

# Chancen und Risiken der Energieholzproduktion durch Kurzumtriebsplantagen in der Schweiz

Opportunities and risks of energy wood production by short-rotation plantations in Switzerland

Victor ANSPACH und Andreas ROESCH

## Zusammenfassung

Die Nachfrage nach Energieholz steigt in der Schweiz kontinuierlich. Die nachhaltige Nutzung der Ressourcen des Schweizer Waldes ist dagegen begrenzt. In jüngerer Zeit sind daher erste Kurzumtriebsplantagen (KUP) zur Energieholzproduktion angelegt worden. In dieser Studie wurde die Wirtschaftlichkeit von KUP mit Hilfe einer dynamischen Investitionsrechnung und der Monte-Carlo-Simulation untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass mit KUP Gewinne erzielt werden können. In der Risikoanalyse wurden die wichtigsten Einflussgrößen auf die Wirtschaftlichkeit simuliert. Die Simulationen zeigen, dass mit einer Wahrscheinlichkeit bis zu über 80% Gewinne erzielt werden.

**Schlagnote:** Kurzumtriebsplantagen, Investitionsrechnung, Monte-Carlo-Simulation

## Summary

The demand for energy wood is increasing continuously in Switzerland, but forest resources are limited. First short rotation plantations (SRP) for energy wood production were planted. In this study, the profitability of SRP using dynamic investment calculation and the Monte-Carlo simulation has been studied. The results of the investment analysis show that profits can be made with SRP. In the risk analysis, the main factors on the economy were simulated; with a probability of up to 80% profits can be achieved.

**Keywords:** Short rotation plantation, Investment appraisal, Monte Carlo simulation

## 1. Aktuelle Situation und Problemstellung

Die Schweiz hat sich Ziele zum Umbau der Energieversorgung und zur Reduktion von Treibhausgasen gegeben. Ein Baustein zur Zielerreichung ist die verstärkte energetische Nutzung von Holz. Die Holznutzung hat in der Schweiz einen Anteil von rund 9% der Wärmeenergieerzeugung. Seit 2001 hat sich die Wärmeenergieerzeugung aus Holz um rund 30% erhöht (BFE, 2012). Von den jährlich geernteten rund 6,3 Mio. m<sup>3</sup> Holz, werden rund 2,4 Mio. m<sup>3</sup> energetisch genutzt. Die Holznutzungspotentiale des Schweizer Waldes werden auf rund 7,4 Mio. m<sup>3</sup> m. R. je Jahr beziffert (BAFU, 2011). Die Energieholzreserven sind damit begrenzt, zumal die Produktionskosten für die verbleibenden Reserven steigen (z.B. Waldflächen im Berggebiet).

Die Landwirtschaft kann zur Energieholzbereitstellung über den Anbau von Kurzumtriebsplantagen (KUP) einen Beitrag leisten. Der Anbau von KUP ist in der Schweiz bisher relativ unbekannt, außerdem bestehen politische Barrieren (z.B. fehlende Förderungen). Aus diesem Grund liegen noch keine betriebswirtschaftlichen Analysen der KUP-Produktion vor. In der vorliegenden Studie wird erstmals die Wirtschaftlichkeit des Anbaus von KUP untersucht und eine Risikoanalyse vorgenommen.

## 2. Material und Methoden

In der vorliegenden Studie wird die Wirtschaftlichkeit von KUP anhand von vier, für die Schweiz typischen, bestehenden Plantagen untersucht. Dazu erfolgte im Sommer 2012 eine empirische Datenerhebung der Kosten, Erlöse und des Arbeitsaufwands.

### 2.1 Datengrundlage

Auf den untersuchten Plantagen wurden Weiden- oder Pappelhybride gepflanzt (Inger, Tordis bzw. Max 4). Die Pflanzung erfolgte über Steckhölzer, manuell bei den Pappeln und mit Pflanzmaschinen bei den Weiden. Gepflanzt wurden zwischen 6.000 und 9.000 Bäume je Hektar. Die Flächen waren alle ackerbaufähig (tiefgründig) bei middle-

rer bis guter Qualität (Braunerde bis sandiger Lehm) und durchschnittlichem Niederschlag (800-1.000 mm). Die Bodenvorbereitung im Pflanzjahr erfolgte mittels Pflug, Grubber und Egge. Zum Schutz der Stecklinge wurden zum Teil Pflanzenschutzmaßnahmen durchgeführt, eine Düngung erfolgte hingegen nicht.

Auf den Praxisbetrieben werden die Weiden alle 3 Jahre und die Pappeln alle 5 Jahre geerntet. Der Ertragsverlauf wurde auf Basis der ersten Ernte und Annahmen für die Folgeernten geschätzt (DLG, 2012; RÖHLE et al., 2011). Bei den Weiden wird ein durchschnittlicher Ertrag von 9 bis 12  $t_{\text{atro}}/\text{ha}$ , bei den Pappeln von 10 bis 12  $t_{\text{atro}}/\text{ha}$  und Jahr erwartet. Die Pappel-Hackschnitzel werden zu 35 bzw. 36 Fr./ $m^3$ , die Weiden-Hackschnitzel zu 33 Fr./ $m^3$  verkauft.

## 2.2 Dynamische Investitionsrechnung

Bei einer KUP fallen Erlöse und Kosten zu unterschiedlichen Zeitpunkten an. Um sie vergleichbar zu machen, müssen diese auf einen Zeitpunkt bezogen und anschließend in gleichmäßigen Annuitäten ausgedrückt werden. Dies erfolgt mittels Annuitätenmethode (KRÖBER et al., 2010). In der dynamischen Investitionsrechnung werden die jährlich anfallenden Kosten (Auszahlungen) von den erzielten Erlösen (Einzahlungen) subtrahiert. Das daraus resultierende Ergebnis wird unter Berücksichtigung des kalkulatorischen Zinssatzes auf den Investitionszeitpunkt  $t_0=0$  (Investitionsbeginn) abgezinst und der Kapitalwert als Summe aller abgezinsten Kosten und Erlöse der Investition berechnet. Im Anschluss wird eine jährliche Erfolgsgröße, eine konstante Annuität, berechnet. Dafür wird der Kapitalwert mit dem Kapitalwiedergewinnungsfaktor multipliziert. Die Annuität stellt den jährlichen Gewinnbeitrag der Investition dar.

Für die Investitionsrechnung wurden folgende Annahmen getroffen:

- Allgemeine jährliche Teuerung von rund 2,1% (Durchschnitt 1980 bis 2011; BFS 2012a).
- Jährliche Teuerung für Hackschnitzel rund 3,4% (Durchschnitt 2005 bis 2012; BFS, 2012b).
- Kalkulationszinssatz 3,5% (GAZZARIN, 2011).

### 2.3 Monte-Carlo-Simulation

Viele Zufallsvorgänge sind so komplex, dass die Wahrscheinlichkeitsverteilung der interessierenden Zufallsvariable  $Y$  (hier der Gewinn/Verlust) und deren Kennzahlen wie z.B. Erwartungswert, Varianz und Quantile nicht exakt bestimmt werden können. Mithilfe von Monte-Carlo (MC) Simulationen kann die Wahrscheinlichkeitsverteilung der Zufallsvariable  $Y$  approximativ bestimmt werden (LANDAU und BINDER, 2000; RAYCHAUDHURI, 2008; ROBERT und CASELLA, 2011).

In einem ersten Schritt wird dabei jeder Ausgangsvariable  $X$  eine spezifische Verteilung zugeschrieben, welche die Auftretenswahrscheinlichkeiten von Werten der Zufallsvariable  $X$  bestimmt. Verteilungen stellen damit eine Beschreibung der Unsicherheit von Variablen in der Risikoanalyse dar. In einem zweiten Schritt wird aus den angenommenen Verteilungen der Ausgangsvariablen  $X$  eine große Anzahl von Zufallsstichproben gezogen. Je grösser die Anzahl der Simulationen, desto höher ist die Güte der Schätzung der Kennzahlen und Verteilungsparameter der Zufallsvariable  $Y$ .

Zu Beginn der MC-Simulation werden die Verteilungen der Eingangsgrößen  $X$  auf Basis der Erhebung und Literaturangaben festgelegt (Tabelle 1). Es gilt die Regel: Je weniger spezifische Kenntnisse über die Inputvariablen verfügbar sind, desto „einfacher“ muss die zugrunde gelegte Verteilung sein. In dieser Studie werden zwei verschiedene Verteilungen für die einzelnen Kosten- und Leistungspositionen untersucht: die Dreiecksverteilung für die Approximation heutiger Verhältnisse sowie eine Beta-Verteilung für zukünftig erwartete Bedingungen.

Tab. 1: Kosten und Leistungen

Variable	Einheit	Minimum (a)	Maximum (b)	Mittelwert (c)
Gesamtkosten Pflanzung	Fr./ha	150	500	325
MK* Ernte	Fr./ha	500	1.500	1.000
MK* Häckseln/ Logistik	Fr./ha	0	1'500	750
MK* Rückumwandlung	Fr./ha	80	150	115
Arbeitskosten	Fr./ha	50	800	425
Flächenpacht	Fr./ha	400	1.500	950
Ertrag	$t_{atro}$ /ha	6	15	11
Hackschnitzelpreis	Fr./ $t_{atro}$	250	500	375

\*MK: Maschinenkosten,  $t_{atro}$  = Gewicht von 1 Tonne absolut trockener Holzmasse  
Quelle: EIGENE DARSTELLUNG, Ertragsspanne nach DLG 2012, RÖHLE et al. 2011

Die Dreiecksverteilung ist eine der einfachsten Verteilungsannahme für eine Zufallsvariable. Für die meisten Kosten- und Leistungspositionen stehen Werte der eigenen Erhebung zur Verfügung. Basierend auf den Ergebnissen der Investitionsrechnung und ergänzt durch Literaturangaben, werden Annahmen für die den MC-Simulationen zugrunde gelegten Verteilungen getroffen. Dabei werden für die wichtigsten Einflussfaktoren, Kosten- und Leistungsvariablen, Kennwerte (Minimum  $a$ , Maximum  $b$  und Mittelwert  $c$ ) definiert, die in die Monte-Carlo-Simulation einfließen (siehe Tabelle 1).

Die erwartete zukünftige Entwicklung der einzelnen Preis- und Leistungspositionen wird durch linksschiefe (oder rechtssteile) und rechtschiefe (oder linkssteile) Verteilungen approximiert. Die Spezifikationen für die MC Simulationen auf der Basis schiefer (Beta-) Verteilungen (SIM2) finden sich in Tabelle 2.

Tab. 2: Spezifikation der Parameter der Beta-Verteilung der Kosten- und Leistungspositionen.

Variable	p	q	Charakterisierung der Verteilung
Pflanzung	3	5	leicht linkssteil
Ernte	3	2	rechtssteil
Häckseln und Logistik	3	5	leicht linkssteil
Arbeitskosten nach Anlage	2	5	linkssteil
Flächenpacht	3	2	rechtssteil
Ertrag	3	2	rechtssteil
Hackschnitzelpreis	3	2.5	leicht rechtssteil

Quelle: EIGENE DARSTELLUNG

Die beiden Parameter  $p$  und  $q$  bestimmen die Form der Beta-Verteilung. Die Beta-Verteilung ist für  $p < q$  rechtsschief, für  $p = q$  symmetrisch und für  $p > q$  linksschief. Für  $p, q < 1$  ist die Beta-Verteilung U-förmig; für  $p = 2$  und  $q = 1$  bzw.  $p = 1$  und  $q = 2$  liegt eine Dreiecksverteilung vor, für  $p = q = 1$  eine Gleichverteilung.

Es wird angenommen, dass mit zunehmendem Anbau von KUP, wachsender Professionalisierung und Erfahrung zukünftig folgende Änderungen in der KUP-Produktion wahrscheinlicher werden (und damit (nicht symmetrische) Beta-Verteilung nahelegen):

- Pflanzung: zunehmende maschinelle Pflanzung (höhere Maschinenkosten, niedrigere Arbeitskosten).
- Ernte: Professionelle Erntetechnik (höhere Maschinenkosten).

- Häckseln/Logistik: Professionelle Erntetechnik reduziert Häcksel- und Logistikkosten.
  - Arbeitskosten: Reduktion durch professionelle Ernte.
  - Flächenpacht: Knappes Flächenangebot erhöht Pachtpreise.
  - Ertrag: Standortbedingungen für KUP in der Schweiz sehr gut.
  - Hackschnitzelpreis: Energiepreis steigt stärker als unterstellt.
- Den Kostenpositionen Pflege, Rückumwandlung und Gemeinkosten werden auch in SIM2 Dreiecksverteilungen unterstellt.

Die Zufallsvariablen weisen selbstverständlich große Unsicherheiten auf. Ergebnisse sind entsprechend vorsichtig zu interpretieren.

### 3. Ergebnisse

#### 3.1 Ergebnisse der dynamischen Investitionsrechnung

Beim Anbau von KUP gibt es vor allem zwei arbeits- und kostenintensive Prozesse. Die Anlage der Plantage und die Ernte. Die Anlagekosten setzen sich aus den Stecklingspreisen, den Maschinen-, Arbeits- und übrigen Kosten für Organisation, Pflanzenschutzmittel, Bodenprobe etc. zusammen. In Summe betragen die Pflanzkosten der KUP zwischen rund 2.800 und 5.800 Fr./ha. Die große Spannbreite in den Pflanzkosten begründet sich vor allem durch die höheren Arbeitskosten bei der manuellen Pflanzung der Pappeln, unterschiedlich hohen Stecklingspreisen sowie Unterschieden beim Maschineneinsatz. Die Kosten der Pflanzung werden auf die Nutzungsdauer der Plantage (24 Jahre bei Weiden und 25 Jahre bei Pappeln) abgeschrieben und mit dem Kalkulationszinssatz verzinst.

Der nächste Arbeitsschritt folgt zur Ernte der KUP. Die Pappeln werden in einer zweiphasigen Ernte zuerst mit einem Fällgreifer gefällt und am Feldrand zusammengeführt. Dort trocknen sie, bevor sie mit einem mobilen Hacker zu Hackschnitzeln verarbeitet und eingelagert werden. Die Erntekosten (Ernte, Häckseln/Logistik, Arbeit) betragen zwischen 2.150 und 2.192 Fr./ha. Die Weiden werden dagegen in einer einphasigen Ernte mittels Feldhäcksler mit Holzgebiss geerntet. Die Ernte umfasst Häckseln und Transport der Weiden in einem Arbeitsgang und kostet zwischen 1.003 und 1.243 Fr./ha (Variable MK\*Häckseln/Logistik ist deshalb für Weiden gleich Null).

Sollen die Flächen nach der Nutzungsdauer in Acker oder Weide umgewandelt werden, ist dies mit Rodungsfräse und Forstmulcher im Lohn möglich. Die berücksichtigten Flächenkosten leiten sich von den regionalen Pachtpreisen ab.

In Summe liegen die Jahreskosten je Hektar bei den Weiden bei rund 2.250 Fr./ha und bei den Pappeln zwischen 3.800 und 4.000 Fr./ha. Auf der Erlösseite steht der Verkauf der Hackschnitzel. Förderungen oder Direktzahlungen werden für KUP in der Schweiz nicht geleistet. Der kalkulatorische Gewinn variiert in einer Spanne von rund 300 bis 1.146 Fr./ha (Tabelle 3). Dies liegt vor allem an den unterschiedlichen regionalen Pachtpreisen, Unterschieden im Anbauverfahren und damit unterschiedlich hohem Arbeits- und Maschinenkosten.

Tab. 3: Kosten und Leistungen der KUP auf Basis der Barwerte

Variable	Einheit	Standort 1	Standort 2	Standort 3	Standort 4
Kosten Pflanzung	Fr./ha	344	352	193	174
MK* Ernte	Fr./ha	1.226	517	1.243	1.003
MK* Häckseln/ Logistik	Fr./ha	745	1.019	0	0
Pflege	Fr./ha	16	16	17	17
MK* Rückwandlung	Fr./ha	86	86	118	118
Arbeitskosten	Fr./ha	179	656	72	72
Flächenpacht	Fr./ha	1.251	1.000	496	744
Gemeinkosten	Fr./ha	125	125	124	124
$\Sigma$ Kosten	Fr./ha	3.972	3.772	2.263	2.252
Ertrag	t <sub>atro</sub> /ha	12	10	12	9
Hackschnitzelpreis	Fr./t <sub>atro</sub>	401	413	285	285
$\Sigma$ Leistungen	Fr./ha	4.806	4.133	3.409	2.552
Gewinn (+)/ Verlust (-)	Fr./ha	833	362	1.146	300

\*MK: Maschinenkosten

Quelle: EIGENE DARSTELLUNG

### 3.2 Simulation der Rahmenbedingungen – Monte-Carlo-Simulation

Auf der Basis der Verteilungsannahmen wurden zwei MC Simulationen mit je  $n=10^6$  Simulationsiterationen durchgeführt. Eine Million Iterationen sind ausreichend für sehr genaue Ergebnisse, da eine weitere Erhöhung der Anzahl an Iterationen keine Veränderungen in der ersten Nachkommastelle der statistischen Kennzahlen in Tabelle 4 zur Folge hat.

Die erste MC-Simulation (SIM1) basiert auf Dreiecksverteilungen aller Kosten- und Leistungspositionen, wobei für die drei Parameter a (Minima), b (Maxima) und c (Mittelwert) die in Tabelle 1 spezifizierten Werte eingesetzt werden. Die Wahrscheinlichkeitsdichten der Variable „Gewinn/Verlust“ sind in der Abbildung 1 für SIM1 und SIM2 dargestellt.

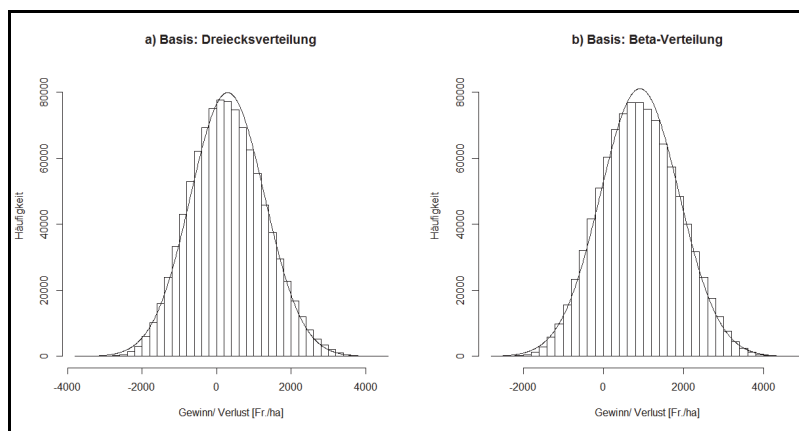


Abb. 1: Verteilung der Zufallsvariable „Gewinn/ Verlust“ auf der Basis von MC mit  $n=10^6$  Simulationen. a) SIM1: Dreiecksverteilungen; b) SIM2: Beta-Verteilungen. Durchgezogene Linie: Normalverteilung.

Quelle: EIGENE DARSTELLUNG

Die Ergebnisse zeigen, dass die beiden Verteilungen gleich „breit“ (ähnliche Standardabweichung), jedoch zueinander „verschoben“ sind. Der Mittelwert liegt bei SIM1 mit rund 299 Fr./ha deutlich tiefer als bei SIM2 mit rund 910 Fr./ha. Die Verschiebung ist auf die unterstellte rechtssteile Verteilung bei den wertmäßig wichtigen Kosten „Ernte“ und „Flächenpacht“ sowie der Leistung zurückzuführen.

Die „Verschiebung“ der Verteilungskurve führt dazu, dass die Wahrscheinlichkeit, die Gewinnzone zu erreichen bei SIM2 deutlich höher liegt als bei SIM1. So liegt die Wahrscheinlichkeit für einen Gewinn bei SIM1 bei lediglich 60%, während diese bei SIM2 auf 81,5% ansteigt. Das Risiko eines Verlusts ist damit bei SIM1 mit 40% rund doppelt so hoch wie in Simulation SIM2.

Aus Tabelle 4 kann ferner herausgelesen werden, dass in SIM1 (SIM2) mit einem Risiko von 10% ein Verlust von über 978 Fr./ha (354 Fr./ha)



erwartet werden muss. Die Analyse der mithilfe von MC simulierten Verteilungskurven zeigen, dass durchschnittlich für jede vierte KUP einen Gewinn von über 962 Fr./ha (SIM1) respektive 1.593 Fr./ha (SIM2) erwartet werden darf.

Tab. 4: Statistische Kennzahlen für die Verteilung der Zufallsvariable „Gewinn/Verlust“ der MC-Simulationen SIM1 und SIM2 mit  $n=10^6$  Simulationen.

Kennzahl	SIM1 (Fr./ha)	SIM2 (Fr./ha)
2,5%-Quantil	-1.551	-933.9
10%-Quantil	-978	-354
1. Quartil	-413	215
Arithm. Mittel (Erwartungswert)	292 (294)	912 (912)
3. Quartil	962	1.593
90%-Quantil	1.609	2.209
97,5%-Quantil	2.324	2.850
Standardabweichung	997 (998)	982 (983)
Standardfehler des arithm. Mittel	0,997	0,982

Quelle: EIGENE DARSTELLUNG

#### 4. Diskussion und Schlussfolgerung

Kurzumtriebsplantagen können unter den getroffenen Annahmen wirtschaftlich sein. Die MC Simulationen zeigen, dass die mit der dynamischen Investitionsrechnung berechneten Kosten und Leistungen mit recht großen Unsicherheiten behaftet sind. So verdeutlichen die Modellrechnungen für das Szenario SIM1 (heutige Verhältnisse), dass das Risiko 5% beträgt, dass der Gewinn/Verlust (2,5%- und 97,5%-Quantil) außerhalb des Intervalls [-1.551 Fr./ha, 2.324 Fr./ha] zu liegen kommt. Der Vergleich der beiden Simulationen zeigt, dass die Gewinnchancen für den Anbau von KUP in Zukunft noch ansteigen dürften: So sinkt das Risiko, einen Verlust zu erleiden, von 40% in SIM1 auf 18,5% in SIM2.

Zusätzliche Gewinnchancen liegen in der allgemeinen Entwicklung der Energiepreise, welche auch die Preise für Hackschnitzel beeinflussen. So erhöhte sich beispielsweise der Heizölpreis in der Schweiz in den 20 Jahren zwischen 1980 und 2011 um durchschnittlich rund 7,5% je Jahr (BFS, 2012B). Aufgrund steigender Nachfrage nach Energieholz könnten auch die Energieholzpreise stärker steigen als in SIM1 und SIM2 unterstellt. Sinken oder stagnieren fossile Energiepreise – wie z.B.

2014/15 – könnte sich dies dagegen negativ auf die Nachfrage nach Energieholz auswirken; mittelfristig sind stagnierende fossile Energiepreise allerdings nicht zu erwarten. Wichtige weitere hemmende Faktoren für KUP sind zudem großen Wissenslücken in der Praxis und die fehlende Förderung in der Schweiz.

### Literatur

- BAFU (BUNDESAMT FÜR UMWELT) (2011): Holznutzungspotenziale im Schweizer Wald. Bern.
- BEMMANN A., KNUST C. (Hrsg.): Agrowood – Kurzumtriebsplantagen in Deutschland und europäische Perspektiven. Berlin.
- BFE (BUNDESAMT FÜR ENERGIE) (2012): Schweizerische Statistik der erneuerbaren Energien. Ausgabe 2011. Bern.
- BFS (BUNDESAMT FÜR STATISTIK) (2012a): Landesindex der Konsumentenpreise – Indikatoren. Neuchâtel.
- BFS (BUNDESAMT FÜR STATISTIK) (2012b): Landesindex der Konsumentenpreise – Heizöl. Neuchâtel.
- DLG (DEUTSCHE LANDWIRTSCHAFTS-GESELLSCHAFT e.V) (2012): Kurzumtriebsplantagen - Anlage, Pflege, Ernte und Wertschöpfung. Frankfurt.
- GAZZARIN C. (2011): Maschinenkosten 2011. ART-Bericht 747. Agroscope Reckenholz-Tänikon, Ettenhausen.
- KRÖBER M., HEINRICH J. WAGNER P. und SCHWEINLE J. (2010): Ökonomische Bewertung und Einordnung von Kurzumtriebsplantagen in die gesamtbetriebliche Anbaustruktur. In: BEMMANN A., KNUST C.: Agrowood – Kurzumtriebsplantagen in Deutschland und europäische Perspektiven. Berlin.
- LANDAU D. P. and BINDER K. (2000): A Guide to Monte Carlo Simulations in Statistical Physics, CUP.
- RAYCHAUDHURI S. (2008): Introduction to Monte Carlo Simulation. In proceedings of Winter Simulation Conference 2008. Miami.
- ROBERT C. P. and CASELLA G. (2011): Introducing Monte Carlo Methods with R. Springer, New York.
- RÖHLE H., HARTMANN K.-U. und STEINKE C. (2011): Ertragskunde. In: Skodawessely C., Pretzsch J., Bemmam A. (Hrsg.), Beratungshandbuch zu Kurzumtriebsplantagen. TU Dresden.

### Anschrift der Verfasser

*Dr. Victor Anspach, Ingenieurbüro Anspach  
Bahnhofstrasse 31, 8280 Kreuzlingen, Schweiz  
eMail: victor.anspach@ibanspach.ch*

*Dr. Andreas Roesch, Agroscope  
Reckenholzstrasse 191, 8046 Zürich, Schweiz  
eMail: andreas.roesch@agroscope.admin.ch*