raupenfahrzeugs (Kontaktflächen- druck ca. 70 kPa) liegt bei etwa 60% Hangneigung. Mit

| | Bodengestützt | Seiltragwerk-gestützt | Luftfahrzeug-gestützt |
|-----------------------|--|--|--------------------------|
| Fällen | | | |
| Transport | | | |
| Abgrenzungs-kriterien | 10-35% Neigung ökonomisch ökologisch | 35-50% Neigung ökonomisch ökologisch | ökonomisch ökologisch |

2

Stand der Holzerntesystemtechnik: Die Fortbewegungsfähigkeit der Trägerplattformen im Gelände ist das Hauptkriterium zur Unterscheidung der Holzerntesysteme. Daneben müssen auch die ökonomische Effizienz, die Umwelt- und Humanverträglichkeit sowie die gesellschaftliche Akzeptanz gegeben sein. Die Kurve entspricht der Hangneigung; die Geraden symbolisieren die Strasse und deren Lage zum Hang sowie die Böschungshöhe

abnehmender Bodentragfähigkeit bleibt die maximale Steigungsfähigkeit erhalten, bis sie bei schlecht tragfähigen Böden (<300 kPa Cone Index [CI]), wie sie in den Voralpen vorkommen können, absinkt. Ganz anders präsentiert sich das Bild für Radfahrzeuge. Auf gut tragfähigen Böden beträgt die Steigungsfähigkeit etwa 40–45 %. Sie fällt bei schlechter werdenden Bodentragfähigkeiten stark ab und ist unterhalb von etwa 350 kPa CI nicht mehr möglich. Beide Beispiele gelten für eine kontinuierliche Fortbewegung. Die dritte Kurve illustriert den Effekt des Anfahrens am Hang auf die maximale Steigungsfähigkeit. Wenn ein Fahrzeug aus dem Stillstand anfahren muss, so reduziert sich die Steigungsfähigkeit um rund 10 %. Aussagen über die Mobilität lassen sich nur machen, wenn man die Bodeneigenschaften und die massgebenden Fahrzeugparameter kennt.



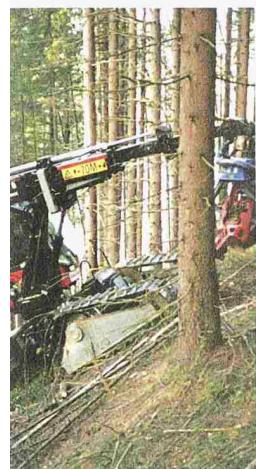
Auf Rädern, Raupen und Beinen

Die derzeitige Entwicklung der Mechanisierung findet heute vor allem in zwei Bereichen statt: bei den Trägerplattformen für schwierige Geländeeverhältnisse (35–50% Hangneigung) und bei den Seilgeräten.^{2,3,4} Überall dort, wo direkt im Gelände mit Fahrzeugen gefahren werden kann, besteht die Möglichkeit, das aus Skandinavien stammende, hochmechanisierte Harvester-Forwarder-System einzusetzen. Dabei bewegt sich die Erntemaschine (Harvester) durch den zu erntenden Waldbestand, fällt die Bäume, entastet sie, schneidet sie in Sortimentsstücke ein und deponiert sie entlang der Transportlinie. Das Transportgerät (Forwarder) nimmt die Sortimentsstücke mit einem Greifer auf, legt sie auf der Ladefläche ab, transportiert sie an die nächste mit Lastwagen befahrbare Waldstrasse und stapelt dort die Sortimentstücke. Diese Systementwicklung folgt dem Prinzip «keine Hand ans Holz» und zieht eine höhere Produktivität sowie völlig neue Qualifikationsprofile der Waldarbeiter nach sich.

Bei schwierigen Geländebedingungen – steil und uneben – weisen Raupenfahrzeuge eine grössere Mobilität auf als Radfahrzeuge.^{5,6,7} Man verwendet deshalb Trägerplattformen, die auf Baumaschinen-Fahrwerken basieren. Diese haben durch ihre starre Bauweise jedoch den Nachteil, dass sie keinen optimalen Kraftschluss zwischen Raupe und Boden garantieren, insbesondere bei rauher Bodenoberfläche. Der Kraftschluss zwischen Fahrzeug und Boden lässt sich wesentlich verbessern, indem vier an Stelle von zwei Räulen verwendet werden (Bild 3). Die Führerkabine und der Ausleger lassen sich automatisch nivellieren, womit sich die Maschine auch im steilen Gelände gut bedienen lässt. Derartige Steilhang-Erntemaschinen wurden in der Schweiz nach dem Sturm Lothar (1999) eingeführt. Bei der Holzernte mit Raupenfahrzeugen ist der Transport des Holzes vom Gelände an die nächste, mit Lastwagen befahrbare Strasse der kritische Vorgang, der in diesem Fall nicht mehr direkt im Gelände selbst, sondern auf speziell für Geländefahrzeuge angelegten Wegen (Maschinenwegen) erfolgt. Der Transport erfolgt dabei mit Schleppern, die mit Seilwinden ausgerüstet sind. Das Holz wird in einer ersten Phase mit der Seilwinde aus dem Bestand an den Maschinenweg gezogen und in

Wie wird Holz heute geerntet?

In der Schweiz wird jährlich ein Volumen von rund 4,5 Millionen Kubikmetern Holz geerntet.⁸ Diese Menge wurde nach den Stürmen «Vivian» (1990) mit rund 6,5 Millionen und «Lothar» (2000) mit rund 9,5 Millionen deutlich übertroffen. Die Holzernte erfolgt zu rund 60 Prozent durch Forstbetriebe, die auch Waldbesitzer sind, während rund vierzig Prozent durch frei am Markt operierende Forstunternehmer ausgeführt werden. Die Forstbetriebe arbeiten nach wie vor sehr personalintensiv. Die Forstunternehmer sind die Träger der zunehmenden Mechanisierung. Vor dem Sturm «Lothar» standen in der Schweiz schätzungsweise 20 voll mechanisierte Holzerntesysteme zur Verfügung, die sich in der Folge des Sturmereignisses auf rund 40 verdoppelt haben dürfen. Daraus lässt sich ableiten, dass in der Schweiz heute rund eine halbe Million Kubikmeter Holz mit hochmechanisierten Systemen geerntet wird, was rund zehn Prozent der gesamten Erntemenge entspricht. In den technologisch führenden nordischen Ländern dürfen weit über 90 Prozent der Holzernte hochmechanisiert geerntet werden, während motor-manuelle Systeme die Ausnahme darstellen.



3

Raupen-Erntemaschine (Harvester) für den Einsatz in Hanglagen:
Vier anstelle von zwei Raupen verbessern den Kraftschluss zwischen Fahrzeug und Boden und erhöhen damit die Gelände-gängigkeit. Kabine und Ausleger lassen sich automatisch nivellieren, was die Bedienbarkeit erleichtert (Bild: Karl Stampfer, Wien)

4

Prozessor-Mobilseilkran-Kombigerät: Die Bäume werden an einem Tragseil in ganzer Länge und samt Ästen zur Maschine transportiert, wo sie der Maschinist mit einem an einem Ausleger befestigten Prozessorkopf maschinell entastet, in Sortimentsstücke einteilt und stapelt (Bild: Heinimann)

5

Steigfähigkeit von Rad- bzw. Raupenfahrzeugen in Abhängigkeit der Bodentragfähigkeit: Die maximale Steigfähigkeit eines Radfahrzeuges liegt (auf gut tragfähigen Böden) lediglich bei 40–50 %, während ein Raupenfahrzeug eine maximale Steigfähigkeit von 60 % aufweist. Je höher der Cone Index (CI), desto tragfähiger der Boden

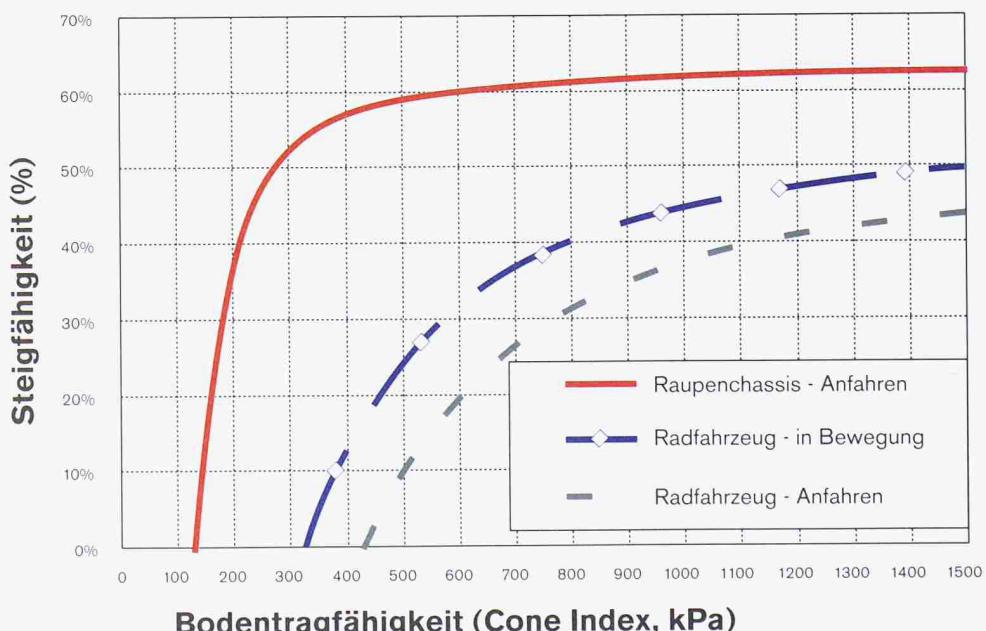


einer zweiten Phase schleifend zur nächsten Waldstrasse transportiert. Die Bedeutung dieses Prinzips nimmt ab, da es personalintensiv ist und zunehmend von seilkrangestützten Systemen verdrängt wird.

Es ist ein Traum der Ingenieure, Maschinen zu konstruieren, die nicht fahren sondern «gehen». Finnische Ingenieure entwickelten 1989 eine sechsbeinige Schreitmaschine, die zu einer voll funktionsfähigen Konzeptmaschine (Bild 1) weiterentwickelt wurde. Als Vorbild für die Entwicklung der Schrittmuster dienten biomechanische Studien der Stabheuschrecke. Die Schrittmuster werden mit einem dezentralen Mechanismus computerbasiert gesteuert. Verglichen mit Radfahrzeugen ist jedoch die Fortbewegungsgeschwindigkeit von Schreitharvestern relativ gering. Es wird wohl noch einige Zeit dauern, bis derartige Maschinen am Markt eingeführt werden.

Seiltragwerke

Werden die Geländeeverhältnisse noch schwieriger, so erfolgt der Transport des Holzes mittels Seiltragwerken, die sich in kurzer Zeit auf- und abbauen lassen. Bei den seilgestützten Holzertesystemen versuchte die Entwicklung, die Rüstzeiten zu senken, den Betrieb mit einem Minimum an Personal zu ermöglichen sowie die Baumbearbeitungsvorgänge zu mechanisieren. Prozessor-Mobilseilkran-Kombigeräte repräsentieren den heutigen Stand der Technik. Dabei sind ein Teil des Tragwerks (Stahlmast), mehrere Seilwinden, ein Kranausleger mit einem Prozessorkopf sowie eine Führerkabine auf einem Fahrzeug integriert (Bild 4). Ein Lastzyklus beginnt, indem eine Person den Lasthaken unter dem Tragseil entgegennimmt, das Seil seitlich auszieht und einen oder mehrere Bäume anhängt.



Danach zieht sie die Last funkferngesteuert unter das Tragseil, hebt sie an, klinkt sie in den Laufwagen ein und übergibt sie einem automatischen System, das die Seilwinden der Maschine ansteuert, wodurch sich der Laufwagen ohne menschliches Einwirken zur Maschine bewegt. Nachdem die Last automatisch gestoppt hat, übernimmt der Maschinist die Steuerung, senkt die Last ab, löst die Seilschlingen und schickt den leeren Laufwagen via Automatik zurück in den Bestand. Er beginnt danach, mit dem Kranausleger und dem Prozessorkopf die angelieferten Bäume zu entasten, einzuschneiden und zu stapeln. Derartige Kombi-Seilgeräte stehen in Österreich seit über 20 Jahren im Einsatz, wurden jedoch in der Schweiz erstmals nach dem Sturm «Lothar» eingeführt.

Als viertes Prinzip wird schliesslich der luftfahrzeuggestützte Transport angewendet, der mit Helikoptern vorgenommen wird. Der professionelle Einsatz von Helikoptern für die Holzernte («Helilogging») begann in der Schweiz im Jahre 1979, womit sie, neben den Gebieten des Pazifischen Nordwestens (USA, Kanada), zu den Regionen zählt, die beim Helilogging eine Vorreiterrolle einnehmen. Kritiker des Heliloggings erwähnen den hohen Energieverbrauch und damit die Umweltbelastung als Argumente, die eher gegen einen Einsatz sprechen. Allerdings sind diese differenzierter zu betrachten. Der Energieverbrauch des Helikopters pro Volumeneinheit beträgt etwa 1–2 % des Heizwertes des geernteten Holzvolumens oder anders ausgedrückt eines Strassentransports mit dem LKW von etwa 50 bis 80 km. Bedenkt man, dass zunehmend Holz aus den ehemaligen Ostblockländern per Strassentransport nach Westeuropa gelangt, so macht der Einsatz des Helikopters zur Nutzung unserer eigenen Ressourcen wieder Sinn.

Voraussetzungen für den Einsatz

Der Einsatz eines der oben beschriebenen technischen Systeme ist dann sinnvoll, wenn auch die ökonomische Effizienz, die Umwelt- und Humanverträglichkeit sowie die gesellschaftliche Akzeptanz gegeben ist. Ökonomische Effizienz bedeutet, jene Technologie zu wählen, die ein zu erreichendes Resultat mit einem Minimum an Mitteleinsatz gewährleistet. In einem Hochlohnland wie der Schweiz ist dies gleichbedeutend mit dem Ersatz von Arbeit durch Kapital, das heisst eine möglichst hohe Mechanisierung. Bei der heutigen Kostenstruktur ergibt die Hochmechanisierung in befahrbarem Gelände (Harvester-Forwarder-System der Abbildung 1) eine Halbierung der Kosten verglichen mit einer handwerklichen, auf Motorsägen-Arbeit basierenden Holzernte. In der Schweiz wird die hochmechanisierte Holzernte vor allem von Unternehmern ausgeführt, während viele öffentlichen Forstbetriebe nach wie vor mit einem hohen Personaleinsatz und einer geringeren Mechanisierung arbeiten. Dies ist ein Grund, warum die Forstwirtschaft der Schweiz eine geringere Produktivität aufweist als etwa jene des Nachbarlandes Österreich und trotz staatlicher Förderungsmaßnahmen zunehmend mit wirtschaftlichen Schwierigkeiten zu kämpfen hat.

Die Umwelt- und Humanverträglichkeit bei der Wahl des technischen Systems ist ein Kriterienbereich, in dem dank der Mechanisierung grosse Fortschritte erzielt werden konnten. Skandinavische Erfahrungen zeigen, dass die Unfallhäufigkeit um etwa 75 Prozent abnahm und dass auch die Boden- und Bestandeschäden deutlich kleiner wurden.

Des Weiteren sollte der Einsatz von hochmechanisierten Holzerntesystemen auch von der Gesellschaft akzeptiert werden. Es ist kein Problem, die formellen, rechtlichen Regeln einzuhalten. Der Einsatz hochmechanisierter Erntesysteme scheitert hingegen immer wieder an den informellen Einschränkungen (Normen, Konventionen, Kodizes), welche verschiedenste gesellschaftliche Gruppierungen in die öffentlichen Entscheidungsprozesse einbringen. Als Beispiele seien erwähnt: die scheinbare Unvereinbarkeit von naturnahem Waldbau und Maschineneinsatz oder Leitbilder wie «zurück zum Pferd» und «Mensch vor Maschine».

Hans Rudolf Heinemann, Professor für Forstliches Ingenieurwesen ETH Zürich; ETH-Zentrum, HG G 23, 8092 Zürich; heinmann@fowi.ethz.ch

Literatur

- 1 Hans Rudolf Heinemann: Forest Operations under Mountainous Conditions. In: *Forests in Sustainable Mountain Development - a State of Knowledge Report for 2000*, N. Butt, Editor. CABI Publishing: Wallingford, UK. Vol. IUFRO Research Series No. 5: p. 224–230, 2000.
- 2 Hans Rudolf Heinemann: Ground-based harvesting technologies for steep slopes. In: *Proceedings of the International Mountain Logging and 10th Pacific Northwest Skyline Symposium*, ed. W. Chung, p. 1–19. Corvallis OR, March 28 – April 1, 1999. Department of Forest Engineering. Oregon State University. Corvallis, OR 97331, 1999.
- 3 Hans Rudolf Heinemann, Karl Stampfer, Johannes Loschek und Leo Caminada: Perspectives on Central European Cable Yarding Systems. In: *International Mountain Logging and 11th Pacific Northwest Skyline Symposium*, ed. F. Krogstad, p. 268–279. Seattle, WA, U.S.A. College of Forest Resources, University of Washington, Seattle, USA, 2001.
- 4 Mieczyslaw G. Bekker: *Introduction to Terrain-Vehicle Systems*. Ann Arbor, MI: The University of Michigan Press. 846 p., 1969.
- 5 Mieczyslaw G. Bekker: *Prediction of Design and Performance Parameters in Agro-Forestry Vehicles: Methods, Test and Numerical Examples*. National Research Council of Canada, Division of Energy. Ottawa, Canada. 232 p., 1983.
- 6 Jo Yung Wong: *Theory of ground vehicles*, Third Ed. New York: John Wiley. 528 p., 2001.
- 7 Hans Rudolf Heinemann: Mobilität von Geländefahrzeugen – das Nato Reference Mobility Modell NRMM. *Technische Mitteilungen für Genietruppen*. 64 (4): 203–209, 1999.
- 8 Peter Brassel und Urs-Beat Brändli: Schweizerisches Landesforstinventar. Ergebnisse der Zweitauflage 1993–1995. Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft. Verlag Paul Haupt, 442 S. Bern, Stuttgart, Wien, 1999.

Göran Erikson: Accidents and physical stress injuries can be avoided. In: *Congress Documentation of Elmia Wood*. Uppsala, 1993.

Peter W. Haley, Peter M. Jurkat und Peter M. Brady: Nato Reference Mobility Model – Users Guide, Volume II. Stevens Institute of Technology, Davidson Lab. U.S. Army Tank-Automotive Research and Development Command. Hoboken, NJ; Warren, MI 12503, 1979.