

Vorabklärungen Bürgerwindkraftwerk Buchs

Das folgende Gutachten beschreibt die Suche nach einem geeigneten Standort für Windmessungen am Buchserberg. Inhaltlich folgen die Vorabklärungen den Angaben der Offerte Nr. 1015 der Firma Sunergy GmbH.

Ziel

Das Grobgutachten soll aussichtsreiche Windstandorte am Buchserberg identifizieren, welche für eine Windmessung geeignet sind und allenfalls später für eine Nutzung der Windenergie in Frage kommen.

Begriffe

WKA:	Windkraftanlage
Nabe:	Höhe des Generators der WKA über Boden in Metern
langjährig:	Durchschnittswerte über eine Zeitperiode von 20 – 30 Jahren (Klimaperiode)
Jährlicher Verlust:	Bei der Produktion von Windenergie durch WKA's geht Energie verloren durch die Umwandlung von Gleichstrom zu Wechselstrom im Transformator (1.5%), durch Wartungsarbeiten (2%), durch Abschaltung bei starken Stürmen (1%) und durch Vereisung (0.5%), Verlust insgesamt wird zu 5% angenommen
Bruttowindleistung:	totale Windleistung pro Fläche (Watt pro Quadrat: W/m^2), berechnet mit der Formel: $0.5 \cdot \rho \cdot v^3$, wobei ρ : Luftdichte kg/m^3 , v : Windgeschwindigkeit m/s ; eine Verdopplung der Windstärke bedeutet eine Verachtfachung der Bruttowindleistung!
Nettowindleistung:	Nutzleistung einer bestimmten WKA (inkl. Verluste) in W/m^2 , eine gute WKA kann in bestimmten Geschwindigkeitsbereichen über 50% der Bruttowindleistung „ernten“, theoretischer maximaler Erntegrad liegt bei 59% (Betz-Faktor)
Nettostromertrag:	langjähriger Stromertrag einer bestimmten WKA inkl. jährliche Verluste

Besichtigung potentielle Windmessstandorte

Bei einer Besichtigung von Windstandorten vor Ort am Buchserberg Ende April 2010 wurden insgesamt 5 verschiedene potentielle Windmessstandorte im Gebiet Sevelerberg und Buchserberg identifiziert, welche in Zeichnung 1 dargestellt sind.



Zeichnung 1: Position von potentiellen Windmessstandorten in der Region Buchserberg (Blick von oben aus Richtung Osten nach Westen).

Weitere Angaben zu diesen Standorten sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Standort	Chuesäss	Stangenbüel	Dörnen	Guscha	Lochbrunne
Nummer	1	2	3	4	5
CH-Koordinaten	751675 / 221700	752750 / 223200	752075 / 223725	752275 / 224 800	751660 / 224420
Höhe Meter ü. M.	1500	990	1120	1000	1170
Kurzbeschreibung	Standort auf Alp am Sevelerberg, sehr exponiert für Föhn, im Winter wird der Schnee stark verblasen	Standort am Sevelerberg; Standort vermutlich in Föhnschneise von Süden her	Standort auf Seveler Boden nahe Speichersee EW Buchs; viele Ferienhäuser in der Nähe	Waldkuppe oberhalb Fernmeldeantenne; gegen Süden, Norden und Westen offen	Waldlichtung oberhalb Kurhaus Alvier; grosser Abstand zu Ferienhäusern; gut erschlossen

Tabelle 1: Koordinaten und Kurzbeschreibung von potentiellen Windmess-Standorten

Die 5 ausgewählten Standorte in Tabelle 1 wurden aufgrund der folgenden 6 Kriterien beurteilt:

1. Punkt innerhalb von Versorgungsgebiet vom EW Buchs
2. Bruttowindleistung aus Jahresmittel 100m über Grund aus Schweizer Windkarte (<http://www.wind-data.ch/windkarte/>)
3. Zufahrtsmöglichkeiten, Ausbaustandard der Zufahrtsstrassen

4. Distanz zu Einspeisepunkt ins Stromnetz des EW Buchs
5. Abstand zu Wohn- und Schutzgebieten
6. Grundeigentümer (Ortsgemeinde, privat)

Die Bewertung der oben genannten Kriterien 1. - 6. erfolgte anhand einer subjektiven Punkteskala, die wie folgt zusammengesetzt ist (Punktzahl fett gekennzeichnet):

- a) Punkte für Höhenlage in Metern über Meer (je höher, desto mehr Vereisung, geringere Luftdichte und meist erschwerte Zugänglichkeit):
1 (≥ 1500), **2** (≥ 900 UND <1500), **3** (≥ 700 UND <900), **4** (≥ 500 UND <700), **5** (<500)
- b) Punkte für Jahresmittel Windgeschwindigkeit in Meter pro Sekunde auf 100m über Grund aus Windkarte Schweiz:
1 (< 3.0), **2** (≥ 3 UND < 3.5), **3** (≥ 3.5 UND < 4.0), **4** (≥ 4.0 UND <4.5), **5** (≥ 4.5)
- c) Punkte für Abstand zu Einspeisepunkt ins Stromnetz von EW:
1 (sehr gross), **2** (gross), **3** (mittel, rund 400m Distanz), **4** (klein), **5** (sehr klein)
- d) Punkte für Zufahrtmöglichkeiten zum Standort:
1 (keine befestigte Zufahrt vorhanden), **2** (grosse bauliche Anpassungen nötig), **3** (einige Anpassungen nötig), **4** (wenige Anpassungen notwendig), **5** (keine Anpassungen notwendig)
- e) Punkte für Geräuschimmissionen und Naturschutz:
1 (sehr nahe bei Siedlung oder in verbindlichem Schutzgebiet (z.B. Hochmoor) gelegen), **2** (geringer Abstand zu Wohnhäusern, nahe bei Schutzgebieten), **3** (mittlerer Abstand 500m), **4** (grosser Abstand zu Wohngebiet, jedoch weit herum Anlage gut sichtbar), **5** (grosser Abstand, kaum sichtbar)
- f) Punkte für Eigentumsverhältnisse von Grundbesitz:
-5 (ausserhalb Stromanschlussgebiet von EW Buchs), **2** (Stromanschlussgebiet EW-Buchs, aber ausserhalb Gemeinde Buchs), **3** (privater Grundbesitz), **4** (im Besitz der Ortsgemeinde Buchs, jedoch geringer Abstand zu privaten Parzellen), **5** (im Besitz der Ortsgemeinde Buchs, grosser Abstand zu privaten Parzellen)

Schlussendlich werden die 6 verschiedenen Kriterien unterschiedlich stark gewichtet, um die Gesamtpunktzahl **G** zu berechnen:

$$\mathbf{G} = 0.15*a + 0.25*b + 0.15*c + 0.15*d + 0.10*e + 0.20*f$$

Tabelle 3 zeigt die Resultate der subjektiven Standortbeurteilung, die Gesamtpunktzahl und die Bewertung an.

Kriterium	Chuesäss	Stangenbüel	Dörnen	Guscha	Lochbrunne
Versorgungsgebiet EW-Buchs (1.)	1	3	2	3	2
Bruttowindleistung (2.)	4	2	3	3	3
Zufahrtsmöglichkeiten (3.)	1	2	3	2	4
Distanz zu Stromnetz EW Buchs (4.)	2	3	1	2	4
Abstand zu Wohn-/Schutzgebiet (5.)	4	3	2	2	3
Grundeigentümer (6.)	-5	-5	2	4	5
Gesamtpunktzahl (G)	1	1	2.25	2.8	3.55
Bewertung	ungeeignet	ungeeignet	genügend	genügend	gut

Tabelle 2: Subjektive Punktevergabe für 6 verschiedene Kriterien, Gesamtpunktzahl und Bewertung (Erläuterungen siehe Text).

Die berechnete Gesamtpunktzahl **G** in Tabelle 2 ist in Abbildung 1 als 1. Säule von links dargestellt. Die Bewertungsskala für **G** lautet: <1 **ungeeignet**, 1-2 **ungenügend**, 2-3 **genügend**, 3-4 **gut**, 4-5 **sehr gut**. Die weiteren Säulen weiter rechts stellen verschiedene Gewichtungen der am Standort verfügbaren Windenergie dar. Im vorliegenden Fall sind jedoch die Differenzen von Standort zu Standort derart gering, dass die Rangfolge der bewerteten Standorte dadurch sich nicht ändert. Anhand der Auswertung in Tabelle 2 wird klar, dass nur die Standorte Dörnen und Guscha (beide genügend) und Lochbrunne (gut) für eine Windmessung in Frage kommen. Aus finanziellen Gründen ist nur 1 Windmessung realistisch, sodass der Standort Lochbrunne aufgrund der Bewertung am besten für eine Windmessung geeignet ist.

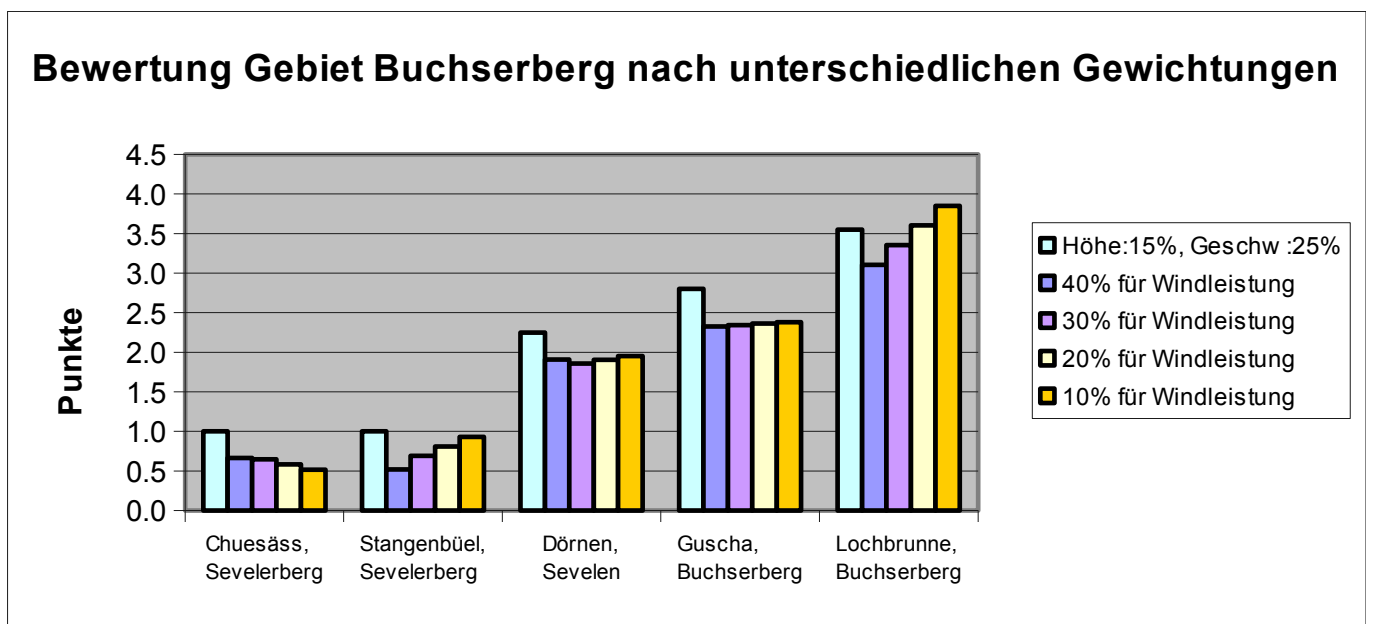


Abbildung 1: Standortevaluation Windmessung Buchserberg: <1 ungeeignet, 1-2 ungenügend, 2-3 genügend, 3-4 gut, 4-5 sehr gut

Winddaten

Für die Berechnung des langjährigen Nettostromertrages werden meteorologische Windmessungen möglichst nahe am Standort der WKA und möglichst auf der Höhe der Nabe der WKA über Grund benötigt. In der Regel wird empfohlen, dass am geplanten Standort die Windenergie über 1 Jahr gemessen wird. Im vorliegenden Fall konnte jedoch ein bereits vorhandener Datensatz aus dem MAP-Projekt (http://www.map.meteoswiss.ch/map-doc/sop_info/sop_info.htm) im Herbst 1999 verwendet werden. Dieser Datensatz wird mit Hilfe der langjährigen Messreihe der Station Vaduz-Au in den langjährigen Kontext des lokalen Windklimas im Rheintal gesetzt. Für das vorliegende Gutachten wurden folgende Datenquellen benutzt:

1. 10-Minutenmittelwerte der Windgeschwindigkeit vom Windmessgerät SCIDAR aus dem MAP-Projekt (http://lac.web.psi.ch/LAC_Projects/SWIRL99/SWIRL.html) für September bis November 1999 zwischen Flusa, Sevelerberg und Triesenberg.
2. Langjährige Reihe der Monatsmittelwerte der Windgeschwindigkeit von der MeteoSchweiz-Station Vaduz-Au von Januar 1982 – Dezember 2009.

Das SCIDAR-Messinstrument hat über 3 Monate hinweg die Windgeschwindigkeit quer zur Richtung des Lichtstrahls zwischen Sevelerberg (siehe Zeichnung 1 unten links) und Triesenberg gemessen. Die Windgeschwindigkeit ist jedoch über den Talquerschnitt gesehen nicht überall konstant, sondern in der Talmitte grösser als am Talrand (analog zu einem Fluss in einem Kanal). Die Hauptschwierigkeit bei der Verwendung dieser Winddaten liegt darin abzuschätzen, wie stark die Windgeschwindigkeit in Richtung des Talrandes beim Sevelerberg abnimmt. Da diese Abschätzung grosse Unsicherheiten beinhaltet, weist auch die Schätzung des Jahresertrags einen entsprechend grossen Unsicherheitsbereich auf.

Windkraftanlagen

Für die Berechnung des langjährigen Nettostromertrags wurden die Leistungskennlinien von 2 verschiedenen Windkraftanlagen (WKA) untersucht, welche eine maximale Nennleistung von 800kW, resp. 2000 kW aufweisen:

1. Enercon E-53
maximale Nennleistung 800 kW, Blattlänge 26.5 Meter, Distanz Mastfuss zu Nabe: 100 Meter
2. Enercon E-82
maximale Nennleistung 2000 kW, Blattlänge 41 Meter, Distanz Mastfuss zu Nabe: 100 Meter

Beide WKA's sind im Detail unter

[http://www.enercon.de/www/de/broschueren.nsf/vwwebAnzeige/95BBD95599625504C1257194002816F0/\\$FILE/ENE_Produktuebersicht_deut_13012010.pdf](http://www.enercon.de/www/de/broschueren.nsf/vwwebAnzeige/95BBD95599625504C1257194002816F0/$FILE/ENE_Produktuebersicht_deut_13012010.pdf) beschrieben.

Unsicherheit der Schätzung des langjährigen Nettostromertrags

Das vorliegende Grobgutachten berücksichtigt die folgenden Fehlerquellen:

1. Systematische Abweichungen der gemessenen Windgeschwindigkeit von den realen langjährigen Windverhältnissen am Standort: jeder Windmesser kann einen gewissen permanenten Messfehler aufweisen, d.h. der Windmesser kann aufgrund einer schlechten Justierung oder eines Defektes permanent etwas zu tief oder zu hoch messen. Ein solcher Messfehler wirkt sich deutlich auf die Berechnung der Bruttowindleistung aus, da die Windenergie mit der 3. Potenz der Windgeschwindigkeit ansteigt: eine Verdopplung der Windgeschwindigkeit bedeutet 8 Mal mehr Windenergie!
2. Systematische Abweichung der geschätzten mittleren Rauigkeit des Geländes in der Umgebung des Standortes: für die Berechnung der Windleistung auf der Höhe der Nabe der WKA muss abgeschätzt werden, wie stark die umliegenden Gebäude und Bäume den Wind abbremsen (<http://www.wind-energie.de/de/technik/windscherung/turbulenz/?type=97>).
3. Systematische Abweichung der realen Leistungskennlinie einer WKA von den Herstellerangaben
4. Systematische Differenz des langjährigen relativen Jahresganges der Windleistung am Standort zur Referenzstation Vaduz: der relative Jahresgang gibt an, wie viel prozentual jeder einzelne Monat zur Gesamtjahressumme des Nettostromertrages beiträgt. Je nach der Topographie des Standortes und des regionalen Windklimas kann der Jahresgang vom Jahresgang der Referenzstation Vaduz abweichen
5. Natürliche langjährige Variabilität der mittleren monatlichen Nettowindleistung von Jahr zu Jahr an der Referenzstation Vaduz: für verschiedene Monate im Jahr schwankt die durchschnittliche Nettowindleistung unterschiedlich stark von Jahr zu Jahr, in den Sommermonaten sind die Schwankungen von Jahr zu Jahr deutlich geringer als im Winter und Frühling und Spätherbst. Dies ist vor allem auf das sehr unterschiedliche Auftreten des Föhns von Jahr zu Jahr zurückzuführen.

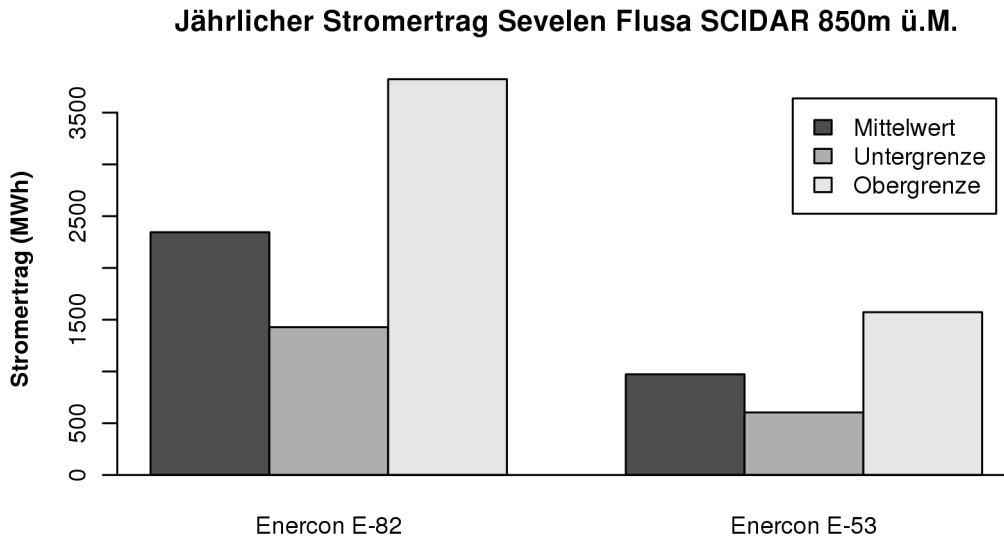
Auf das ganze Jahr gerechnet addieren sich die Unsicherheitsfaktoren 1. - 5. zu einem **Unsicherheitsbereich**, der in den Abbildungen durch eine sogenannte **Untergrenze** und **Obergrenze** markiert ist:

Die Untergrenze markiert den schlechtesten anzunehmenden Fall: der Windmesser hat permanent eine zu hohe Windgeschwindigkeit gemessen, die Umgebung bremst den Wind weniger stark als erwartet, die Herstellerangaben für die WKA sind zu optimistisch, die Monate der Windmessperiode haben einen höheren Anteil an der Jahressumme im Vergleich zu Vaduz und alle Monate der Messperiode waren überdurchschnittlich windreich.

Die Obergrenze markiert den besten anzunehmenden Fall: der Windmesser hat permanent eine zu tiefe Windgeschwindigkeit gemessen, die Umgebung bremst den Wind stärker ab als erwartet, die Herstellerangaben für die WKA sind zu pessimistisch, die Monate der Windmessperiode haben einen geringeren Anteil an der Jahressumme im Vergleich zu Vaduz und alle Monate der Messperiode waren unterdurchschnittlich im Windaufkommen.

Schätzung des langjährigen Nettostromertrages am Buchserberg

Abbildung 2 zeigt den geschätzten mittleren jährlichen Nettostromertrag in Megawattstunden und den Unsicherheitsbereich für 2 verschiedene WKA-Typen mit 100 Meter Nabenhöhe am Standort Lochbrunne am Buchserberg.



Windkraftanlage

Zeitraum: 09.1999-09.1999, Windmessung: 70m, Nabe: 100m, Verluste 5%

Abbildung 2: Schätzung Stromertrag in Megawattstunden pro Jahr für 2 verschiedene Windkraftanlagen. Die gesamten Verluste werden zu 5% angenommen.

Tabelle 3 fasst die jährlichen Nettostromerträge und die Stromgestehungskosten pro Kilowattstunde Strom für die beiden getesteten WKA's am Standort Lochbrunne zusammen. Es wird jeweils auch der Unsicherheitsbereich für die beiden Schätzungen via Untergrenze und Obergrenze angegeben. Das resultierende Jahresmittel der Windstärke von 3.6 m/s auf 100m über Grund ist identisch mit der Wert in der Schweizer Windkarte. Dank der Verwendung der SCIDAR-Winddaten und der langen Windreihe von Vaduz konnte die Differenz zur Untergrenze und Obergrenze erheblich reduziert werden von ± 1 m/s Unsicherheit in der Schweizer Windkarte auf ± 0.4 m/s im vorliegenden Fall.

Der mittlere Ertrag einer E-82 von 2340 MWh oder 2.34 GWh pro Jahr würde 3.6% vom gesamten Strombedarf der Gemeinde Buchs decken (Bedarf Buchs: 65 GWh). Der Ertrag von 970 MWh einer E-53 könnte 1.5% vom Jahresbedarf von Buchs decken.

	E-82, 100m	E-82, 100m	E-53, 100m	E-53, 100m	Jahresmittel, 100m
	Nettostromertrag MWh	Stromkosten Rp./kWh	Nettostromertrag MWh	Stromkosten Rp./kWh	Windstärke m/s
Mittelwert	2340	23	970	27	3.6
Untergrenze	1430	38	600	44	3.2
Obergrenze	3820	14	1570	17	4

Tabelle 3: Stromertrag in Megawattstunden pro Jahr (1 MWh = 1000 kWh), Stromgestehungskosten in Rappen pro Kilowattstunde und Jahresmittel Windgeschwindigkeit für Standort Lochbrunne.

Stromgestehungskosten und Wirtschaftlichkeit

Für die Berechnung der Stromgestehungskosten in Tabelle 3 müssen verschiedene Kennzahlen wie die Nutzungsdauer der WKA, die Verzinsung des Fremdkapitals, die gesamten Investitionskosten und die jährlichen Unterhaltskosten in Betracht gezogen werden. Die Annahmen für die Enercon E-82 lauten wie folgt:

- Nutzungsdauer der Gesamtanlage: 20 Jahre
- Verzinsung Fremdkapital: 6%
- gesamte Investitionskosten: 5.3 Mio CHF
- Jahreskosten (inkl. Kapitalkosten): 542'000.- CHF

Für die Enercon E-53 liegen die gesamten Investitionskosten bei knapp 2.6 Mio CHF und Jahreskosten von 265'000.- CHF. Nutzungsdauer und Verzinsung sind gleich wie bei der E-82.

Empfehlung

Die Evaluation von 5 verschiedenen Standorten in der Region Buchserberg hat ergeben, dass sich 1 Standort gut für eine Windmessung eignet (Standort Lochbrunne), und dass 2 weitere Standorte (Guscha und Dörnen) eine genügende Standorteignung aufweisen.

Am Standort Lochbrunne sollte die Windgeschwindigkeit über eine Periode von mindestens 3 Monaten mit einem sogenannten LIDAR gemessen werden. Das LIDAR kann die Windstärke und Windrichtung von 40 Meter bis 200 Meter über Grund in 20 Meterschritten berührungslos vom Boden aus messen. Mit Hilfe der langjährigen Windmessungen von Vaduz-Au wird anschliessend der durchschnittliche jährliche Nettostromertrag und die Unsicherheit der Ertragsschätzung berechnet.

Für den Standort Lochbrunne zeigt die Auswertung von bereits vorhandenen Windmessungen, dass im Durchschnitt mit Stromgestehungskosten im Bereich von 23 – 27 Rappen pro Kilowattstunde gerechnet werden kann. **Im optimalen Fall liegt der Kostenbereich je nach Anlagentyp zwischen 14 – 17 Rappen pro Kilowattstunde, was einen wirtschaftlichen Betrieb einer Windkraftanlage im Rahmen der Einspeisevergütung des KEV erlauben würde.** Für die ersten 5 Jahre kann mit einer KEV-Vergütung von 20 Rp./kWh gerechnet werden. Nachher wird der Ertrag mit einer Referenzanlage verglichen, und für Standorte mit überdurchschnittlich viel Wind wird die Vergütung auf 17 Rp./kWh reduziert (siehe auch http://windland.ch/doku_wind/Einspeiseverguetung_Windenergie_Schweiz.pdf).