

Technischer Bericht / Gutachten zur Windhöffigkeit im Gewann Büttenbuch/Breitenloh

Prof. Dr.-Ing. Klaus-Dieter Leimbach
Dipl.-Ing. Peter v. Boetticher

RUBIKONE-Team Eschach
Amselweg 18
73569 Eschach

Dezember 2014-01-07

Inhaltsverzeichnis

Seite

1. EINLEITUNG	4
1.1. Ziele dieses Berichts	4
1.2. Windhöffigkeit und Anlageneffizienz.....	4
1.3. Methodik in diesem Bericht	6
2. ZUSAMMENSTELLUNG DER ERTRAGSERGEBNISSE VOM WINDPARK STRIETHOF AUS DEN LETZTEN JAHREN	6
2.1. Windkraftanlagen Typ Vestas V 80	6
2.1.1. Technische Daten	6
2.1.2. Jahreserträge in den Jahren 2007 bis 2012.....	7
2.1.3. Jahresnutzungsgrad in den Jahren 2007 bis 2012.....	7
2.1.4. Mittlere Windgeschwindigkeit in den Jahren 2007 bis 2012	7
2.1.5. Vergleichsenergieertrag in den Jahren 2007 bis 2012	8
2.2. Windkraftanlagen Typ Enercon E 82 2050.....	8
2.2.1. Technische Daten	8
2.2.2. Jahreserträge in den Jahren 2009 bis 2012.....	8
2.2.3. Jahresnutzungsgrad in den Jahren 2010 bis 2012.....	9
2.2.4. Mittlere Windgeschwindigkeit in den Jahren 2010 bis 2012	9
2.2.5. Vergleichsenergieertrag in den Jahren 2010 bis 2012	10
2.3. Zusammenfassung der Ergebnisse aus der Analyse des Windparks Striethof.....	10
3. ABSCHÄTZUNG DER ZU ERWARTENDEN ERTRAGSERGEBNISSE FÜR DEN STANDORT BÜTTENBUCH	10
3.1. Lageplan	10
3.2. Windkraftanlagen Typ Nordex N117 2400.....	11
3.3. Einflussparameter auf die Wirtschaftlichkeitsberechnung	11
3.3.1. Beeinflussungskriterien auf den Ertrag.....	11
3.3.2. Nabenhöhe.....	12
3.3.3. IWR-Index 5 Jahre, 10 Jahre	13
3.4. Berechnung des Ertragsverhältnisses.....	13

4. ZUSAMMENFASSUNG.....	14
5. LITERATUR	14

1. Einleitung

1.1. Ziele dieses Berichts

Der vorliegende Bericht dient der Vorbereitung kommunaler Entscheidungen vor Eintritt in ein Bauleitplanverfahren zu den Windkraftanlagen im Gebiet Büttenbuch. Mit dem Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz –EEG, ursprünglich aus 2000, mehrfach fortgeschrieben und zuletzt zum 01.01.2012 geändert) verfolgt der Gesetzgeber das Ziel der Förderung erneuerbarer Energien, u.a. auch von Stromgewinnung durch Windenergie. Der sogenannte Referenzertrag wird anlagenspezifisch und auf einen konkreten Standort bezogen ermittelt. Die Ermittlung des Referenzertrags als Effizienzkriterium einer Windenergieanlage ist zwar zum einen dem konkreten Bauvorhaben zugeordnet und muss dort nachgewiesen werden. Zum anderen ist es aber erforderlich, im Rahmen eines Eignungsgutachtens für potenziell konfliktarme Windflächen, hinreichend windhöfliche Gebiete zu ermitteln. Das LUBW unterscheidet:

- **Gebiete, die eine mittlere Windgeschwindigkeit von 6,0 m/s und mehr aufweisen und für die Windenergienutzung geeignet sind und**
- **Gebiete mit mittleren Windgeschwindigkeiten von 5,5 - 6,0 m/s. Diese sind bedingt zur Windenergienutzung geeignet und können unter günstigen Rahmenbedingungen geeignete Standorte enthalten.**

Bei der Auswahl der Gebiete ist also darauf zu achten, dass eine ausreichende Windgeschwindigkeit vorliegt und so eine gewisse Wirtschaftlichkeit gegeben ist. Insbesondere bei der Ausweisung von Gebieten mit mittlerer Windgeschwindigkeit, hat daher eine intensive Abwägung mit öffentlichen Belangen zu erfolgen.

1.2. Windhöflichkeit und Anlageneffizienz

Für die praktische Umsetzung des Gutachtens ist zur wirksamen Ausweisung einer oder mehrerer Konzentrationszonen für Windkraftanlagen im Flächennutzungsplan erforderlich, dass hinreichende Anhaltspunkte dafür vorliegen, dass die letztlich festgelegte Zone windhöflich genug ist, um Windkraftanlagen wirtschaftlich betreiben zu können. Hierzu reicht es aus, wenn sich die planende Gemeinde auf vorliegendes Datenmaterial stützt, das eine hinreichend tragfähige Aussage zulässt. Bei der Identifizierung von Eignungsflächen für Windkraftanlagen stellt die mittlere Jahreswindgeschwindigkeit, aufgrund ihrer in der Bundesrepublik Deutschland flächendeckenden Datenverfügbarkeit, das wesentliche Kriterium für die Windhöflichkeit eines Gebiets dar.

„Der tatsächliche Jahresenergieertrag einer Windkraftanlage ist abhängig von den auftretenden Windgeschwindigkeiten am konkreten Standort, deren Auftrittshäufigkeit im Jahresverlauf sowie der Nennleistung und dem Wirkungsgrad eines konkreten Anlagentyps. Die Windgeschwindigkeit ist maßgeblich von der Geländeform, der Bebauungsart und dem Bewuchs abhängig und nimmt mit der Höhe über Grund zu. Die mittlere Jahreswindgeschwindigkeit sagt alleine noch nichts über den erzielbaren Jahresenergieertrag aus, sondern entscheidend ist die Auftrittshäufigkeit der einzelnen Windgeschwindigkeiten. Erst aus der Häufigkeitsverteilung der einzelnen Windgeschwindigkeiten und des der jeweiligen Windgeschwindigkeit zugeordneten Energieertrags wird deutlich, dass hohe Windgeschwindigkeiten trotz einer geringen Häufigkeit den größten Anteil an der Energieproduktion haben. Dies liegt darin begründet, dass die Windgeschwindigkeit mit der 3. Potenz in die Gleichung zur

Berechnung der Leistung einer WKA einget. Die nutzbare Leistung üblicher Windkraftanlagen wird im unteren Bereich durch die sogenannte Anlaufgeschwindigkeit begrenzt und liegt bauartabhängig etwa zwischen 2,5 und 3,5 m/s. Anhand von Leistungskennlinien für jeden Anlagentyp wird für jede Windstärke die tatsächlich erbrachte Leistung gemessen. Aus diesen Angaben und der geschätzten oder gemessenen Häufigkeit der einzelnen Windgeschwindigkeiten im Jahresverlauf kann dann der Jahresenergieertrag berechnet werden. Die tatsächliche Häufigkeitsverteilung der einzelnen Windgeschwindigkeiten an einem Standort kann nur über ein standortspezifisches Windgutachten ermittelt werden. Wenn dieses nicht vorliegt, kann das Jahresenergiepotenzial über statistische Berechnungsverfahren geschätzt werden. Eines dieser Verfahren ist die sogenannte „Rayleigh-Verteilung“, mit der die Häufigkeiten für die einzelnen Windgeschwindigkeiten in Abhängigkeit der mittleren Windgeschwindigkeit berechnet werden können. Diese Verteilung beschreibt die Windverhältnisse relativ gut und wird von Hersteller von Windkraftanlagen zur Angabe des Jahresenergieertrags verwendet. Genauere Ergebnisse liefert die sogenannte „Weibull-Verteilung“, bei der zusätzlich über einen Formfaktor eine genauere Anpassung der Verteilung an den Standort möglich ist. Der Formfaktor k bestimmt dabei die Betonung der Häufigkeit höherer bzw. niedrigerer Windgeschwindigkeiten. Für Durchschnittsberechnungen wird häufig $k = 2$ gesetzt, für diesen Wert entspricht die Weibull- der Rayleigh-Verteilung. Kleinere Werte für k betonen dabei die Häufigkeit höherer Windgeschwindigkeiten, größere Werte die Häufigkeit niedrigerer Windgeschwindigkeiten. Zu beachten ist, dass die Weibull-Verteilung nur eine Annäherung an die tatsächlichen Häufigkeiten der Windgeschwindigkeiten darstellt“.

[aus: Wirtschaftlichkeit der Windkraftnutzung in Bayern, Schr. „Arbeiten der LBA“ 2001]

Für die Diskussion und Transparenz anzunehmender Mindestwindgeschwindigkeiten für eine ausreichende Anlageneffizienz zur Wirtschaftlichkeitsbetrachtung dienen die nachfolgenden Aussagen:

- Nach dem Bundesverband Windenergie (BWE) in einem im Auftrag der bayerischen Staatsregierung erstellten Gutachten für die Windenergienutzung in Bayern „sind erst Windgeschwindigkeiten ab 4,7 m/s in 50 m Höhe für die Windenergienutzung geeignet“ [Bundesverband Windenergie (BWE), 2000]
- Der Regionalplan der Region Hoahrhein-Bodensee setzt als „Grenzwert für die Windhöffigkeit 5,0 m/s im Jahresmittel in 50 m Höhe an. Dieser Wert entstand auf der Grundlage des EEG 2004 und des damit verbundenen 60 %-Effizienzkriteriums. Durch diesen Grenzwert ist sichergestellt, dass moderne Windkraftanlagen auf einer Nabenhöhe von 100 m die für einen wirtschaftlichen Betrieb mindestens notwendige Windgeschwindigkeit von ca. 5,6 – 5,7 m/s im Jahresmittel erreichen
[www.hochrhein-bodensee.de/media/cn_media/A4_Methodik_VV_Ausf.pdf].
- Das OVG Nordrhein-Westfalen führt aus [OVG Nordrhein-Westfalen, 13.03.2006, 7 A 3414/04]:
..., dass grundsätzlich weiterhin von dem bislang einschlägigen Erfahrungssatz ausgegangen werden konnte, ein wirtschaftlicher Betrieb von Windkraftanlagen sei durchaus auch bei mittleren Windgeschwindigkeiten in Bereichen um 5 m/s in
50 m (Naben-)Höhe noch möglich. ...

Für die DWD-Daten mit 100m Bezugshöhe heißt das, dass umgerechnet ab der Windklasse 5,6 – 5,8 m/s durchschnittlicher Jahresgeschwindigkeiten das 60 %-Effizienzkriterium mit hinreichender Wahrscheinlichkeit erreicht wird. Bei begründeten

Hinweisen darauf, dass im Einzelfall und konkret Standort bezogen die zugrundegelegte Mindestgeschwindigkeit das Erreichen des 60%-Effizienzkriteriums eines Referenzstandortes in Frage stellt, sollte Vorhaben bezogen und vor endgültigen Entscheidungen über die Darstellung von Konzentrationszonen zur Errichtung von Windkraftanlagen in der Bauleitplanung eine genaue Erfassung der Windverhältnisse am vorgesehenen Aufstellungsort in Form eines Windgutachtens vorausgehen.

1.3. Methodik in diesem Bericht

Zum validen und quantitativen Wirtschaftlichkeitsnachweis eines potentiellen Standorts bestehen zwei Möglichkeiten:

- Messung der Windgeschwindigkeit mittels eines Windmessmastes in bis zu 125m Höhe mit Anemometer- und Temperaturmesstechnik.
- Auswertung von Messdaten bestehender Windkraftanlagen.

Von einer Ermittlung der Wirtschaftlichkeit auf Basis von Daten aus dem Windatlas ist insbesondere bei erwarteter grenzwertiger Windhöffigkeit abzusehen, weil diese Daten auf der erweiterten statistischen Berechnung des Windfeldmodells des Deutschen Wetterdienstes beruhen und naturgemäß Ungenauigkeiten beinhalten. Da für den betrachteten Standort Büttenbuch Messungen aus dem naheliegenden Windpark Striethof über mehrere Jahre vorliegen, werden diese Daten zur Abschätzung der zu erwartenden Wirtschaftlichkeit des geplanten Standorts Büttenbuch verwendet. Dies ist insbesondere dadurch angezeigt, dass der BW-Windatlas in diesem Gebiet grenzwertige Windgeschwindigkeiten von 5,3m/s auf 100m Höhe vorgibt.

2. Zusammenstellung der Ertragsergebnisse vom Windpark Striethof aus den letzten Jahren

Dieser Abschnitt leitet auf der Basis der Ertragsmessungen der Anlagen im Striethof die mittlere Windgeschwindigkeit auf 100m Nabenhöhe aus. In diesem Standort stehen 5 Windkraftanlagen, 2 Anlagen vom Typ Vestas V80 und 3 Anlagen vom Typ Enercon E82. Die Ertragsdaten dieser Anlagen sind in [1] für die vergangenen Jahre dokumentiert.

2.1. Windkraftanlagen Typ Vestas V 80

2.1.1. Technische Daten

Anzahl der Anlagen:	$n = 2$	
Nennleistung:	$P_{\text{Nenn}} = 4000 \text{ kW}$	(2x2000kW)
Nabenhöhe:	98m	
Rotordurchmesser:	$d = 80\text{m}$	

2.1.2. Jahreserträge in den Jahren 2007 bis 2012

Die Jahreserträge in [KWh] lassen sich der Quelle [1] entnehmen und sind:

Jahr 2007	Jahr 2008	Jahr 2009	Jahr 2010	Jahr 2011	Jahr 2012
5484756	4823052	3915799	3618697	3863065	4026504

2.1.3. Jahresnutzungsgrad in den Jahren 2007 bis 2012

Berechnung des Jahresnutzungsgrades der Anlagen für die Jahre 2007 bis 2012 mit der Beziehung:

$$\eta_{\text{Jahr}} = \frac{P_{\text{Ertrag}}}{P_{\text{Nenn}}} \cdot 100\%$$

mit P_{Ertrag} : Jahresertrag [kWh]
 P_{Nenn} : Nennleistung [kWh]

Jahr 2007	Jahr 2008	Jahr 2009	Jahr 2010	Jahr 2011	Jahr 2012
15,65%	13,76%	11,18%	10,33%	11,02%	11,49%

Für die 2 Vestas-Anlagen ergibt sich über die 6 Jahre ein mittlerer Jahresnutzungsgrad von 12,2%

2.1.4. Mittlere Windgeschwindigkeit in den Jahren 2007 bis 2012

Der Jahresertrag E der Anlagen lässt sich aus der durchschnittlichen Leistung P_q der Anlagen ermitteln:

$$E = P_q \cdot t$$

mit: E: Rotorfläche [kWh]
 P_q : Durchschnittsleistung [kW]
t: Jahresstunden [h]

Die Durchschnittsleistung P_q berechnet sich aus der Häufigkeitsverteilung h_v der Windgeschwindigkeiten und der Leistungskennlinie der WKA in den jeweiligen zugeordneten Geschwindigkeitsbereichen $P(v)$:

$$P_q = \sum_i h_{v_i} \cdot P_{v_i}$$

mit: h_v : Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeit (Rayleigh-Verteilung)

$$h(v) = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{v}{\bar{v}^2} \cdot \exp\left(-\frac{\pi}{4} \cdot \frac{v}{\bar{v}^2}\right)$$

$P(v)$: Leistungskennlinie der Anlage [kW]
 \bar{v} : Mittlere Geschwindigkeit [m/s].

Durch Rückrechnung dieser Beziehungen ergibt sich die mittlere Windgeschwindigkeit \bar{v} für diese Anlagen zu:

Jahr 2007	Jahr 2008	Jahr 2009	Jahr 2010	Jahr 2011	Jahr 2012
5,35 m/s	5,1 m/s	4,75 m/s	4,6 m/s	4,7 m/s	4,8 m/s

Für die 2 Vestas-Anlagen ergibt sich über die 6 Jahre eine mittlere Windgeschwindigkeit von 4,9m/s.

2.1.5. Vergleichsenergieertrag in den Jahren 2007 bis 2012

Der von [3] herausgegebene Referenzertrag der Vestas V80 Anlage mit einer Nabenhöhe von 100m beträgt:

$$P_{\text{Referenz}}=25798090 \text{ kWh/5a}$$

Mit den Jahresleistungen der beiden Anlagen im Windpark Striethof:

Jahr 2007	Jahr 2008	Jahr 2009	Jahr 2010	Jahr 2011	Jahr 2012
Ertrag in kWh					
5484756	4823052	3915799	3618697	3863065	4026504
Referenzertrag in kWh/a					
10319236	10319236	10319236	10319236	10319236	10319236
Vergleichsenergieertrag in %					
53,15	46,73	37,94	35,10	37,43	39,02

2.2. Windkraftanlagen Typ Enercon E 82 2050

2.2.1. Technische Daten

Anzahl der Anlagen: $n = 3$
Nennleistung: $P_{\text{Nenn}} = 6000 \text{ kW}$ (3x2000kW)
Nabenhöhe: 98m
Rotordurchmesser: $d = 82\text{m}$

2.2.2. Jahreserträge in den Jahren 2009 bis 2012

Die Jahreserträge in [KWh] lassen sich der Quelle [1] entnehmen und sind:

Jahr 2009	Jahr 2010	Jahr 2011	Jahr 2012
108710	5842912	6865127	7254336

Die Anlagen wurden im Jahr 2009 errichtet und wurden daher nicht das ganze Jahr genutzt. In den folgenden Berechnungen werden daher die Mindererträge aus dem Jahr 2009 nicht berücksichtigt.

2.2.3. Jahresnutzungsgrad in den Jahren 2010 bis 2012

Berechnung des Jahresnutzungsgrades der Anlagen für die Jahre 2010 bis 2012 mit der Beziehung:

$$\eta_{\text{Jahr}} = \frac{P_{\text{Ertrag}}}{P_{\text{Nenn}}} \cdot 100\%$$

mit P_{Ertrag} : Jahresertrag [kWh]
 P_{Nenn} : Nennleistung [kWh]

Jahr 2010	Jahr 2011	Jahr 2012
11,1%	13,06%	13,80%

Für die 3 Enercon-Anlagen ergibt sich über die 6 Jahre ein mittlerer Jahresnutzungsgrad von 12,6%

2.2.4. Mittlere Windgeschwindigkeit in den Jahren 2010 bis 2012

Der Jahresertrag E der Anlagen lässt sich aus der durchschnittlichen Leistung P_q der Anlagen ermitteln:

$$E = P_q \cdot t$$

mit: E : Rotorfläche [kWh]
 P_q : Durchschnittsleistung [kW]
 t : Jahresstunden [h]

Die Durchschnittsleistung P_q berechnet sich aus der Häufigkeitsverteilung h_v der Windgeschwindigkeiten und der Leistungskennlinie der WKA in den jeweiligen zugeordneten Geschwindigkeitsbereichen $P(v)$:

$$P_q = \sum_i h_{v_i} \cdot P_{v_i}$$

mit: h_v : Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeit (Rayleigh-Verteilung)

$$h(v) = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{v}{\bar{v}^2} \cdot \exp\left(-\frac{\pi}{4} \cdot \frac{v}{\bar{v}^2}\right)$$

$P(v)$: Leistungskennlinie der Anlage [kW]
 \bar{v} : Mittlere Geschwindigkeit [m/s].

Durch Rückrechnung dieser Beziehungen ergibt sich die mittlere Windgeschwindigkeit \bar{v} für diese Anlagen zu:

Jahr 2010	Jahr 2011	Jahr 2012
4,4 m/s	4,65 m/s	4,75 m/s

Für die 3 Enercon-Anlagen ergibt sich über die 6 Jahre eine mittlere Windgeschwindigkeit von 4,6m/s.

2.2.5. Vergleichsenergieertrag in den Jahren 2010 bis 2012

Der von [3] herausgegebene Referenzertrag der Enercon E82 Anlage mit einer Nabenhöhe von 100m beträgt:

$$P_{\text{Referenz}}=30524430 \text{ kWh/5a}$$

Mit den Jahresleistungen der beiden Anlagen im Windpark Striethof:

Jahr 2010	Jahr 2011	Jahr 2012
Ertrag in kWh		
5484756	4823052	3915799
Referenzertrag in kWh/a		
10319236	10319236	10319236
Vergleichsenergieertrag in %		
31,9	37,5	39,6

2.3. Zusammenfassung der Ergebnisse aus der Analyse des Windparks Striethof

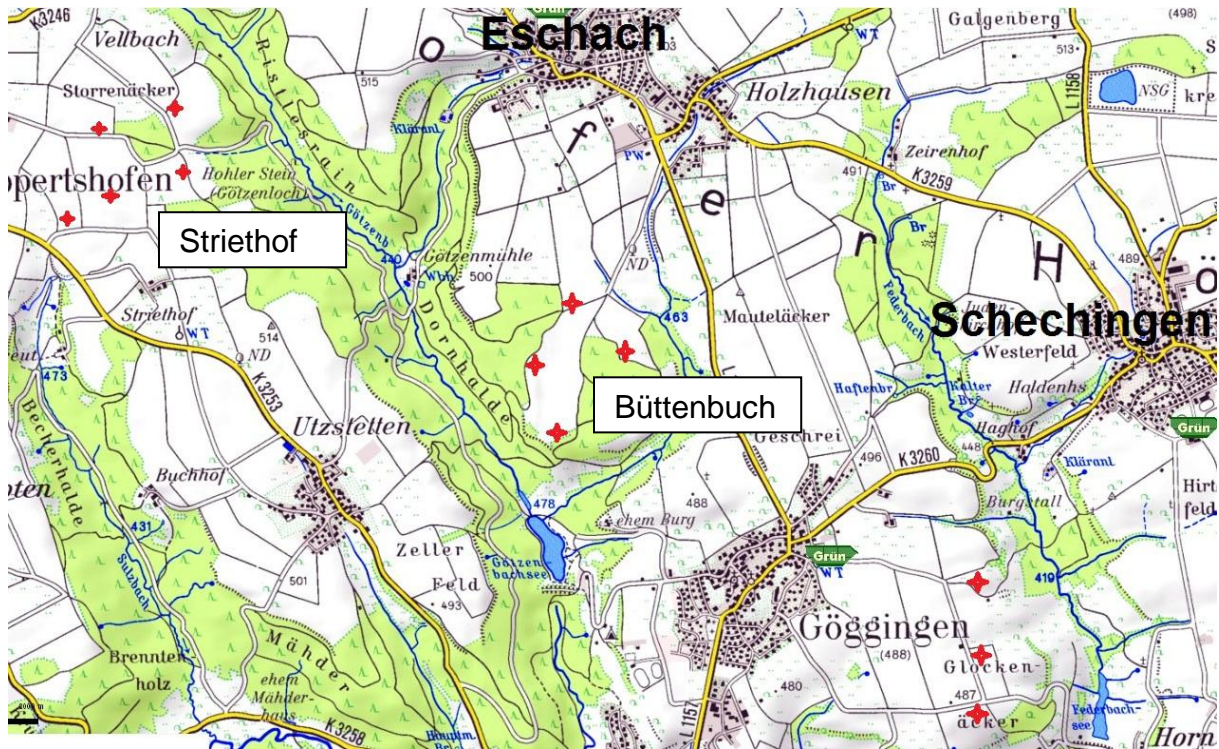
Die mittlere Windgeschwindigkeit im Windpark Striethof liegt in dem Bereich 4,6 bis 4,9 m/s. **Die Referenzerträge der Anlagen liegen alle durchweg deutlich unter dem 60% Wert.** Dies gilt auch für das besonders ergiebige Windjahr 2007 mit einem Referenzertrag von 53%. Ein Vergleich der unterschiedlichen Anlagentypen aus den Jahren 2010, 2011 und 2013 zeigt, dass der Referenzertrag für beide Typen etwa identisch ist, eine signifikante Verbesserung der Enercon Anlagen durch die geringere Anlaufgeschwindigkeit ist nicht festzustellen.

3. Abschätzung der zu erwartenden Ertragsergebnisse für den Standort Büttenbuch

In diesem Kapitel wird auf der Basis der Ergebnisse des vorangehenden eine Prädiktion der mittleren Windgeschwindigkeit für die geplanten Anlagen im Büttenbuch ermittelt. Auf der Basis dieser Prädiktion wird dann die Berechnung des zu erwartenden Referenzertrags der geplanten Anlagen durchgeführt.

3.1. Lageplan

Das nachfolgende Bild stellt die Lage des Standorts Büttenbuch auf der Gemarkung Eschach dar(1). Im Umkreis von weniger als 3km liegt der bestehende Windpark Striethof, von dem im vorigen Abschnitt die Energieerträge aus den vergangenen Jahren zusammengestellt worden sind. Die beiden Standorte unterscheiden sich erheblich durch die Geländeform und die Beschaffenheit der Umgebung. Im Striethof ist die Umgebung in West-/Ostrichtung gekennzeichnet durch flache nur schwach bewachsene Flächen. Der Standort Büttenbuch ist förmlich von Waldbewuchs umringt. Weiterhin liegt vor dem Standort Büttenbuch ein in Nord-/Südrichtung lang gestrecktes Tal mit einer Vertiefung von bis zu 55m. Weiterhin liegen die Striethof-Anlagen im Fußpunkt auf einer Höhe von ca 515m ü.NN. Die geplanten Anlagen am Standort Büttenbuch liegen auf einer Höhe von 480 m ü.NN.



3.2. Windkraftanlagen Typ Nordex N117 2400

Technische Daten

Anzahl der Anlagen:	n = 4
Nennleistung:	$P_{\text{Nenn}} = 9600 \text{ kW}$ (4x2400kW)
Nabenhöhe:	141m
Rotordurchmesser:	d = 117m

3.3. Einflussparameter auf die Wirtschaftlichkeitsberechnung

3.3.1. Beeinflussungskriterien auf den Ertrag

Der Ertrag der Windkraftanlagen wird von unterschiedlichen Einflussfaktoren bestimmt. Es sind anlagenbedingte und umgebungsbedingte Faktoren zu unterscheiden:

Anlagenbedingte Faktoren:

- Maschinenwirkungsgrad,
- Nabenhöhe,
- Reparatur- und Wartungsarbeiten an der Anlage oder auch im Verteilernetz,
- Die [Verteilernetze](#) können die zu viel erzeugte Energie nicht aufnehmen.

Umgebungsbedingte Faktoren:

- zu niedrige oder zu hohe Windgeschwindigkeiten,
- [Schattenwurf](#): Abschaltung bei entsprechendem Sonnenstand und Wetterlage,
- Vereisung der Rotorblätter im Winter (u.A. Unfallvermeidung),
- Boden- und Landschaftsform,
- Beeinflussung der WKA eines Windparks untereinander.

Bei den anlagenbedingten Faktoren wird in den nachfolgenden Betrachtungen kein Unterschied zwischen den Bestandsanlagen im Striethof und den geplanten Anlagen

im Büttenbuch gemacht. Die unterschiedliche Nabenhöhe der Anlagen geht allerdings in die Berechnungen ein.

Die umgebungsbedingten Faktoren der beiden Standorte weisen teilweise deutlich unterschiedliche Randbedingungen auf:

- Oberflächenrauigkeit, Landschaftsform
Im Gegensatz zu dem Standort Striethof, zeichnen sich die Standorte im Büttenbuch in der Haupt- und Nebenwindrichtung durch eine stark bewaldete Umgebung aus. Weiterhin liegt in der Hauptwindrichtung aus Westen ein vorgelagertes Tal mit ca. 45m Tiefe, was zur Beeinflussung des Windverlaufs führt (Scheer- und Aufwinde). Diese Zusammenhänge führen zu einer Reduzierung der mittleren Windgeschwindigkeit.
- Parkwirkungsgrad
Windkraftanlagen können sich gegenseitig negativ beeinflussen, indem sie sich bei bestimmten Windrichtungen gegenseitig aerodynamisch „abschatten“. Es wird versucht, durch eine Abschattungsanalyse, diese Verluste möglichst gering zu halten. **Generell sollte in Hauptwindrichtung der 6 fache Rotordurchmesser und in Nebenwindrichtung der 3 fache Rotordurchmesser als Richtwert für den Mindestabstand eingehalten werden.** Die relativen Abstände der Anlagen im Striethof und im Büttenbuch liegen in der gleichen Größenordnung. **Die geplanten Anlagen im Büttenbuch stehen zwar weiter auseinander, haben dafür aber größere Rotordurchmesser.**

Berechnung der relativen Abstände für die beiden Windparks:

Striethof:

Richtwert: West/Ost 492m (=6x82m), Nord/Süd 240m (=3x80m)

WKA1 zu WKA2 West/Ost: 408m, (entspricht 83% von dem Richtwert)

WKA3 zu WKA4 West/Ost: 422m, (entspricht 86% von dem Richtwert)

WKA1 zu WKA3 Nord/Süd: 340m, (entspricht 69% von dem Richtwert)

WKA2 zu WKA4 Nord/Süd: 315m

WKA3 zu WKA5 diagonal: 355m

Büttenbuch:

Richtwert: West/Ost 702m (=6x117m), Nord/Süd 351m (=3x117m)

WKA2 zu WKA3 West/Ost: 550m, (entspricht 78% von dem Richtwert)

Hier besteht Potential zur Planungsoptimierung bei den Büttenbuch-Anlagen. In den nachfolgenden Betrachtungen wird von dem gleichen Parkwirkungsgrad der beiden Standort Büttenbuch und Striethof ausgegangen.

3.3.2. Nabenhöhe

Die Umrechnung der aus den Striethofdaten gewonnenen Windgeschwindigkeiten auf den Standort Büttenbuch wird anhand der folgenden Beziehung (logarithmisches Grenzschicht-Windprofil) durchgeführt:

$$v_2(z_2) = v_1(z_1) \cdot \frac{\ln\left(\frac{z_2}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{z_1}{z_0}\right)}$$

mit:

- z_1 : Höhe bei Windgeschwindigkeit v_1 (Wert der Anlagen im Striethof),
- z_2 : Höhe bei Windgeschwindigkeit v_2 (Wert der Anlagen im Büttenbuch),
- z_0 : Rauigkeitslänge zur Berücksichtigung des Geländetypus

Gemäß der Diskussion in Abschnitt 3.3.1 wird hier die Rauigkeitslänge für Wald von $z_0=0,2\text{m}$ gerechnet [2].

$$v_2 = 5,15 \text{ m/s}$$

Nach der vorangehenden Diskussion der Beeinflussungsfaktoren auf die mittlere Windgeschwindigkeit wird aufgrund der Bodenrauigkeit und der Landschaftsform diese mittlere Windgeschwindigkeit auf einen Wert von

$$v_2 = 5,1 \text{ m/s}$$

reduziert.

3.3.3. IWR-Index 5 Jahre, 10 Jahre

Das Jahr 2012 stellt gemäß dem IWR-Index ein repräsentatives Windertragsjahr dar. Die Abweichungen des IWR-Index zum 5-jährigen bzw. 10-jährigen Mittel liegen in der Größenordnung von 0,1% bzw. 0,4%. (Binnenland). Ein Vergleich der gemittelten Windgeschwindigkeit von $v=4,9\text{m/s}$ in 100m mit der für 2012 berechneten Windgeschwindigkeit im Striethof ($v=4,8\text{m/s}$) zeigt, dass hier valide Werte gewählt worden sind, bzw. für die nachfolgenden Berechnungen etwas optimistischer angenommen wurden.

3.4. Berechnung des Ertragsverhältnisses

Der Referenzertrag ist ein Vergleichswert für die standortabhängigen Erträge einer WKA. Die Berechnung erfolgt auf der Basis der Windbedingungen aus dem EEG. Die mittlere Windgeschwindigkeit der Anlagen wird im vorangehenden Abschnitt auf einen Wert von $v=5,1\text{m/s}$ abgeschätzt.

Mit diesem Wert wird auf der Basis der Anlagendaten (Leistungskennlinie Nordex N117) und einer Geschwindigkeitsverteilung nach Rayleigh ein Ertrag der Anlagen von

$$P_{\text{Ertrag_Park}} = 4.421\text{MWh}$$

erreicht.

Bei der Berechnung des Referenzertrags ist gemäß TÜV eine freistehende Anlage zu berücksichtigen, daher ist der Parkwirkungsgrad (95%) zu vernachlässigen. Nach dieser Vorgabe berechnet sich der Ertrag der freistehenden Anlage zu

$$P_{\text{Ertrag_frei}} = 4.653\text{MWh}$$

Der Referenzertrag der WKA vom Typ Nordex N117 wird vom TÜV im fünfjährigen Mittel zu

$$P_{\text{Referenz}} = 44.782 \text{ MWh} \quad \text{angegeben.}$$

Das Energieertragsverhältnis berechnet sich aus der Beziehung:

$$VER = \frac{5 \cdot P_{\text{Ertrag_frei}}}{P_{\text{Referenz}}} \cdot 100\%$$

$$VER = \frac{5 \cdot 4.653}{44.782} \cdot 100\% = 52\%$$

Mit dem Energieverhältnis von 52% liegt der Ertrag der geplanten Anlagen im **Büttenbuch deutlich unter 60%**. Laut LUBW gilt für Investoren meist die Ertragsschwelle von 80 % des EEG-Referenzertrags als Mindestrichtwert zum Nachweis der Wirtschaftlichkeit eines Windenergieprojektes. Dieser Mindestertrag wird in der Praxis - fast unabhängig von Anlagentyp und Nabhöhe - erst an Standorten mit einer durchschnittlichen Jahreswindgeschwindigkeit von 5,8 m/s bis 6 m/s in 100 m über Grund erreicht [4].

4. Zusammenfassung

Dieser Bericht stellt zunächst den Status Quo des Energieertrags der Anlagen im Windpark Striethof dar. Die Ergebnisse zeigen, dass die Anlagen im Striethof Ertragswerte liefern, die mit teilweise weniger als 40% weit unter der vor 2012 bestandenen Ertragsgrenze von 60% liegen. **Auch liegen die Windgeschwindigkeiten im Striethof auf 100m Höhe mit durchschnittlich $v=4,9\text{m/s}$ deutlich unter der im EEG genannten Grenze von $v=5,3\text{m/s}$.** Der Jahresnutzungsgrad der Anlagen liegt im Mittel deutlich unter 15 %. **Diese Ergebnisse zeigen, dass:**

- **hier ein wirtschaftlicher Betrieb, der eine steuerliche Förderung rechtfertigen würde, nicht gegeben ist, und**
- **die Daten aus dem BW-Windatlas in diesem Gebiet keine repräsentativen validen Angaben liefern.**

Auf der Basis der Analyse des Standorts Striethof wird weiterhin eine Prädiktion der Ertragsergebnisse für den geplanten Standort Büttenbuch erstellt. Die Ergebnisse zeigen, dass im Büttenbuch mit einer mittleren Windgeschwindigkeit von $v=5,1\text{m/s}$ zu rechnen ist. Mit dieser Windgeschwindigkeit wird eine Abschätzung des Ertrags der Anlagen vorgenommen. Die berechnete Vergleichsertragszahl liegt mit 52% deutlich unter 60% und weit unter der vom LUBW genannten Mindestertragsschwelle von 80% und lässt somit wie für die Striethof-Anlagen, auch im Büttenbuch **keine effiziente Nutzung der Windenergie erwarten**. Vor dem Hintergrund dieser Ergebnisse wird die Freigabe eines Bauantrags auf der Basis von Ertragsschätzungen mit dem BW-Windatlas als nicht geboten angesehen. Insbesondere wird hier eine intensive Abwägung mit den anderen öffentlichen Belangen empfohlen. Darüber hinaus ist die Planung der Standorte der einzelnen Anlagen suboptimal durchgeführt, die nach dem Stand der Technik geltenden Abstandsregeln der Anlagen untereinander werden nicht eingehalten.

5. Literatur

- [1] Homepage transnetbw.de
- [2] Gasch, R., Twele, J.: Windkraftanlagen, Vieweg 2010
- [3] Fördergesellschaft Windenergie und andere Erneuerbare Energien:
<http://www.wind-fgw.de/>
- [4] Quelle Homepage des Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW) <http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/224534/>

