



Leitfaden zur Erstellung von Sichtbarkeitsanalysen

- Sichtfeldanalysen
- Fotomontagen
- 3D-Visualisierungen

Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU)

Impressum

Auftraggeber	Bundesamt für Umwelt (BAFU), Sektion UVP und Raumordnung, CH-3003 Bern
Auftragnehmer	Meteotest AG, Fabrikstrasse 14, CH-3012 Bern
Herausgeber	Bundesamt für Umwelt (BAFU) Bundesamt für Energie (BFE)
Begleitung BAFU Begleitung BFE	Marcus Ulber, Elisa Baer, Elisabeth Suter Markus Geissmann, Katharina Meyer
Hinweis	Dieser Leitfaden wurde im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) verfasst. Für den Inhalt ist allein der Auftragnehmer verantwortlich.
Datum	16.02.2021
Aktuelle Version	Schlussbericht V6
Ältere Versionen	29.06.2015 Entwurf Schlussbericht (V1-V3) 27.10.2015 Aktualisierung Entwurf Schlussbericht (V4) 29.03.2018 Aktualisierung Entwurf Schlussbericht (V5)
Projektnummer	20_0138
Datei	Leitfaden_Sichtbarkeit_v6.1
Erstellt durch	Dominik Eggli
Kontrolliert durch	26.11.2020 Beat Schaffner
Genehmigt durch	16.02.2021 Sara Koller
Gewährleistung	Meteotest gewährleistet ihren Kunden eine sorgfältige und fachgerechte Auftragsbearbeitung. Jegliche Haftung, insbesondere auch für Folgeschäden, wird im Rahmen des gesetzlich Zulässigen wegbedungen.

Inhalt

1	Ausgangslage	6
2	Flächenhafte Sichtfeldanalyse	7
2.1	Einleitung	7
2.2	Inhalte eines Sichtfeld-Gutachtens.....	7
2.3	Berechnungsgrundlagen	8
2.3.1	Höhenmodell	8
2.3.2	WEA-Angaben.....	9
2.3.3	Betrachtungshöhe	9
2.4	Spezielle Aspekte der Windenergie	9
2.4.1	Radius / maximale Wirkdistanz.....	9
2.4.2	Wahrnehmungsstärke (nach Torkler & Zeidler)	10
2.5	Methodik	11
2.5.1	Einfache Sichtfeldanalyse.....	11
2.5.2	Distanzgewichtete Sichtfeldanalyse.....	11
2.5.3	Bevölkerungsexposition.....	13
2.5.4	Detaillierte Sichtfeldanalysen im Siedlungsgebiet.....	14
3	Fotomontagen	16
3.1	Einleitung	16
3.2	Inhalt einer Fotomontage-Analyse	16
3.3	Methodik	16
3.3.1	Planung von Aufnahmestandorten und -zeit	16
3.3.2	Fotos aufnehmen.....	19
3.3.3	Bildbearbeitung	23
3.3.4	Erstellen der Fotomontagen	25
4	3D-Visualisierung	30
5	Literatur	34

Tabellen

Tabelle 1:	Übersicht der in diesem Bericht erläuterten Tools zur Sichtbarkeitsanalysen mit deren Anwendung für unterschiedliche Einsatzgebiete.	6
Tabelle 2:	Beispiel einer Gewichtung von Wirkzonen für Anlagenhöhen von 170 m.	12
Tabelle 3:	Übersichtstabelle zur Bevölkerungsexposition.	14

Abbildungen

Abbildung 1:	Beispiel einer Sichtbarkeitskarte.	11
Abbildung 2:	Grafik der entfernungsabhängigen Wirkung einer WEA (Torkler & Zeidler 2013).	12
Abbildung 3:	Beispiel einer distanzgewichteten Sichtbarkeitskarte.	13
Abbildung 4:	Beispiel für eine detaillierte Sichtfeldanalyse mit einem DOM und einer horizontalen Auflösung von 2 m.	15
Abbildung 5:	Beispiel einer Gebäudeanalyse auf Basis eines DOM.	15
Abbildung 6:	Beispiel für eine Einzelaufnahme und der Einordnung des Bildes in eine Panoramaaufnahme.	17
Abbildung 7:	Ungeeignete Fotoaufnahme: Zu dunstig, Gegenlicht, viele Schatten, Schnee lenkt eher ab.	19
Abbildung 8:	Beispiele unterschiedlicher Brennweiten: 50mm (oben); 35mm und 75mm (unten).	21
Abbildung 9:	Professionelle Kamera mit aufgesetztem GPS-Empfänger.	23
Abbildung 10:	Verbesserung der Licht-Schatteneffekte: originales Foto links – bearbeitetes Foto rechts.	24
Abbildung 11:	Verbesserung der lokalen Kontraste (Klarheit): originales Foto links – bearbeitetes Foto rechts.	24
Abbildung 12:	Verringerung des Dunsteffektes (Dehaze): originales Foto links – bearbeitetes Foto rechts.	25
Abbildung 13:	Fotoaufnahme mit Horizontlinie.	26
Abbildung 14:	Beispiel Berücksichtigung von Sichthindernissen: unsorgfältige Bearbeitung der Sichthindernisse. Bei der linken Anlage sollte das unterste Rotorblatt hinter dem Wald verschwinden; bei der rechten Anlage wurde zu viel vom Mast abgeschnitten.	26
Abbildung 15:	Beispiel Berücksichtigung der Uhrzeit bzw. korrekte Richtung des Schattenwurfs (oben: falsche Uhrzeit, unten: korrekte Uhrzeit)....	27
Abbildung 16:	Beispiel Berücksichtigung von Dunst: Oben: Lichtverhältnisse nicht angepasst, zu helle Anlagen. Unten: Anpassung der Lichtverhältnisse mit Berücksichtigung der leichten Bewölkung.	28

Abbildung 17: Beispiel Stellung der Rotorblätter: Oben (unrealistisch):
Rotorblätter sind alle gleich ausgerichtet. Unten (realistisch):
Rotorblätter sind unterschiedlich ausgerichtet.29

Abbildung 18: 3D-Visualisierung einer Windenergieanlage (Enercon E-82) auf
dem Belpberg, generiert mithilfe von Google Earth und dem "3D
Warehouse" von SketchUp. Nicht optimal sind der unrealistische
Betrachterstandort (schwebend) und die unnatürliche,
unterschiedliche Färbung der Vegetationsdecke.31

Abbildung 19: Gute 3D-Visualisierung einer Windenergieanlage (Enercon E-82)
auf dem Belpberg.32

Abbildung 20: Gute 3D-Visualisierung des geplanten Windparks Linthwind.33

1 Ausgangslage

Sichtbarkeitsanalysen stellen bei der Beurteilung der Auswirkungen eines geplanten Windenergieprojekts auf das Landschaftsbild einen wichtigen Bestandteil dar. Den Planern von Windenergieprojekten soll mit dem vorliegenden Bericht ein Leitfaden zur Erstellung von Sichtbarkeitsanalysen zur Verfügung gestellt werden.

Je nach Fragestellung und Betrachtungsmassstab stehen unterschiedliche Tools zur Verfügung. In einer ausführlichen Studie zur Sichtbarkeit von Windenergieanlagen (WEA) und deren Auswirkungen auf das Landschaftsbild können die Tools nach Bedarf miteinander kombiniert werden.

Tabelle 1 zeigt eine Auflistung der in diesem Bericht erläuterten Tools. In den folgenden Kapiteln werden diese genauer erläutert. Die Tabelle zeigt auch, in welchen Planungsphasen und für welche Analyseaspekte diese Tools eingesetzt werden können.

Tabelle 1: Übersicht der in diesem Bericht erläuterten Tools zur Sichtbarkeitsanalysen mit deren Anwendung für unterschiedliche Einsatzgebiete.

Tool	Planungsphasen		Analyseaspekte				
	Kantonale / regionale Richtplanung	Nutzungsplanung / Baubewilligung, inkl. UVP	Quantitative Analyse	Qualitative Analyse	Landschaftsästhetik	Flächenhafte Analyse	Punktuelle Analyse
Flächenhafte Sichtfeldanalyse (Kapitel 2)	(x)	x	x			x	
Fotomontagen (Kapitel 3)	(x)	x		x	x		x
3D-Visualisierung (Kapitel 4)	(x)	x		x	x	x	

In den Phasen der kantonalen und regionalen Richtplanung sind Projektdetails, die für flächenhafte Sichtfeldanalysen und insbesondere Fotomontagen und 3D-Visualisierungen erforderlich sind, normalerweise nicht verfügbar (z.B. Standorte, Zahl und Höhe der Windturbinen). Diese Tools sind auf Stufe Richtplanung normalerweise nicht notwendig. Sie können zum Einsatz gelangen, wenn bedeutende negative Auswirkung auf das Landschaftsbild zu erwarten sind und dies den gesamten Windparkstandort bzw. den Windpark als Ganzes in Frage stellt (z.B. aufgrund schwerwiegender Auswirkungen auf national geschützte Objekte).

2 Flächenhafte Sichtfeldanalyse

2.1 Einleitung

Die flächenhafte Sichtfeldanalyse gibt dem Betrachter eine allgemeine Vorstellung der sichtbaren Auswirkungen eines Windparks auf die weitere Umgebung.

Eine einfache Sichtfeldanalyse zeigt auf, von welchen Flächen aus man wie viele der geplanten und allenfalls bestehenden WEA sieht. Für eine vertiefte Analyse kann die Nähe des Betrachters zur WEA, die Teilsichtbarkeit der WEA sowie das Ausmass der Beeinträchtigung des Blickfeldes mitberücksichtigt werden.

Die Berechnung von Sichtfeldanalysen erfolgt mit einer geeigneten Geoinformatik-Software. Im vorliegenden Dokument basiert die Sichtfeldanalyse auf einer Viewshed-Analyse in ArcGIS und der Extension Spatial Analyst¹.

2.2 Inhalte eines Sichtfeld-Gutachtens

Ein Sichtfeld-Gutachten sollte folgende Informationen beinhalten:

Allgemeines	Kurzbeschreibung der Situation
Berechnungsgrundlagen	<ul style="list-style-type: none">- Höhenmodell mit horizontaler Auflösung- allfällige Extrusionshöhen (Vegetation, Gebäude)- WEA-Angaben (Standortkoordinaten, Anlagehöhe)- Betrachtungshöhe- Radius / maximale Wirkdistanz- Methodik der Gewichtung / Wirkzonen
Darstellung	<ul style="list-style-type: none">- einfache Sichtbarkeitskarte- distanzgewichtete Sichtbarkeitskarte
Optional: - Tabelle - Karte - Rezeptoren	<ul style="list-style-type: none">- Bevölkerungsexposition- gewichtete Karte mit Teilsichtbarkeit und Einschränkung des Blickfeldes- Identifizierung von einzelnen Schlüsselpunkten (Aussichtspunkte, Ortschaften etc., die für Bewertung besonders relevant sind) auf den Sichtbarkeitskarten

¹ <http://www.esri.com/software/arcgis/extensions/spatialanalyst>

2.3 Berechnungsgrundlagen

2.3.1 Höhenmodell

Die horizontale Auflösung des Höhenmodells soll der Fragestellung angepasst sein. So reicht für eine regionale Übersicht der Sichtbarkeit eines oder mehrerer Windparks eine Auflösung von 25 m. Bei einer kleinräumigen Analyse, beispielsweise für einen einzelnen Ort, sollte eine feinere Auflösung verwendet werden.

Es empfiehlt sich zumindest Wald als sichteinschränkende Bodenbedeckung mit zu berücksichtigen. Je nach Fragestellung sollten auch Siedlungen und weitere Kategorien in die Analyse mit einbezogen werden.

Mit einem Oberflächenmodell (DOM) wird die Bodenbedeckung automatisch mitberücksichtigt. Ist kein Oberflächenmodell vorhanden, können auch die Extrusionshöhen der Bodenbedeckung zu einem Geländemodell hinzuaddiert werden (wie bspw. in Peters & Brahms 2011).

Bei der Verwendung eines Oberflächenmodells bzw. eines modifizierten Geländemodells muss jedoch beachtet werden, dass innerhalb einer Waldfläche die Sichtbarkeit auf der Höhe der Baumkrone dargestellt wird. In der Praxis wird angenommen, dass vom Wald aus die WEA nicht zu sehen sind. Waldflächen werden deshalb nach der Berechnung eliminiert. In der Realität ist die Sichtbarkeit jedoch lediglich eingeschränkt. Insbesondere in Laubwäldern im Winter und entlang von Kloten bzw. in steilen Hanglagen ist mit einer gewissen Sichtbarkeit zu rechnen.

Es ist zu beachten, dass die Resultate für Siedlungsgebiete theoretischer Natur sind. Die Sichteinschränkungen durch Gebäude und Bewuchs verändern sich auf kleinstem Raum und sind auf Karten im regionalen Massstab nicht darstellbar. Hinzu kommt die Tatsache, dass bei mehrstöckigen Gebäuden die Sichtbarkeit von der jeweiligen Betrachterhöhe (d.h. in welchem Stockwerk sich der Betrachter befindet) abhängt.

In der Schweiz sind die folgenden Datensätze von Swisstopo² als Berechnungsgrundlagen geeignet:

- DHM25 – digitales Höhenmodell ohne Bewuchs und Bebauung mit einer Maschenweite von 25 m.
- Swiss Alti3D – digitales Höhenmodell ohne Bewuchs und Bebauung mit einer Maschenweite von 2 m, 5 m oder 10 m.

² https://shop.swisstopo.admin.ch/de/products/height_models <https://shop.swisstopo.admin.ch/de/products/landscape>

- DOM – hochpräzises Höhenmodell mit Bewuchs und Bebauung, Maschenweite 2 m.
- swissTLM3D – Landschaftsmodell, welches u.a. Angaben zur Bodenbedeckung und Landnutzung liefert.
- swissBUILDINGS3D 1.0 und 2.0 – Vektordatensätze, welche Gebäude darstellen.

2.3.2 WEA-Angaben

Als Eingabegrösse für die WEA benötigt man die Standortkoordinaten, die Anlagehöhe und den Rotordurchmesser.

Bei der Festsetzung der Anlagenhöhe soll die spezielle Form einer Windturbine berücksichtigt werden. Den höchsten Wirkungsgrad hat die Nabe. Da die Rotorblätter gegen aussen immer dünner werden, sind die äussersten Spitzen einer WEA aus der Ferne kaum zu sehen.

Aus diesem Grund empfehlen wir den folgenden Ansatz für die Berechnung der effektiven Höhe einer Anlage:

$$H_{eff} = NH + 0.25 * RD$$

H_{eff} = effektive Anlagehöhe in m

NH = Nabenhöhe in m

RD = Rotordurchmesser in m

2.3.3 Betrachtungshöhe

Für die Betrachtungshöhe wird üblicherweise ein Offset von 1.5 m angenommen. D.h. die Berechnung der Sichtbarkeit erfolgt für eine Höhe von 1.5 m ab Boden.

2.4 Spezielle Aspekte der Windenergie

2.4.1 Radius / maximale Wirkdistanz

Bei der Sichtfeldanalyse wird die Sichtbarkeit der WEA innerhalb eines festgelegten Radius untersucht. Dieser Radius sollte der maximalen Wirkdistanz der WEA entsprechen. Die maximale Wirkdistanz ist abhängig von der Nabenhöhe und dem Rotordurchmesser.

Gemäss LUNG (2006) kann die maximale Wirkdistanz einer Anlage folgendermassen berechnet werden:

$$W_r = \frac{1}{(9 * 10^{-5} + (0.011 * 0.952^h))}$$

W_r = Wirkzonenradius in m

h = Gesamthöhe (Nabenhöhe + Rotorradius) der Anlage in m

Ausserhalb dieses Radius gilt die visuelle Wirkung grundsätzlich als nicht mehr erheblich und ist damit vernachlässigbar. Schöbel (2012) gibt für eine WEA-Höhe von 200 m eine maximale Wirkdistanz von 20 km an, dies jedoch nur bei klarer Sicht. Bei Dunst/Nebel reduziert sich die Sichtbarkeit auf 2 km.

Weiter ist zu berücksichtigen, dass die WEA nachts mit Befeuerung deutlich besser zu sehen sind als an einem durchschnittlichen Tag.

Für die in Kapitel 2.5 vorgestellte Methodik wird die maximale Wirkdistanz nach Lung verwendet.

2.4.2 Wahrnehmungsstärke (nach Torkler & Zeidler)

Gemäss einer Studie von Torkler & Zeidler (2013) ist die Wahrnehmungsstärke von WEA abhängig von den folgenden drei Faktoren:

- Distanz des Beobachters zu den WEA: Mit zunehmender Entfernung von einer WEA nimmt deren Wirkung ab.
- Teilsichtbarkeit der WEA: Nicht jeder Teil einer WEA wird gleich stark wahrgenommen. Deshalb wird in der Studie der Sichtbarkeit der Nabe mit der Befeuerung und der sie umgebenden optischen Unruhe durch die Flügelrotation ein Empfindungszuschlag gegeben.
- Anzahl sichtbarer WEA: Eine zweite Anlage wirkt weniger als die erste, die dritte weniger als die zweite usw. Deshalb verwendet die Studie einen sogenannten Wirkungsnachlassfaktor in Abhängigkeit der Anlagezahl.

Für die in Kapitel 2.5.2 vorgestellte Methodik berücksichtigen wir die Wahrnehmungsstärke gem. Torkler & Zeidler, indem wir verschiedene Wirkzonen als Funktion des Abstandes zur WEA definieren.

2.5 Methodik

Eine einfache Sichtbarkeitskarte zeigt auf, an welchen Orten wie viele der WEA zu sehen sind (Abschnitt 2.5.1). Dabei wird die maximale Wirkdistanz gemäss LUNG (2006) verwendet. Um diese Sichtfeldanalyse weiter zu verfeinern, kann eine Distanzgewichtung der Sichtbarkeit anhand der Wahrnehmungsstärke gemäss Torkler & Zeidler (2013) vorgenommen werden (Abschnitt 2.5.2). Zusätzlich kann die Bevölkerungsexposition berechnet werden (Abschnitt 2.5.3). Als eine weitere Option wird die detaillierte Berechnung mit einem DOM vorgestellt (Abschnitt 2.5.4).

2.5.1 Einfache Sichtfeldanalyse

Für eine einfache Sichtfeldanalyse wird eine sogenannte Viewshed-Analyse durchgeführt. Das Resultat wird in einer Sichtbarkeitskarte dargestellt. Diese zeigt für jeden Ort auf der Karte die Anzahl sichtbarer WEA an. Ein Beispiel einer solchen Sichtbarkeitskarte ist in Abbildung 1 dargestellt.

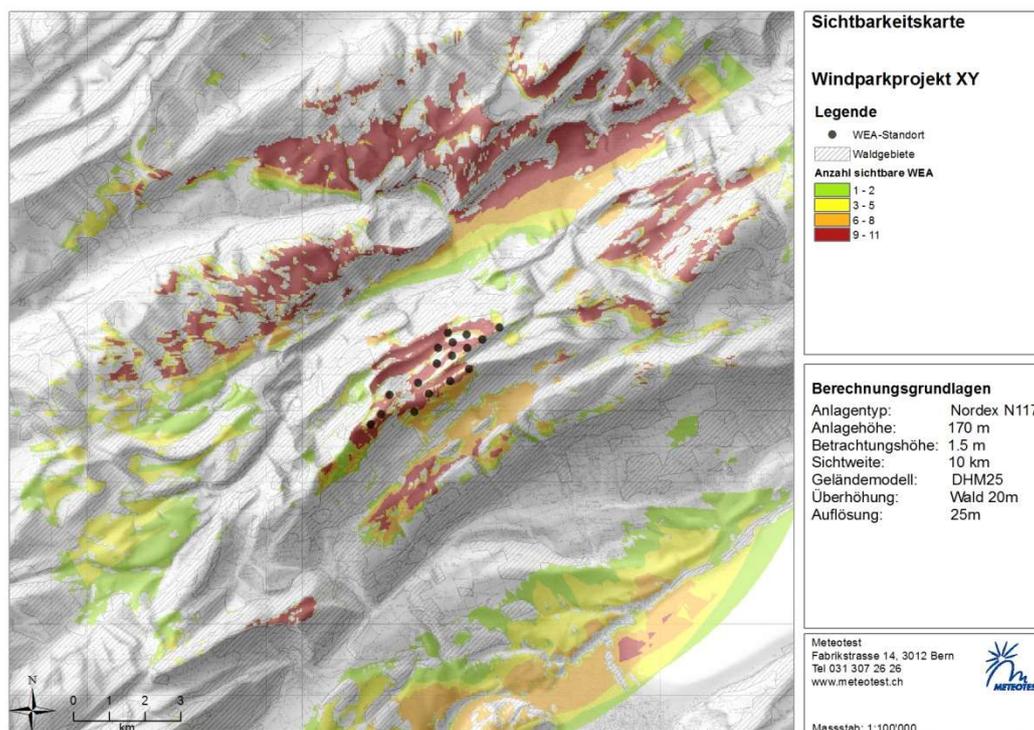


Abbildung 1: Beispiel einer Sichtbarkeitskarte.

2.5.2 Distanzgewichtete Sichtfeldanalyse

Mit einer Einteilung in Wirkzonen zur Distanzgewichtung der Sichtbarkeit wird dem Umstand Rechnung getragen, dass die Wirkung einer nahen WEA deutlich grösser ist als die Wirkung einer weit entfernten WEA. Abbildung 2 zeigt, dass die Abnahme der Wirkung nicht linear zur Entfernung sein muss.

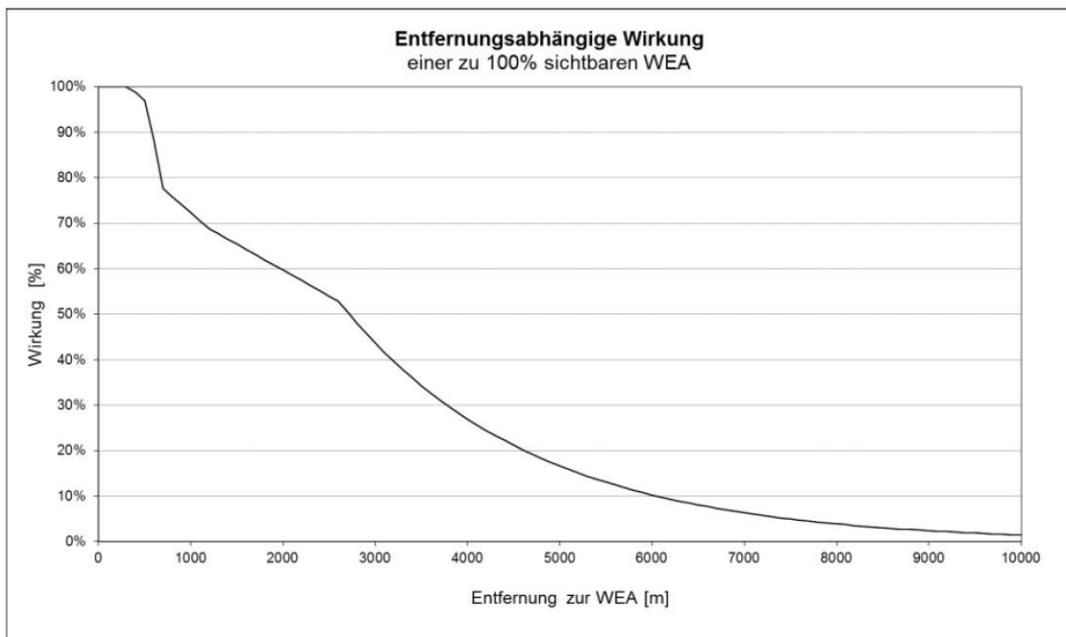


Abbildung 2: Grafik der entfernungsabhängigen Wirkung einer WEA (Torkler & Zeidler 2013).

Abhängig von der Nabhöhe können einzelne Distanzbereiche definiert werden. Die Gewichtung in Tabelle 2 gilt als Beispiel und wurde für eine Sichtbarkeitsstudie des Kantons Waadt (Meteotest 2015) verwendet. Sie bezieht sich auf Anlagenhöhen im Bereich von 110–170 m.

Tabelle 2: Beispiel einer Gewichtung von Wirkzonen für Anlagenhöhen von 170 m.

Zone	Radius [km]	Gewichtung
Kernzone	0–0.5	1
Nahbereich	0.5–2.5	0.7
Mittelbereich	2.5–5.0	0.3
Fernbereich	5.0–10.0	0.05

Das Ergebnis der einfachen Sichtfeldanalyse wird nun entsprechend gewichtet und in einer Karte dargestellt (Abbildung 3).

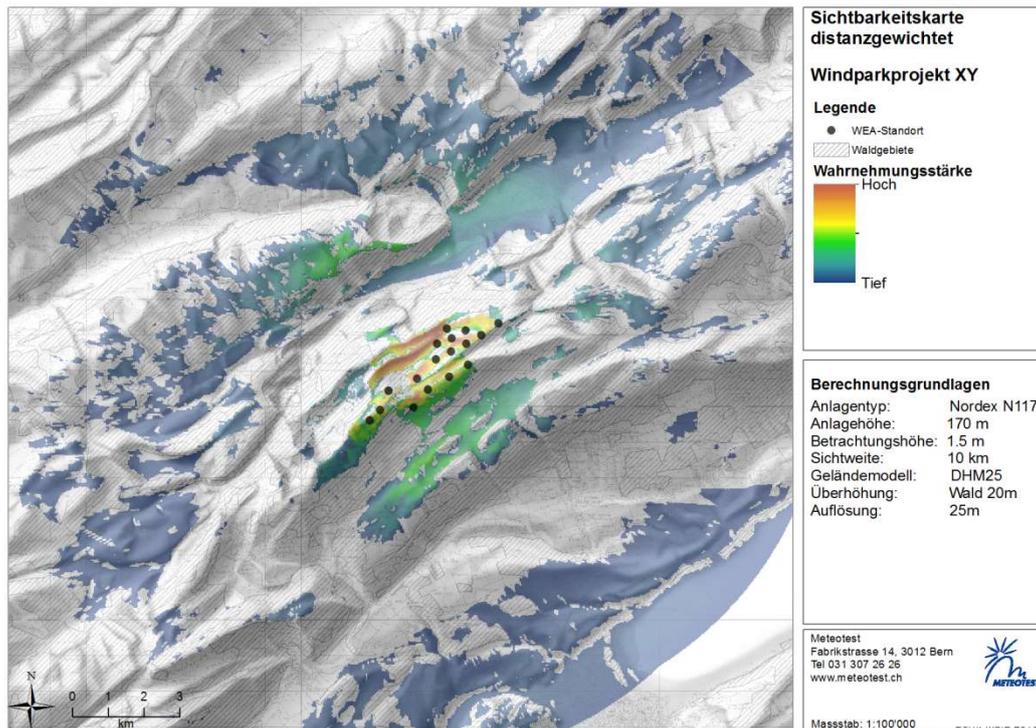


Abbildung 3: Beispiel einer distanzgewichteten Sichtbarkeitskarte.

2.5.3 Bevölkerungsexposition

Die Berechnung der Bevölkerungsexposition zeigt auf, wie viele Bewohner und Bewohnerinnen von der Sichtbarkeit eines Windparks betroffen sind.

Das Ergebnistraster der einfachen Sichtfeldanalyse wird mit dem Raster der Bevölkerungsdichte multipliziert. Dies ergibt ein Raster der Bevölkerungsexposition (siehe Tabelle 3). Die so entstehenden numerischen Werte stellen ein Mass für die Sichtbarkeit dar, welches mit zunehmender Bevölkerungsdichte und zunehmender Anzahl sichtbarer Anlagen grösser wird (Einheit: Einwohner x Anzahl Anlagen).

Tabelle 3: Übersichtstabelle zur Bevölkerungsexposition.

Kernzone 0 - 0.5 km			Nahbereich 0.5 - 2.5 km			Mittelbereich 2.5 - 5 km			Fernbereich 5 - 10 km		
Anzahl Anlagen	Bewohner	Anteil	Anzahl Anlagen	Bewohner	Anteil	Anzahl Anlagen	Bewohner	Anteil	Anzahl Anlagen	Bewohner	Anteil
keine	716'447	100.0%	keine	667'546	93.2%	keine	664'536	92.7%	keine	579'818	80.9%
1 - 2	127	0.0%	1 - 2	24'528	3.4%	1 - 2	2'556	0.4%	1 - 2	26'498	3.7%
3 - 5	3	0.0%	3 - 5	16'835	2.3%	3 - 5	8'061	1.1%	3 - 5	26'764	3.7%
6 - 10	-	0.0%	6 - 10	6'030	0.8%	6 - 10	25'253	3.5%	6 - 10	11'973	1.7%
11 - 25	-	0.0%	11 - 25	1'637	0.2%	11 - 25	15'764	2.2%	11 - 25	49'007	6.8%
26 - 50	-	0.0%	26 - 50	-	0.0%	26 - 50	406	0.1%	26 - 50	22'153	3.1%
> 50	-	0.0%	> 50	-	0.0%	> 50	-	0.0%	> 50	363	0.1%
Total Bevölkerung	716'576	100.0%	Total Bevölkerung	716'576	100.0%	Total Bevölkerung	716'576	100.0%	Total Bevölkerung	716'576	100.0%
Total Betroffene	129	0.0%	Total Betroffene	49'030	6.8%	Total Betroffene	52'040	7.3%	Total Betroffene	136'758	19.1%

Zone	keine	1 - 2	3 - 5	6 - 10	11 - 25	26 - 50	> 50
Kernzone 0 - 0.5 km	716'447	127	3	-	-	-	-
Nahbereich 0.5 - 2.5 km	667'546	24'528	16'835	6'030	1'637	-	-
Mittelbereich 2.5 - 5 km	664'536	2'556	8'061	25'253	15'764	406	-
Fernbereich 5 - 10 km	579'818	26'498	26'764	11'973	49'007	22'153	363

2.5.4 Detaillierte Sichtfeldanalysen im Siedlungsgebiet

Mit einer detaillierten Geländeanalyse und einer Gebäudeanalyse kann die Sichtbarkeit innerhalb eines Siedlungsgebietes beurteilt werden.

Bei der detaillierten Geländeanalyse wird ein hoch aufgelöstes Oberflächenmodell (DOM) als Datengrundlage verwendet. Damit kann die Sichtbarkeit in den Strassen wie auch an einzelnen Häuserfassaden dargestellt werden (siehe Abbildung 4).

Bei der Gebäudeanalyse wird für jede Gebäudefassade berechnet, wie viele der WEA von dort aus sichtbar sind (siehe Abbildung 5). Die Betrachtungshöhe entspricht dem obersten Stockwerk des jeweiligen Gebäudes.

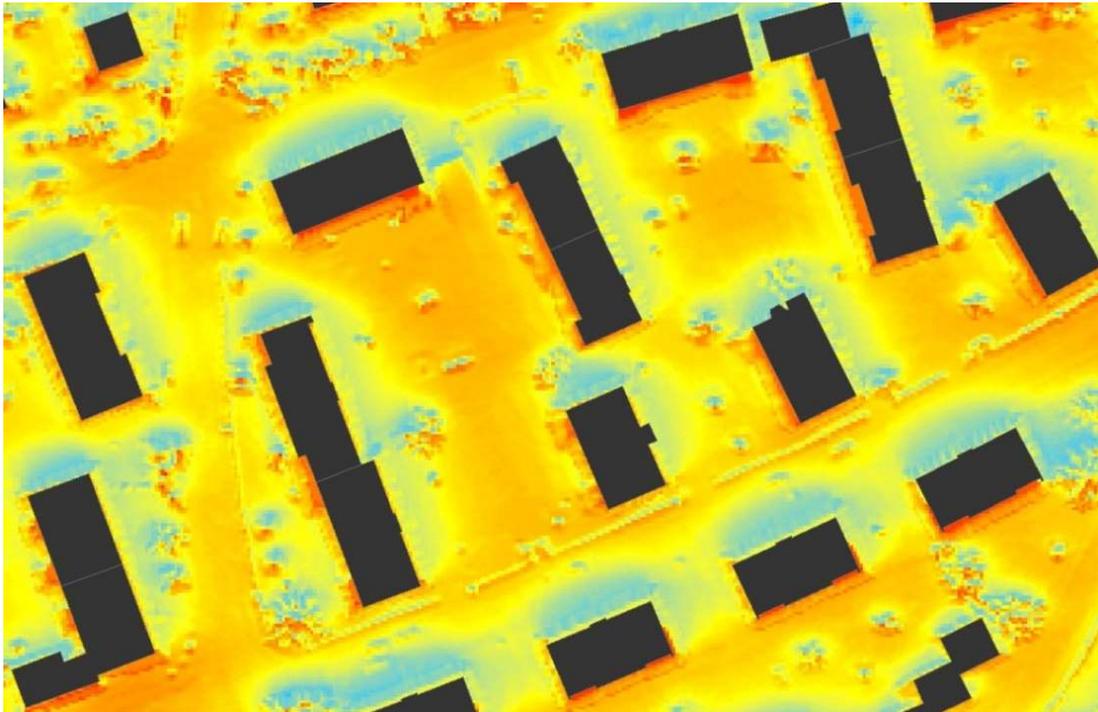


Abbildung 4: Beispiel für eine detaillierte Sichtfeldanalyse mit einem DOM und einer horizontalen Auflösung von 2 m.

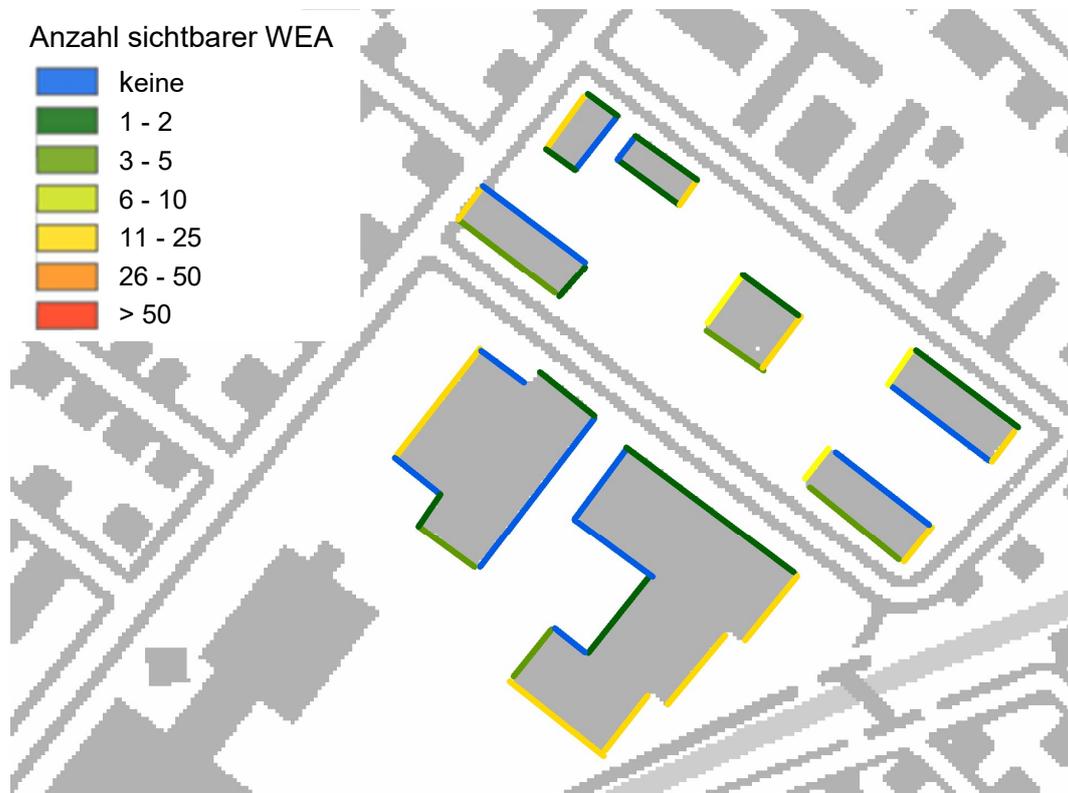


Abbildung 5: Beispiel einer Gebäudeanalyse auf Basis eines DOM.

3 Fotomontagen

3.1 Einleitung

Fotomontagen helfen bei der visuellen Beurteilung der Auswirkungen von WEA auf das Landschaftsbild. Im Gegensatz zur quantitativen Sichtfeldanalyse stellt die Fotomontage ein Werkzeug zur qualitativen Bewertung der Auswirkungen eines Windparks auf das Landschaftsbild dar.

Um realitätsnahe Fotomontagen mit korrekten Proportionen zu erstellen, ist es wichtig, hochwertige Ausgangsfotos zu machen und eine Reihe von 'Best Practices' zu berücksichtigen. Diese werden in den folgenden Abschnitten vorgestellt.

3.2 Inhalt einer Fotomontage-Analyse

Bei einer Fotomontage-Analyse sollten die folgenden Informationen geliefert werden:

Allgemeine Angaben	<ul style="list-style-type: none">▪ WEA (Standortkoordinaten, Turbinentyp)▪ Aufnahmezeitpunkt (Datum und Uhrzeit) sowie Standort der Aufnahme (Fotopunkt)▪ Distanz des Aufnahmestandortes zu den WEA▪ Anzahl sichtbarer WEA
Darstellung	<ul style="list-style-type: none">▪ Aufnahmestandorte der Fotomontagen▪ Fotomontagen▪ Profillinie (optional)

3.3 Methodik

3.3.1 Planung von Aufnahmestandorten und -zeit

Abstand zwischen Aufnahmestandort und WEA

Fotos sollen in den drei Wirkzonen Nahbereich (0.5–2.5 km), Mittelbereich (2.5–5 km) und Fernbereich (5–10 km) gemäss Tabelle 2 aufgenommen werden.

Bei Fotoaufnahmen aus der Kernzone (Tabelle 2) kann es schwierig sein, die gesamte Höhe der Anlage abzubilden. Die Distanz zu den WEA soll im Nahbereich so gewählt werden, dass die ganze Höhe der Anlagen sichtbar ist.

Bereits ab einer Distanz von 3 km sind WEA nur noch sehr klein sichtbar. Ab einer Distanz von >10 km kann eine WEA nur noch unter optimalsten Sichtverhältnissen wahrgenommen werden. Dennoch macht es Sinn, auch Fotomontagen für

den Mittel- und Fernbereich zu erstellen, um eine Beurteilung eines Windparks auf eine Landschaft zu zeigen.

Erkennbarkeit der Landschaft

Einerseits soll bei der Wahl des Aufnahmestandortes darauf geachtet werden, dass das Foto einen bestimmten Erkennbarkeitseffekt für die Bevölkerung hat. Dies kann beispielsweise eine Siedlung im Hintergrund sein, eine klar erkennbare Strassenkreuzung oder eine leicht erkennbare Horizontlinie, allenfalls mit einem Aussichts- oder Sendeturm.

Zur Erkennbarkeit der Landschaft kann es sinnvoll sein zur Einordnung des Einzelbildes ein Panoramabild beizufügen (Abbildung 6).

Ausserdem können Fotomontagen von bestimmten Punkten wichtig sein, bspw. von Aussichtspunkten, von stark frequentierten öffentlichen Orten einer Gemeinde wie der Sportplatz oder eine Parkanlage, oder von besonders schützenswerten Orten, welche man vor einer Beeinträchtigung des Landschaftsbildes schützen möchte.



Abbildung 6: Beispiel für eine Einzelaufnahme und der Einordnung des Bildes in eine Panoramaaufnahme.

Anzahl Fotomontagen

Falls es das Gelände erlaubt, sollen Montagen erstellt werden, auf denen alle Anlagen des Windparks sichtbar sind. Die Montagen sollen aus verschiedenen Blickrichtungen erstellt werden. Bei einem grossen Windpark oder wenn die Anlagen weit auseinander liegen, sollen zudem Fotomontagen von Teilgebieten mit einer oder mehreren Anlagen darauf erstellt werden, wiederum aus verschiedenen Blickwinkeln.

In der Praxis hat es sich für Einzelanlagen oder kleinere Windparks bewährt, mindestens sechs Fotomontagen zu erstellen, um die oben genannten Kriterien abzudecken. Für grössere Windparks, bei denen auch Montagen von Teilgebieten sinnvoll sind, erhöht sich die Anzahl der Fotos entsprechend.

Lichtverhältnisse: Tageszeit, Jahreszeit und Witterung

Der Eindruck einer Fotomontage hängt stark von den Lichtverhältnissen ab. Der beste Aufnahmezeitpunkt ist am Morgen und am späteren Nachmittag. Wenn die Fotos zu früh am Morgen oder zu spät am Nachmittag aufgenommen werden, scheint die Sonne sehr flach ins Gelände und erzeugt sehr lange Schatten. Dadurch kann ein für das Auge unangenehmer Scheinwerfereffekt entstehen. Um die Mittagszeit ist in der Regel mehr Dunst vorhanden und die Sichtverhältnisse sind verringert.

Eine sorgfältige Planung der Feldeinsätze ist deshalb wichtig. Es existieren webbasierte Hilfsmittel wie zum Beispiel die Apps Sonnenverlauf³ oder Sun Seeker⁴ zur Bestimmung des Sonnenstandes und Schattenwurfs an einem bestimmten Standort. Diese können dazu benutzt werden, die beste Tageszeit für die Aufnahmen zu bestimmen.

Bei der Planung muss berücksichtigt werden, von welcher Seite die Standorte der WEA beleuchtet werden, damit in einer finalen Montage die Masten und Rotoren nicht im Schatten oder im Gegenlicht stehen. Grundsätzlich sollte mit der Sonne im Rücken fotografiert werden. Bei Aufnahmen gegen die Sonne wird die Landschaft stark in Schatten getaucht, so dass die WEA nur als Silhouetten wahrgenommen werden (Abbildung 7).

Neben der Tageszeit beeinflusst auch die Jahreszeit die Wirkung einer Fotomontage. Es macht z.B. wenig Sinn, alle Fotomontagen einer Landschaft mit Schneebedeckung zu machen, wenn dort nur selten Schnee liegt.

Generell sind sonnige oder teilweise sonnige Tage zu bevorzugen, weil es einfacher ist, für solche Verhältnisse realistische Montagen zu erstellen. Wenn es die

³ <https://www.sonnenverlauf.de>

⁴ http://www.ozpda.com/sunseeker_iphone.php

Planung zulässt, sind Tage mit Föhnlage für die Aufnahmen zu bevorzugen. Föhnlagen erzeugen sehr klare Sichtverhältnisse.



Abbildung 7: Ungeeignete Fotoaufnahme: Zu dunstig, Gegenlicht, viele Schatten, Schnee lenkt eher ab.

3.3.2 Fotos aufnehmen

Kameraeinstellungen

Die Kameraeinstellungen sollten vor dem Feldeinsatz überprüft werden. Insbesondere sollte geprüft werden, dass Datum und Uhrzeit korrekt sind. Fotos sollten in der höchsten Auflösung und besten Qualität, die die Kamera erlaubt, aufgenommen werden. Nach Möglichkeit sollten die Fotos in einem RAW-Format gespeichert werden (vgl. Abschnitt 3.3.3) – dies bedingt aber zwingend eine Nachbearbeitung der Fotos. Mit RAW-Fotos nicht versierte Personen speichern deshalb die Fotos zusätzlich oder ausschliesslich im JPG-Format und wählen – sofern vorhanden – das Motivprogramm 'Landschaft'.

Brennweite

Für eine realistische und möglichst unverzerrte Aufnahme sollte eine Brennweite von 40 bis 55 mm verwendet werden. Dabei entstehen Bilder, deren Perspektive

und Grössenabbildungen ungefähr dem menschlichen Auge und der menschlichen Wahrnehmung entsprechen⁵.

⁵ https://de.wikipedia.org/wiki/Brennweite#Brennweite_in_der_Fotografie

In Abbildung 8 sind Beispiele für unterschiedliche Brennweiten gezeigt. Das obere Foto wurde mit einer Brennweite 50 mm aufgenommen und entspricht also ungefähr dem menschlichen Auge und der menschlichen Wahrnehmung. Die beiden unteren Grafiken wurden mit Brennweiten 35 mm resp. 75 mm aufgenommen und liegen ausserhalb des optimalen Bereichs.



Abbildung 8: Beispiele unterschiedlicher Brennweiten: 50 mm (oben); 35 mm und 75 mm (unten).

Bildausschnitt

Wenn wir geradeaus schauen und weder die Position der Augen noch des Kopfes verändern, erfasst unser Gesichtsfeld einen Winkel mit einer Öffnung von 180 Grad. Aus diesem Grund kann es sinnvoll sein mit Panoramabildern zu arbeiten. Ein Panoramabild enthält mehr Referenzpunkte in der Landschaft, so dass der Betrachter schneller erkennen kann, von welchem Standort eine Aufnahme erstellt worden ist. Panoramas eignen sich sehr gut für Aufnahmen im näheren Umkreis von bis zu maximal drei Kilometern.

Für Fotomontagen von WEA ist es wichtig, dass genügend Raum über dem Horizont sichtbar ist, um Masten und Rotoren in verschiedenen Stellungen und Grössen zeigen zu können.

Referenzpunkte

Um eine Fotoaufnahme möglichst genau justieren zu können, sollten mehrere Referenzpunkte sichtbar sein, deren exakte Position entweder von einer topografischen Karte oder einer Luftbildaufnahme⁶ einfach zu definieren ist. Es sollte mindestens ein solcher Punkt am rechten und einer am linken Rand der Aufnahme vorhanden sein und dies nicht zu nahe am Aufnahmestandort.

Anzahl Fotos

Um gute Fotomontagen zu erstellen, ist es unumgänglich an jedem vorgesehenen Standort mehrere Fotos zu machen, mit leicht variierenden Ausrichtungen, Aufnahmestandorten sowie (bei schwierigen Lichtverhältnissen) Belichtungseinstellungen. Bei der Montagearbeit werden daraus die am besten geeigneten Fotos bestimmt und weiterverwendet.

Aufnahmeprotokoll

Ein Protokoll enthält die notwendigen Informationen zu den im Feld erstellten Fotoaufnahmen. Folgende Informationen sollen protokolliert werden:

- genauer Standort der Aufnahme (X/Y-Koordinaten)
- Richtung der Aufnahme (°)
- Hinweise auf im Foto enthaltene Referenzpunkte (Häuser, Strassenkreuzungen, Sendemasten etc. die auf der topografischen Karte oder auf einem georeferenzierten Luftbild enthalten sind).

Die Brennweite, das Datum und der Zeitpunkt der Aufnahme sind in der Regel in den EXIF⁷-Informationen der Fotodateien enthalten. Hochwertige Kameras mit Wechselobjektiven sind nur selten mit einem eingebauten GPS ausgestattet. Es sind jedoch GPS-Empfänger auf dem Markt erhältlich, welche zum Beispiel am Blitzschuh der Kamera montiert werden können (Abbildung 9). Neuere Kameras können sich auch per Bluetooth mit einem Smartphone verbinden und von diesem GPS-Daten beziehen. Alternativ können die Koordinaten mit einem externen GPS-Gerät erfasst und im Protokoll dokumentiert und – wenn erwünscht – in die EXIF-Daten eingebettet werden (z.B. mit der Fotobearbeitungssoftware Adobe Lightroom).

⁶ z.B. auf <http://map.geo.admin.ch/>

⁷ Exchangeable Image File Format



Abbildung 9: Professionelle Kamera mit aufgesetztem GPS-Empfänger.

3.3.3 Bildbearbeitung

Es gibt zahllose Anleitungen und Werke zur Fotobearbeitung. Wir gehen hier auf die wesentlichen Punkte für Windenergie-Fotomontagen ein.

Aufnahmeformat

Das menschliche Auge ist den Sensoren digitaler Kameras, was die Lichtempfindlichkeit betrifft, (noch) überlegen. Das Auge kann Licht und Schatten viel besser unterscheiden als ein Kamerasensor. Deshalb muss das Rohbild des Kamerasensors nachbearbeitet werden. Kameras führen solche Korrekturen automatisch durch, wenn man Fotos als JPG-Dateien abspeichert.

Für hochwertige Fotomontagen sollten diese Korrekturen für ein optimales Resultat manuell erfolgen. Dazu werden die Fotos im RAW-Format aufgenommen und abgespeichert, was in der Nachbearbeitung die grösstmögliche Flexibilität und Qualität ermöglicht. JPG-Daten können zwar ebenfalls nachbearbeitet werden, was aber vor allem bei grösseren Korrekturen auf Kosten der Bildqualität geht.

Die Nachbearbeitung von RAW-Fotodateien in Fotobearbeitungssoftware wie z.B. Adobe Lightroom bedingt für optimale Resultate viel Übung und wird am besten einem Profi überlassen.

Belichtung korrigieren

Die Belichtungskorrektur lässt ein Foto weniger grau erscheinen, was der menschlichen Wahrnehmung mit dem Auge näherkommt (Abbildung 10). Ziel ist es, die dunklen Schattenbereiche aufzuhellen und die hellen Lichtbereiche abzdunkeln. Damit werden die Tonwerte im Bild angeglichen. Die Bildbearbeitung soll jedoch massvoll gehalten werden, damit das Resultat nicht übertrieben wirkt und vom Zweck der Fotomontage ablenkt.



Abbildung 10: Verbesserung der Licht-Schatteneffekte: originales Foto links – bearbeitetes Foto rechts.

Kontraste bearbeiten

Eine weitere Stärke von Bildbearbeitung ist die Verstärkung des lokalen Kontrastes. In vielen Programmen findet sich der Regler 'Klarheit'. Dieser Regler bewirkt eine Kontraststeigerung in den mittleren Tonwerten. Der Betrachter empfindet diese Kontraststeigerung als wohltuend, weil ein Bild schärfer wirkt (Abbildung 11). Auch hier sollte nicht übertrieben werden, damit nicht der Eindruck entsteht, dass das Bild künstlich bearbeitet wurde.



Abbildung 11: Verbesserung der lokalen Kontraste (Klarheit): originales Foto links – bearbeitetes Foto rechts.

Dunst entfernen

Bilder mit starkem Dunst können gesamthaft oder partiell mit einer Dehaze-Bearbeitung entschleiern werden (Abbildung 12). Dies ist sinnvoll, wenn die Objekte, die gezeigt werden sollen in grosser Distanz sind und keine besseren Fotoaufnahmen zur Verfügung stehen.



Abbildung 12: Verringerung des Dunsteffektes (Dehaze): originales Foto links – bearbeitetes Foto rechts.

3.3.4 Erstellen der Fotomontagen

Spezialisierte Software ist für eine präzise Erstellung von Fotomontagen unerlässlich. Die hier als Beispiele dargestellten Montagen wurden mit der Software WindPRO und dem Modul 'Photomontage' erstellt⁸.

Fotos referenzieren

Das Foto muss in der Landschaft korrekt referenziert werden. Dazu werden die Brennweite, die Koordinaten des Aufnahmestandorts, eine digitale topografische Karte sowie ein Höhenmodell benötigt. Die Software erstellt ein virtuelles Bild des Geländes, des Horizonts sowie von Referenzpunkten, die mit dem Foto in Übereinstimmung gebracht werden.

Das Höhenmodell dient der korrekten Darstellung der WEA sowie der Darstellung der Horizontlinie, welche für die korrekte Aufnahmejustierung und die Validierung der Fotos wichtig ist. Der Ausschnitt des Höhenmodells muss gross genug gewählt sein, damit auch entferntere Horizontbereiche visualisiert werden können (siehe Abbildung 13). Für die Schweiz eignen sich die Höhenmodelle der swisstopo. DHM25 mit 25 m horizontaler Auflösung ist in der Regel präzise genug, um eine Fotomontage gut referenzieren zu können.

⁸ <https://www.emd.dk/>

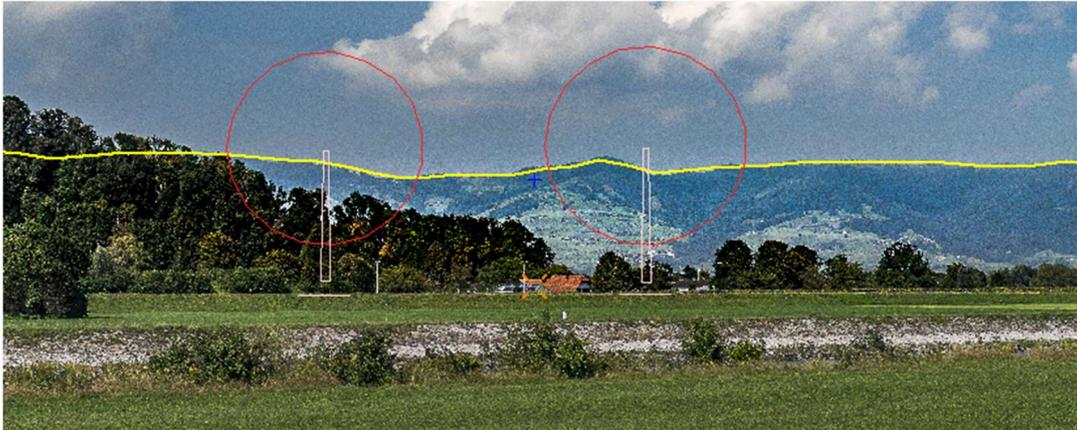


Abbildung 13: Fotoaufnahme mit Horizontlinie.

Sichthindernisse berücksichtigen

Die Berücksichtigung von Sichthindernissen, die einen Teil der WEA abdecken, kann eine knifflige Aufgabe sein. Falls die WEA hinter einem Wald oder Baum steht, muss in diesem Bereich sorgfältig und pixelweise retuschiert werden (vgl. Abbildung 14).



Abbildung 14: Beispiel Berücksichtigung von Sichthindernissen: unsorgfältige Bearbeitung der Sichthindernisse. Bei der linken Anlage sollte das unterste Rotorblatt hinter dem Wald verschwinden; bei der rechten Anlage wurde zu viel vom Mast abgeschnitten.

Lichtbedingungen abstimmen

Es muss darauf geachtet werden, dass die Schatten auf den WEA denjenigen der Aufnahme entsprechen. Deshalb ist es wichtig, die Fotomontage auf das korrekte Datum und korrekte Uhrzeit der Aufnahme anzupassen. Damit wird zusätzlich die Lichtintensität und -farbe der WEA gesteuert. Abbildung 15 zeigt die Wirkung dieser Anpassung aufgrund einer korrekten und einer falschen Belichtung.



Abbildung 15: Beispiel Berücksichtigung der Uhrzeit bzw. korrekte Richtung des Schattenwurfs (oben: falsche Uhrzeit, unten: korrekte Uhrzeit).

Die Aufnahme wurde im Februar um 15:16 aufgenommen. Die Darstellung in der oberen Abbildung wurde mit einer falsch eingestellten Uhrzeit (08:30) erstellt. Dadurch sind die falschen Seiten der Masten beschattet. In der unteren Abbildung hingegen wurde die korrekte Uhrzeit (15:16) verwendet, wodurch auch der Schattenwurf richtig ist.

Die Fotomontage muss zudem den Sichtverhältnissen angepasst werden. Abbildung 16 zeigt, wie unterschiedlich der Eindruck von einer Fotomontage sein kann, je nachdem ob man die Fotomontage den Lichtverhältnissen sorgfältig anpasst.



Abbildung 16: Beispiel Berücksichtigung von Dunst: Oben: Lichtverhältnisse nicht angepasst, zu helle Anlagen. Unten: Anpassung der Lichtverhältnisse mit Berücksichtigung der leichten Bewölkung.

Stellung der Rotorblätter

In Realität zeigen die Naben aller WEA eines Windparks (in Betrieb) in die gleiche Richtung, doch ist die Stellung der Rotorblätter zufällig. Oft sieht man Fotomontagen, in denen die Rotorblätter alle gleich ausgerichtet sind, was sehr unrealistisch ist. Deshalb ist für jedes Rotorblatt eine separate Stellung einzustellen.



Abbildung 17: Beispiel Stellung der Rotorblätter: Oben (unrealistisch): Rotorblätter sind alle gleich ausgerichtet. Unten (realistisch): Rotorblätter sind unterschiedlich ausgerichtet.

4 3D-Visualisierung

Im Gelände wirken Windenergieanlagen in Realität nochmals anders als auf Fotomontagen. 3D-Visualisierungen können hier eine weitere Hilfe bei der Planung und Beurteilung der Anlagen bieten. 3D-Visualisierungen bringen einige Vorteile, haben allerdings auch Nachteile und bergen Risiken:

Vorteile:

- erlauben – sofern gut gemacht – vielen Leuten eine realitätsnähere Erfassung von WEA
- erlauben es den Nutzrinnen und Nutzern, die Wirkung von WEA aus verschiedenen Lagen zu beurteilen
- kommen den alltäglichen Sehgewohnheiten näher als 2D-Visualisierungen, sofern Bilder mit hoher Qualität verwendet werden
- ermöglichen realitätsnahe Animationen

Nachteile / Risiken:

- sind technisch aufwändiger herzustellen
- benötigen für optimale Resultate teure Programme
- können zu Visualisierungen mit unrealistischen Blickwinkeln oder Betrachterstandorten verleiten

Es ist anzunehmen, dass in Zukunft 3D-Visualisierungen häufiger eingesetzt werden. Als weitere zukunftssträchtige Entwicklung sind auch Visualisierungen mit Augmented Reality einsetzbar⁹.

Für 3D-Visualisierungen stehen diversen kommerziellen Software-Lösungen zur Verfügung. Hier sind exemplarisch drei Möglichkeiten genannt:

- Esri CityEngine: Diese Software ist ein Modul der bekannten GIS-Software ArcGIS.
- AutoDesk/AutoCAD: Die meistgenutzte CAD-Software kann auch 3D-Visualisierungen umsetzen.
- Maya: Diese Software wird hauptsächlich in Film- und Fernsehindustrie und für Computer- und Videospiele eingesetzt.

⁹ <https://echtzeit.swiss/#projects>

Zu erwähnen ist an dieser Stelle auch VisAsim, ein durch den Schweizerischen Nationalfonds mitfinanziertes Projekt zur visuell-akustischen Simulation von WEA¹⁰.

Neben kostenpflichtigen Profi-Lösungen können auch mit frei verfügbaren Applikationen gute Animationen erstellt werden, z.B. auf Basis Google Earth und SketchUp-Modellen.

Ein Vorteil dieser Lösung ist, dass sie gut mit anderen Personen geteilt werden kann, die sich in Google Earth ein persönliches Bild der Lage machen können. Ein Nachteil ist, dass die Qualität der Google-Earth-Bilddaten bei weitem nicht an die Qualität von mit einer Fotokamera aufgenommenen Ausgangsbildern herankommt.

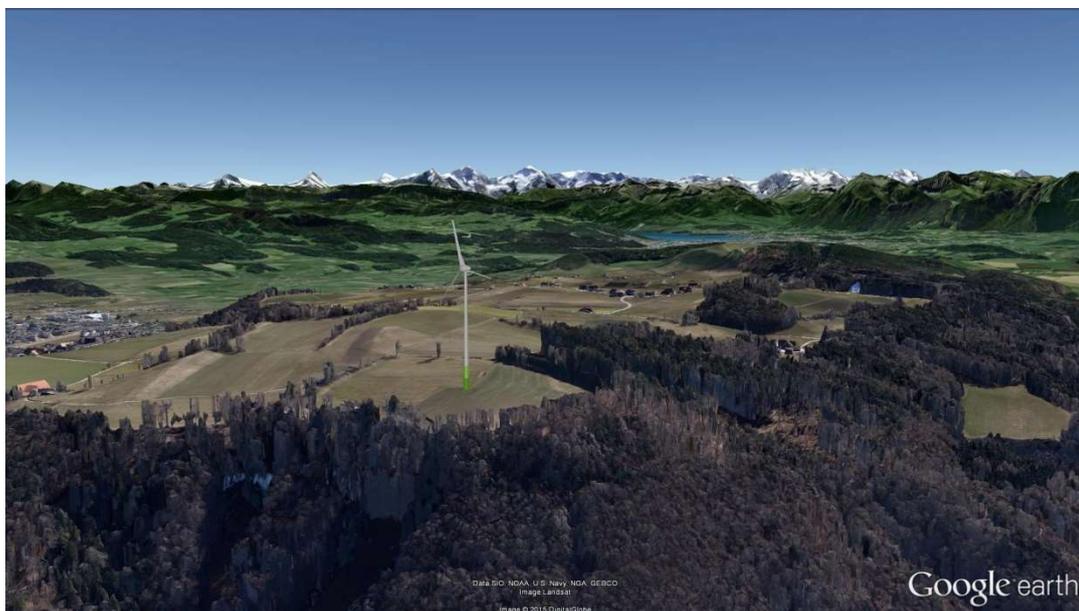


Abbildung 18: 3D-Visualisierung einer Windenergieanlage (Enercon E-82) auf dem Belpberg, generiert mithilfe von Google Earth und dem "3D Warehouse" von SketchUp. Nicht optimal sind der unrealistische Betrachterstandort (schwebend) und die unnatürliche, unterschiedliche Färbung der Vegetationsdecke.

Um überzeugende und objektive Resultate zu liefern, sollten für 3D-Visualisierungen dieselben Grundsätze und Anforderungen wie sie für 2D-Visualisierungen im Kapitel 3.3 beschrieben sind berücksichtigt werden.

Das Ausgangs-Bildmaterial sollte hochwertig sein. Die Lichtverhältnisse (Tageszeit, Jahreszeit, Witterung) sind realistisch zu wählen. Durch Bildbearbeitung sind allfällige ungünstige Effekte (Belichtung, Kontraste, Dunst) zu reduzieren. Wenn

¹⁰ <http://www.visasim.ethz.ch/>

Screenshots von 3D-Visualisierungen gemacht werden, ist auf realistische Blickwinkel und die Erkennbarkeit der Landschaft zu achten.

Die Platzierung und Beleuchtung der WEA im virtuellen Gelände muss ebenso wie bei Fotomontagen fehlerfrei und professionell erfolgen. Auf natürliche Rotorstellungen ist zu achten.

Die Abbildung 19 zeigt eine gute 3-D Visualisierung einer Windenergieanlage auf dem Belpberg erstellt mit Google Earth und dem "3D Warehouse" von SketchUp. Ein Betrachterstandort am Dorfrand von Belp ermöglicht einen realistischen Eindruck der Wirkung der Windenergieanlage.



Abbildung 19: Gute 3D-Visualisierung einer Windenergieanlage (Enercon E-82) auf dem Belpberg.

Als zweites gutes Beispiel einer 3D-Visualisierung zeigt die Abbildung 20 eine Darstellung des geplanten Windparks Linthwind. Diese wurde mit einem professionellen Tool von der Firma Echtzeit GmbH¹¹ in Zusammenarbeit mit der ZHAW und dem BFE erstellt.

¹¹ Echtzeit GmbH; www.echtzeit.swiss



Abbildung 20: Gute 3D-Visualisierung des geplanten Windparks Linthwind.

5 Literatur

Bundesämter

BFE März 2010: Empfehlungen zur Planung von Windenergieanlagen. Die Anwendungen von Raumplanungsinstrumenten und Kriterien zur Standortwahl.

BFE/BUWAL/ARE 2004: Konzept Windenergie Schweiz - Grundlage für die Standortwahl von Windparks, Bern, August 2004.

BFE Juni 2008: Windenergieanlagen in der Schweiz - Raumplanerische Grundlagen und Auswirkungen. Grundlagebericht.

BFE Juni 2008: Windenergieanlagen in der Schweiz - Leitfaden für die Analyse der Umweltauswirkungen.

BFE Juni 2008: Windenergieanlagen in der Schweiz - Checkliste für Investoren von Grossanlagen.

Allgemein

Windenergie-Handbuch - Monika Agatz (www.windenergie-handbuch.de)

Hübner, Gundula und Löffler, Elisabeth: Wirkungen von Windkraftanlagen auf Anwohner in der Schweiz: Einflussfaktoren und Empfehlungen. Abschlussbericht in Kooperation mit der Universität St. Gallen, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Oktober 2013.

Müller, Georg Philipp Juli 2014: Vorranggebiete Windenergie - Fallstudien zu den planerischen Prozessen in den Kantonen.

Akademien der Wissenschaften Schweiz (2012) Lösungsansätze für die Schweiz im Konfliktfeld erneuerbarer Energien und Raumnutzung. pp. 79

Sichtbarkeitsanalysen Windenergie

Meteotest (2015): Etude de co-visibilité de parcs éoliens pour le territoire du canton de Vaud. Département du territoire et de l'environnement (DTE).

Peters, J. & Brahms, E (2011): Landschaftsbildgutachten zur geplanten 380-kV-Leitung im Biosphärenreservat Schorfheide-Chorin (Uckermarkleitung)

Torkler, F. & Zeidler, M. (2013): Sichtbarkeitsanalyse von bestehenden Windenergieanlagen sowie geplanten Windeignungsfeldern für die Fläche des Nationalparks Unteres Odertal (Phase 1). Bericht. (www.nationalpark-unteres-odertal.eu/ -> Aktuelles -> Veröffentlichungen). Letzter Zugriff 14. Juli 2020.

Rodewald R (2012) Lösungswege aus Sicht des Landschaftsschutzes. In: Forum Raumentwicklung (3), pp. 19-22.

Schöbel S (2012) Windenergie und Landschaftsästhetik. Zur Landschaftsgerechten Anordnung von Windfarmen (Berlin: Jovis Verlag), pp. 158.

Torkler F (26.6.2014) Visualisierung von geplanten Windenergieanlagen durch animierte Fotomontagen ausgewählter Sichtachsen sowie Ausweisung von potenziellen Gebieten für Sichtverschattungen (Hecken, Alleen, Baumgruppen) zur Verringerung der Sichtbarkeit von Windenergieanlagen (Phase 2). Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (LUGV), Nationalparkverwaltung Unteres Odertal

Ratzbor Günter (28.3.2011) Windenergieanlagen und Landschaftsbild - Zur Auswirkung von Windrädern auf das Landschaftsbild

Bock S und Seuss R 2012: Sichtbarkeitsanalyse für Windenergieanlagen. In: Erneuerbare Energien unterstützt durch GIS und Landmanagement (Klarle Martina (Hrsg.)), Wichmann Verlag

Klettke, S (2012): Ermittlung der visuellen Wahrnehmung von Windenergieanlagen auf Basis einer Sichtbarkeitsanalyse - Bachelorarbeit Hochschule Neubrandenburg

Deglmann Windpark Management GmbH (2014): Sichtbarkeitsanalyse und Fotomontage im Rahmen des Planungsvorhabens "Windkraftanlage Pamensdorf"

Nohl, W. (2010): Ist das Landschaftsbild messbar und bewertbar? - Bestandsaufnahme und Ausblick. Referat auf der Fachtagung "Was ist schiach - Das Landschaftsbild im Prüfverfahren", Institut für Landschaftsentwicklung, Erholungs- und Naturschutzplanung (ILEN) an der Universität für Bodenkultur in Wien am 25. Februar 2010.

Nohl, W. (1993): Beeinträchtigungen des Landschaftsbildes durch mastenartige Eingriffe. Materialien für die naturschutzfachliche Bewertung und Kompensationsermittlung.

Seuss, I. & Bock, S. (2012): Pilotprojekt 3D-Daten in der Landes- und Regionalplanung. Im Auftrag für das Hessische Ministerium für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung.

Landesamt für Umwelt Naturschutz und Geologie (LUNG), 2006: Hinweise zur Eingriffsbewertung und Kompensationsplanung für Windkraftanlagen, Antennenträger und vergleichbare Vertikalstrukturen.

Zink, R. (2012): 3D-Visualisierung am Beispiel der Windenergie. gis.BUSINESS 4/2012