

Nutzung der Windkraft in Liechtenstein

23. März 2012

Dr. Bruno Dürr, Klimatologe ETH
Buchs SG



Inhalt:

- Wer ist die Solargenossenschaft?
- Energieverbrauch Liechtenstein
- Bestimmung von Windpotential
- Resultate Winduntersuchungen
- Realisierung von Windkraftanlage



Solargenossenschaft Liechtenstein

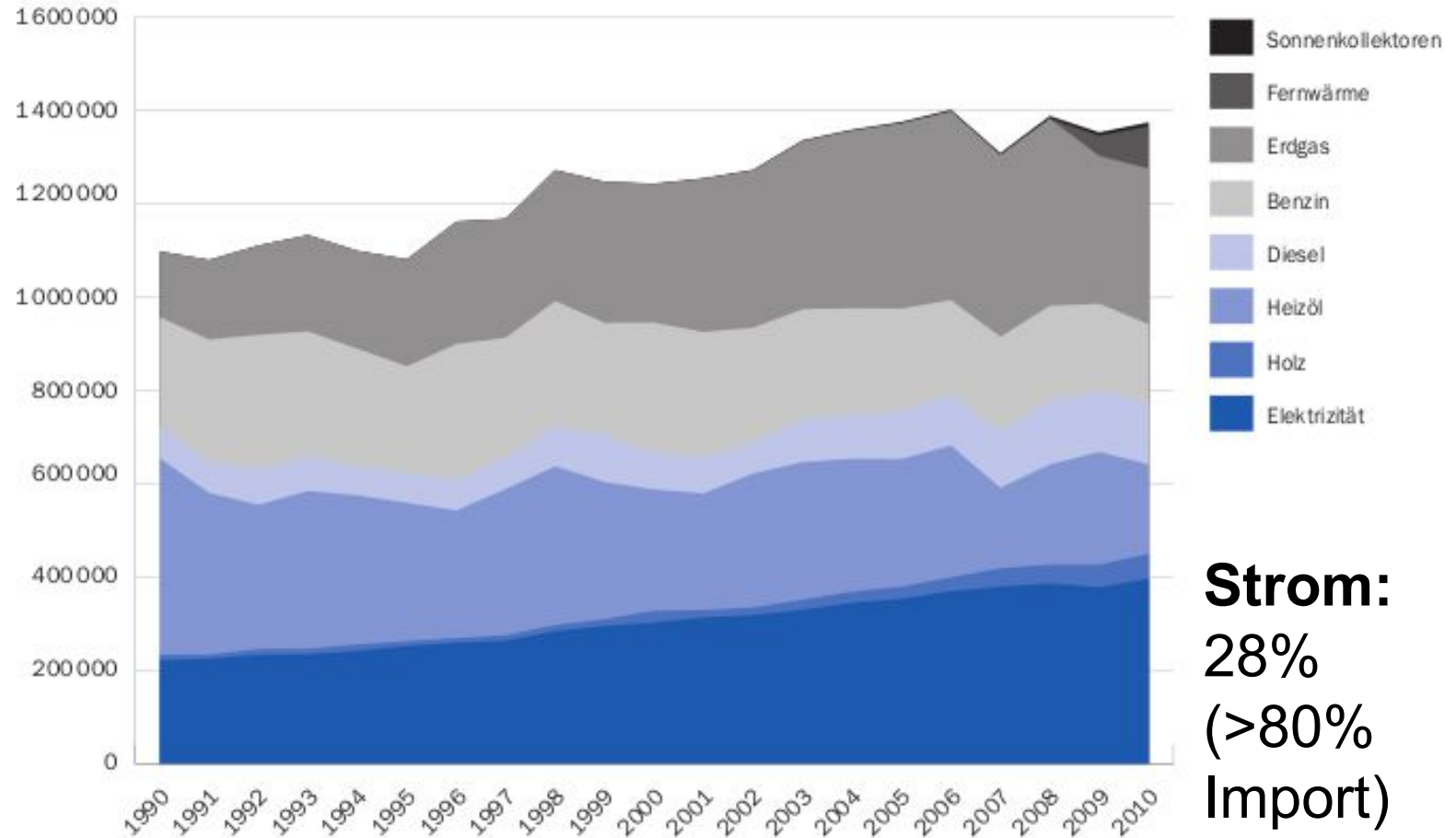
- Solargenossenschaft 1992 gegründet
- Beteiligt sind Land, Gemeinden und Private
- Mitglied bei CIPRA Liechtenstein
- Bekannt sind die „Solarbrücken“
Haag – Benden und Sevelen – Vaduz
- Windmessungen in Liechtenstein seit 2008



Energieverbrauch Liechtenstein

Energieverbrauch bzw. -import seit 1990

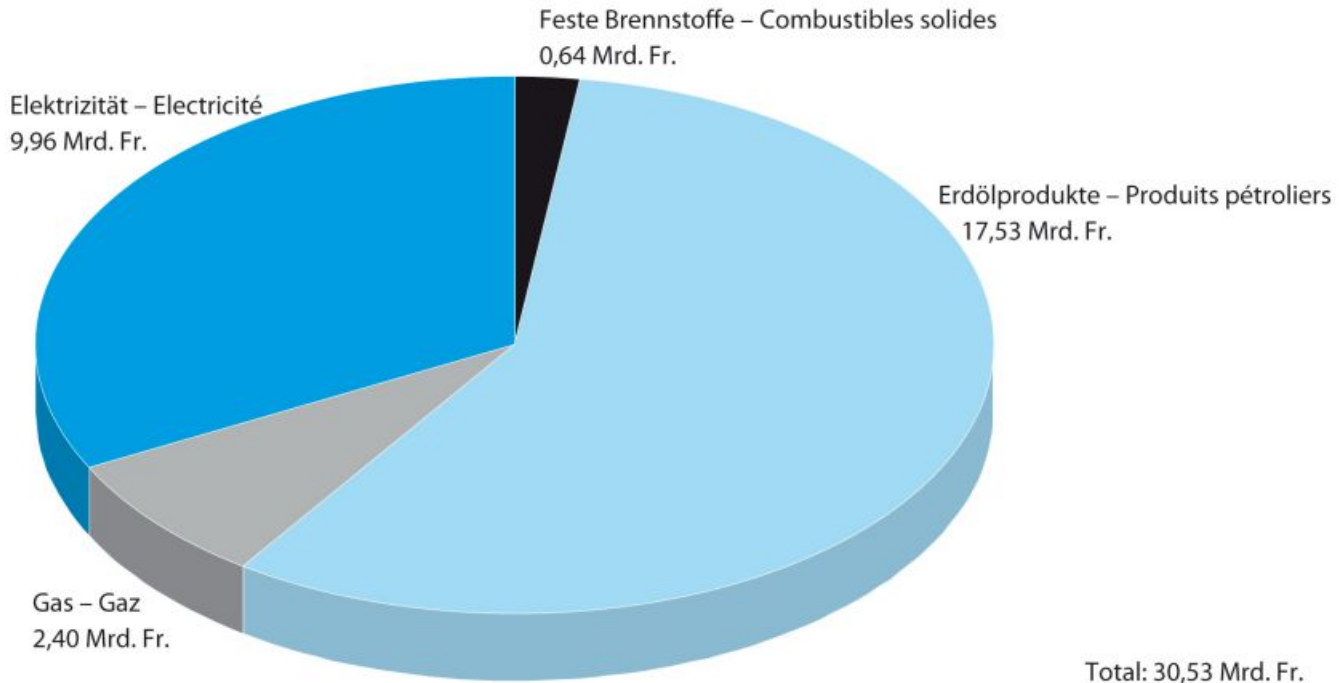
in MWh





Energiekosten für Endverbraucher CH

Endverbraucher-Ausgaben für Energie 2010
Dépenses des consommateurs finaux d'énergie 2010



Quelle: BFE, Schweizerische Gesamtenergiestatistik 2010
Source: OFEN, Statistique globale suisse de l'énergie 2010

Liechtenstein: ca. 160 Mio. Franken für Energie pro Jahr

Windkraftnutzung in Liechtenstein

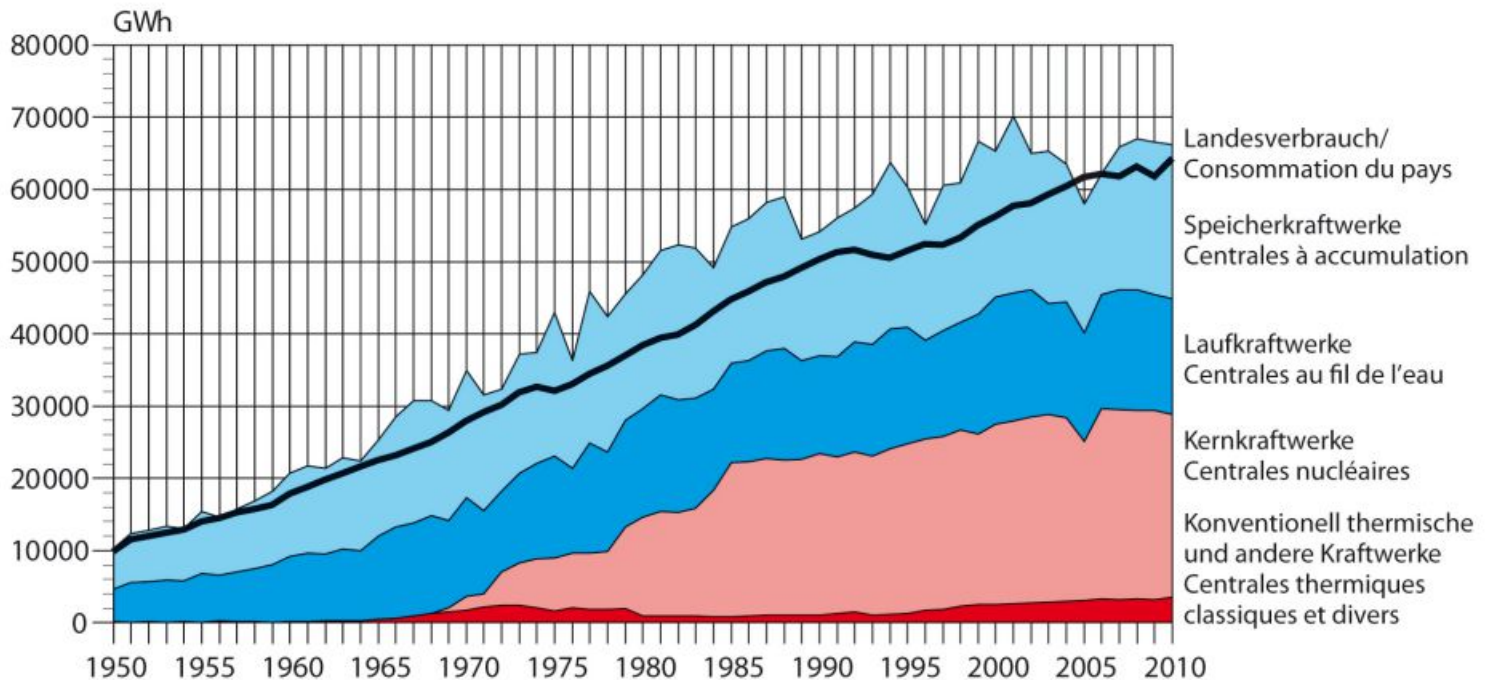
Dr. Bruno Dürr, Solargenossenschaft Liechtenstein und Sunergy GmbH



Stromproduktion und -Verbrauch CH

Stromproduktion der Schweiz nach Erzeugerkategorien seit 1950

Production d'électricité de la Suisse selon les catégories de production, depuis 1950



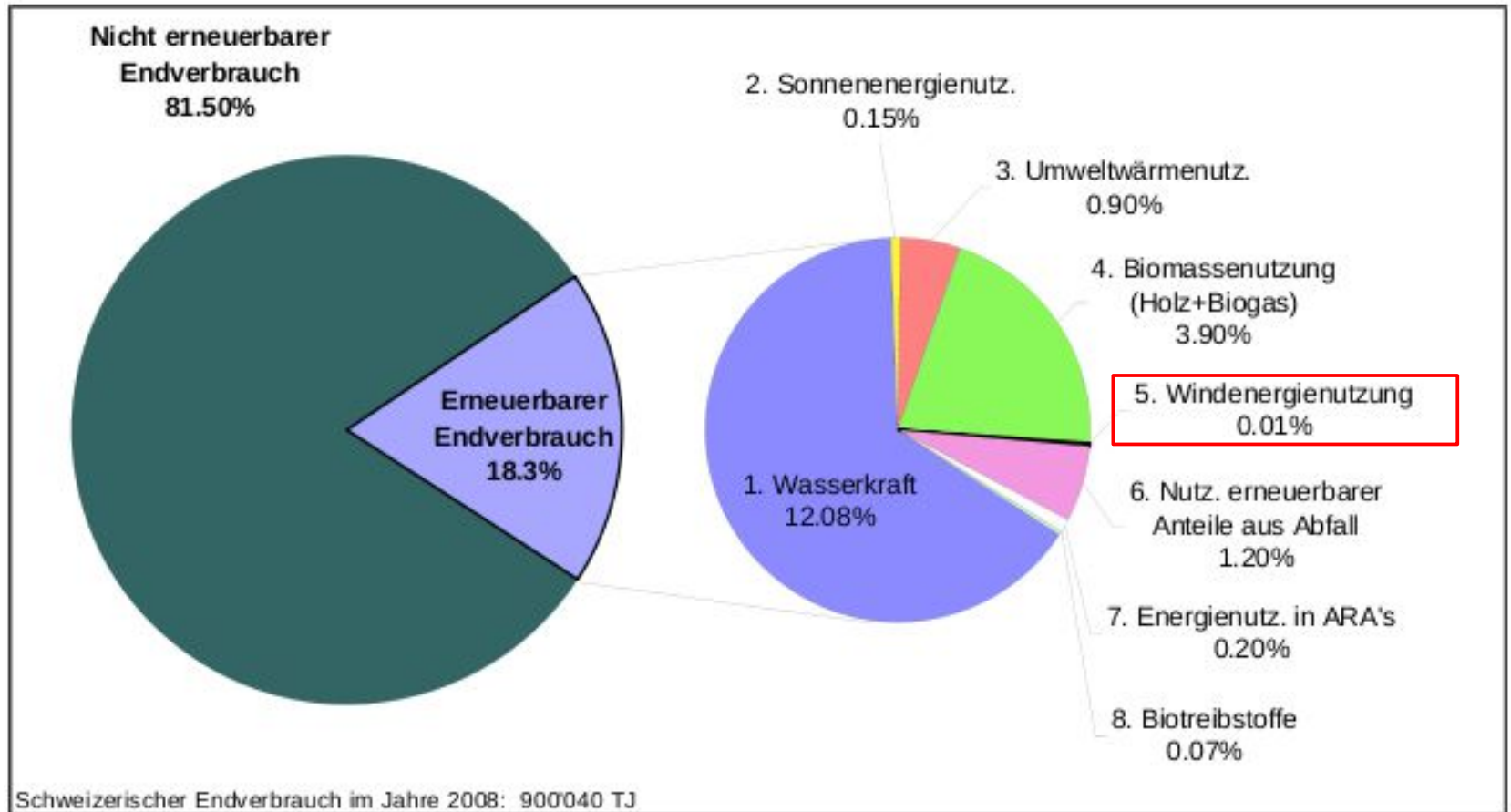
Quelle: BFE, Schweizerische Elektrizitätsstatistik 2010

Source: OFEN, Statistique suisse de l'électricité 2010

Heute 6 Mal höherer Verbrauch als 1950!



Energieverbrauch und Windanteil



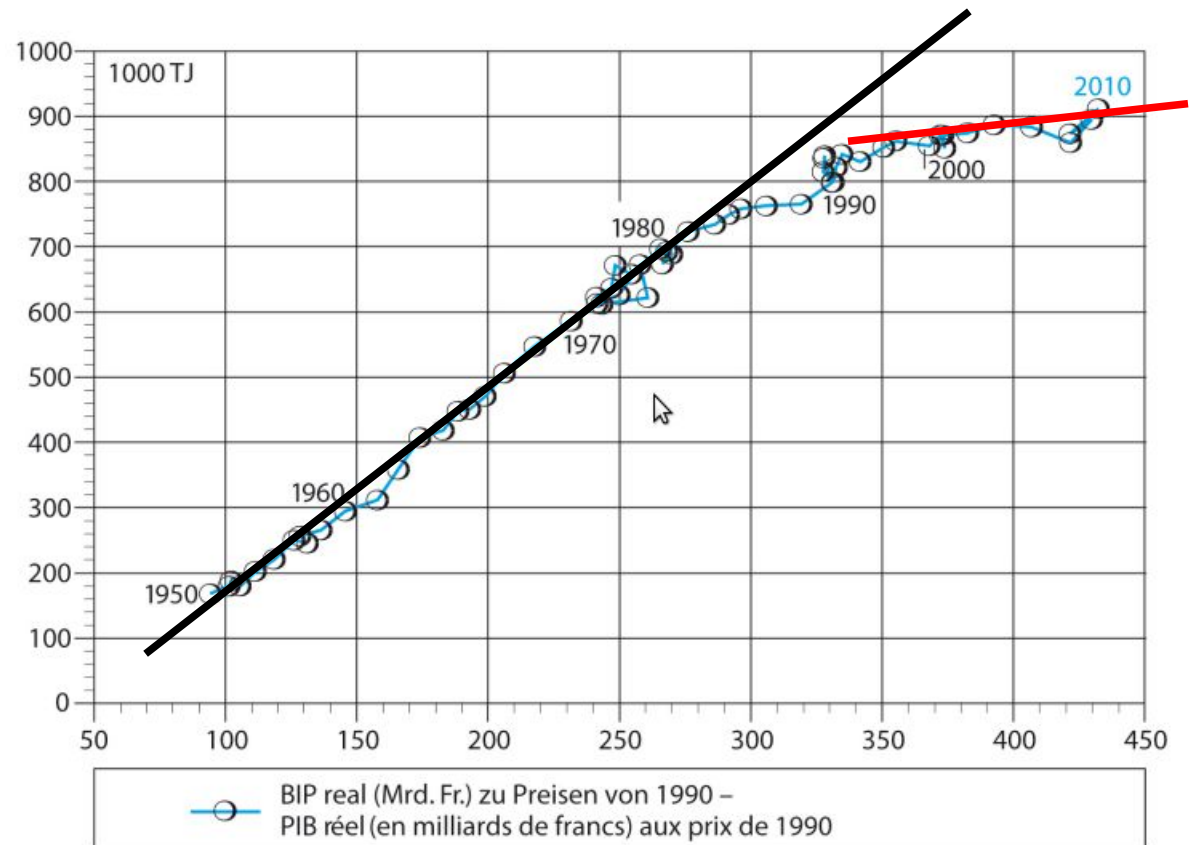
Windanteil marginal – grosse geopolitische Abhängigkeit!



Energie und Wirtschaftsleistung CH

Zusammenhang zwischen Energieverbrauch und wirtschaftlicher Entwicklung (1950-2010)
Relation entre la consommation finale et l'évolution économique (1950-2010)

Seit ca. 1995 ist das Wachstum der Wirtschaft vom Wachstum des Energieverbrauchs beinahe entkoppelt!



Quelle: BFE, Schweizerische Gesamtenergiestatistik 2010
Source: OFEN, Statistique globale suisse de l'énergie 2010



Bestimmung Windpotential

Windenergie-Karte der Schweiz

Windgeschwindigkeit

- keine Anzeige
- 50 m über Grund
- 70 m über Grund
- 100 m über Grund
- 0 - 2.4 m/s
- 2.5-3.4 m/s
- 3.5-4.4 m/s
- 4.5-5.4 m/s
- 5.5-6.4 m/s
- 6.5-7.4 m/s
- 7.5-8.4 m/s
- >= 8.5 m/s

Resultat Windkonzept

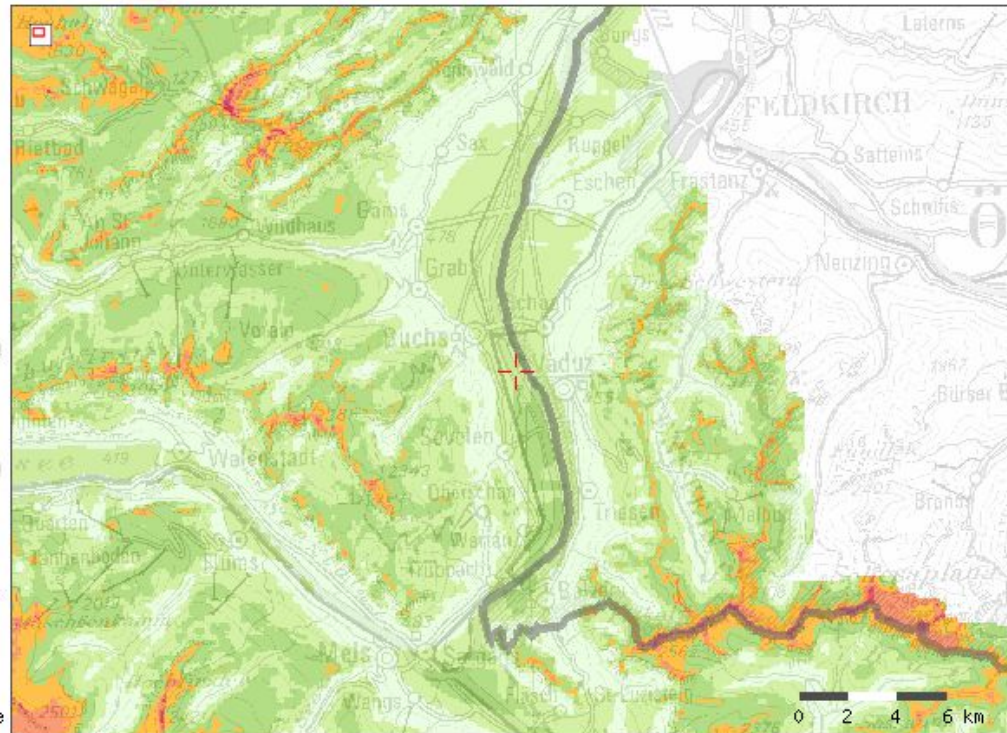
- Potenzialgebiete
- Standorte

Ausschluss-Kriterien

- Hangneigung zu steil
- Wald
- Siedlung mit Puffer
- schützenswerte Ortsbilder
- Natur- & Landschaftschutz
- Jagdbanngebiete
- BLN-Gebiete
- Auerhuhn-Potentialgebiete
- Vogelschutzgebiete
- Feuchtgebiete
- Trockenwiesen
- Nationalpark/UNESCO
- VAEW-Gebiete



Massstab: 1:200'000



Koordinaten (m): 735335 / 230204

X: Y: Zentrieren



suisse · éole

Allgemeine
Windenergie-
Informationen

im Auftrag des
Bundesamtes für
Energie



Realisierung



Windenergie-Karte Version 2004: Richtplanung Kantone

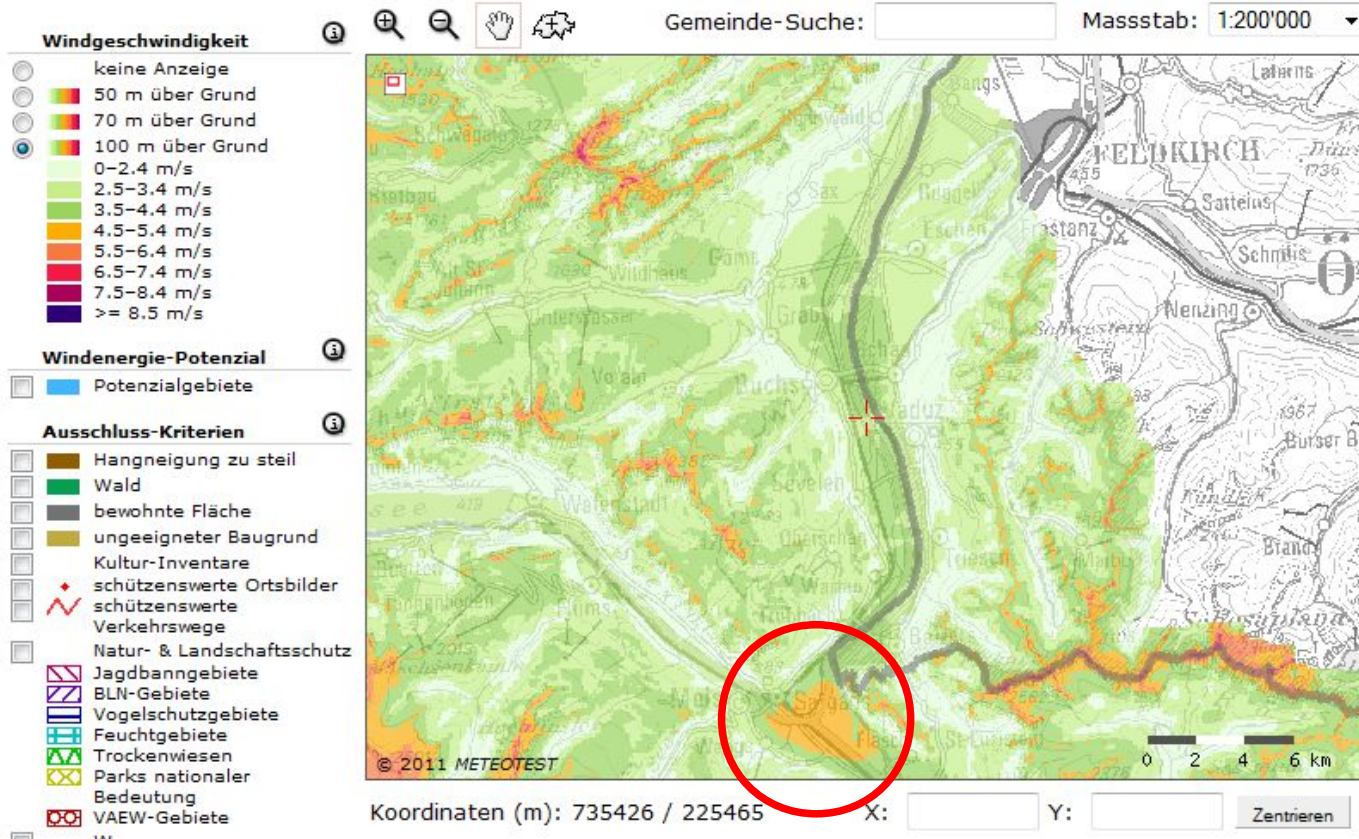
Windkraftnutzung in Liechtenstein

Dr. Bruno Dürr, Solargenossenschaft Liechtenstein und Sunergy GmbH



Bestimmung Windpotential: Rheintal

Windenergie-Karte der Schweiz



suisse-éole

Algemeine
Windenergie-
Informationen

im Auftrag des
Bundesamtes für
Energie



Realisierung



Region Sargans höheres Potential aufgrund von Messdaten!

Windkraftnutzung in Liechtenstein

Dr. Bruno Dürr, Solargenossenschaft Liechtenstein und Sunergy GmbH

Windmessungen SGL Region Balzers



Ans

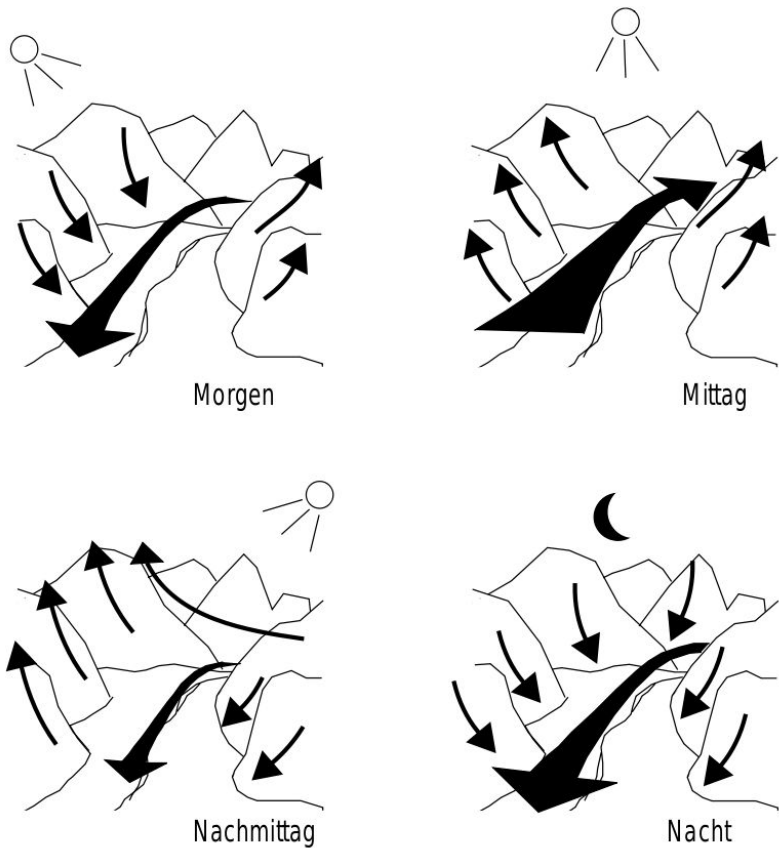
Fläscher Riet

Alp Lida

Neugüeter

Alle Standorte Bodenbesitz Bürgergenossenschaft Balzers

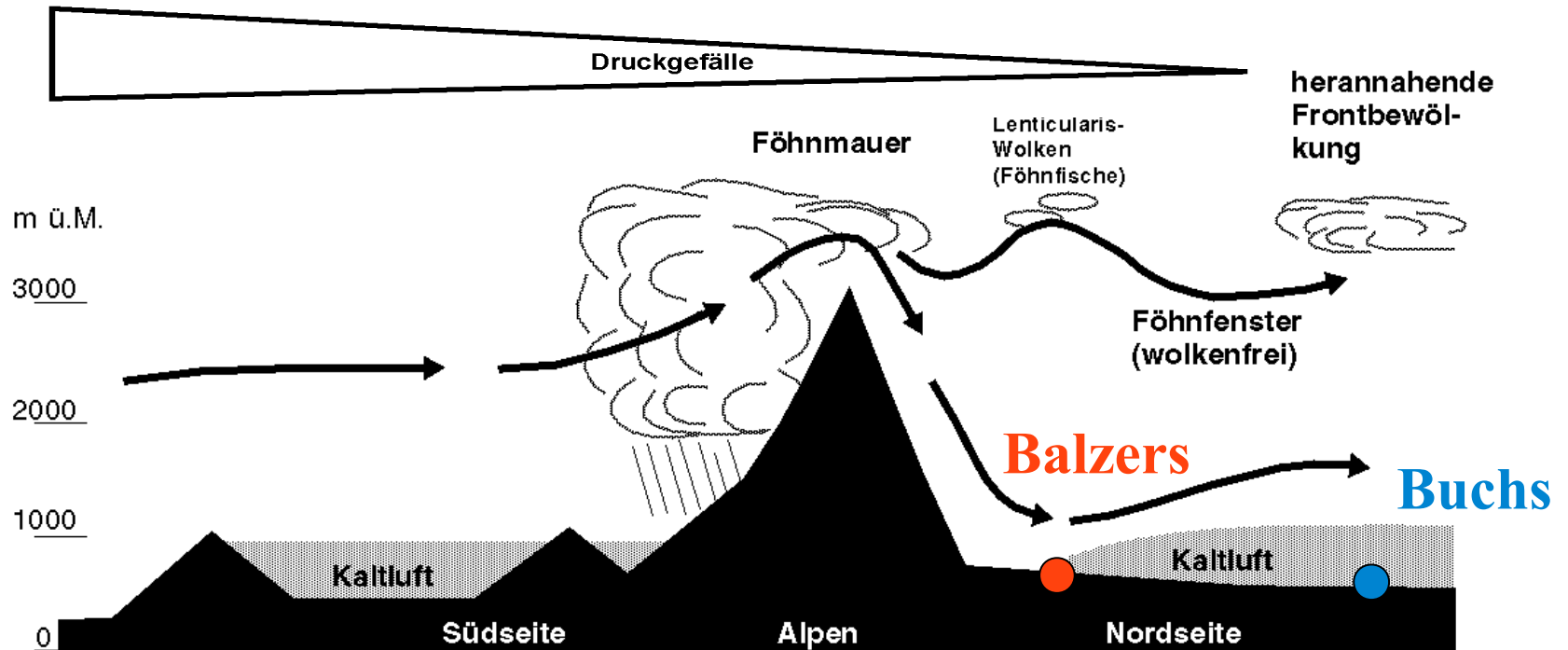
Windsysteme Alpental: Berg-/Talwind



- **Morgen:** Hänge werden durch Sonne aufgeheizt
- **Mittag:** Aufheizung und Talwind maximal
- **Nachmittag:** Schattenhänge kühlen schnell ab
- **Nacht:** Auskühlung und Bergwind maximal



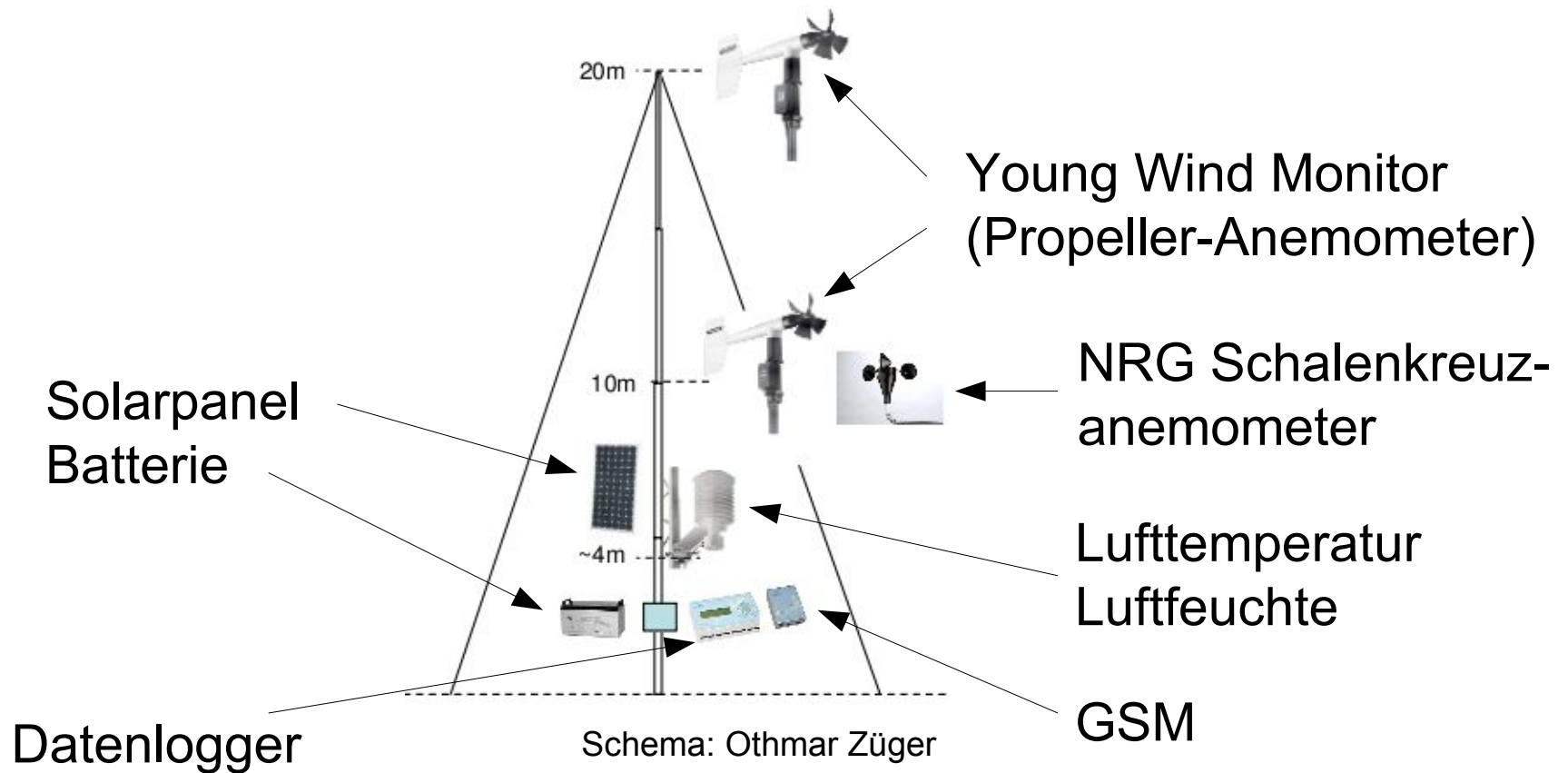
Windsysteme Alpental: der Föhn



Quelle: Stephan Bader, MeteoSchweiz

- Region Buchs ca. 3% oder 260 Stunden Föhn pro Jahr
- Region Fläscherberg ca. 7% oder 600 Stunden Föhn pro Jahr
- Am häufigsten Föhn im April/Mai und November

Wie wird Windpotential bestimmt?





Windmessung mit 50-Meter Masten



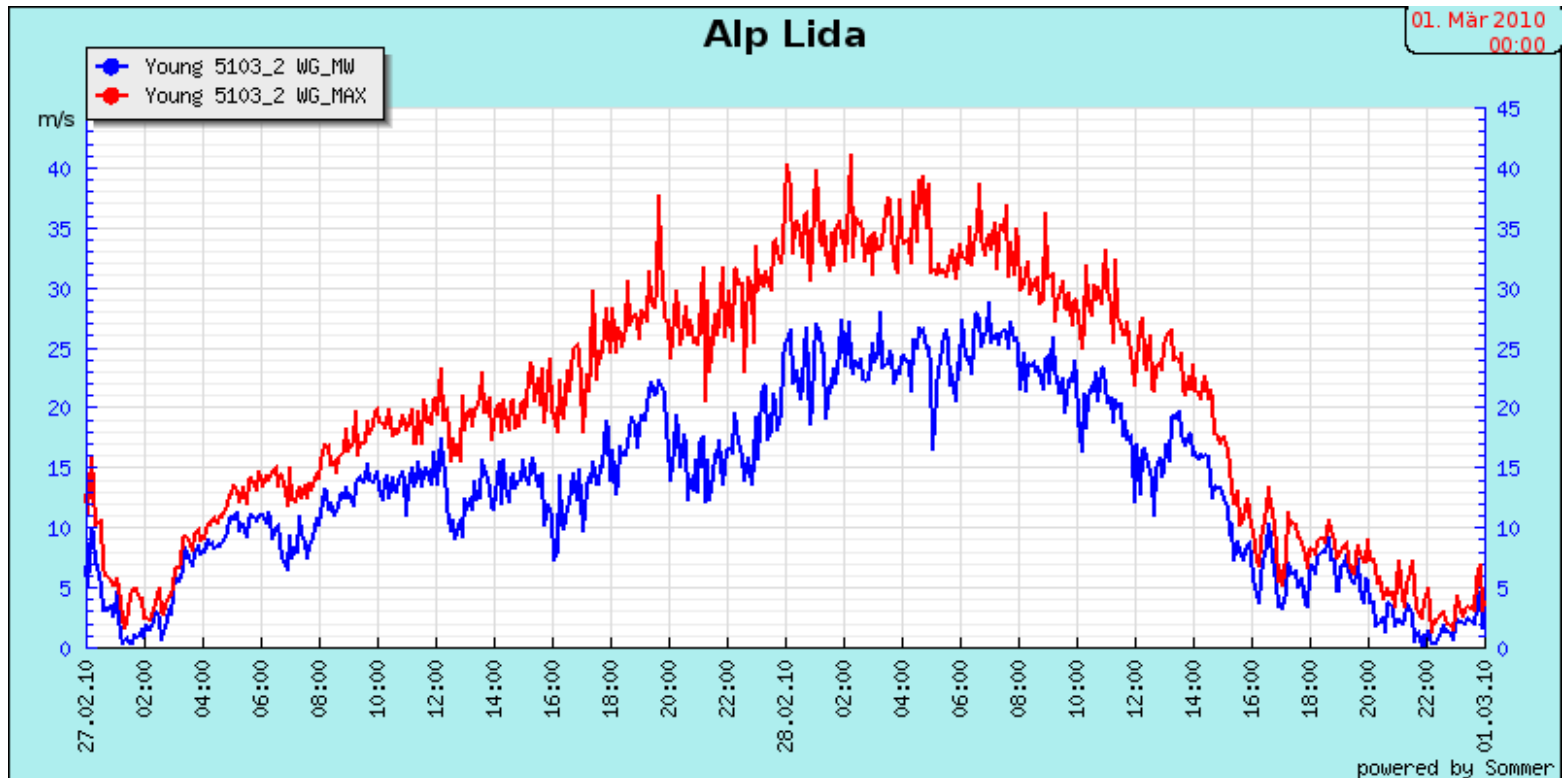
Photo: Bruno Dürr, Solargenossenschaft



Fläscher Riet, Balzers:
Windmessung auf 30, 40
und 50 Metern über Grund



Föhnsturm Alp Lida 28. Februar 2010

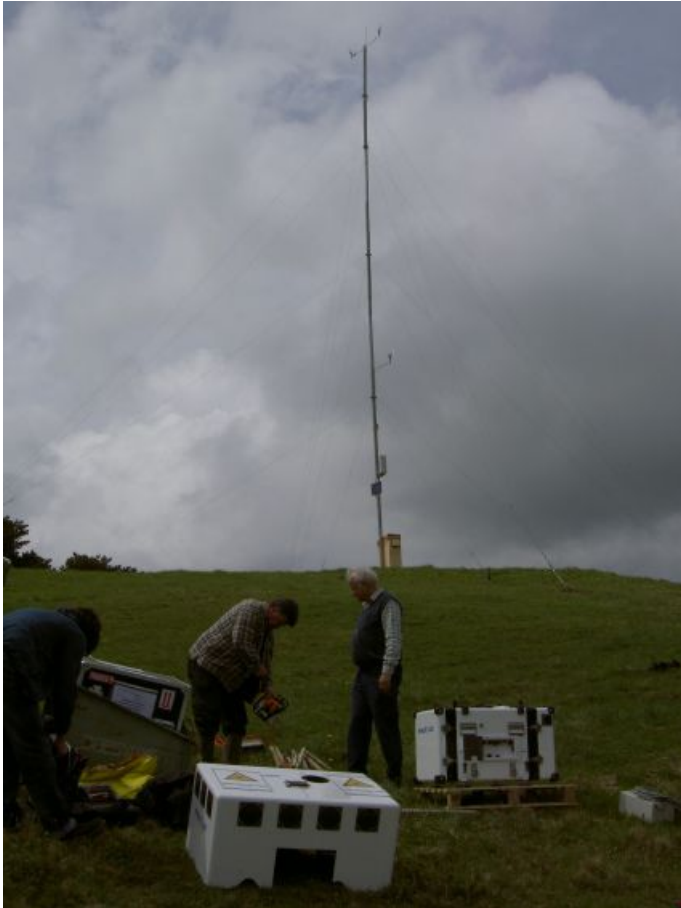


Maximale Böe: 41.1 m/s oder 148 km/h

Höchstes 10-Minutenmittel: 27.2 m/s oder 98 km/h



Windmessung mit LIDAR

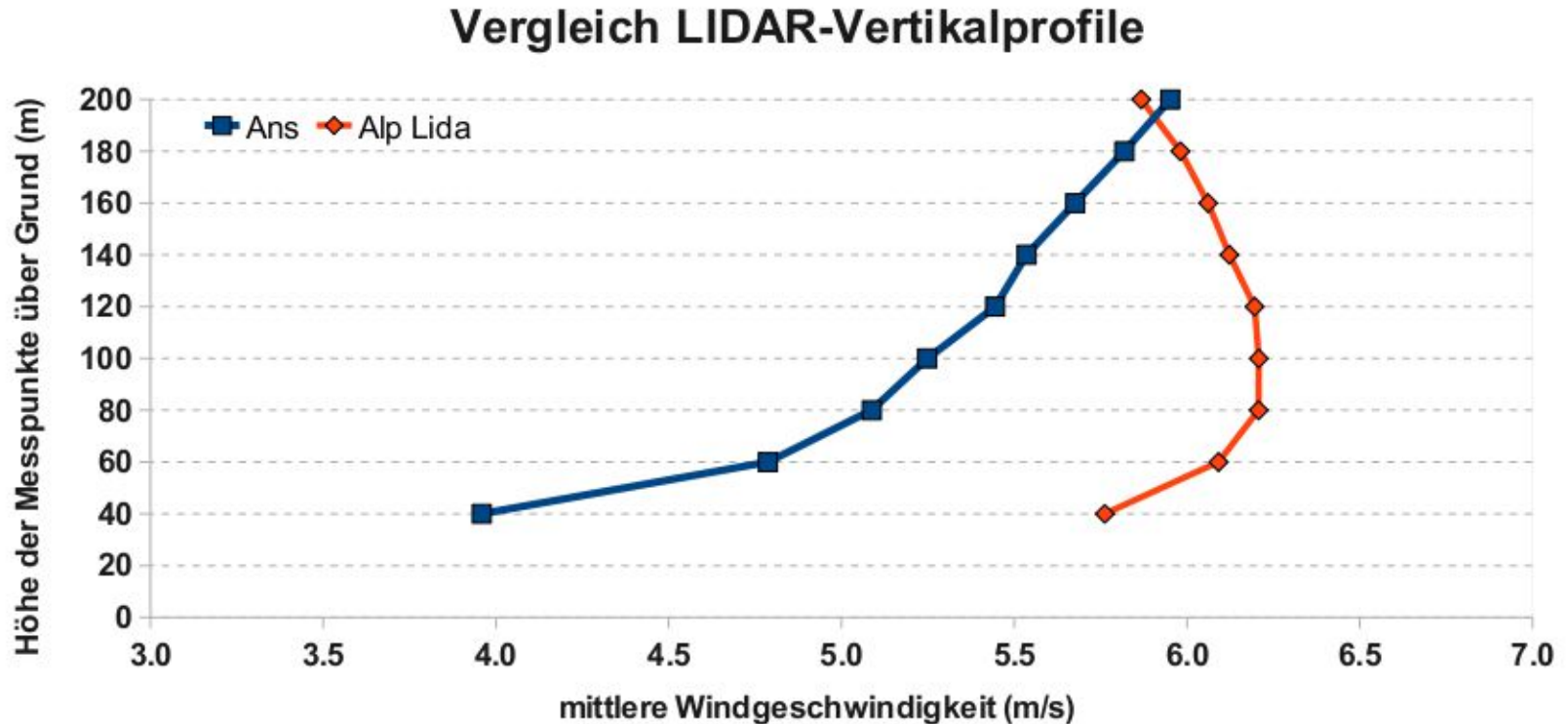


Alp Lida, Mai 2010

- LIDAR = Light Detection And Ranging
- Windgeschwindigkeit und Windrichtung bis 200m über Grund
- Messwerte alle 10 Minuten
- Benötigt Stromanschluss 230V oder Stromgenerator



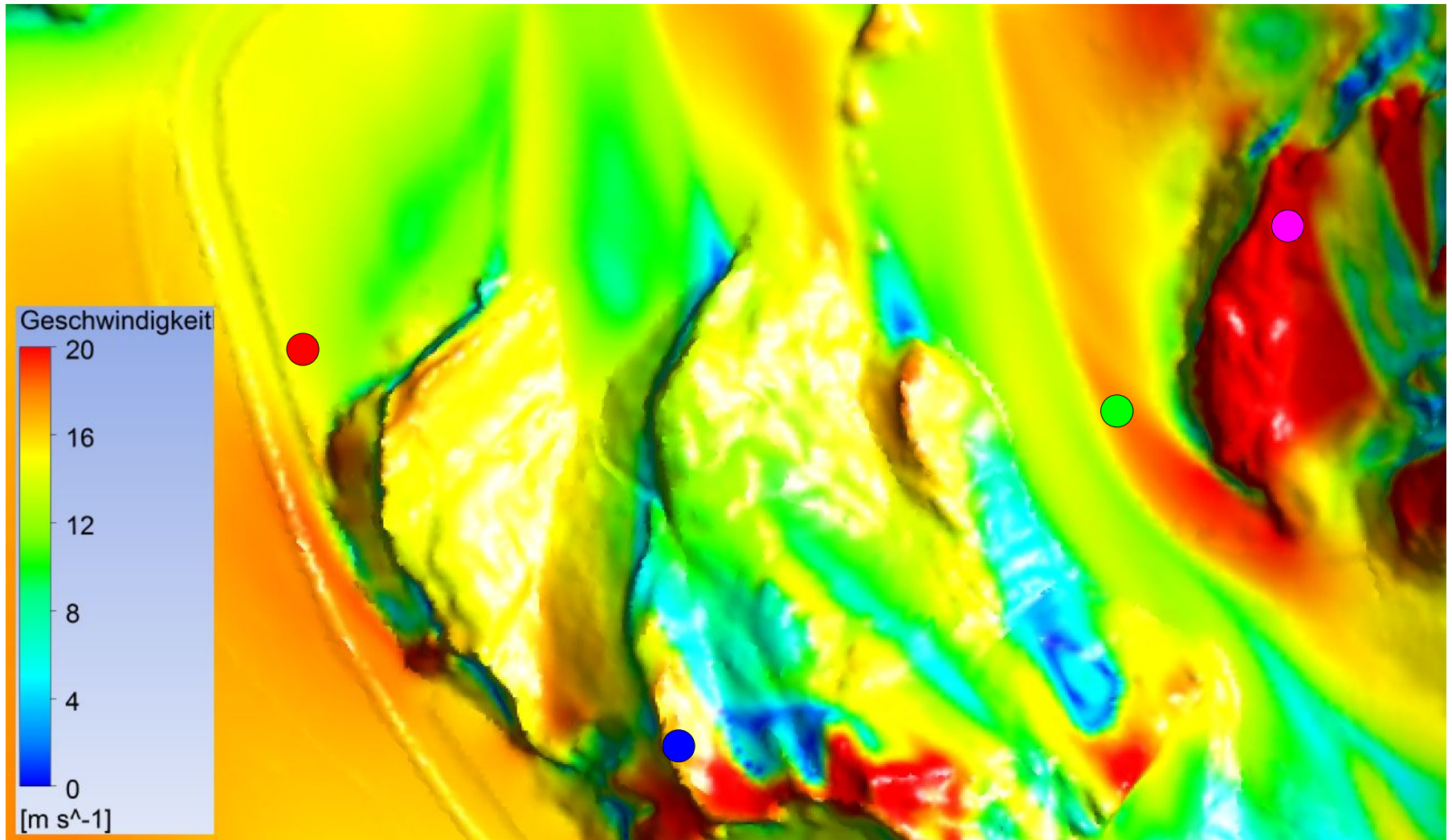
LIDAR: Vergleich Alp Lida und Ans



Alp Lida zeigt nach rund 80m Höhe wieder Rückgang



Windsimulation mit Computermode

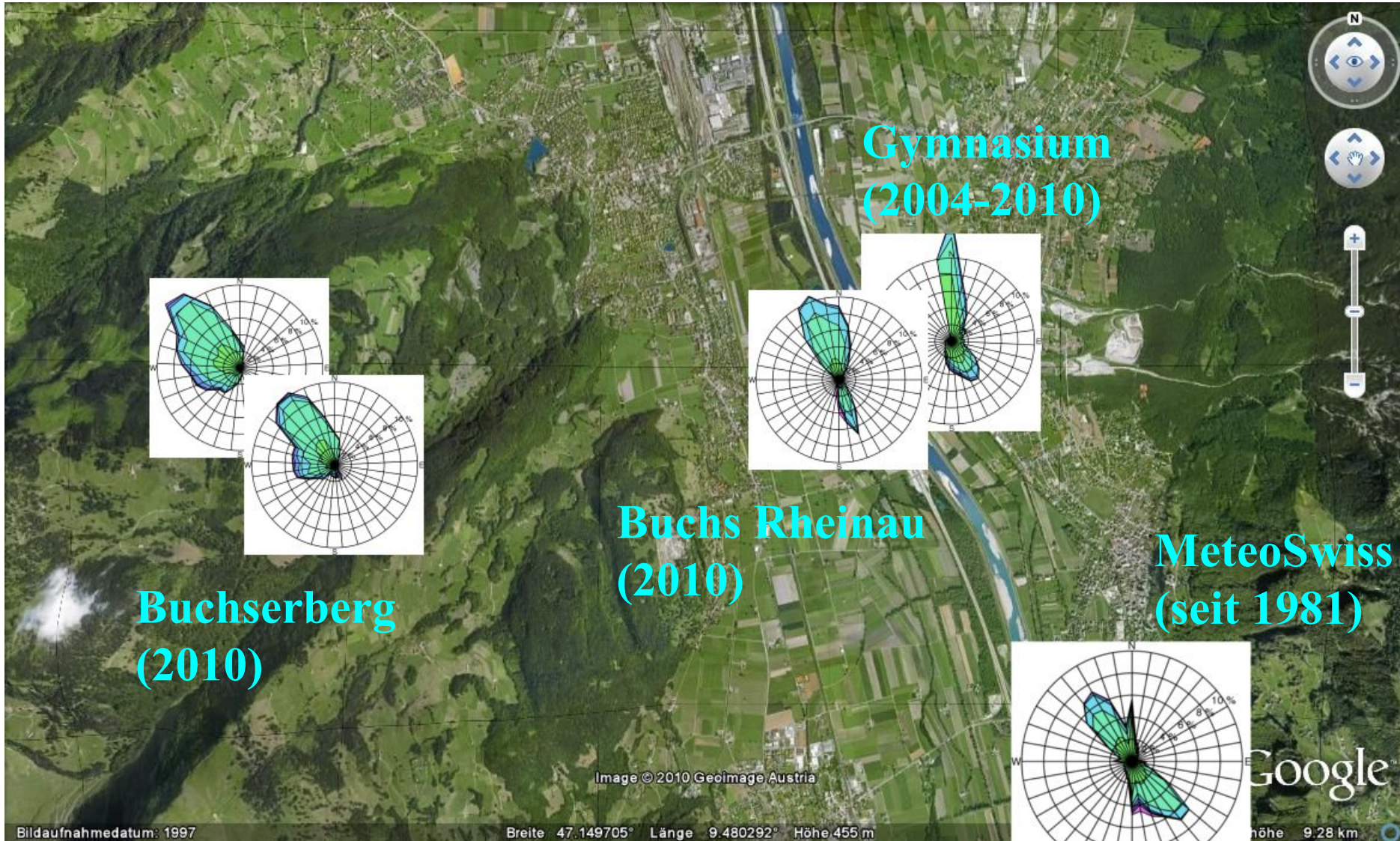


Windkraftnutzung in Liechtenstein

Dr. Bruno Dürr, Solargenossenschaft Liechtenstein und Sunergy GmbH

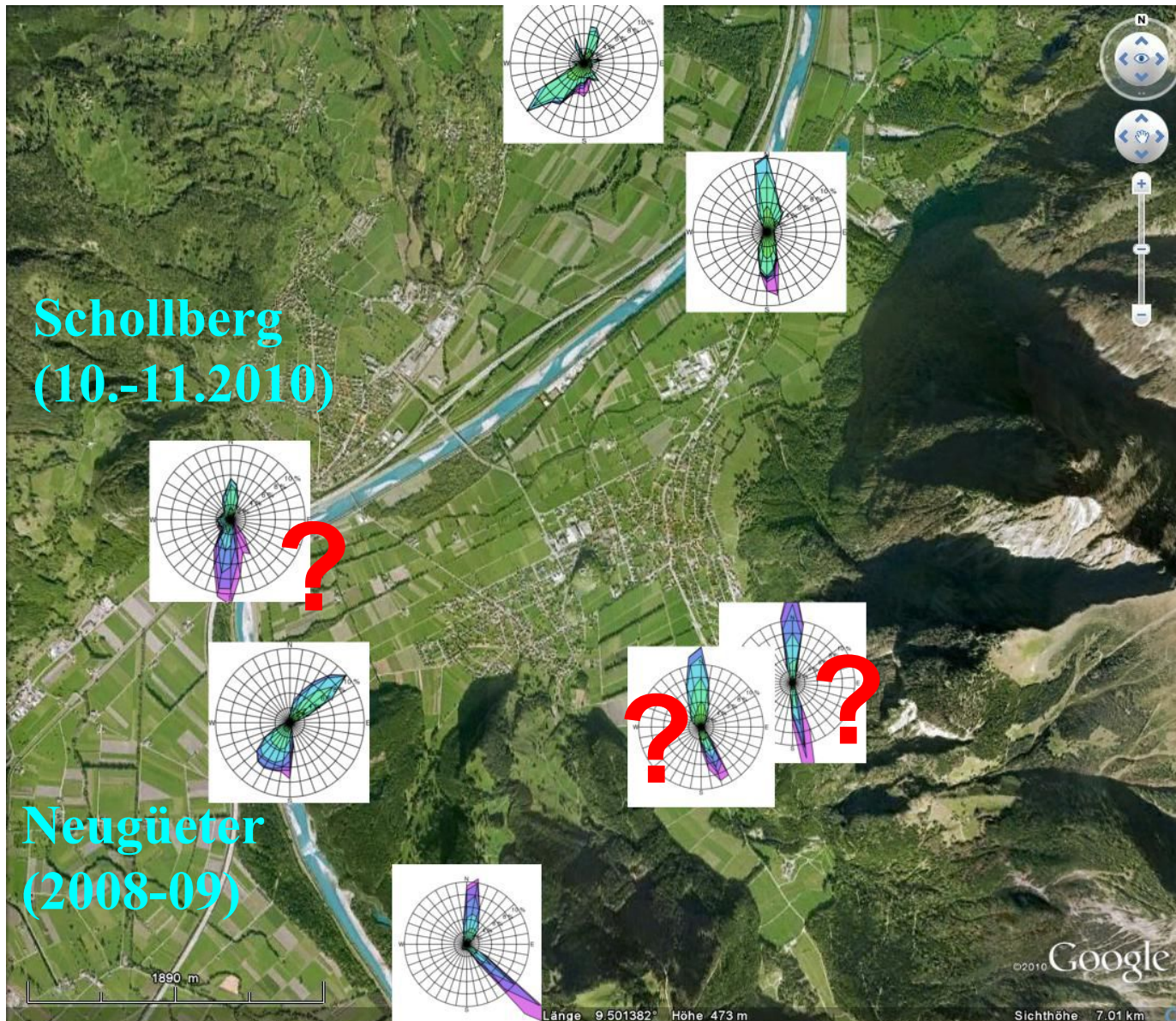


Resultate Winduntersuchungen





Messungen Region Balzers



Schollberg
(10.-11.2010)

Neugüeter
(2008-09)

Weite (1999)

Hälos
(2009-10)

? LKW
LIDAR-
Messung

Ans (06.2010)

Fläscher Riet
(2010-11)

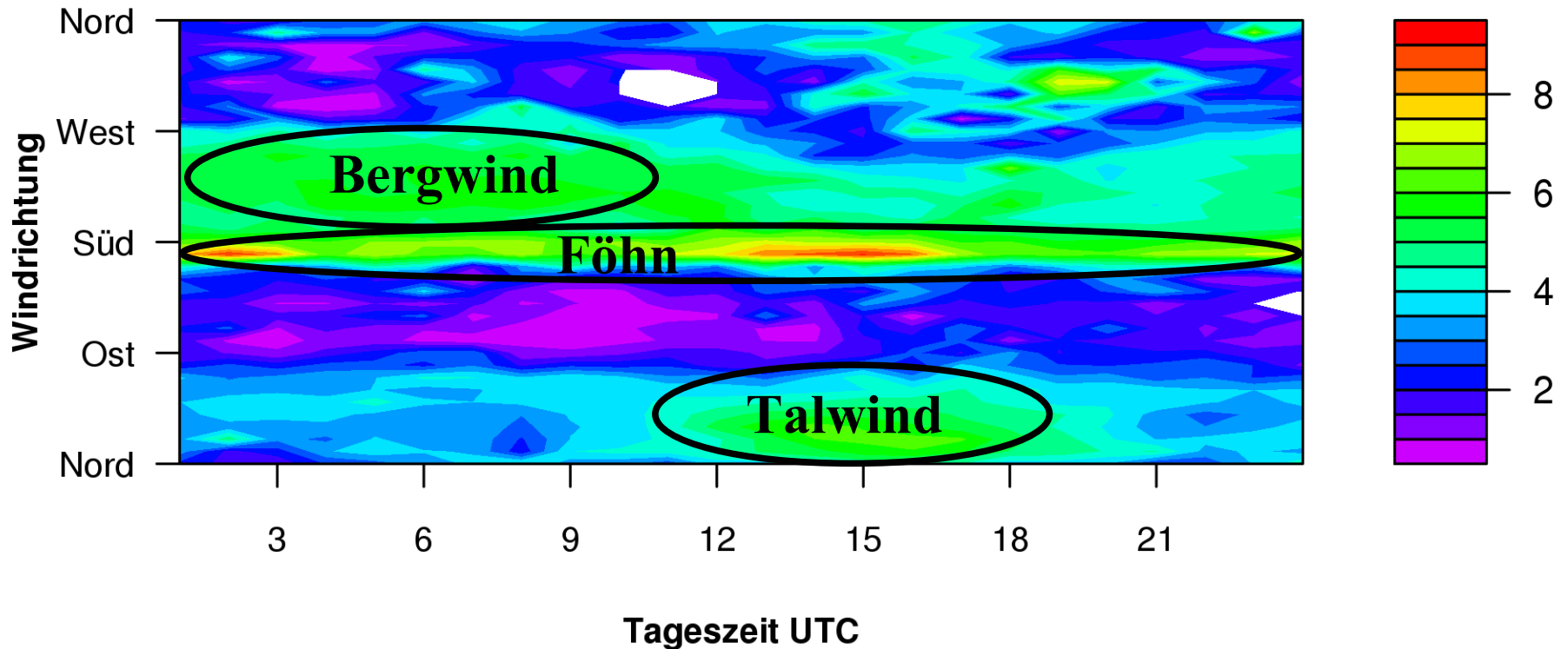
Alp Lida
(2009-11)²¹



Beispiel: Resultate Balzers-Neugüeter

Jahresmittel Windgeschwindigkeit (4.72 m/s) Balzers Neugüeter 476m ü.M.

m/s

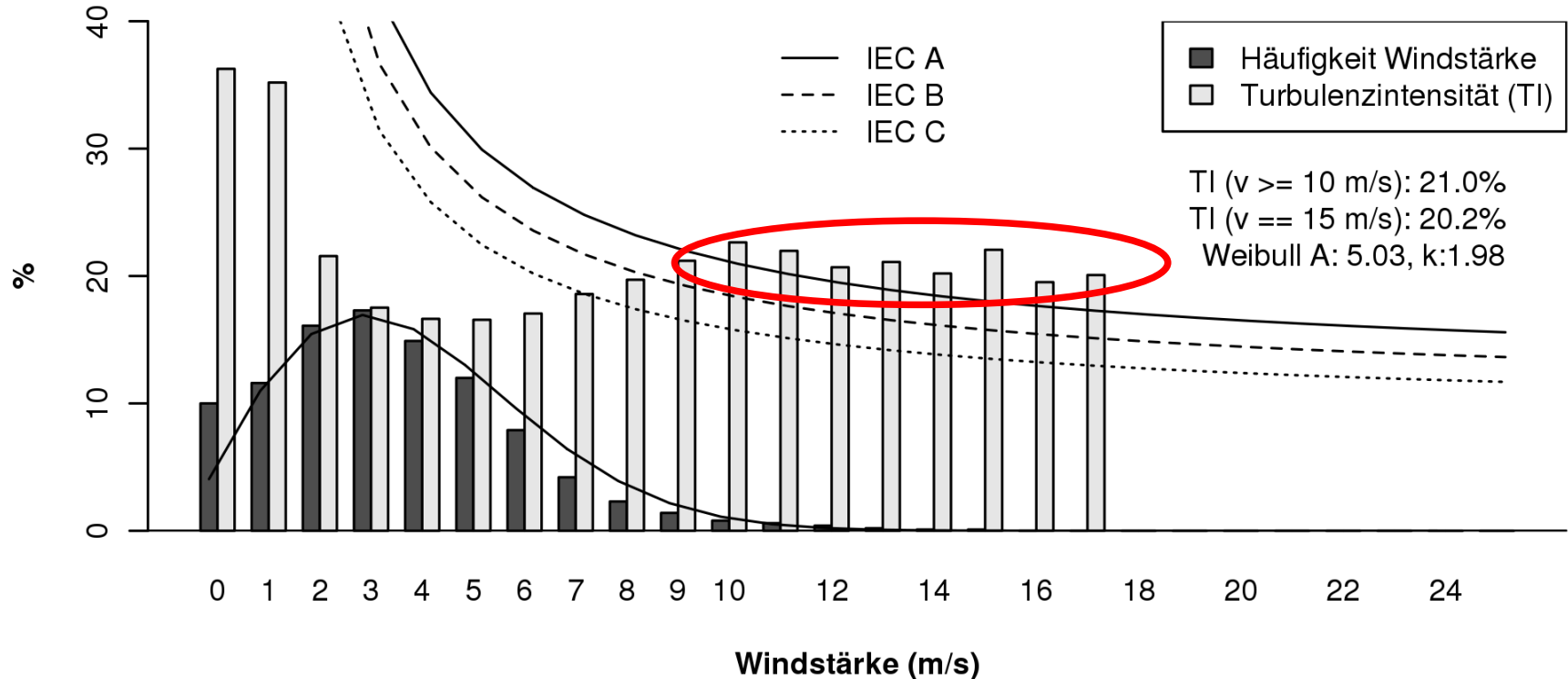


04.2008-03.2009, Windmessung: 49m, Nabe: 108m, z0=0.05248m Sunergy GmbH, 21.03.12



Resultate Balzers-Neugüeter

Balzers Neugüeter 476m ü.M.

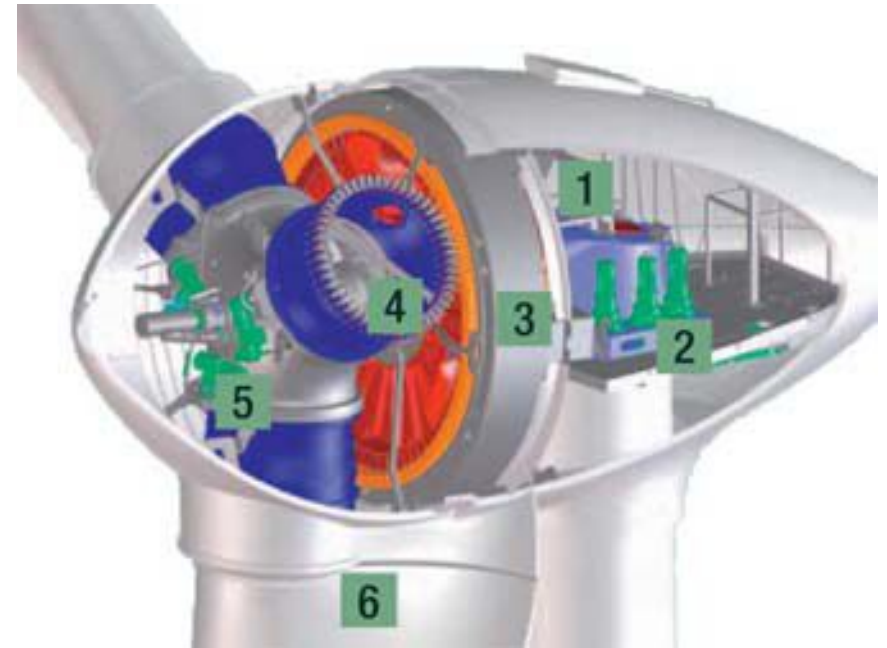


04.2008-03.2009, Windmessung: 49m Sunergy GmbH, 21.03.12

Grenzwerte für Windböen auf 49m überschritten



Wie wird Windstrom erzeugt?

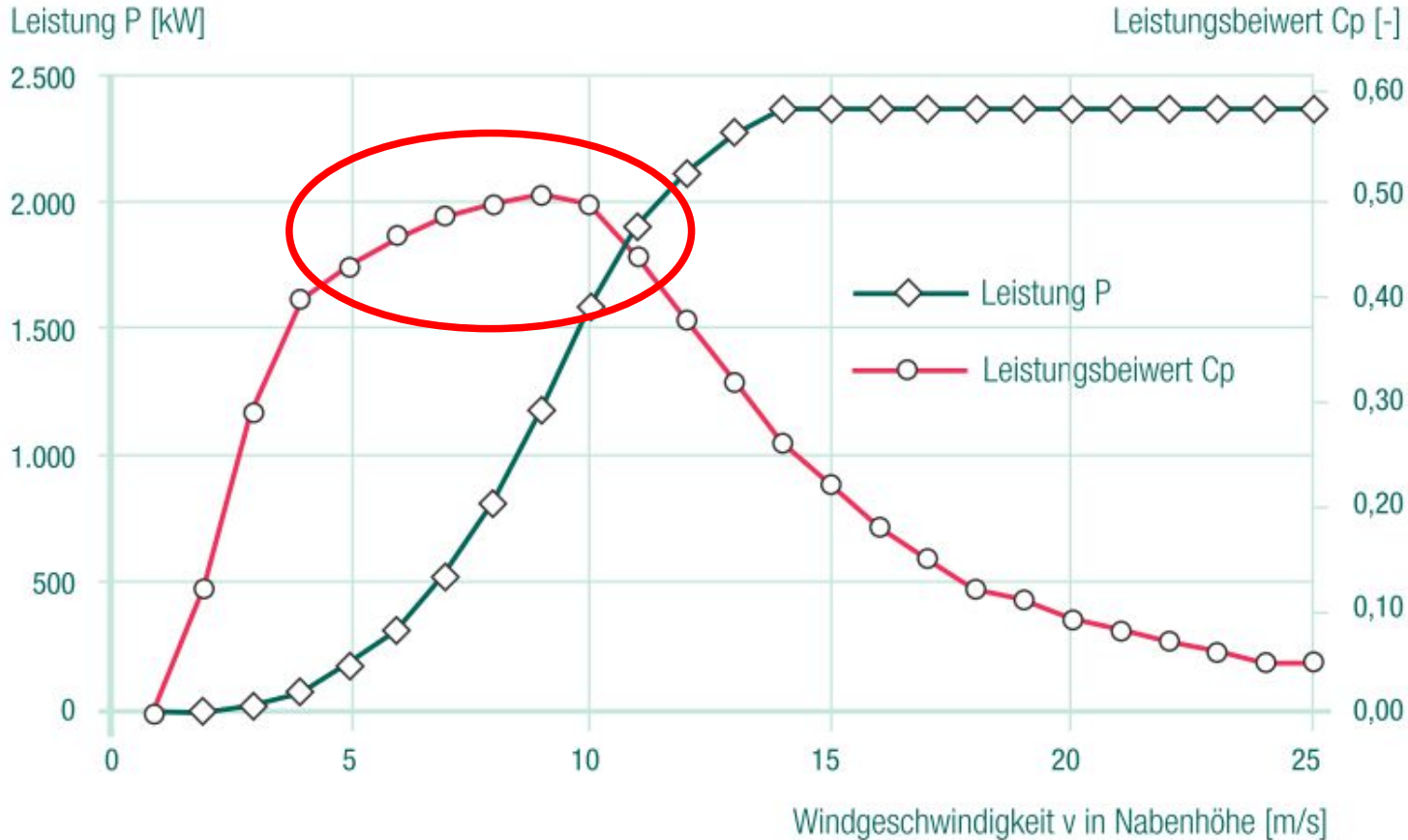


**Enercon Direktläufer mit
Generatorring (3)**

Doppelte Windgeschwindigkeit = 8 Mal mehr Energie!



Erntegrad einer Windkraftanlage



E-82 E2
2300 kW

Idealer Windgeschwindigkeitsbereich: 20 km/h – 40 km/h



Referenzanlage Enercon E-82 E2



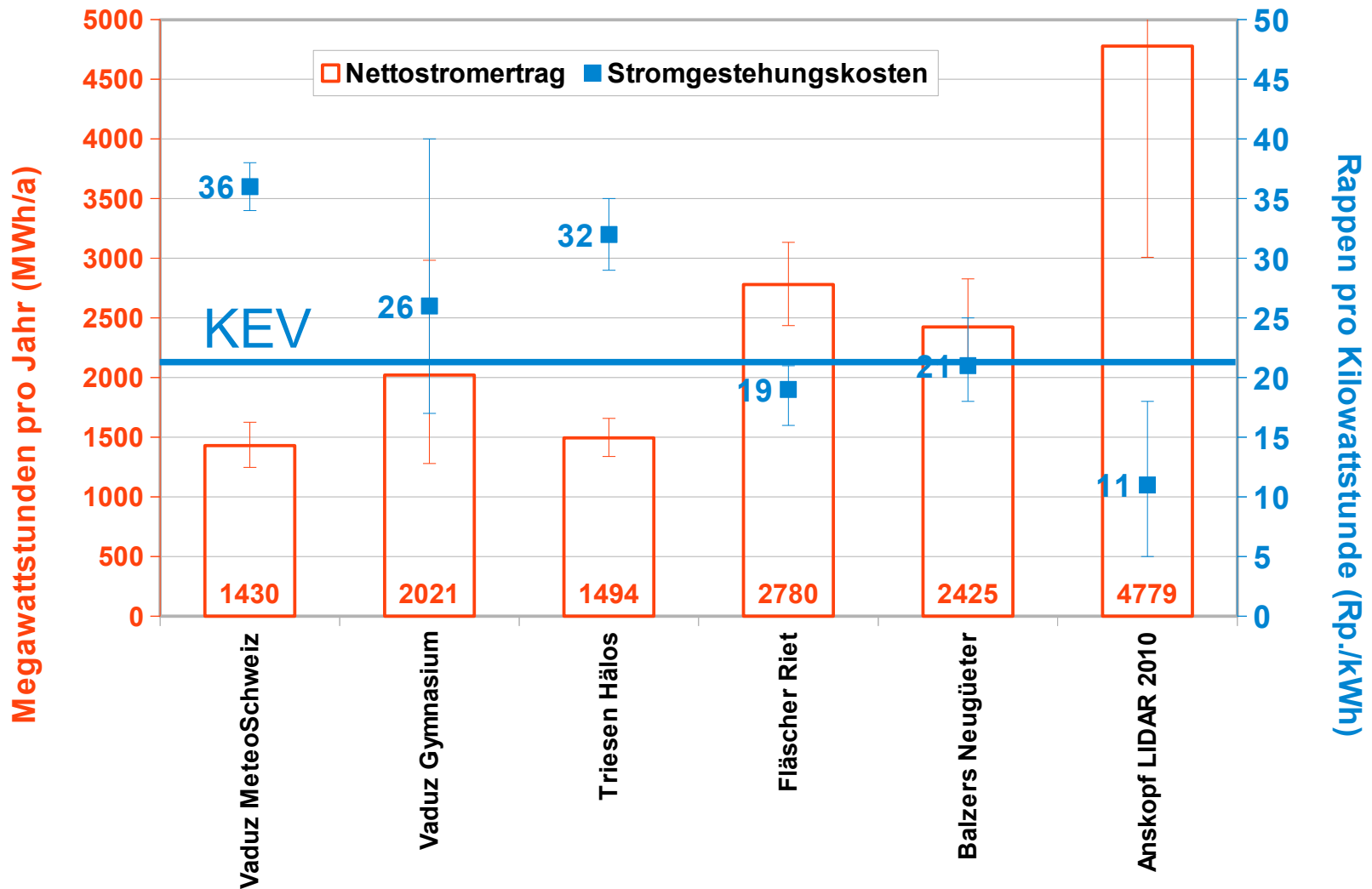
- Nennleistung: 2000 kW
- Nabenhöhe: 108 Meter
- Blattlänge: 41 Meter
- Optimale Windstärke:
8 m/s (29 km/h)
- Kosten (ohne MwSt):
rund 5.3 Mio. CHF



Wirtschaftlichkeit Windstrom

Auswertung Enercon E-82 E2 (Pmax: 2 MW), Anlagenverluste: 6%

Nabenhöhe 108 Meter, Nutzungsdauer 20 J., Kapitalzins 5%, Kosten 5.3 Mio CHF





Vor- und Nachteile der Standorte

	Alp Lida		Fläscher Riet		Ans		Neugüeter	
	+	-	+	-	+	-	+	-
Strompreis	X		X		X		X	
Wohngebiet	X			X	X			X
Sichtbarkeit	X			X	X			X
Turbulenzen		X		X	X			X
Abstand Wald	X		X			X	X	
Schutzgebiet		X	X		X		X	
Zugänglichkeit		X	X		X		X	
Einspeisung		X	X		X		X	
Total	4	4	5	3	7	1	5	3



Realisierung Windkraftanlage: wo?

Windgeschwindigkeit

- keine Anzeige
 - 50 m über Grund
 - 70 m über Grund
 - 100 m über Grund
- 0 - 2.4 m/s
 - 2.5-3.4 m/s
 - 3.5-4.4 m/s
 - 4.5-5.4 m/s
 - 5.5-6.4 m/s
 - 6.5-7.4 m/s
 - 7.5-8.4 m/s
 - >= 8.5 m/s

Resultat Windkonzept

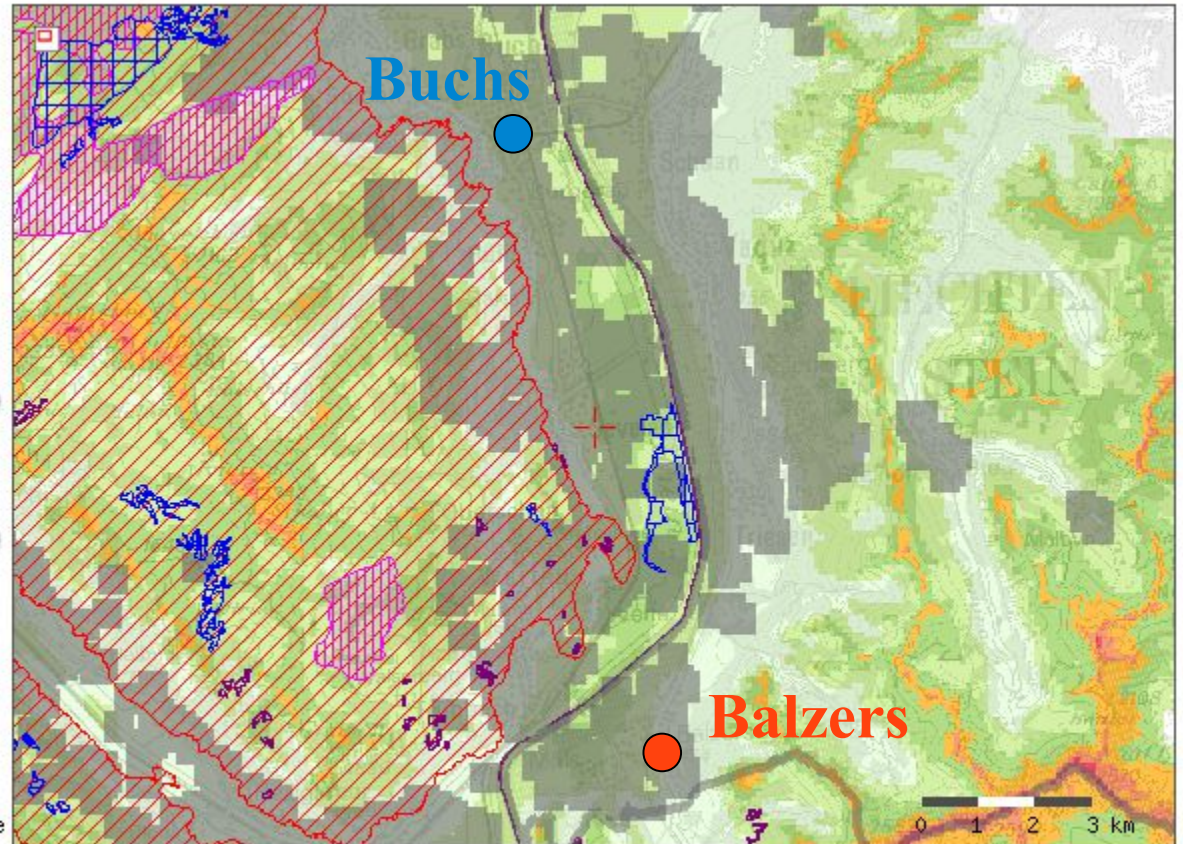
- Potenzialgebiete
- Standorte

Ausschluss-Kriterien

- Hangneigung zu steil
- Wald
- Siedlung mit Puffer
- schützenswerte Ortsbilder
- Natur- & Landschaftschutz
- Jagdbanngebiete
- BLN-Gebiete
- Auerhuhn-Potentialgebiete
- Vogelschutzgebiete
- Feuchtgebiete
- Trockenwiesen
- Nationalpark/UNESCO
- VAEW-Gebiete



Massstab: 1:100'000



Koordinaten (m): 745876 / 217416

X: Y: Zentrieren



Was ist sinnvoller: Eine grosse ...

Die Leistung einer 80 Meter hohen Turbine
(800 000 kWh/Jahr) entspricht ...



suisse · éole



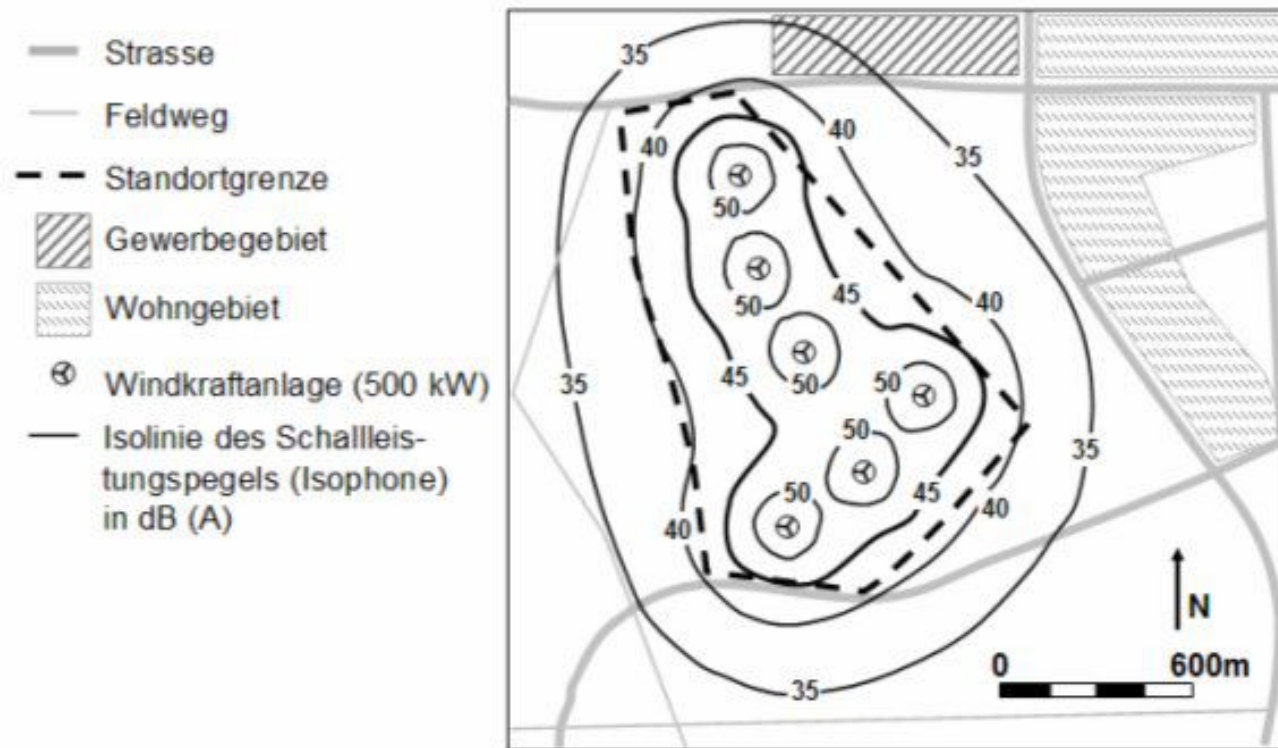
... oder viele kleine Windturbinen?

... der Leistung von 39 Windturbinen mit einer Höhe von 30 m !





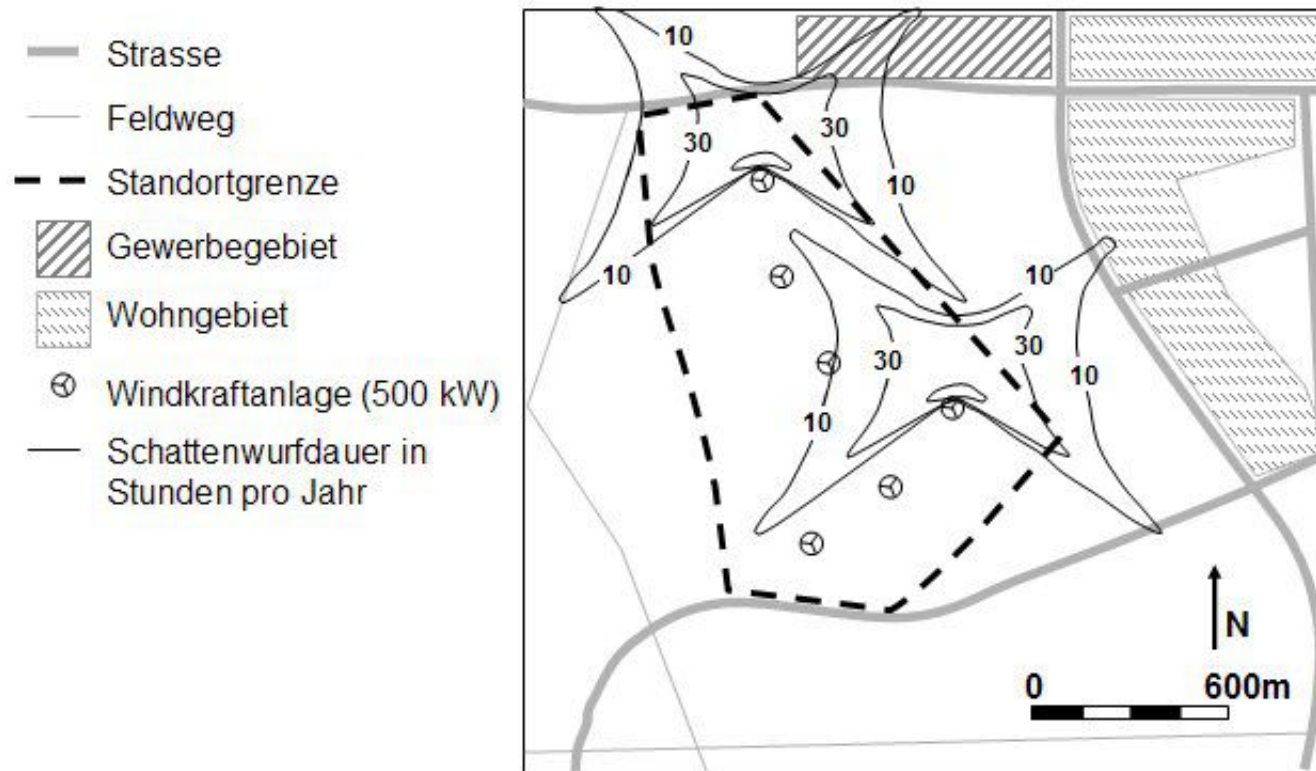
Geräuschemissionen Windkraftanlage



- Berechnung von Ausbreitung der Geräusche für jeden Standort
- LSV-Grenzwert Schweiz: 45 Dezibel (dB) für Erholungsgebiete nachts
- Bei starkem Wind sind die Windgeräusche lauter als die Windturbine



Schlagschatten Windkraftanlage



- Deutschland: maximal 30 Stunden pro Jahr oder maximal 30 Minuten pro Tag Schlagschatten erlaubt



Windenergienutzung und Fauna

Vogelwarte Sempach: Freihalten von

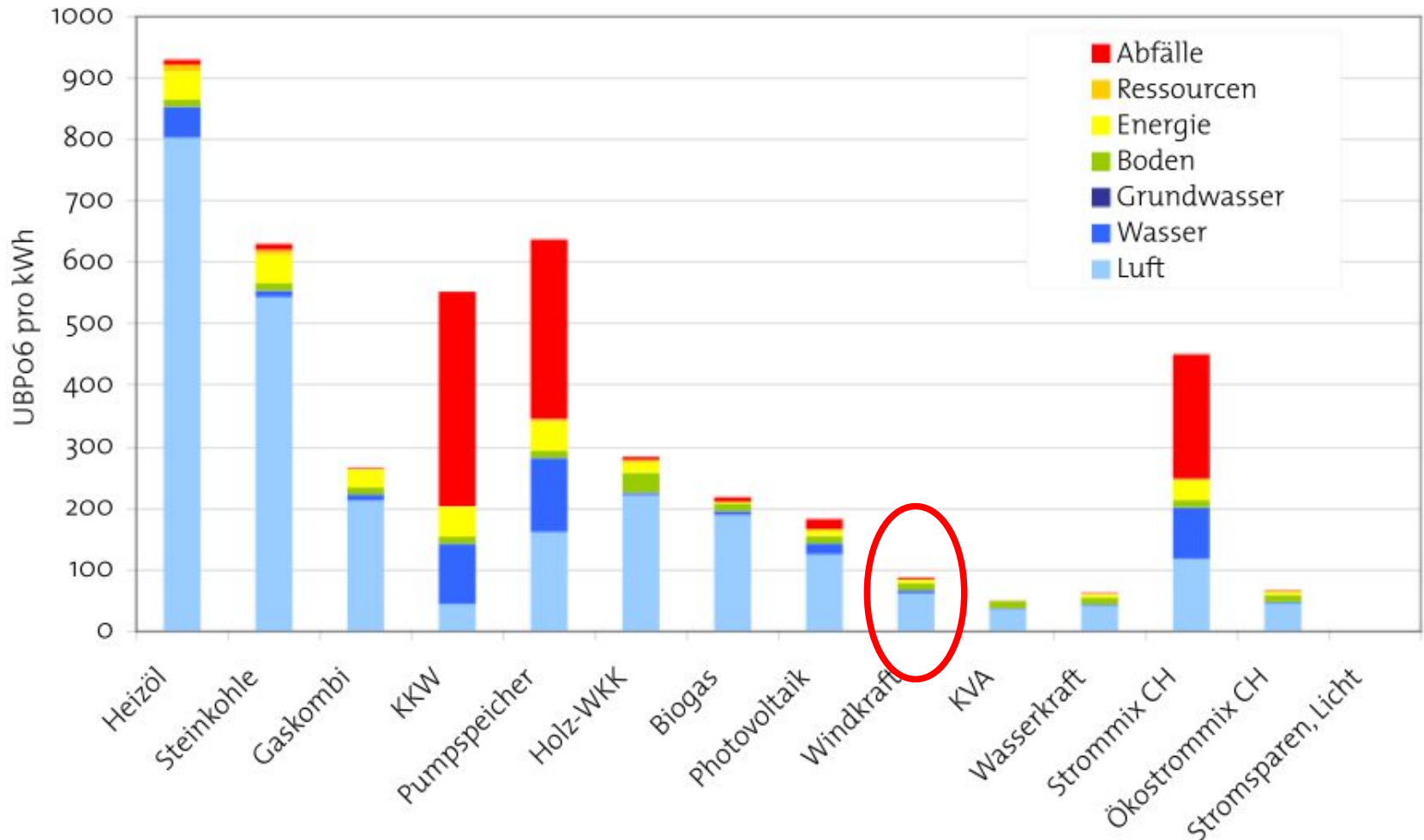
- Gebieten mit Konzentrationen von ziehenden, rastenden oder nächtigenden Vögeln (Zugkorridore, etc.)
- Gesetzliche Schutzgebieten (Naturschutzgebiete, Wasservogelschutzgebiete, Objekte aus dem BLN, etc.)
- Gebieten mit Vorkommen von störungssensiblen Arten

Fledermäuse:

- Einsatz von Fledermausdetektoren in sensiblen Gebieten



Umweltbelastungspunkte von Kraftwerken



Windkraft zeigt bessere Ökobilanz als z.B. Photovoltaik



Importierte Landschaftszerstörung!



Braunkohle Tagebau, Zwenckau, Ostdeutschland



Fazit

- Suche nach geeigneten Standorten im Alpenraum ist finanziell und zeitlich sehr aufwendig
- Windpotential in Region Balzers ist vorhanden (Gutachten der LKW ist in Kürze verfügbar)
- Energieimporte belasten die Ökobilanz
- Politische Grundsatzdiskussion über Windkraftnutzung im Land ist dringend notwendig



Vortrag Nutzung Wind FL: Quellen

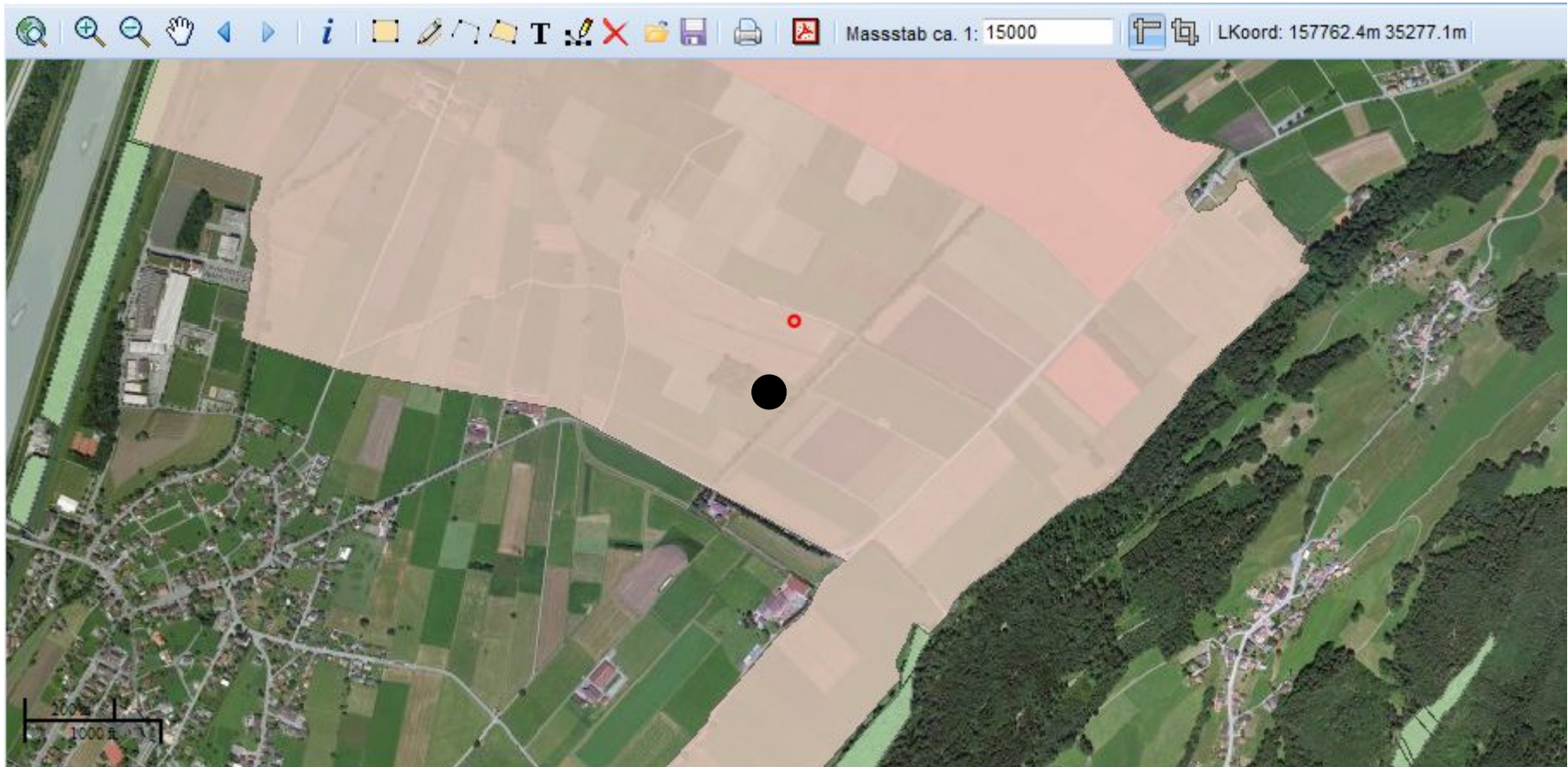
- FL-Amt für Statistik Energiestatistik 2010:
<http://www.llv.li/amtstellen/llv-as-energie.htm>
- Bundesamt für Energie (BfE) Energiestatistiken 2010:
<http://www.bfe.admin.ch/themen/00526/00541/00542/index.html?lang=de>
- Vereinigung zur Förderung der Windenergie in der Schweiz:
<http://www.suisse-eole.ch/de.html>
- Deutsches Windenergie Institut DEWI:
<http://www.dewi.de/dewi/index.php?id=47&L=1>
- Bundesverband WindEnergie e.V. Deutschland:
<http://www.wind-energie.de/infocenter/statistiken>
- Windenergie-Karte der Schweiz (BfE und Meteotest):
<http://www.wind-data.ch/windkarte/>
- Übersicht bestehende Windkraftanlagen Schweiz:
<http://www.wind-data.ch/wka/index.php?lng=de>
- Windmessungen Solargenossenschaft Liechtenstein:
<http://www.solargenossenschaft.li>
- Neu-Technikum Buchs (NTB), Institut für Energiesysteme (IES):
<http://www.ntb.ch/ies/projekte/windkraft.html>



Weitere Folien



Projekt Windmessung Unterland



Standort 50m-Windmessmasten im Ruggeller Riet



Projekt SGL-Windmessung Unterland



- Messung März 2012 –
August 2012

- bei guten Bedingungen
Verlängerung auf 1 Jahr
inkl. LIDAR-Messung



Anlagenbeispiele im Alpenraum



- 2000 kW Anlage (E-70)
seit 2005
- Gemeinde Collonges mit
ca. 480 Einwohnern
- Jahresertrag 4.5 GWh
- Deckt Bedarf von rund
1000 – 1200 Haushalten



Anlagenbeispiele im Alpenraum



- 2000 kW Anlage (E-82)
seit 2008
- Gemeinde Vernayaz mit
rund 1770 Einwohnern
- Jahresertrag 5 GWh
- Deckt Bedarf von rund
1200 – 1400 Haushalten



Anlagenbeispiele im Alpenraum



- 600 kW-Anlage (E-40) auf dem Gütsch bei Andermatt seit 2004
- 2 weitere Anlagen im Betrieb seit 2010
- Extreme Bedingungen bezüglich Blattvereisung



Energiegemeinde Wildpoldsried (DE-Allgäu)

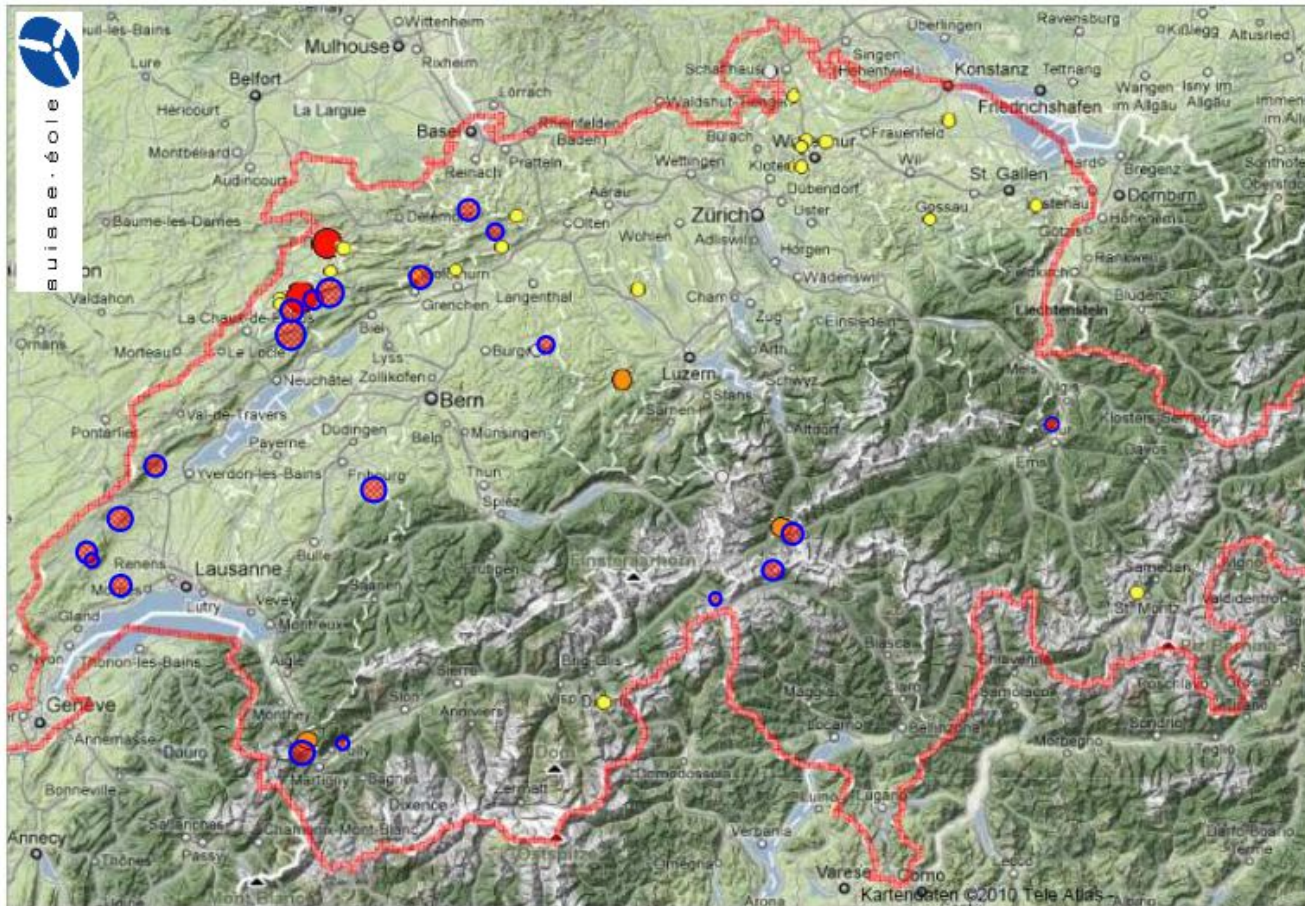


- 2000 kW Anlage (E-82)
- Insgesamt 5 Windanlagen
- Rund 2500 Einwohner
- **Eigenversorgungsgrad
Strom über 280% !!!**
- Hauptenergie Windkraft
- Wichtig auch Sonnen-
energie und Biomasse



Planungsstand Windanlagen 2010

Geplante Windenergie Anlagen Schweiz (Stand Feb 2010)



- Mont Corsin, BE: 8×2MW
- Eriswil, BE: 2×2MW
- Schwyberg, FR: 10×2MW
- Haldenstein, GR: 1×2MW
- Le Peuchapatte, JU: 11×2MW
- Crêt-Meuron, NE: 7×2MW
- La Joux-du-Plâne, NE: 12×2MW
- Grenchenberg, SO: 8×2MW
- Scheltenpass, SO: 7×2MW
- Schwengimatt, SO: 4×0.8MW
- Gotthardpass, TI: 7×2MW
- Gütsch, UR: 3×0.9MW
- Sainte-Croix, VD: 7×2MW
- Le Brassus, VD: 7×2MW
- Col du Mollendruz, VD: 12×2MW
- Col du Marchairuz, VD: 3×2MW
- Collonges, Martigny, VS: 8×2MW
- Charrat, VS: 1×2.5MW
- Griesspass-Nufenen, VS: 1×2MW

Total: 118 Anlagen, 228 MW,
Jahresproduktion ca 375GWh/Jahr
das 10-fache von heute !

Legende: ● kleine Windkraftanlage < 300 kW ● grosse Windkraftanlage > 300 kW ● Windpark ○ ehemalige Anlage

Windkraftnutzung in Liechtenstein

Dr. Bruno Dürr, Solargenossenschaft Liechtenstein und Sunergy GmbH



Vergleich Ausnutzungsdauer Kraftwerke

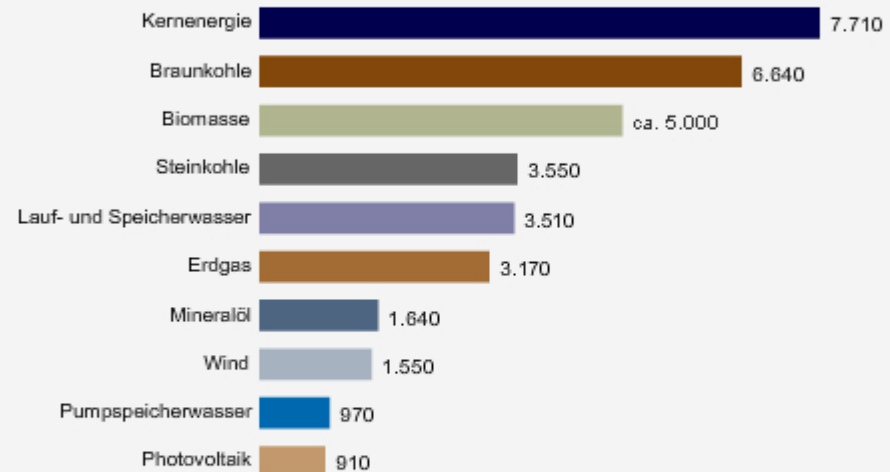
Kernenergie und Kohle liefern Grundlaststrom = viele Volllaststunden

Wind und Sonne liefern Spitzenlaststrom, jedoch nicht auf Knopfdruck = wenige Volllaststunden

Kraftwerk ist nicht gleich Kraftwerk



Durchschnittliche Ausnutzungsdauer* der Kraftwerke im Jahr 2007 in Stunden



* Die Ausnutzungsdauer kennzeichnet den Einsatz der Kraftwerke. Sie geht von der Netto-Leistung und den 8 760 Stunden des Jahres aus. Bei der Ausnutzungsdauer wird für die tatsächlich erzeugte Strommenge ermittelt, in wieviel Stunden sie bei voller Leistung der Anlage erreicht worden wäre. In der Praxis werden die Anlagen jedoch nicht ständig mit voller Leistung eingesetzt, sondern entsprechend dem Strombedarf.

Quellen: Statistisches Bundesamt, BDEW (Stand: September 2010)

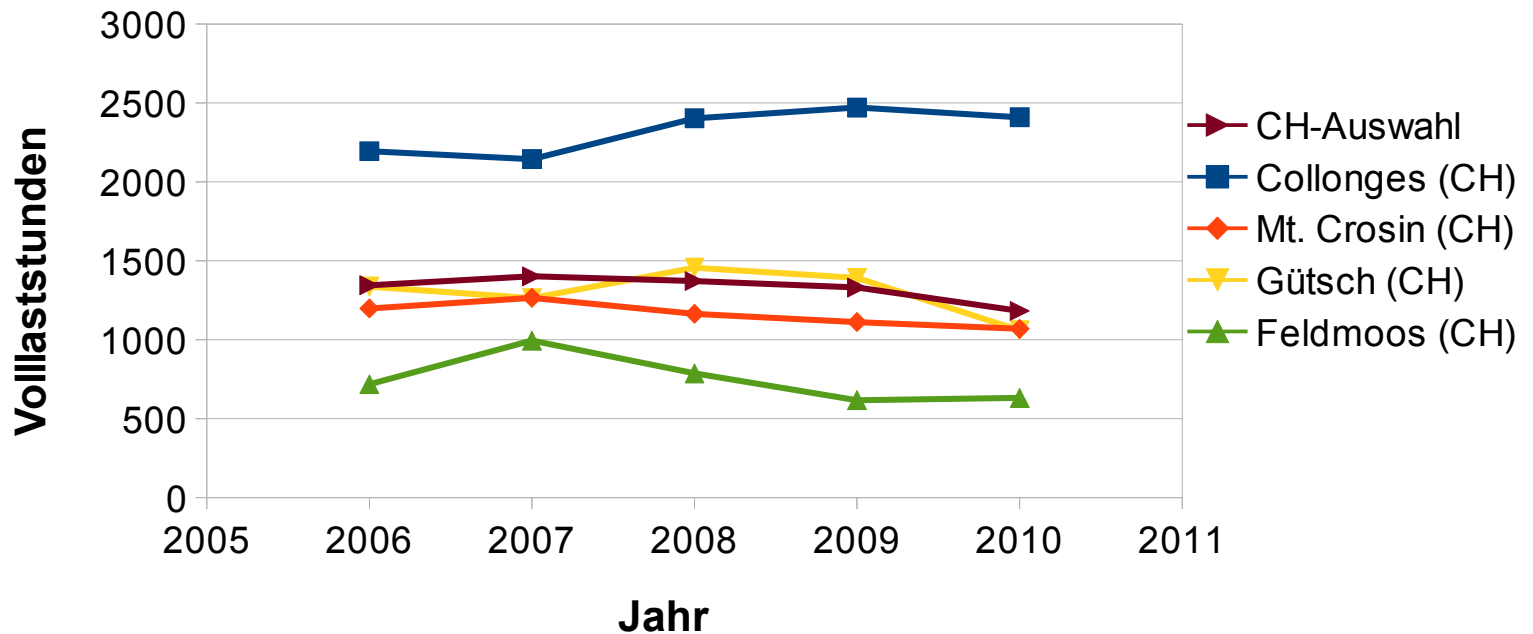
iCharts



Volllaststunden Windkraftnutzung CH

Windkraftnutzung: Ausnutzungsdauer / Volllaststunden

Vergleich Schweizer Standorte



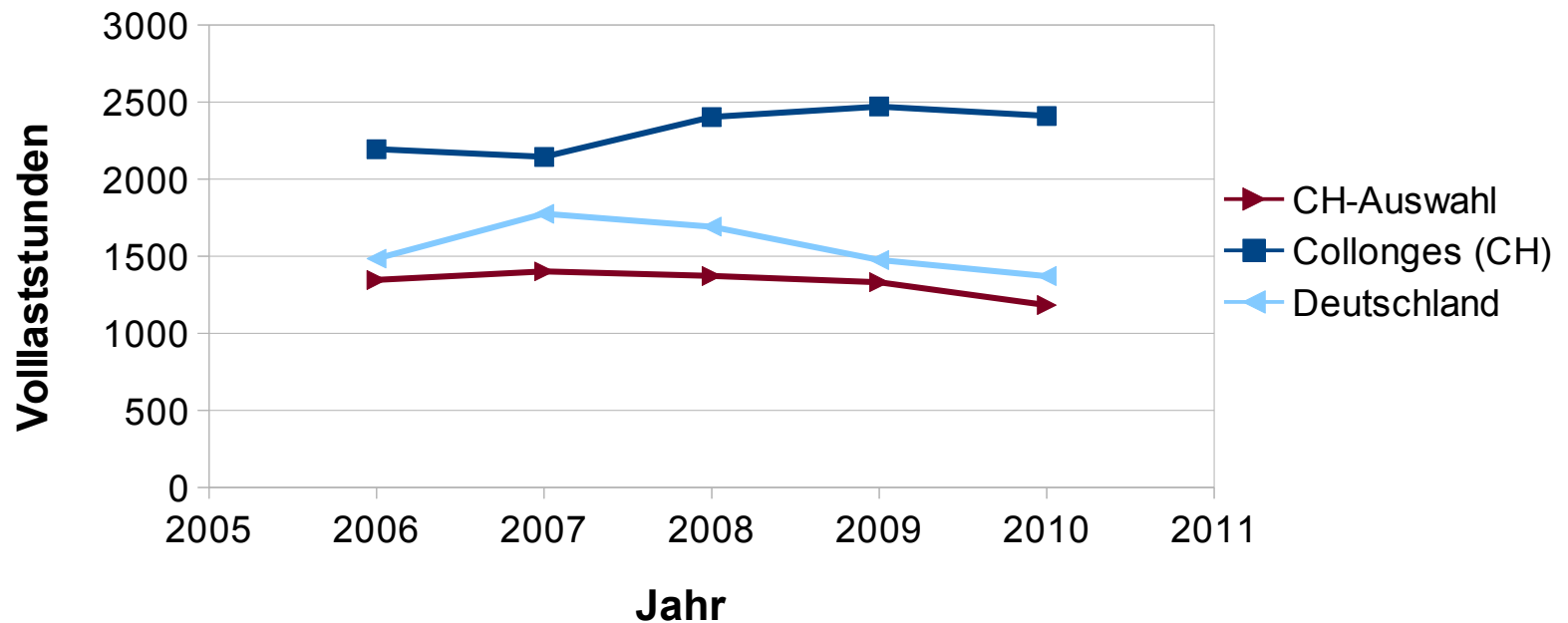
Grosse räumliche Unterschiede in der Schweiz



Vergleich Volllaststunden mit Deutschland

Windkraftnutzung: Ausnutzungsdauer / Volllaststunden

Vergleich Deutschland - Schweiz



Collonges verhält sich anti-zyklisch zu Deutschland



BfE Energieperspektiven 2035

Tabelle B-30 **Szenario II, Variante A**
Elektrizitätserzeugung aus neuen erneuerbaren Energien
(ohne Wasserkraft), hydrologisches Jahr, in GWh_{el}

	1990	1995	2000	2003	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
ungekoppelt											
Photovoltaikanlagen	1.1	5.5	11.0	16.6	16.6	19.6	23.6	31.0	56.2	105.0	165.0
Windenergieanlagen	0.0	0.1	3.0	5.2	11.1	44.9	139.7	286.3	432.9	625.0	750.0

Bis 2035 Anteil Windstrom 1.25% durch vermehrte Regulation

Tabelle B-79 **Szenario III, Variante E**
Elektrizitätserzeugung aus neuen erneuerbaren Energien
(ohne Wasserkraft), hydrologisches Jahr, in GWh_{el}

	1990	1995	2000	2003	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035
ungekoppelt											
Photovoltaikanlagen	1.1	5.5	11.0	16.6	19.4	56.6	141.6	336.0	656.2	1'100.0	1'884.0
Windenergieanlagen	0.0	0.1	3.0	5.2	11.1	64.9	314.7	1'011.3	1'757.9	2'000.0	2'250.0

Bis 2035 Anteil Windstrom 3.75% durch extreme Regulation



BfE Szenario III in der Praxis

- Jahresproduktion: 2250 Gigawattstunden (GWh)
- VOLLlaststunden Schweiz: 1200 h
- Installierte Windleistung: 1875 Megawatt (MW)
- Anzahl Grossanlagen (à 2 MW): 938
- Flächenbedarf pro Windanlage: 0.5 km²
- Flächenbedarf Windanlagen CH 2035: 470 km²
- Vergleich: Flächenbedarf Strassen CH: 850 km²



Vergleich Wind- und Sonnenenergie

	Sonnenenergie	Windenergie
Jährliches Bruttenergiepotential in Kilowattstunden pro Quadratmeter (kWh/m ²)	1'180	1'064
Stromerzeugungsanlage	Monokristalline Siliziumzellen	Windkraftanlage Enercon E-82
Landverbrauch der Stromerzeugungsanlage (m ²)	27	700
Maximale Leistung der Stromerzeugungsanlage (kWp)	5	2000
Jährlicher Stromertrag (kWh)	4'600	2'100'000
Anteil Winter (Okt. - Mär.) an Jahresproduktion (%)	37	62
Abdeckung Strombedarf für Anzahl Haushalte	1 – 1.5	400 - 600
Jährlicher Stromertrag pro kW maximale Leistung (kWh) / Vollaststunden (h)	920	1'050
Jährliche Produktionsstunden der Stromerzeugungsanlage (h)	4'340	5'410
Investitionskosten für Anlage pro kW maximale Leistung (Fr.)	4'000.-	2'500.-
Gesamtinvestitionskosten der Stromerzeugungsanlage (Fr.)	20'000.-	5'000'000.-
Stromgestehungskosten (Fr./kWh)	0.30 – 0.35	0.20 – 0.25
Energierücklaufzeit für die Herstellung der Anlage (Jahre)	1.5 – 3.5	0.25 – 0.5