

Zeitschrift: Landtechnik Schweiz

Herausgeber: Landtechnik Schweiz

Band: 70 (2008)

Heft: 9

Artikel: Wirtschaftlichkeit von Windkraftanlagen auf landwirtschaftlichen Betrieben : lohnt sich eine Investition?

Autor: Zumbühl, Thomas / Gazzarin, Christian / Rigassi, Reto

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1080494>

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: 04.02.2026

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

Wirtschaftlichkeit von Windkraftanlagen auf landwirtschaftlichen Betrieben

Lohnt sich eine Investition?

Thomas Zumbühl, Christian Gazzarin, Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, Tänikon,
CH-8356 Ettenhausen, E-Mail: christian.gazzarin@art.admin.ch
Reto Rigassi, Suisse Eole c/o Enco AG, Wattwerkstr. 1, CH-4416 Bubendorf

Mit Windkraftanlagen auf Landwirtschaftsbetrieben lassen sich regelmässige Erlöse bei einem vernachlässigbaren Arbeitsaufwand erzielen. Dem steht jedoch ein sehr hoher Investitionsaufwand gegenüber. Mit der neuen Einspeisevergütung für Windstrom stellt sich die Frage, ob Landwirtschaftsbetriebe in Windkraftanlagen investieren sollen. Zur Beantwortung dieser Frage wurde anhand eines Kalkulationsmodells die Rentabilität von vier Modellanlagen berechnet. Darunter eine Kleinwindanlage von 6,5 kWp und drei Grosswindanlagen in der Grösse von 900, 1300 und 2000 kWp. Unter den gegenwärtigen Einspeisevergütungen lässt sich die berechnete

Kleinwindanlage an keinem Standort wirtschaftlich betreiben. Die betreffenden Grosswindanlagen können trotz Ausschöpfung des günstigen Investitionskredits von 200'000 Franken erst ab einer mittleren Windstärke von gut 6 m/s rentabel betrieben werden. Diese Standorte sind im Landwirtschaftsgebiet kaum vorhanden. Aus betriebswirtschaftlicher Sicht ist «Windstrom vom Bauernhof» momentan keine lohnende Investition. Erst mit einer deutlichen Anhebung der Einspeisevergütung oder mit dem Stromverkauf über private Stromlabels könnten die hohen Anlagepreise kompensiert und die Potentiale der vorhandenen Standorte auch rentabel genutzt werden.

Inhalt	Seite
Problemstellung	2
Einleitung	2
Übersicht und technische Grundlagen	2
Annahmen für vier verschiedene Modellanlagen	3
Annahmen für die Wirtschaftlichkeitsrechnung	4
Ergebnisse	5
Schlussfolgerungen	6



Abb. 1: Windkraftanlagen können nur an besten Standorten rentabel betrieben werden
(Foto: Suisse Eole)



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Volkswirtschafts-departement EVD
Forschungsanstalt
Agroscope Reckenholz-Tänikon ART

Problemstellung

Die Erzeugung von Energie aus erneuerbaren Quellen stößt in der Landwirtschaft auf zunehmendes Interesse. Gemäss dem energiepolitischen Ziel, erneuerbare Energien verstärkt zu fördern, werden garantierter Einspeisevergütungen über mehrere Jahre entrichtet. Der Bau von Windkraftanlagen ist, je nach Grösse und Standort, mit hohen Investitionen verbunden, womit auch bei garantierter Einspeisevergütung ein unternehmerisches Risiko besteht. Wie steht es mit der Rentabilität solcher Anlagen und wie wirkt sich die wichtigste Einflussgrösse, der Standort, auf den wirtschaftlichen Erfolg aus?

Einleitung

Energieeffizienzmassnahmen und die Förderung von erneuerbaren Energien zählen in der künftigen Schweizer Energiepolitik zu den Schwerpunkten. In der Stromversorgungs- und der revidierten Energieverordnung wurden mit der Einführung von garantierten Einspeisevergütungen politische Weichen gestellt (BFE 2007). Im Bereich der erneuerbaren Energien bietet sich für die Landwirtschaft ein beträchtliches Potenzial. Im Vordergrund steht dabei die energetische Nutzung von Biomasse. Die Wirtschaftlichkeit von Biogas- und Photovoltaikanlagen wurde bereits untersucht (Gubler et al. 2007; Gazzarin und Zumbühl

2008). Der vorliegende ART-Bericht möchte die Analysen nun auf Windkraftanlagen erweitern.

Durch die dezentrale Lage ergeben sich für landwirtschaftliche Betriebe grundsätzlich gute Voraussetzungen für Windkraftanlagen. Im Unterschied zum Betrieb einer Biogasanlage verursacht die Nutzung von Windenergie keinen nennenswerten zusätzlichen Arbeitsaufwand. Außerdem fällt auch keine Prozesswärme ab, die meistens schlecht verwertbar ist. Deshalb eignet sich diese Art der Energieerzeugung vor allem für Betriebe mit hoher Arbeitsauslastung oder geringem Flächenangebot – Merkmale, die für viele landwirtschaftliche Betriebe in der Schweiz zutreffen. Damit besteht die Möglichkeit, über einen neuen arbeitsextensiven Betriebszweig ein Zusatzeinkommen zu generieren.

In der Schweiz sind zurzeit (Stand, 1.5.2008) rund 12 Windkraftanlagen mit einer Nennleistung von über 100 kW in Betrieb (Suisse Eole, 2007). Gemeinsam haben sie eine installierte Leistung von 11,25 MW, was einer durchschnittlich installierten elektrischen Leistung von knapp 1 MW entspricht. Dazu kommen fünf Windkraftanlagen zwischen 10 und 100 kW und 14 Anlagen mit weniger als 10 kW Leistung. Die gesamte Stromproduktion beträgt zirka 14 bis 15 GWh/a und deckt den Strombedarf von ungefähr 4000 bis 4300 Haushalten (Suisse Eole, 2007). Im Moment sind zahlreiche Anlagen mit einer Gesamtleistung, die den heutigen Bestand um ein Mehrfaches übertrifft, in Planung. Das Potenzial ist damit aber noch lange nicht ausgeschöpft, sodass in Zukunft wohl weitere grössere Windpärke projektiert werden. Nach den Zielen von Energie Schweiz soll bis 2010 eine Produktion von 50 bis 100 GWh Strom aus Windkraft angepeilt werden, was etwa dem Verbrauch von 15000 bis 30000 Haushalten entspricht (Suisse Eole 2007).

Gemäss Suisse Eole, der Vereinigung zur Förderung der Windenergie in der Schweiz, besteht bis 2025 ein Potenzial von 600 GWh, was dem Verbrauch von rund 170000 Haushalten entspricht. Der Trend geht weltweit zu grösseren Anlagen. Bereits bestehende Windpärke werden durch «Repowering» erweitert. Dies bedeutet, dass bestehende Anlagen durch leistungsstärkere Anlagen ersetzt werden.

Übersicht und technische Grundlagen

Eine Windkraftanlage nutzt die in den strömenden Luftmassen enthaltene Bewegungsenergie und wandelt sie in elektrische Energie um. Die Bewegungsenergie der Windströmung wirkt auf die Rotorblätter und versetzt diese in eine Drehbewegung. Die Rotationsenergie wird von einem Generator aufgenommen und in elektrische Energie umgewandelt, die ins Stromnetz eingespeist wird. Während bei Photovoltaikanlagen tagsüber und vor allem im Sommerhalbjahr Strom erzeugt wird, fallen die Erträge von Windkraftanlagen auch nachts und vermehrt außerhalb des Sommerhalbjahres an.

Leistung und Grösse in Entwicklung

Das Wachstum der in Serie hergestellten Windkraftanlagen war in den vergangenen 25 Jahren enorm. 1983 betrug der Rotordurchmesser einer typischen Anlage 15 m und die Nennleistung des Generators 55 kW, im Jahr 2005 standen bereits ausgereifte Serienmaschinen mit einem Rotordurchmesser von 90 m und einer Nennleistung von 2,5 MW im Einsatz. Die grösssten heute betriebenen Windkraftanlagen besitzen eine Nennleistung von bis zu 6 MW und einen Rotordurchmesser von bis zu 125 m. Anlagen mit einer Leistung von 2 MW können heute als Standard betrachtet werden. Die grössste in der Schweiz betriebene Anlage in Collonges von der RhôneEole SA hat eine Nennleistung von 2 MW und einen Rotordurchmesser von 71 m.

Leichtwindanlagen

Von einer Schweizer Firma werden Leichtwindanlagen entwickelt, die für die Nutzung

Abkürzungen & Glossar	
BK	Bankkredit (in der Regel Hypothek)
IK	Investitionskredit (zinslos)
WKA	Windkraftanlage
kWh	Kilowattstunde
kWp	Kilowatt-Peak, Nennleistung
MWp	Megawatt-Peak
Weibull-Formparameter	Die Weibull-Verteilung zeigt, wie der Wind an einem Standort über eine gewisse Zeit auftritt. Der Formparameter gibt Auskunft über die Form dieser statistischen Verteilung, die als Kurve dargestellt wird.
Rauigkeitslänge	Wert in Meter, der die Höhe über Boden angibt, wo der Wind theoretisch gleich Null ist. Beschreibt den Einfluss der Oberflächenbeschaffenheit einer Landschaft auf die Windverhältnisse.
Rauigkeitsklasse	Die Rauigkeitsklasse wird auf Basis der Rauigkeitslänge definiert. z. B. Rauigkeitslänge = 0,1 m entspricht Rauigkeitsklasse = 2 (Landwirtschaftliches Gelände mit einigen Häusern und 8 m hohen Hecken im Abstand von zirka 500 Meter).
mittlere Windgeschwindigkeit	Durchschnittliche Windgeschwindigkeit an einem Standort.

von leichten, variablen Winden konzipiert ist und durch eine Masthöhe von 18 m und einen Rotordurchmesser von 12,8 m das Landschaftsbild weniger beeinträchtigt als eine konventionelle Starkwindanlage. Als Vertreterin dieser Gruppe hat die Leichtwindanlage Aventa AV-7 eine Nennleistung von 6,5 kW und produziert ab einer Windstärke von 2 m/s bereits elektrische Energie. Diese Anlage eignet sich für Standorte mit einer maximalen mittleren Windgeschwindigkeit von 4,5 m/s.

Leichtwindanlagen lassen sich nicht direkt mit Starkwindanlagen vergleichen. Sie stellen vielmehr eine Ergänzung oder Alternative zu Solarstromanlagen dar. Ihre Leistung ist viel geringer, dafür können sie breiter eingesetzt werden, das heisst auch an Standorten, wo eine Starkwindanlage aufgrund geringer Windgeschwindigkeiten keinen Sinn macht. Sie beeinträchtigen die Umgebung dank der geringen Grösse und Geräuschlosigkeit weniger. In Bezug auf die produzierte Strommenge ist die Beeinträchtigung im Vergleich zu den Grosswindanlagen jedoch deutlich grösser. Werden solche

Tabelle 1: Technische Annahmen

WKA-Typ	WKA-1	WKA-2	WKA-3	Aventa AV-7
Nabenhöhe (m)	60	80	100	18
Rotordurchmesser (m)	52	62	76	12,8
Nennleistung (kWp)	900	1300	2000	6,5
Rotorfläche (m^2)	2124	3019	4536	129
Nutzungsdauer (Jahre)	20	20	20	20

Anlagen auf Landwirtschaftsbetrieben an geeigneten Standorten erstellt, könnten sie sich eventuell als gute Image- und Werbeträger eignen und dementsprechend eine Breitenwirkung erzielen.

Bestandteile und Aufbau einer Windkraftanlage

Eine Windkraftanlage wird durch ein aufwändiges Fundament im Untergrund befestigt, um die nötige Standsicherheit herzustellen. Auf das Fundament wird ein Stahlurm aufgesetzt, an dessen Spitze die Maschinengondel mit Generator, Antriebswelle, Windnachführungseinrichtung und Steuerung drehbar gelagert wird (Abb. 2). An der Nabe befinden sich meist drei Rotorblätter, die für den nötigen Antrieb sorgen. Dazu kommen Überwachungs-, weitere Steuerungs- und Regelsysteme, die für einen optimalen Betrieb sorgen. Der erzeugte Strom fliesst über einen Transfator respektive die Netzanschlusstechnik in der Maschinengondel, im Mast oder ausserhalb in einem Betriebsgebäude auf Grund in das Elektrizitätsnetz. Insbesondere an dezentralen Standorten ist die Transportzufahrt zu berücksichtigen, die je nach Grösse der Anlage mehr oder weniger grosse Probleme verursachen kann (Abb. 3). Weitere technische Angaben sind im Anhang enthalten.



Abb. 2: Windkraftanlage mit offener Maschinengondel (siehe Anhang; Quelle: www.stromonline.ch)



Abb. 3: Montage der Anlage mit zwei Kränen. Zu einem geeigneten Standort gehört unter anderem, dass er mit schweren und langen Transportfahrzeugen zugänglich ist (Foto: Bundesverband Windenergie, Deutschland)

Sinn, denn die unterschiedliche Auslegung der Anlagen in Bezug auf Windverhältnisse und zusätzlich versprochenen Nutzen als Werbe- respektive Imageträger kann nicht eindeutig berechnet werden. Da aber dieses Konzept eine gewisse Verbreitung aufweist, wurde es in die Betrachtung aufgenommen.

Für die Leichtwindanlage stammen die Annahmen aus aktuellen Angaben der Firma Aventa AG.

Windstromerträge

Zur Berechnung der erwarteten Stromerträge für die vier verschiedenen Windkraftanlagen wurde der so genannte Leistungs-Calculator auf der Website der Danish Wind Industry Association verwendet (www.windpower.org). Der Leistungs-Calculator enthält bereits vorgegebene Leistungskurven und Angaben für verschiedene Anlagen, die sich beliebig verändern lassen. Für die drei Starkwindanlagen wurden vorgegebene Anlagen im Leistungs-Calculator in angepasster Form verwendet (Tab. 2). Da keine aufgeführt Anlage mit der Leichtwindanlage übereinstimmte, wurde mit den entsprechenden Herstellerdaten ein benutzerdefiniertes Profil erstellt (Tab. 3). Als Höhe für alle Standorte und berechneten Fälle wurden 1000 m ü.M. angenommen.

Für die drei Starkwindanlagen gilt ein Referenzstandort, wie er aus der Erläuterung der Stromversorgungsverordnung definiert ist (BFE 2008). Dabei handelt es sich um einen Standort mit einer mittleren Windgeschwindigkeit von 4,5 m/s auf 50 m über Grund mit einem Weibull-Formparameter $k=2$, einer Rauigkeitslänge von 0,1 und einer Rauigkeitsklasse von 2 (siehe Glossar). Abbildung 4 zeigt eine Übersichtskarte der durchschnittlichen Windstärken in der Schweiz auf 50 m über Grund. Die guten Windlagen beschränken sich auf die höheren Lagen des Alpenraums, den Jura und Hügellagen südwestlich von Luzern. Eine rentable Windstromproduktion auf Landwirtschaftsbetrieben dürfte somit vorwiegend in letzteren beiden Regionen möglich sein.

Annahmen für vier Modellanlagen

Anlagegrössen und technische Annahmen

Für die Wirtschaftlichkeitsberechnungen wurden vier verschiedene Modellanlagen betrachtet – drei Starkwindanlagen mit je 900 kW, 1,3 MW und 2 MW und eine Leichtwindanlage mit 6,5 kW installierter elektrischer Leistung (Tab. 1). Ein direkter Vergleich der Leichtwindanlage mit den grösseren Anlagen macht wenig

■ ART-Bericht 700

Für die Leichtwindanlage wurde zusätzlich eine weitere Variante gerechnet mit einer Windgeschwindigkeit auf Nabenhöhe (18 m) statt 50 m über Grund. Wird die mittlere Windgeschwindigkeit am Standort auf Nabenhöhe angenommen – womit grundsätzlich eine höhere Windstärke benötigt wird –, steigen die Erträge markant an.

Annahmen für die Wirtschaftlichkeitsrechnung

Erlös

Der Erlös aus dem Stromverkauf ist das Produkt aus der verkauften Strommenge (kWh) und dem Strompreis pro kWh. Der Strompreis pro kWh richtet sich nach der Einspeisevergütung gemäss Stromversorgungsverordnung (StromVV, SR 734.71) vom 1.4.2008. Dabei unterscheiden sich die Regelungen für Klein- und Grosswindanlagen. Für Kleinwindanlagen beträgt die Vergütung für die ganzen 20 Jahre 20 Rp./kWh. Bei Grosswindanlagen ist für die ersten fünf Jahre ebenfalls eine Vergütung von 20 Rp./kWh vorgesehen. Danach hängt die Vergütung von zwei Einflussfaktoren, nämlich der effektiven Stromproduktion der Anlage und dem Referenzvertrag, ab. Der Referenzvertrag leitet sich vom Referenzstandort (BFE 2008) ab. Falls die Anlage mehr als 150 % des Referenzvertrages produziert, erfolgt ab dem 6. Betriebsjahr eine Senkung der Vergütung auf 17 Rp./kWh. Werden die 150 % des Referenzvertrags nicht erreicht, wird weiterhin 20 Rp./kWh ausbezahlt, wobei dies nur für eine begrenzte Zeitdauer gilt. Die Zeittdauer wiederum wird folgendermassen berechnet: Pro 0,75 % Unterschreitung von 150 % des Referenzvertrages erfolgt die Anrechnung von 2 Monaten. Nach dieser Zeittdauer beträgt die Entschädigung 17 Rp./kWh für den Rest der 20 Jahre. Zur besseren Verständlichkeit der Erlösberechnung für Grosswindanlagen soll folgendes Beispiel dienen: Der effektive Stromertrag einer Anlage in den ersten fünf Jahren sei 1 Mio. kWh/a, während der entsprechende Referenzvertrag 0,8 Mio. kWh/a beträgt. 150 % des Referenzvertrags würden demnach 1,2 Mio. kWh/a ergeben. Somit erreicht die betrachtete Anlage 83,3 %, bzw. es fehlen 16,7 %, um die 150 % des Referenzvertrages zu erreichen. Diese 16,7 % werden nun durch 0,75 % dividiert und anschliessend mit 2 Monaten multipliziert, was 46,7 Monate ergibt. Während dieser Zeit werden 20 Rp./kWh ausbezahlt, danach sinkt die Entschädigung auf 17 Rp./kWh.

Tabelle 2: Erwartete Stromerträge der Starkwindanlagen (in kWh pro Jahr)

Fall 1	WKA-1	WKA-2	WKA-3
Windstärke Standort (m/s)	erwarteter Ertrag (kWh/a)	erwarteter Ertrag (kWh/a)	erwarteter Ertrag (kWh/a)
4	539878	899816	1431598
4,5	781893	1270328	2028097
5	1042524	1693771	2743896
5,5	1340388	2143679	3499461
6	1638252	2620052	4255027
6,6	1954732	3069960	5010592
7	2252596	3546333	5726391

Tabelle 3: Erwartete Erträge Leichtwindanlage

Standort (m/s)	Fall 1a (18 m): Ertrag (kWh/a)	Fall 1b (50 m): Ertrag (kWh/a)
2,5	5640	3384
3	9024	5640
3,5	13536	9024
4	16920	12408
4,5	21432	15792
5	24816	19176

Tabelle 4: Angenommene Investitionsbeträge für die Modellanlagen

WKA-Typ	WKA-1	WKA-2	WKA-3	Aventa AV-7
Gesamtinvestition 2008 (CHF)	2362500	3400000	5500000	140000
Investition pro kWp (CHF/kWp)	2625	2615	2750	21538

Bezogen auf eine Nutzungsdauer von 20 Jahren kann nun die durchschnittliche Vergütung berechnet werden. Während der ersten 5 Jahre (60 Monate) sowie der errechneten 46,7 Monate, also während 106,7 Monaten, werden 20 Rp./kWh ausbezahlt. Für die Restdauer werden nun die 106,7 Monate von 20 Jahren (240 Monaten) abgezogen, was 133,3 Monate ergibt. Die durchschnittliche Vergütung beträgt demnach 18,3 Rp.:

$$(106,7 \text{ Monate} \times 20 \text{ Rp.}) + (133,3 \text{ Monate} \times 17 \text{ Rp.}) = 18,3 \text{ Rp.}$$

240 Monate

Planung. Je nach Standortbedingungen können die Investitionen für das Fundament, die Erschliessung und den Netzanschluss stark variieren. Für die Modellberechnungen wurden eher günstige Voraussetzungen unterstellt. Es gilt darauf hinzuweisen, dass aufgrund der stark gestiegenen Nachfrage und der höheren Rohstoffpreise die Investitionen für die Anlagen WKA-1 bis WKA-3 seit 2005 stark gestiegen sind. Ein WKA-Projekt beansprucht bis zur Inbetriebnahme je nach Standort und Bedingungen einen Zeitraum von bis zu 5 Jahren oder länger, was insbesondere auf die Windmessungen und zunehmende Lieferfristen zurückzuführen ist. Deshalb wurden mittelfristige Annahmen getroffen und die Kosten angepasst.

Investitionsbetrag

Die Investitionen betragen je nach Anlage gut 140000 bis 5,5 Mio. Franken (Tab. 4). Berücksichtigt sind die Anlage (Turm, Gondel, Generator, Mast etc.), das Fundament, die Erschliessung, der Netzanschluss und die

Abschreibungen, Kapitalkosten, Unterhalt

Die Lebensdauer der einzelnen Anlagebestandteile wurde als einheitlich angenommen und für die Abschreibungen eine Zeitspanne von 20 Jahren angesetzt.

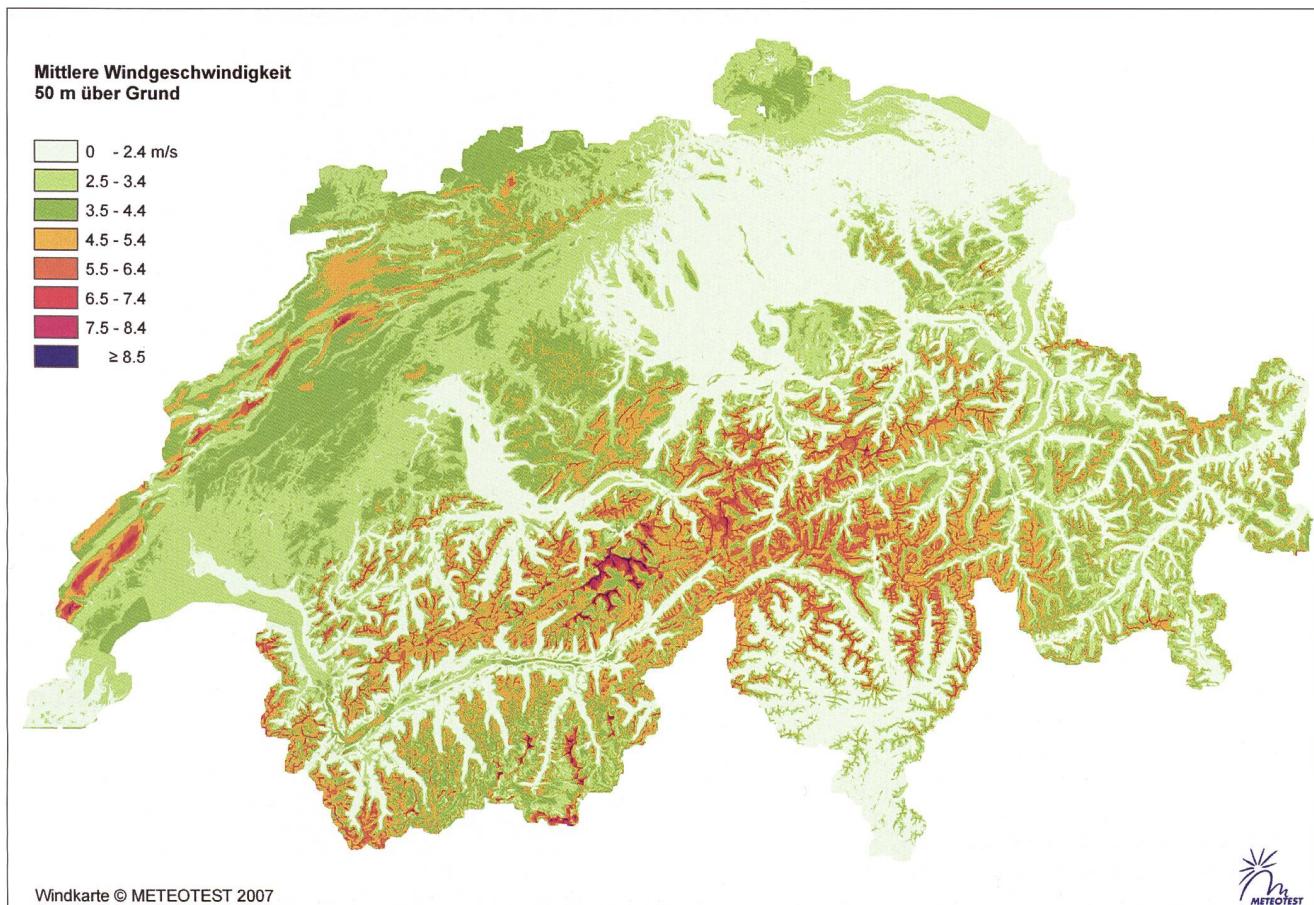


Abb. 4: Windstärken in der Schweiz (Quelle: Meteotest 2007, Bern)

Bei der Finanzierung werden 20 % Eigenkapital mit einem Zinsanspruch von 3 % angenommen, was annähernd dem Zinssatz für Bundesobligationen mit 10 Jahren Laufzeit entspricht (3,03 %, Stand März 2008). Als weitere Vorgabe gilt ein zinsloser Investitionskredit (IK) in der Höhe von maximal CHF 200 000 oder 50 % der Gesamtinvestition. Der Restbetrag wird über einen Bankkredit (BK) mit einem durchschnittlichen Zins von 5 % fremdfinanziert. Die jährlichen Betriebs- bzw. Unterhaltskosten werden mit durchschnittlich 5,7 % der Gesamtinvestition angenommen (Riggassi 2005). Eigenleistungen bei Unterhalts- und Wartungsarbeiten sind grundsätzlich möglich, wurden hier aber nicht berücksichtigt.

Erfolgsgrößen

Die Wirtschaftlichkeit wird mit folgenden vier Erfolgsgrößen gemessen:

- Der Kalkulatorische Gewinn bzw. Verlust ist die Differenz aus dem Erlös sowie den Totalen Kosten. Ein Gewinn entspricht einer Entschädigung für Management und Risiko.

- Die Gesamtkapitalrentabilität bzw. Kapitalrendite (entspricht annähernd dem Return on Investment, ROI) ist ein Mass für die Rentabilität einer Investition, indem der Gewinn bzw. der Verlust mit dem investierten Kapital ins Verhältnis gesetzt wird. Von den Totalen Kosten werden die Zinskosten sowohl für Fremd- als auch für Eigenkapital abgezogen. Die Differenz zum Gesamterlös wird dann durch die Investitionssumme dividiert. Dabei gilt es zu berücksichtigen, dass allfällige Investitionskredite zwar zum investierten Kapital gehören, jedoch keinen Zins aufweisen.

- Die Eigenkapitalrentabilität oder Eigenkapitalrendite ist der Gewinn bzw. der Verlust im Verhältnis zum eingesetzten Eigenkapital. Von den Totalen Kosten werden die Zinskosten des Eigenkapitals (Zinsanspruch) abgezogen. Die Differenz zum Gesamterlös wird dann durch das eingesetzte Eigenkapital dividiert. Die Eigenkapitalrentabilität kann mit alternativen Kapitalanlagen verglichen werden. Ein Zinsanspruch von 3 % bei einer Abschreibungsdauer von 20 Jahren gilt als erreicht, wenn die Eigenkapitalrentabili-

tät mindestens 1,72 % beträgt (mittlerer Zinssatz des gebundenen Kapitals).

- Die Stromgestehungskosten (Rp./kWh) ergeben sich, indem man die Totalen Kosten durch die produzierte Strommenge dividiert. Dabei handelt es sich um den Break-Even-Point oder die Gewinnschwelle, also jenen Strompreis, der für eine Kostendeckung nötig ist (Gewinn=0). Diese Grösse ist hilfreich für den Quervergleich mit anderen Verfahren der Stromproduktion.

Ergebnisse

Tabelle 5 zeigt die Ergebnisse bei einer durchschnittlichen Windgeschwindigkeit von 5 m/s auf 50 m über Grund. Gemäss Übersichtskarte (Abb. 4) werden bei dieser Windstärke doch einige landwirtschaftsrelevante Standorte, insbesondere in der Jura-Region und Hügellagen südwestlich von Luzern, erfasst. Die Ergebnisse weisen jedoch bei allen Anlagen einen Verlust auf. Bei den Starkwindanlagen betragen Abschreibungen und Zinskosten 57 % der

Gesamtkosten, während 43 % auf die Betriebskosten fallen. Dabei wurden wie erwähnt keine Eigenleistungen des Landwirtes eingerechnet. Bei der Leichtwindanlage wurde der Betriebskostenanteil mit 8 % der Gesamtkosten deutlich geringer berechnet. Die Gestehungskosten wider spiegeln den Strompreis, der für eine Kostendeckung bei einer mittleren Windstärke von 5 m/s nötig wäre. Sie liegen mit 27–30 Rappen für Starkwindanlagen bzw. mit 51 Rappen für die Leichtwindanlage doch deutlich über den Tarifen der kostendeckenden Einspeisevergütung.

Abbildung 5 zeigt die Entwicklung des Gewinns bzw. Verlusts in Abhängigkeit der mittleren Windgeschwindigkeit. Die Leichtwindanlage ist bei allen Windstärken bei der gegenwärtigen Einspeisevergütung von 20 Rp./kWh nicht kostendeckend und verbucht jährliche Verluste zwischen 5000 und 10 000 Franken. Die Grosswindanlagen erreichen die Gewinnzone erst bei einer mittleren Windgeschwindigkeit von knapp unter bzw. über 6 m/s.

Analog dazu sind in Tabelle 6 die Rentabilitäten für die Grosswindanlagen aufgeführt. Auch hier beginnen die Anlagen erst ab einer mittleren Windgeschwindigkeit von 6 m/s zu rentieren.

Ein Blick auf die Karte (Abb.4) zeigt, dass somit nur an äußerst wenigen Standorten in der Schweiz eine kostendeckende Windstromerzeugung möglich ist (dunkelorange/rote Gebiete).

Schlussfolgerungen

Anhand von vier Windkraft-Modellanlagen erfolgte mit einem Kalkulationsmodell eine Rentabilitätsberechnung aufgrund der aktuell gültigen Einspeisevergütung. Die Kalkulationen lassen, unter Vorbehalt der getroffenen Annahmen, folgende Schlussfolgerungen zu:

- Der Standort ist für die Rentabilität einer Windkraftanlage entscheidend. Erst in zweiter Linie folgen übrige, kostensenkende Optimierungsmöglichkeiten im Bereich der Finanzierung oder bei der Senkung der Investitionssumme. Für Letzteres gibt es hingegen bei der gegenwärtigen Nachfragesituation kaum Spielraum.
- Windkraftanlagen können nur an sehr wenigen Standorten der Schweiz rentabel betrieben werden. In Landwirtschaftsgebieten sind allenfalls ein paar wenige Standorte im Jura betroffen, die mittlere

Tabelle 5: Erlöse, Kosten und Gewinne bei durchschnittlicher Windgeschwindigkeit von 5 m/s auf 50 m über Grund

WKA-Typ	WKA-1	WKA-2	WKA-3	Aventa AV-7
Erlöse	190840	310054	500492	3835
Kosten	311352	451015	733733	9865
Gewinn/Verlust	-120512	-140961	-233241	-6030
Gestehungskosten in Rappen	29,9	26,6	26,7	51,4

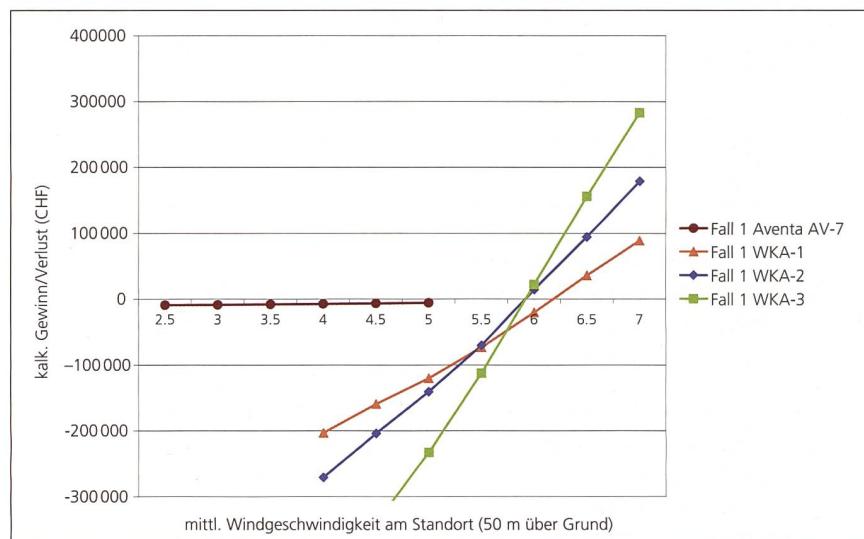


Abb. 5: Gewinn/Verlust in Abhängigkeit von verschiedenen Windgeschwindigkeiten

Tabelle 6: Rentabilität der Grosswindanlagen in Abhängigkeit der mittleren Windgeschwindigkeit

Kapitalrendite (gesamtes Kapital)	WKA-1	WKA-2	WKA-3
4 m/s	-6,1 %	-5,4 %	-5,5 %
4,5 m/s	-4,3 %	-3,4 %	-3,5 %
5 m/s	-2,6 %	-1,6 %	-1,6 %
5,5 m/s	-0,6 %	0,5 %	0,6 %
6 m/s	1,6 %	3 %	3 %
6,5 m/s	4 %	5,3 %	5,5 %
7 m/s	6,2 %	7,8 %	7,8 %

Eigenkapitalrendite			
4 m/s	-41 %	-38 %	-39 %
4,5 m/s	-32 %	-28 %	-29 %
5 m/s	-24 %	-19 %	-19 %
5,5 m/s	-14 %	-9 %	-9 %
6 m/s	-2,6 %	3,8 %	3,7 %
6,5 m/s	9,3 %	15,5 %	15,9 %
7 m/s	20,4 %	28 %	27,4 %

Windgeschwindigkeiten von mehr als 6 m/s aufweisen.

- An den eher verbreiteten Standorten mit mittleren Windgeschwindigkeiten von rund 5 m/s ist mit den gegenwärtigen Einspeisevergütungen keine Kostendeckung

zu erzielen. Die Stromgestehungskosten der Modellanlagen liegen dort über 50 % über den Einspeisevergütungen bei Starkwindanlagen bzw. über 150 % über den Einspeisevergütungen bei Kleinwindanlagen.

Anhang**Technische Grundlagen**

Moderne Windkraftanlagen nutzen zur Stromerzeugung das Auftriebsprinzip und werden dadurch zu aerodynamisch angetriebenen Anlagen. Die Rotorblätter haben ein aerodynamisches Profil, das ähnlich wie bei einer Flugzeugtragfläche durch Druckunterschied Auftrieb erzeugt. Der Druckunterschied entsteht durch den Geschwindigkeitsunterschied zwischen der Saug- und der Druckseite des Flügels. Der Auftrieb lässt die Rotoren eine Drehbewegung ausführen, diese Rotorendrehzahl lässt sich durch zwei Arten regeln, um eine Überlastung des Generators und der restlichen Maschinenteile zu verhindern.

Es wird zwischen dem Stall- und Pitch-Konzept unterschieden. Beim Stall-Konzept wird die Anströmrichtung verändert, der Anstellwinkel vergrössert sich und an der Saugseite der Rotorblätter kommt es zu einer Strömungsablösung (engl. stall), der Auftrieb wird vermindert und der Widerstand erhöht. Das Pitch-Konzept basiert auf einer stärkeren Verstellung des Blattwinkels (engl. to pitch = neigen). Wird die Windschwindigkeit zu hoch, wird das Rotorblatt mit der Vorderkante aktiv in den Wind gedreht, dadurch verringert sich der Anstellwinkel, Leistung und Belastung werden begrenzt. Am Markt haben sich heute die pitch-geregelten, drehzahlvariablen Leichtbauanlagen durchgesetzt und die einfachen, robusten Stall-Anlagen praktisch verdrängt. Durch den Einsatz moderner Regelungstechnik geht die Anlage gleitend ans Netz und bei zu starkem Wind wird die Leistung herabgeregt und eine gleichmässige Einspeisung gewährleistet. Bei Sturm fährt die Anlage sanft hinunter und verhindert so einen abrupten Leistungsausfall. Damit werden Störungen im Übertragungsnetz verhindert und die Netzverträglichkeit der Anlage erhöht sich.

Literatur

Bührke T., Wengenmayr R. (Hrsg.), 2007, Erneuerbare Energie: Alternative Energiekonzepte für die Zukunft, 1. Auflage, WILEY-VCH, Weinheim.

Gazzarin Ch. und Zumbühl Th. 2008: Photovoltaikanlagen auf landwirtschaftlichen Betrieben – lohnt sich die Investition? ART-Bericht Nr. 694, Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon, Ettenhausen.

Gubler N., Gazzarin Ch., Dux. D. und Engel H. 2007: Wirtschaftlichkeit von Biogasanlagen – wichtige Einflussfaktoren am Beispiel von zwei Modellanlagen. ART-Bericht Nr. 676, Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon, Ettenhausen.

KTBL, Kuratorium für Landtechnik und Bauwesen in der Landwirtschaft, Ktbl-Schrift 420, 2004, Die Landwirtschaft als Energieerzeuger, Darmstadt.

Kaltschmitt M., Streicher W. und Wiese A. (Hrsg.), 2006. Erneuerbare Energien Systemtechnik, Wirtschaftlichkeit, Umweltaspekte, 4. Auflage, Springer Verlag, Berlin Heidelberg.

Suisse Eole 2007. Windenergie in der Schweiz – Zahlen und Fakten, Informationsblatt Stand 12.01.2007, Bubendorf.

Weitere Quellen

- Revision der Energieverordnung & Stromversorgungsverordnung (StromVV) – Eröffnung des Vernehmlassungsverfahrens, erschienen: 27.6.2007, Institution: Eidg. Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK)
- Paul Scherrer Institut (PSI) für das Bundesamt für Energie (BFE), Final Draft 24 September 2004, BFE Energieperspektiven: Erneuerbare Energien und neue Nuklearanlagen, Kapitel 5: Windenergie.
- Rigassi R. für Suisse Eole, Schlussbericht November 2005, Sicherheit von Windkraftanlagen in der Schweiz (Hauptbericht), im Auftrag des BFE.
- Millais C., Teske S., Mai 2004, Windstärke 12 (Wind Force 12), Wie es zu schaffen ist, bis zum Jahr 2020 12 % des weltweiten Elektrizitätsbedarfs durch Windenergie zu decken, European Wind Energy Association & Greenpeace.
- <http://www.windpower.org/de/tour/wres/pow/index.htm>

■ ART-Bericht 700

Anfragen über andere landtechnische Probleme sind an die unten aufgeführten Berater für Landtechnik zu richten.
Weitere Publikationen und Prüfberichte können direkt bei der ART, Tänikon, CH-8356 Ettenhausen angefordert werden,
Tel. 052 368 31 31, Fax 052 365 11 90, E-Mail: doku@art.admin.ch, Internet: <http://www.art.admin.ch>

ZH	Mayer Gerd, Strickhof, 8315 Lindau, Telefon 052 354 98 11 Blum Walter, Strickhof, 8315 Lindau, Telefon 052 354 99 60	FR	Kilchherr Hansruedi, Landw. Schule Grangeneuve 1725 Posieux, Telefon 026 305 58 50
BE	Jutzeler Martin, Inforama Berner Oberland, 3702 Hondrich, Telefon 033 654 95 45 Marti Fritz, Inforama Rütti und Waldhof, 3052 Zollikofen, Telefon 031 910 52 10 Hofmann Hans Ueli, Inforama Rütti und Waldhof, 3052 Zollikofen, Telefon 031 910 51 54	SO	Ziörjen Fritz, Landw. Bildungszentrum Wallierhof, 4533 Riedholz, Telefon 061 976 21 21
LU	Moser Anton, LBBZ Schüpfheim, 6170 Schüpfheim, Telefon 041 485 88 00 Widmer Norbert, LBBZ, Sennweidstrasse, 6276 Hohenrain, Telefon 041 914 30 77	BL	Ziörjen Fritz, Landw. Zentrum Ebenrain, 4450 Sissach, Telefon 061 976 21 21
UR	Landw. Beratungsdienst, Aprostr. 44, 6462 Seedorf, Telefon 041 871 05 66	SH	Landw. Beratungszentrum Charlottenfels, 8212 Neuhausen, Telefon 052 674 05 20
SZ	Landolt Hugo, Landw. Schule Pfäffikon, 8808 Pfäffikon, Telefon 055 415 79 22	AI	Landw. Beratungsdienst AI, Gaiserstrasse 8, 9050 Appenzell, Telefon 071 788 95 76
OW	Müller Erwin, BWZ Obwalden, 6074 Giswil, Telefon 041 675 16 16 Landwirtschaftsamtsamt, St. Antonistr. 4, 6061 Sarnen, Telefon 041 666 63 58	AR	Vuilleumier Marc, Landwirtschaftsamt AR, 9102 Herisau, Telefon 071 353 67 56
NW	Scheuber Roland, Landwirtschaftsamt, Kreuzstr. 2, 6371 Stans, Telefon 041 618 40 01	SG	Lehmann Ueli, Landwirtschaftliches Zentrum SG, 9465 Salez, Telefon 081 758 13 19
GL	Amt für Landwirtschaft, Postgasse 29, 8750 Glarus, Telefon 055 646 67 00	GR	Steiner Gallus, Landwirtschaftliches Zentrum SG, 9230 Flawil, Telefon 071 394 53 94
ZG	Gut Willi, LBBZ Schluechthof, 6330 Cham, Telefon 041 784 50 54 Furrer Jules, LBBZ Schluechthof, 6330 Cham, Telefon 041 784 50 50	AG	Merk Konrad, LBBZ Plantahof, 7302 Landquart, Telefon 081 307 45 25
		TG	Müri Paul, LBBZ Liebegg, 5722 Gränichen, Telefon 062 855 86 27
		TI	Baumgartner Christof, Fachstelle Beratung und Landtechnik, Amriswilerstr. 50, 8570 Weinfelden, Telefon 071 622 10 23
		AGRIDEA	Müller Antonio, Ufficio consulenza agricola, 6501 Bellinzona, Telefon 091 814 35 53
		AGRIDEA	Abteilung Landtechnik, 8315 Lindau, Telefon 052 354 97 00

Impressum

Herausgeber: Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART,
Tänikon, CH-8356 Ettenhausen

Die ART-Berichte erscheinen in rund 20 Nummern pro Jahr. – Jahresabonnement Fr. 60.–. Bestellung von Abonnements und Einzelnummern: ART, Bibliothek, CH-8356 Ettenhausen. Telefon +41 (0)52 368 31 31, Fax +41 (0)52 365 11 90, doku@art.admin.ch, <http://www.art.admin.ch>

Die ART-Berichte sind auch in französischer Sprache als «Rapports ART» erhältlich.
ISSN 1661-7568.

Die ART-Berichte sind im Volltext im Internet (www.art.admin.ch)



Wer jetzt reagiert, profitiert vom 0,9% Sommer-Leasing auf alle neuen Daily-Modelle oder weiteren unschlagbaren Angeboten. Die Aktion ist gültig vom **1. Juli bis 30. September 2008** und ist nicht mit anderen Aktionen kumulierbar.

IVECO (Schweiz) AG, Oberfeldstr. 16,
8302 Kloten, Telefon 044 804 73 73.



**Sichern Sie sich jetzt
einen Daily für 0,9%.**

Diese Aktion wird
unterstützt von

IvecoFinance

Die detaillierten Informationen zu den Leasingkondi-
tionen erhalten Sie vom IVECO Händler in Ihrer Nähe.

AEBI SUISSE
3236 Gampelen / BE 8450 Andelfingen / ZH

Firewood - Line ...
mit **Hakki Pilke**
aus Finnland

Kreissägen-Spalter
Sägen+spalten im Einmann-System,
Einfach- oder Kombi-Antriebe, Modelle
ab Fr. 1'950.-

Brennholz-Prozessoren
Für Stämme Ø bis 47 cm, Spaltleistungen bis
15 m³/Std., Modelle ab Fr. 6'300.-

Hydr.-Spalter
Spaltkraft von 6 t bis 22 t, alle
Antriebsversionen lieferbar.

12-fach
Spaltkeil

Auffangrahmen, mit Netzsack
für Transport u. Lagerung

... Preiswert und schnell !!

Tel. 032 312 70 30
www.aebisuisse.ch
Occasions-Markt

GRIMME
SE

GRUNDERCO

www.grunderco.ch

AXOS. Genau ihr Typ.



Der neue AXOS: 12 Modelle von 70 bis 100 PS

Ab September bei Ihrem CLAAS-Partner:

Landtechnik Fenaco	3052	Zollikofen	031 910 85 50	Frey GmbH	6294	Ermensee	041 917 27 77
Gerber Kurt	3068	Utzigen	031 839 68 88	Bernhardsgrütter Landtechn AG	7304	Maienfeld	081 302 23 73
Schöpfer AG	3185	Schmitten FR	026 496 32 71	Müller Siblingen GmbH	8225	Siblingen	052 682 18 70
Sigrist Peter	3207	Golaten	031 755 58 40	Meier Maschinen AG	8460	Marthalen	052 305 42 42
FRAWAG AG	3252	Worben	032 384 19 59	Beeler Traktoren	8536	Hüttwilen	052 747 13 17
Steck Martin	3272	Walperswil	032 396 15 66	Elmer Landmaschinen	8714	Feldbach	055 244 24 15
Garage Meister AG	3365	Seeberg	062 968 11 86	Flöri GmbH	8754	Netstal	055 612 34 24
Walter Streit AG	3617	Fahmi b. Thun	033 437 29 37	Heer Landmaschinen GmbH	8881	Tscherlach	081 735 22 48
Bühler Severin	3775	Lenk im Simmental	033 733 30 30	TECHNICA Agro&Kran GmbH	9043	Trogen	071 344 10 10
Gysin Werner	4434	Hölstein	061 951 15 58	Köchli Jürg	9217	Neukirch a.d. Thur	071 642 21 28
Graber Landmaschinen	4512	Bellach	032 618 42 33	Lenggenhager Mechanik AG	9230	Flawil	071 393 22 65
Werkstatt Serco	4538	Oberbipp	032 636 66 71	P. Künzli Landtechnik	9304	Bernhardzell	071 433 24 23
Scheuber Stefan	4654	Lostorf	062 298 20 96	Litscher Service Center	9475	Sevelen	081 785 19 09
Villiger Landtechnik	5645	Fenkrieden	041 787 16 63	Zahner Landmaschinen	9533	Kirchberg SG	071 931 53 13
Martin Ruckli AG	6018	Buttisholz	041 928 16 16	Bollhalder Landmaschinen	9621	Oberhelfenschwil	071 374 33 03
Bernet Roland	6130	Willisau	041 970 44 94				
Röösli Fahrzeuge u M.	6166	Hasle LU	041 480 05 50				
A. Leiser AG	6260	Reiden	062 749 50 40				

Rufen Sie uns an, wir beraten Sie gerne:

Mittelrand	Jacques Lehmann	079 622 83 82
Zentralschweiz	Roger Fuchs	079 652 14 12
Ostschweiz	Andreas Scherrer	032 636 66 23
Hausgebiet Oberbipp	Robert Dürst	032 636 66 71



Service Company AG
Niedermattstrasse 25
4538 Oberbipp

Tel. 032 636 66 66
www.serco.ch

CLAAS