Wetterprognosen
Erneuerbare Energien
Luft und Klima
Umweltinformatik

Genossenschaft METEOTEST
Fabrikstrasse 14, CH-3012 Bern
Tel. +41 (0)31 307 26 26
Fax +41 (0)31 307 26 10
office@meteotest.ch, www.meteotest.ch

Bern, 7. Oktober 2013

Sichtbarkeit von Windenergieanlagen

Sichtbarkeitsanalysen für Windpark-Planungsgebiete (Schwerpunkt Kanton VD)

Auftraggeber:

Stiftung Landschaftsschutz Schweiz (SL)
Roman Hapka
Schwarzenburgstrasse 11
3007 Bern

Version	Datum	Dokument	Projektnummer
3	07.10.2013	Schlussbericht	13_020

Bearbeitung	Name	Datum
Erstellt von	Simon Albrecht Tanja Humar-Mägli Beat Rihm	01.10.2013
Kontrolliert von	Beat Schaffner / René Cattin	01.10.2013
Genehmigt von	Beat Schaffner / René Cattin	03.10.2013
Meteotest gewährleistet ihren Kunden eine sorgfältige und fachgerechte Auftragsabwicklung. Jegliche Haftung, insbesondere auch für Folgeschäden, wird im Rahmen des gesetzlich Zulässigen wegbedungen.		

Zusammenfassung

Das Ziel der Studie ist es, Sichtbarkeitsanalysen aus Sicht der betroffenen Einwohner zu erstellen. Sichtbarkeitsanalysen werden in der Regel nur für den geplanten Windpark berechnet. Der Effekt benachbarter Windparks wird dabei oft nicht berücksichtigt. In dieser Studie wurde eine kumulierte Sichtbarkeitsberechnung geplanter Windparks im Kanton Waadt und in Teilen des Kantons Neuenburg durchgeführt, um eine Gesamtsicht der potentiellen Auswirkungen auf die Bevölkerung zu erhalten. Basis sind die in den kantonalen Richtplänen aufgeführten Planungsgebiete für Windenergieanalagen.

Es gilt zu beachten, dass Planungsstand und Realisierungschancen der einzelnen Windparks sehr unterschiedlich sind. Eine detailliertere Überprüfung der Standorte in Absprache mit den Projektentwicklern wurde nicht durchgeführt. Die genaue Anordnung der Windturbinen entspricht demnach nicht zwingend dem aktuellen Planungsstand der jeweiligen Projekte. Für den Zweck der vorliegenden Studie wurde die Datengrundlage aber als genügend gut eingestuft, denn diese Studie bezweckt eine Übersicht über den theoretischen, kumulativen Effekt von Windparks auf die Bevölkerung und ist keine standortspezifische Sichtbarkeitsstudie.

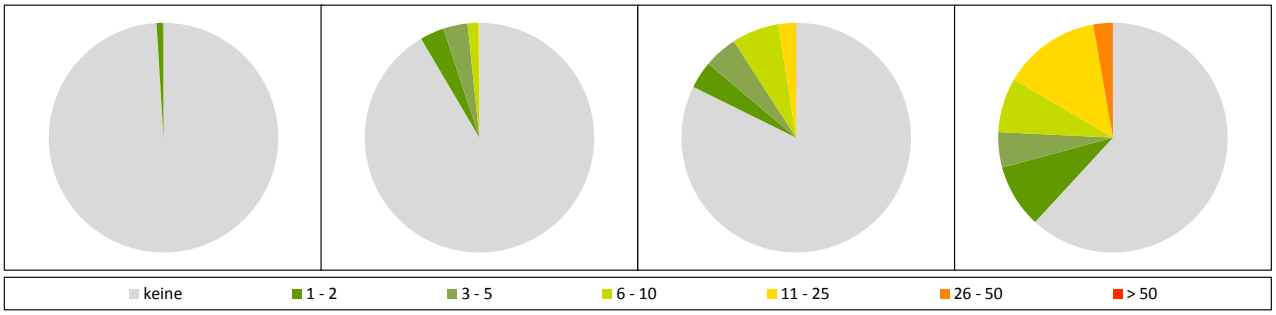
Der Sichtbarkeitsanalyse liegt das digitale Höhenmodell DHM25 zu Grunde. Dieses wurde auf Waldhektaren mit einem Zuschlag für die Bestandeshöhe versehen (Annahme: 15 m), um die reduzierende Sichtbarkeit von Wald zu berücksichtigen.

Für jede Zelle von 25 m x 25 m wurde die Sichtbarkeit der 174 Anlagen im Untersuchungsgebiet in der Mitte der Zelle auf 1.5 m über Grund beurteilt. Die Anlagenhöhe wurde auf 140 m festgelegt.

Die Distanz des Beobachters zur Anlage spielt dabei eine zentrale Rolle. Deshalb wurden im Umkreis von 10 km verschiedene Distanzbereiche definiert, gewichtet und damit eine distanzgewichtete Sichtbarkeit ermittelt. Damit wird berücksichtigt, dass die visuelle Wirkung einer Anlage mit zunehmender Distanz deutlich abnimmt. Zusammenfassend zeigt Abbildung 1 die verschiedenen Distanzbereiche, die Anzahl sichtbarer Anlagen in sieben verschiedenen Klassen sowie die Anzahl davon betroffener Bewohner.

Insgesamt leben 524'629 Personen im Untersuchungsgebiet. Während lediglich 1% (5'122 Personen) der Bevölkerung Anlagen innerhalb eines Kilometers sieht, steigt dieser Wert bis zum Distanzbereich von 5 km auf 17.7% (92'881 Personen). Im äussersten untersuchten Radius (bis 10 km) ist schliesslich ein substanzieller Teil der Bevölkerung von sichtbaren Anlagen betroffen, nämlich 38.1% (200'077 Personen). Die Abbildung illustriert allerdings auch, dass gleichzeitig die visuelle Wirkung der Anlagen in diesem Radius markant abnimmt.

Kernzone 0 - 1 km			Nahbereich 0 - 2.5 km			Mittelbereich 0 - 5 km			Fernbereich 0 - 10 km		
Anzahl Anlagen	Bewohner	Anteil	Anzahl Anlagen	Bewohner	Anteil	Anzahl Anlagen	Bewohner	Anteil	Anzahl Anlagen	Bewohner	Anteil
keine	519'507	99.0%	keine	480'147	91.5%	keine	431'748	82.3%	keine	324'552	61.9%
1 - 2	4'598	0.9%	1 - 2	17'747	3.4%	1 - 2	20'026	3.8%	1 - 2	46'911	8.9%
3 - 5	481	0.1%	3 - 5	18'030	3.4%	3 - 5	24'896	4.7%	3 - 5	26'089	5.0%
6 - 10	43	0.0%	6 - 10	7'990	1.5%	6 - 10	34'816	6.6%	6 - 10	40'307	7.7%
11 - 25	-	0.0%	11 - 25	714	0.1%	11 - 25	12'854	2.5%	11 - 25	72'290	13.8%
26 - 50	-	0.0%	26 - 50	-	0.0%	26 - 50	290	0.1%	26 - 50	14'314	2.7%
> 50	-	0.0%	> 50	-	0.0%	> 50	-	0.0%	> 50	166	0.0%
Total Bevölkerung	524'629	100.0%	Total Bevölkerung	524'629	100.0%	Total Bevölkerung	524'629	100.0%	Total Bevölkerung	524'629	100.0%
Total Betroffene	5'122	1.0%	Total Betroffene	44'482	8.5%	Total Betroffene	92'881	17.7%	Total Betroffene	200'077	38.1%



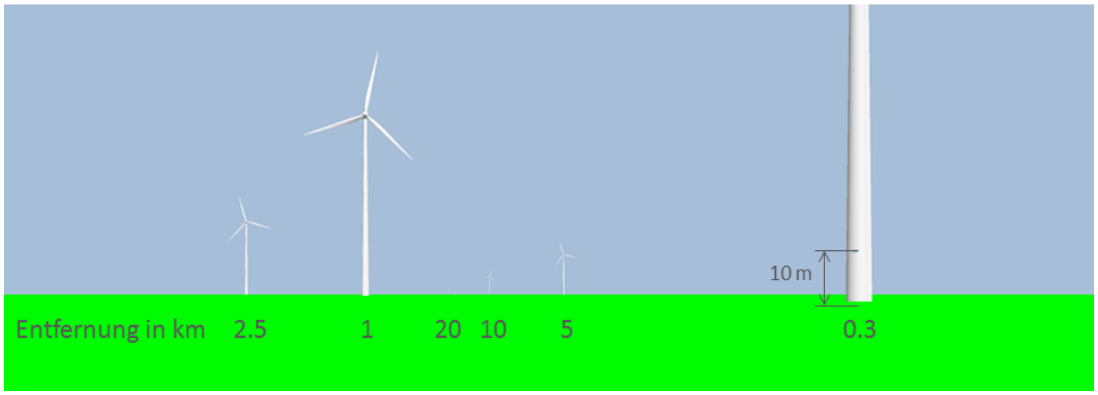


Abbildung 1: Grafische Zusammenfassung der Sichtbarkeitsanalyse. Von sichtbaren Anlagen betroffene Bewohner in den verschiedenen Distanzbereichen.

Die Sichtbarkeitsraster wurden schliesslich mit dem Raster der Bevölkerungsdichte multipliziert, um eine Bevölkerungsexposition zu berechnen.

Die distanzgewichtete Sichtbarkeitsanalyse ergab erwartungsgemäss, dass sich die am stärksten betroffenen Gebiete in unmittelbarer Umgebung der Windparks befinden.

Dies zeigt sich auch bei der Bevölkerungsexposition. Regionen, welche von vielen nahen Anlagen betroffen sind, wie etwa Fleurier im Kanton Neuenburg, erfahren eine stärkere Bevölkerungsexposition als bei der ungewichteten Variante. Zwar ist die Bevölkerungsdichte dort wesentlich geringer als in Yverdon, jedoch wirken die vielen nahe gelegenen Anlagen dominanter.

Visibilité des installations de production d'énergie éolienne

Analyses de visibilité des zones de planification de parcs éoliens (focalisé sur le canton VD)

Résumé

Le but de l'étude est de produire des analyses de visibilité du point de vue de la population concernée. Les analyses de visibilité ne sont dans la règle calculées que pour un seul parc éolien planifié. Les effets de parcs éoliens voisins ne sont souvent pas pris en compte. Dans cette étude, il a été procédé à une évaluation cumulative de la visibilité de parcs éoliens planifiés dans le Canton de Vaud et une partie du Canton de Neuchâtel, cela dans le but d'établir une vision d'ensemble des impacts potentiels sur la population. Ces analyses ont été établies sur la base des zones de planification de parcs éoliens définie dans les plans directeurs cantonaux.

Il s'agit de prendre en compte les grandes différences qui existent au niveau de l'état de planification et des chances de réalisation de chaque parc éolien. Un examen détaillé des emplacements avec les développeurs des projets n'a pas été effectué. L'emplacement exact des installations ne correspond de ce fait pas obligatoirement à l'état actuel de planification de chaque projet. Dans le cadre de cette étude, les données de base ont été jugées suffisamment pertinentes. En effet, cette étude a pour but une vision d'ensemble de l'effet cumulatif théorique des parcs éoliens sur la population et n'est pas une étude de visibilité de chaque emplacement spécifique.

L'analyse de visibilité se base sur le modèle numérique de terrain DHM25. Dans la zone de forêt, une marge de + 15 m a été introduite à l'hectare, afin de prendre en compte la visibilité réduite en milieu forestier.

Pour chaque cellule de 25 m x 25 m, la visibilité des 174 machines du périmètre d'étude a été calculée au centre de la cellule à une hauteur de 1.5 m au-dessus du sol.

La distance de l'observateur à la machine joue un rôle central. C'est pourquoi, dans un rayon de 10 km, différents domaines d'éloignements ont été définis, puis pondérés afin d'établir l'effet visuel pondéré en fonction de la distance. Cela a pour effet de prendre en compte la réduction conséquente de l'impact visuel d'une installation avec l'augmentation de la distance. La figure 1 résume les différents domaines d'éloignements, le nombre d'installations visibles selon une répartition en sept classes, ainsi que le nombre d'habitants concernés.

Au total, 524'629 personnes vivent dans le périmètre d'investigation. Alors que seul 1% (5'122 personnes) de la population voit une ou plusieurs installations dans un rayon de 1 kilomètre, ce taux à augmente 17,7% (92'881 personnes) pour un éloignement jusqu'à 5 km. Finalement, dans le rayon d'étude maximal (jusqu'à 10 km) une partie substantielle de la population est concernée par des installations visibles, soit 38,1% (200'077 personnes). L'illustration indique cependant aussi que l'impact visuel des installations diminue de manière marquante dans ce rayon.

Inhalt

1 Ausgangslage ... 8
1.1 Begriffs-Definition ... 8
2 Datengrundlagen ... 9
2.1 Untersuchungsgebiet ... 9
2.2 Topografie ... 9
2.3 Windenergie-Standorte ... 9
2.4 Bevölkerungsverteilung ... 11
3 Methodik ... 12
3.1 Analyse der Sichtbarkeit ... 12
3.1.1 Beobachter ... 12
3.1.2 Anlagentyp / sichtbare Höhe ... 12
3.1.3 Distanzbereiche ... 12
3.1.4 Sichtbarkeit in Wald und Siedlung ... 15
3.2 Bevölkerungsexposition ... 15
4 Resultate ... 16
4.1 Sichtbarkeit nach Distanzbereichen ... 16
4.1.1 Kernzone ... 17
4.1.2 Nahbereich ... 18
4.1.3 Mittelbereich ... 19
4.1.4 Fernbereich ... 20
4.2 Zusammenfassung ... 21
4.3 Distanzgewichtete Sichtbarkeit ... 22
4.4 Bevölkerungsexposition ... 24
5 Quellenangaben ... 26

Tabellen

Tabelle 1: Liste der verwendeten Anlagenstandorte (Quelle: www.pro-cretes.ch) ... 11
Tabelle 2: Übersicht der definierten Distanzbereiche und deren Gewichtung. ... 14
Tabelle 3: Von sichtbaren Anlagen in der Kernzone 0 – 1 km betroffene Bevölkerung. ... 17
Tabelle 4: Von sichtbaren Anlagen bis und mit Nahbereich 0 – 2.5 km betroffene Bevölkerung ... 18

Tabelle 5: Von sichtbaren Anlagen bis und mit Mittelbereich 0 – 5 km betroffene Bevölkerung..... 19
Tabelle 6: Von sichtbaren Anlagen bis und mit Fernbereich 0 – 10 km betroffene Bevölkerung..... 20

Abbildungen

Abbildung 1: Grafische Zusammenfassung der Sichtbarkeitsanalyse. Von sichtbaren Anlagen betroffene Bewohner in den verschiedenen Distanzbereichen..... 4
Abbildung 2: Untersuchungsgebiet mit Anlagenstandorten und Distanzbereichen..... 10
Abbildung 3: Simulation einer Vestas V90 mit Nabenhöhe 120 m bei optimalen Sichtverhältnissen (klare Sicht, wolkenlos, nachmittags) in unterschiedlicher Entfernung vom Betrachter. 13
Abbildung 4: Simulation einer Vestas V90 mit Nabenhöhe 120 m bei schlechten Sichtverhältnissen (bewölkt, Regentag, nachmittags) in unterschiedlicher Entfernung vom Betrachter..... 13
Abbildung 5: Fotomontage mit Bild der Meteotest Webcam: Blick Richtung Osten am frühen Abend, Ende Mai. Vestas V90 Anlagen mit 120 m Nabenhöhe platziert mit Entfernungen von 300 m, 1 km, 2.5 km, 8.5 km (Bantiger). 14
Abbildung 6: Anzahl sichtbarer Anlagen in der Kernzone 0 – 1 km. 17
Abbildung 7: Anzahl sichtbarer Anlagen bis und mit Nahbereich 0 – 2.5 km. 18
Abbildung 8: Anzahl sichtbarer Anlagen bis und mit Mittelbereich 0 – 5 km. 19
Abbildung 9: Anzahl sichtbarer Anlagen bis und mit Fernbereich 0 – 10 km..... 20
Abbildung 10: Grafische Zusammenfassung der Sichtbarkeitsanalyse..... 21
Abbildung 11: Distanzgewichtete Sichtbarkeit der Anlagen im Umkreis von 0 – 10 km. 23
Abbildung 12: Bevölkerungsexposition im Umkreis von 0 – 10 km um die WEA. Maximalwert = 135 (Anzahl Anlagen * Anzahl Bewohner pro 250 x 250 m Zelle)..... 24
Abbildung 13: Distanzgewichtete Bevölkerungsexposition im Umkreis von 0 – 10 km um die WEA. Maximalwert = 22.7 (Anzahl distanzgewichtete Anlagen * Anzahl Bewohner pro 250 x 250 m Zelle). 25

1 Ausgangslage

Die Stiftung Landschaftsschutz Schweiz (SL) hat Meteotest beauftragt, Sichtbarkeitsanalysen für in der Schweiz geplante Windparks zu erstellen. Grundlage für die Analysen bilden die kantonalen Richtplanungen für Windenergieprojekte.

An der Besprechung vom 4. Dezember 2012 (SL, Meteotest, BAFU) wurde der Inhalt des Projektes konkretisiert.

Sichtbarkeitsanalysen werden in der Regel nur für den geplanten Windpark berechnet. Es wird berechnet, von wo überall eine geplante Windenergieanlage (WEA) sichtbar ist. Der Effekt benachbarter Windparks wird dabei nicht berücksichtigt. Ziel dieser Studie ist es, eine kumulierte Sichtbarkeitsberechnung geplanter Windparks im Kanton Waadt und in Teilen des Kantons Neuenburg durchzuführen und so eine Gesamtsicht des potenziellen Impacts auf die Bevölkerung zu erhalten.

Die Planungsgebiete basieren auf dem Richtplan des Kantons Neuenburg vom Juni 2011 sowie auf dem Richtplan des Kantons Waadt vom Juni 2012. Am 15. Juni 2013 trat eine Anpassung von Letzterem in Kraft. Ein Vergleich der beiden Versionen ergab, dass das Gebiet "Provence Nouvelle Censière" etwas verkleinert wurde. Aus diesem Grund wurde der vorliegende Bericht nochmals überarbeitet, wobei WEA ausserhalb des neuen Gebietes eliminiert wurden.

Bisher existiert keine vergleichbare Studie für die Schweiz. Das genaue Vorgehen wurde daher in Absprache mit dem Auftraggeber erarbeitet.

1.1 Begriffs-Definition

Windenergieanlage (WEA)	einzelne Windturbine
Windpark	Gruppe nahe beieinander stehender WEA, zum selben Windenergie-Projekt gehörend
Anlagenstandort	konkreter Standort einer einzelnen WEA

2 Datengrundlagen

2.1 Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet ist in Abbildung 2 dargestellt. Der Fokus liegt auf dem Kanton Waadt, wobei die Südwestspitze des Kantons Neuenburg mit den beiden geplanten Parks Boveresse und Montagne de Buttes ebenfalls in die Analyse einbezogen wird. Die gesamte Berechnung wird für die Schweiz durchgeführt. Das grenznahe Ausland wird nicht berücksichtigt.

2.2 Topografie

Die Topografie spielt für die Berechnung der Sichtbarkeit die zentrale Rolle. Für eine Auswertung auf nationaler bis regionaler Skala eignet sich der folgende Datensatz: DHM25, digitales Höhenmodell (DHM) der Schweiz mit Maschenweite 25 m von swisstopo.

Für die Analysen könnten auch digitale Oberflächenmodelle (DOM) in Betracht gezogen werden. Diese bilden im Gegensatz zu den digitalen Höhenmodellen nicht nur die Höhe der Erdoberfläche ab, sondern berücksichtigen die effektive Oberfläche (Gebäude, Vegetation). Dazu müssen sie allerdings räumlich deutlich höher aufgelöst sein, was Analysen um Faktoren rechenintensiver macht. Für Auswertungen auf nationaler bis regionaler Skala empfiehlt sich deshalb das verwendete Höhenmodell DHM25.

Das DHM bildet nur die Terrainoberfläche ab. Wald beeinflusst die Sichtbarkeit aber wesentlich. Als Grundlage für die Identifizierung der Waldgebiete wurde der für die BAFU-Studie (Potenzialberechnungen für Wind- und Sonnenenergie (Cattin et al., 2012)) erstellte Layer "Ausschlusskriterium Wald" verwendet.

Das DHM wurde auf Waldhektaren mit einem Zuschlag für die Bestandeshöhe versehen (Annahme: 15 m). Dies entspricht einer eher konservativen Annahme. Damit wird angenommen, dass der Wald die Sicht wie eine 15 m hohe Geländeerhebung reduziert.

2.3 Windenergie-Standorte

Diverse Kantone haben bereits Planungsgebiete für Windenergieanlagen in ihren Richtplänen ausgeschieden. Der Auftraggeber schlug die Webseite www.pro-cretes.ch[1] als Informationsquelle vor. Sie enthält auf laufenden oder geplanten Projekten basierende, konkrete Anlagenstandorte einzelner Windturbinen.

[1] http://www.pro-cretes.ch/eoliennes-arc-jurassien

Anlagenstandorte, die nicht in den Planungsgebieten des Richtplans lagen, wurden verworfen. Insgesamt befinden sich 174 Anlagenstandorte im Untersuchungsgebiet (siehe Abbildung 2 sowie Tabelle 1). Das Planungsgebiet "Cronay" konnte nicht in die Analyse mit einbezogen werden, da dort keine konkreten Anlagenstandorte bekannt sind.

Es gilt zu beachten, dass Planungsstand und Realisierungschancen der einzelnen Windparks sehr unterschiedlich sind. Eine detailliertere Überprüfung der Standorte in Absprache mit den Projektentwicklern wurde nicht durchgeführt. Die genaue Anordnung der Windturbinen entspricht demnach nicht zwingend dem aktuellen Planungsstand der jeweiligen Projekte. Für den Zweck der vorliegenden Studie wurde die Datengrundlage aber als genügend gut eingestuft, denn diese Studie bezweckt eine Übersicht über den theoretischen, kumulativen Effekt von Windparks auf die Bevölkerung und ist keine standortspezifische Sichtbarkeitsstudie.

Im Untersuchungsgebiet stehen bis heute keine WEA. Es wurden deshalb keine bestehenden Anlagen in der Analyse berücksichtigt.

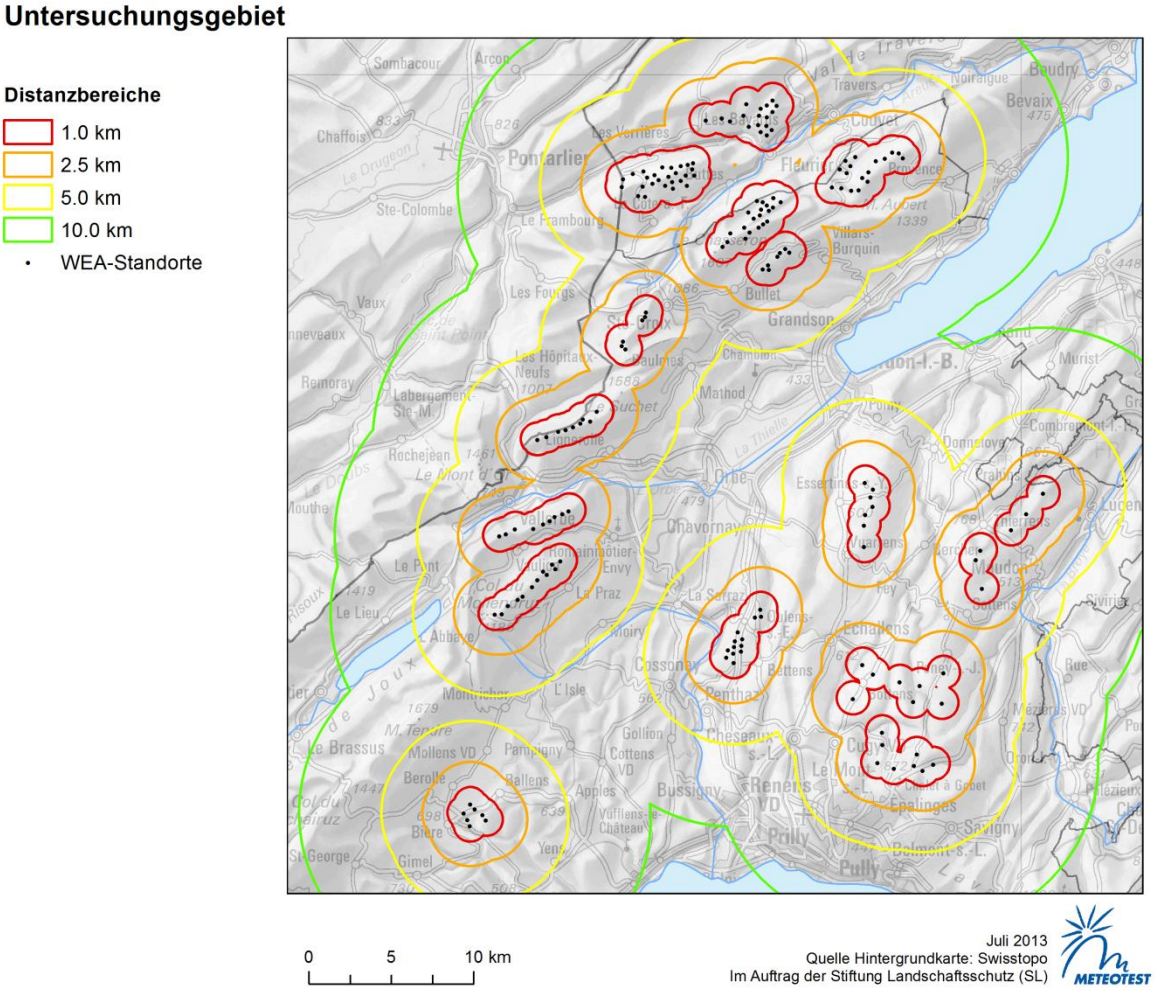


Abbildung 2: Untersuchungsgebiet mit Anlagenstandorten und Distanzbereichen.

Tabelle 1: Liste der verwendeten Anlagenstandorte (Quelle: www.pro-cretes.ch).

Ort (Kanton)	Anzahl Anlagen
Boveresse (NE)	18
Montagne de Buttes (NE)	26
Bel Coster (VD)	9
Bière (VD)	7
Bottens (VD)	3
Daillens - Oulens (VD)	13
EolJorat Sud et Nord (VD)	13
Grand Bois d'Essertines (VD)	7
Grandevent (VD)	7
La Grandsonne (VD)	21
Mollendruz (VD)	12
Provence Nouvelle Censière (VD)	17
Sainte-Croix (VD)	6
Sur Grati (VD)	9
Vaudair (VD)	6
Total	**174**

2.4 Bevölkerungsverteilung

Aus geokodierten Daten der Bevölkerungszählung des Bundesamtes für Statistik (BFS) lässt sich jeder Hektare die Anzahl Bewohner zuordnen (BFS GEOSTAT, 2012). Meteotest hat den Datensatz mit den Einwohnerzahlen 2010 aufbereitet. Etwa 0.6% der Schweizer Bevölkerung konnten vom BFS nicht geokodiert werden ("Statpop2010_noloc.csv") und wurden deshalb nicht übernommen. Die Bevölkerungssumme einer Gemeinde kann daher leicht von den tatsächlichen Verhältnissen abweichen.

Gemäss diesem Datensatz leben im Untersuchungsgebiet rund 525'000 Personen.

3 Methodik

3.1 Analyse der Sichtbarkeit

Die Sichtbarkeitsanalysen wurden mit der GIS-Software ArcGIS[2] und deren Extension "3D-Analyst" durchgeführt. Das Resultat ist ein Rasterdatensatz mit einer Auflösung von 25 m x 25 m, der pro Zelle die Anzahl der von dort aus sichtbaren Anlagen enthält.

3.1.1 Beobachter

Für jede Zelle von 25 m x 25 m wurde die Sichtbarkeit in der Mitte der Zelle auf 1.5 m über Grund beurteilt.

3.1.2 Anlagentyp / sichtbare Höhe

Die effektive Anlagenhöhe, welche für die Berechnung der Sichtbarkeit verwendet wurde, beträgt 140 m. Es wurde angenommen, dass Anlagen mit 120 m Nabenhöhe und 90 m Rotordurchmesser (z.B. Vestas V90) zum Einsatz kommen. Im Nahbereich ist die Wirkung des sich drehenden Rotors gross. Diese nimmt mit zunehmender Distanz aber deutlich ab, bis schliesslich nur noch der Turm sichtbar ist. Zudem werden die Rotorblätter gegen aussen hin immer dünner. Aus diesem Grund wurde für die effektive Höhe der Anlage die Nabenhöhe inkl. ca. ¼ des Rotordurchmessers als Annäherung verwendet, sprich 140 m. Dies führt zu einer gewissen Unterschätzung der 120 m-Anlage im Nahbereich und zu einer Überschätzung im Fernbereich. Diese Annäherung ermöglicht aber eine einfachere Interpretation der Resultate.

3.1.3 Distanzbereiche

Es wurden nur Anlagen berücksichtigt, die innerhalb vordefinierter Distanzen zum Beobachter liegen (4 Bereiche in Tabelle 2). Gemäss LUNG (2006) kann der maximale Wirkzonenradius einer Anlage mit Angabe der Anlagenhöhe 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.

[2] ArcGIS® ist ein eingetragene Warenzeichen von Esri Inc., Redlands, USA.

Für die hier verwendete Anlagenhöhe ergibt sich daraus ein Wirkzonenradius von rund 10 km. Der Einfluss im Radius > 10 km ist nur noch marginal: WEA sind nur noch unter optimalsten Sichtverhältnissen überhaupt wahrnehmbar. Dazu können die Anlagengrössen in verschiedenen Distanzen zum Beobachter in Abbildung 3 bis Abbildung 5 verglichen werden. Diese Montagen wurden mit der international anerkannten Software für Windenergieprojekte WindPro erstellt. Selbst zwischen 5 und 10 km sind die Anlagen nur noch schwer auszumachen (vergleiche hierzu die Anlage in 8.5 km Entfernung auf dem Bantiger in der exemplarischen Fotomontage in Abbildung 5). Dieser Umstand sollte bei der Interpretation der Resultate (siehe Kapitel 4) stets berücksichtigt werden. In gewissen Fällen, etwa bei nächtlicher Beleuchtung, kann dennoch eine visuelle Wirkung nicht gänzlich ausgeschlossen werden.

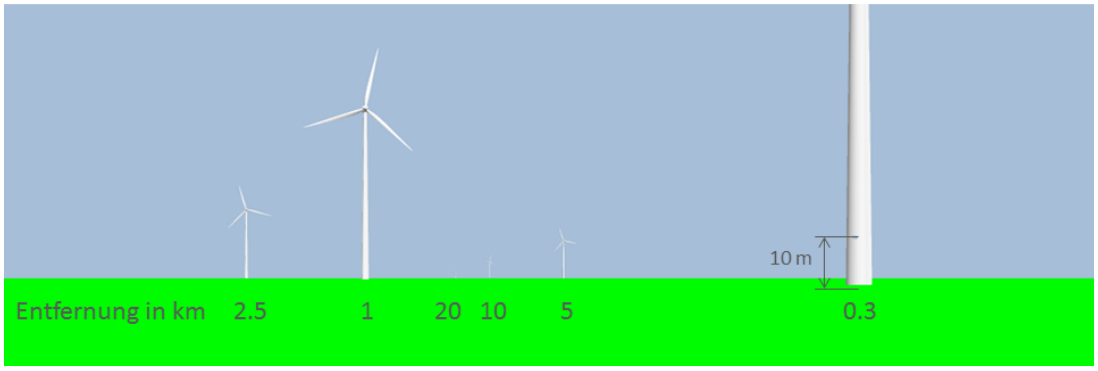


Abbildung 3: Simulation einer Vestas V90 mit Nabenhöhe 120 m bei optimalen Sichtverhältnissen (klare Sicht, wolkenlos, nachmittags) in unterschiedlicher Entfernung vom Betrachter.

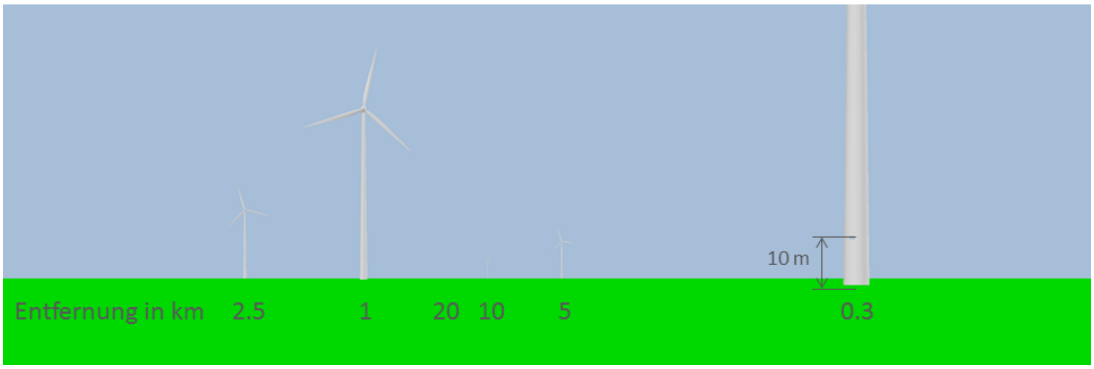


Abbildung 4: Simulation einer Vestas V90 mit Nabenhöhe 120 m bei schlechten Sichtverhältnissen (bewölkt, Regentag, nachmittags) in unterschiedlicher Entfernung vom Betrachter.

Abbildung 5: Fotomontage mit Bild der Meteotest Webcam: Blick Richtung Osten am frühen Abend, Ende Mai. Vestas V90 Anlagen mit 120 m Nabenhöhe platziert mit Entfernungen von 300 m, 1 km, 2.5 km, 8.5 km (Bantiger).

Um dem Umstand der stark abnehmenden Wirkung mit zunehmender Distanz Rechnung zu tragen, wurde die Sichtbarkeit auch distanzgewichtet berechnet. Gemäss Knies & Gräfe (2011) ist die visuelle Wirkung einer Anlage in 2.5 km Entfernung doppelt so hoch wie in 5 km Entfernung. Daraus abgeleitet ergeben sich für den Nah- und Mittelbereich Gewichte im Verhältnis von 2:1. Der Kernbereich wurde nochmals doppelt so stark gewichtet, um die visuelle Wirkung in unmittelbarer Nähe zur Anlage zu betonen. Im Fernbereich nimmt der Einfluss schliesslich überproportional ab, weshalb das Gewicht mit 0.05 sehr tief gewählt wurde (siehe Tabelle 2). Das Resultat ist in Abbildung 11 zu sehen.

Tabelle 2: Übersicht der definierten Distanzbereiche und deren Gewichtung.

Distanzbereiche	Radius [km]	Gewicht
Kernzone	0 – 1	1
Nahbereich	1 – 2.5	0.5
Mittelbereich	2.5 – 5	0.25
Fernbereich	5 – 10	0.05

3.1.4 Sichtbarkeit in Wald und Siedlung

Auf sämtlichen Waldflächen wurde die Anzahl sichtbarer Anlagen auf Null gesetzt, da die Annahme getroffen wurde, dass dem Beobachter im Wald die Sicht durch Bäume verdeckt wird. Es ist allerdings zu beachten, dass etwa an steilen Hängen, Hügelkuppen, Flühen etc. die Möglichkeit besteht, über die Baumkronen hinwegzusehen oder zwischen den Stämmen hindurch. Dies kann dazu führen, dass der Beobachter an solchen Standpunkten eine teilweise gehinderte oder ungehinderte Sicht auf eine Anlage hat. Ein ähnlicher Effekt kann in der Wintersaison in Laubwäldern auftreten.

Im Siedlungsgebiet kann die Sicht durch Gebäude behindert werden, was zu einer verminderten Exposition führt. Andererseits erhöht sich die Sichtbarkeit etwa in den oberen Stockwerken von Gebäuden. Diese Effekte konnten aufgrund ihrer Komplexität in dieser Studie nicht berücksichtigt werden.

3.2 Bevölkerungsexposition

Die Sichtbarkeitsraster werden mit dem Raster der Bevölkerungsdichte multipliziert. Dies ergibt ein Raster der Bevölkerungsexposition. Die so entstehenden numerischen Werte stellen also ein Mass für die Sichtbarkeit dar, welches mit zunehmender Bevölkerungsdichte und zunehmender Anzahl sichtbarer Anlagen grösser wird. (Einheiten: Einwohner x Anzahl Anlagen).

Zudem wurden die verschiedenen Distanzbereiche gewichtet. Daraus wurde eine distanzgewichtete Bevölkerungsexposition errechnet (siehe Kapitel 4.3).

4 Resultate

4.1 Sichtbarkeit nach Distanzbereichen

Nachfolgend werden die Resultate der Sichtbarkeitsanalyse in Karten und Tabellen, gegliedert nach den definierten Distanzbereichen, dargestellt. Es handelt sich jeweils um kumulative Resultate: Das heisst, das Resultat der Zone "Mittelbereich" beinhaltet sowohl Anlagen, welche 5 km entfernt sind, jedoch auch solche, welche in 0 m Distanz zum Beobachter stehen. Ein Vergleich zwischen Abbildung 8 (0 – 5 km) und Abbildung 9 (0 – 10 km) zeigt etwa, dass der Grossraum Yverdon zwar von bis zu 20 sichtbaren Anlagen betroffen ist. Diese sind allerdings alle zwischen 5 und 10 km entfernt. Auch Abbildung 10 zeigt zusammenfassend, dass erst ab 5 km Distanz ein substanzieller Teil der Bevölkerung von sichtbaren Anlagen betroffen ist.

Die Farben der Klassen lassen keine Rückschlüsse auf eine Wertung zu: Es ist nicht definiert, wie viele sichtbare Anlagen als nicht störend gelten und ab wann Anlagen als störend empfunden werden. Die Klasseneinteilung und damit auch die Einfärbung der Klassen basiert auf rein darstellerischen Gesichtspunkten zur verbesserten Differenzierung der einzelnen Klassen.[3]

Es sollte stets beachtet werden, dass das Resultat der Sichtbarkeitsanalyse von der genauen Position der Anlagen abhängt. Dies ist im Besonderen in der Kernzone (0 – 1 km) der Fall. Die konkreten Standorte sind aber in vielen Fällen noch nicht bekannt. Es handelt sich bei allen Anlagen um noch nicht realisierte Projekte in verschiedenen Planungsphasen und mit unterschiedlichen Realisierungschancen.

[3] "Rot" steht nicht für störend, während "grün" seinerseits nicht für nicht störend steht.

4.1.1 Kernzone

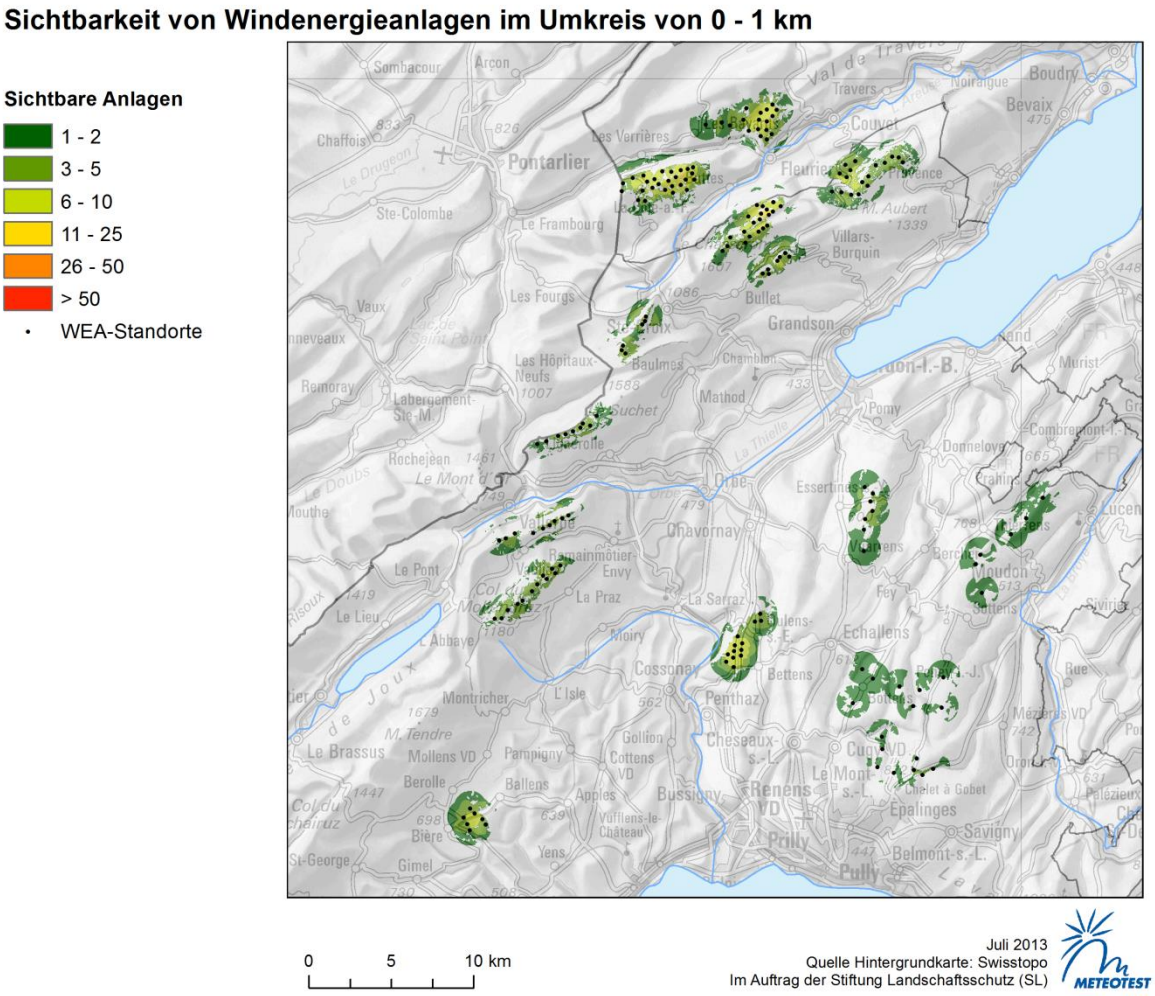


Abbildung 6: Anzahl sichtbarer Anlagen in der Kernzone 0 – 1 km.

Tabelle 3: Von sichtbaren Anlagen in der Kernzone 0 – 1 km betroffene Bevölkerung.

Anzahl Anlagen	Anzahl Bewohner	Anteil
keine	519'507	99.0%
1 – 2	4'598	0.9%
3 – 5	481	0.1%
6 – 10	43	0.0%
11 – 25	-	0.0%
26 – 50	-	0.0%
> 50	-	0.0%
Total Bevölkerung	524'629	100.0%
Total Betroffene	5'122	1.0%

4.1.2 Nahbereich

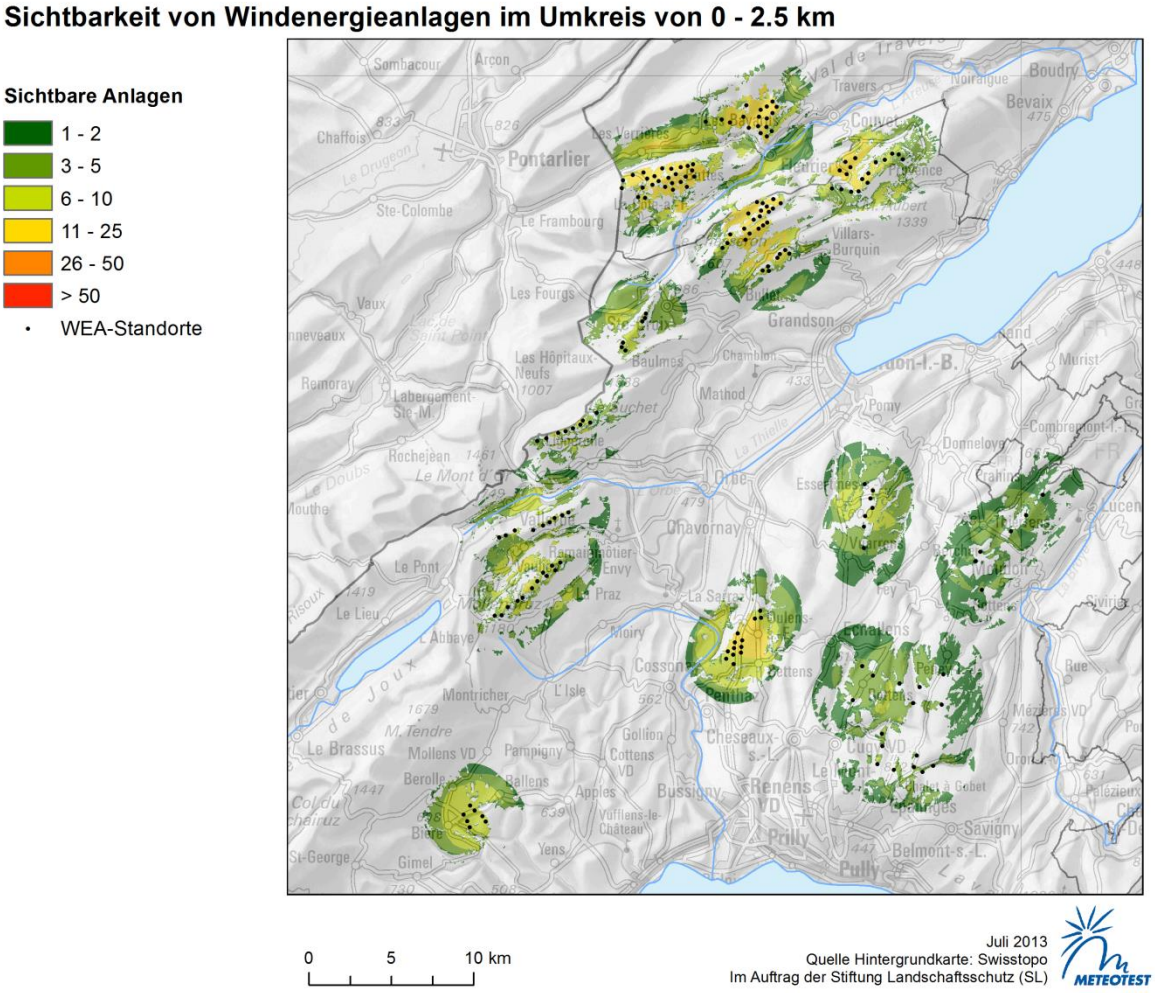


Abbildung 7: Anzahl sichtbarer Anlagen bis und mit Nahbereich 0 – 2.5 km.

Tabelle 4: Von sichtbaren Anlagen bis und mit Nahbereich 0 – 2.5 km betroffene Bevölkerung.

Anzahl Anlagen	Anzahl Bewohner	Anteil
keine	480'147	91.5%
1 – 2	17'747	3.4%
3 – 5	18'030	3.4%
6 – 10	7'990	1.5%
11 – 25	714	0.1%
26 – 50	-	0.0%
> 50	-	0.0%
Total Bevölkerung	524'629	100.0%
Total Betroffene	44'482	8.5%

4.1.3 Mittelbereich

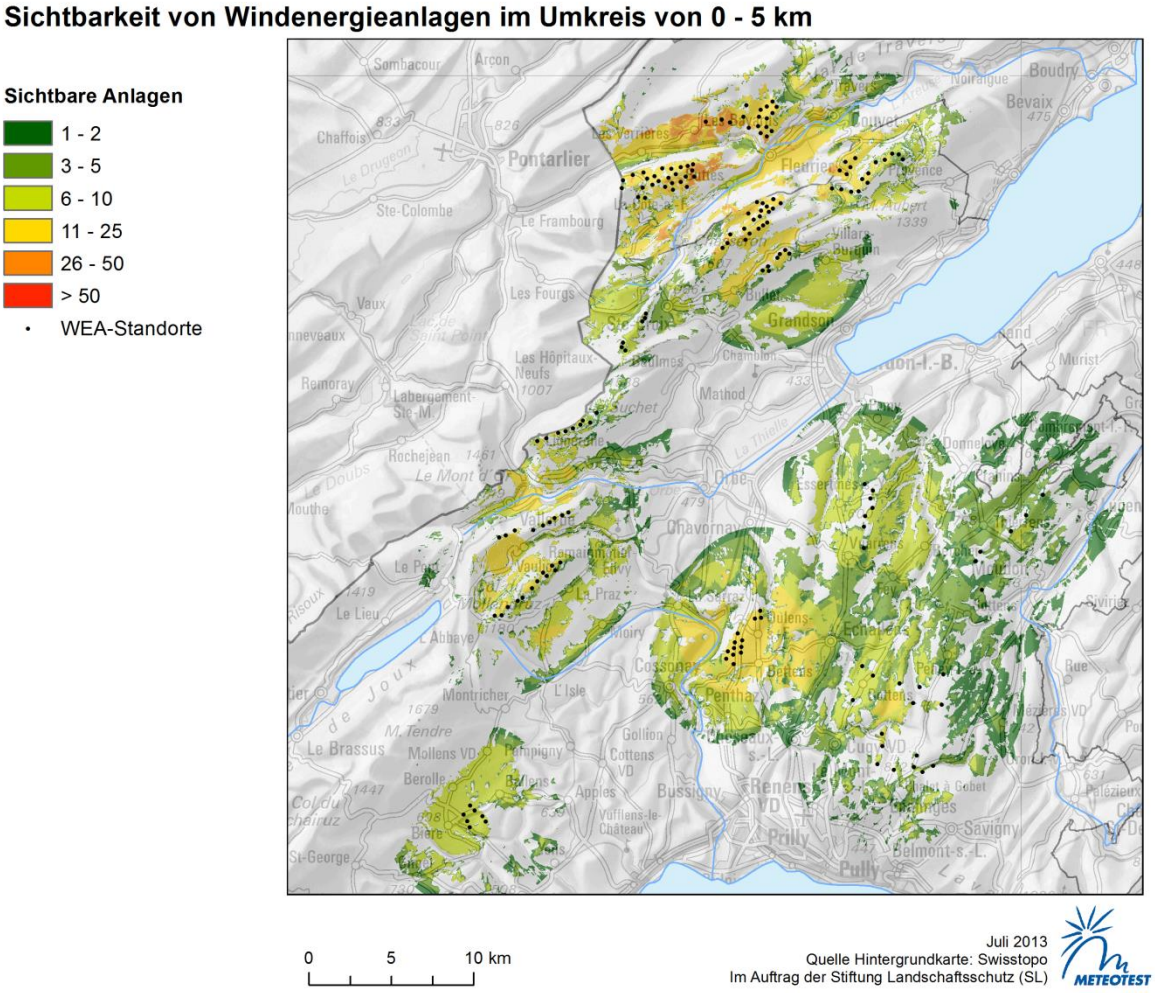


Abbildung 8: Anzahl sichtbarer Anlagen bis und mit Mittelbereich 0 – 5 km.

Tabelle 5: Von sichtbaren Anlagen bis und mit Mittelbereich 0 – 5 km betroffene Bevölkerung.

Anzahl Anlagen	Anzahl Bewohner	Anteil
keine	431'748	82.3%
1 – 2	20'026	3.8%
3 – 5	24'896	4.7%
6 – 10	34'816	6.6%
11 – 25	12'854	2.5%
26 – 50	290	0.1%
> 50	-	0.0%
Total Bevölkerung	524'629	100.0%
Total Betroffene	92'881	17.7%

4.1.4 Fernbereich

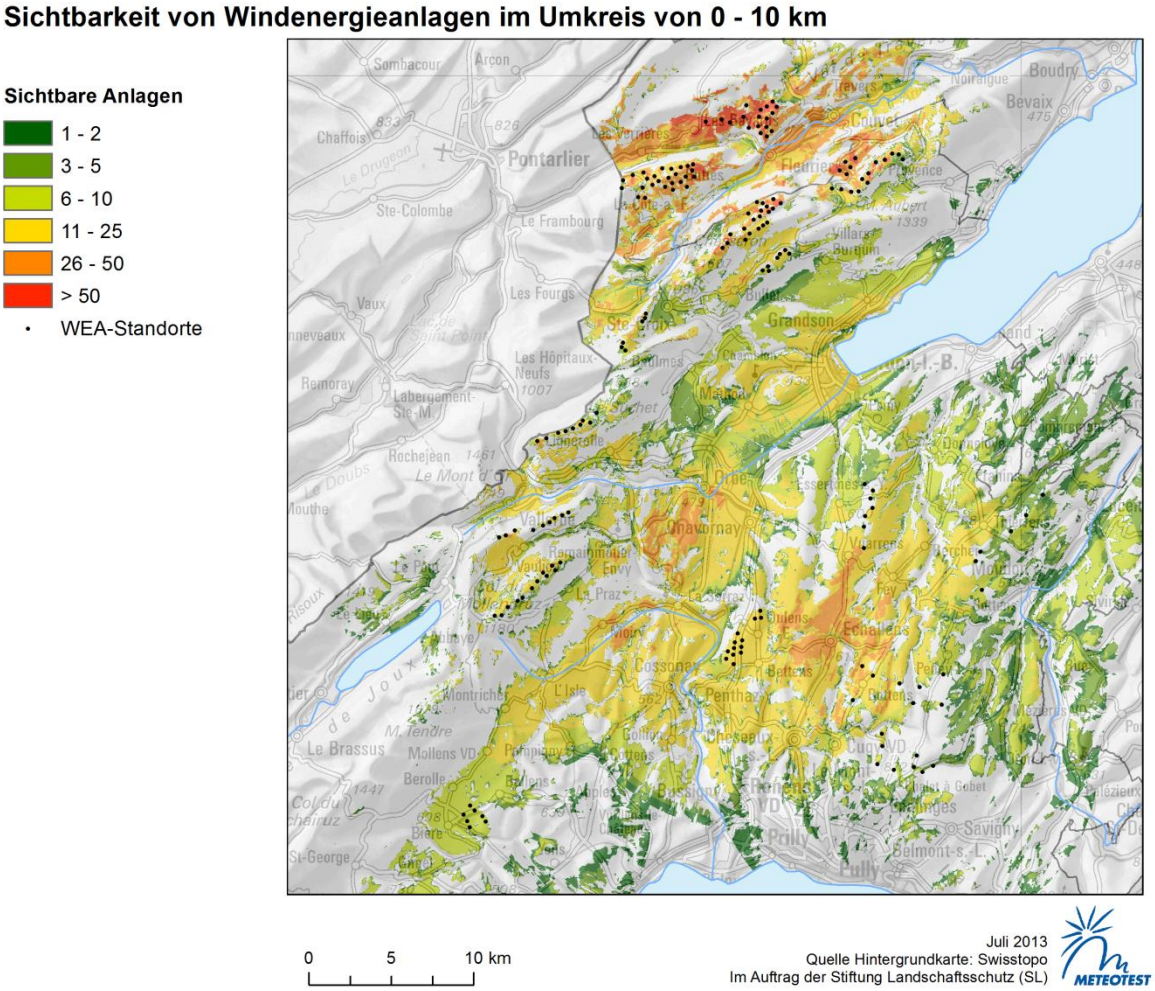


Abbildung 9: Anzahl sichtbarer Anlagen bis und mit Fernbereich 0 – 10 km.

Tabelle 6: Von sichtbaren Anlagen bis und mit Fernbereich 0 – 10 km betroffene Bevölkerung.

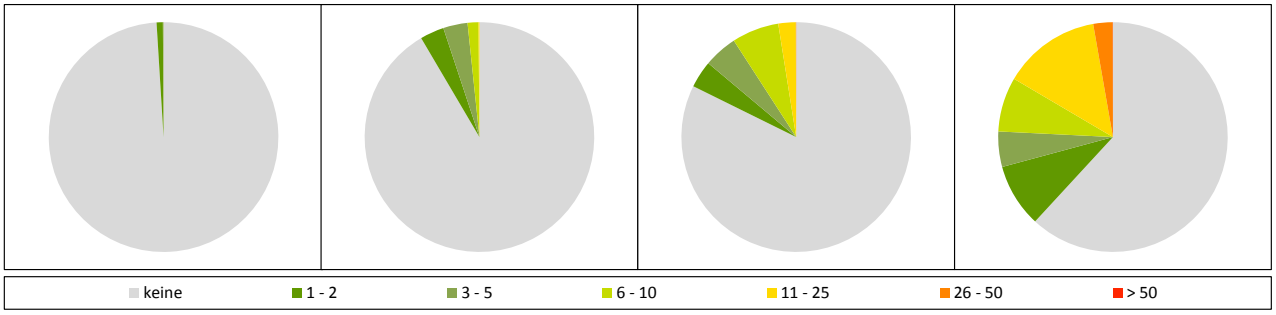
Anzahl Anlagen	Anzahl Bewohner	Anteil
keine	324'552	61.9%
1 – 2	46'911	8.9%
3 – 5	26'089	5.0%
6 – 10	40'307	7.7%
11 – 25	72'290	13.8%
26 – 50	14'314	2.7%
> 50	166	0.0%
Total Bevölkerung	524'629	100.0%
Total Betroffene	200'077	38.1%

4.2 Zusammenfassung

Zusammenfassend zeigt Abbildung 10 die verschiedenen Distanzbereiche, die Anzahl sichtbarer Anlagen in sieben verschiedenen Klassen sowie die Anzahl davon betroffener Bewohner.

Insgesamt leben 524'629 Personen im Untersuchungsgebiet. Während lediglich 1% (5'122 Personen) der Bevölkerung Anlagen innerhalb eines Kilometers sieht, steigt dieser Wert bis zum Distanzbereich von 5 km auf 17.7% (92'881 Personen). Im äussersten untersuchten Radius (bis 10 km) ist schliesslich ein substanzieller Teil der Bevölkerung von sichtbaren Anlagen betroffen, nämlich 38.1% (200'077 Personen). Die Abbildung illustriert allerdings, dass gleichzeitig die visuelle Wirkung der Anlagen in diesem Radius markant abnimmt.

Kernzone 0 - 1 km			Nahbereich 0 - 2.5 km			Mittelbereich 0 - 5 km			Fernbereich 0 - 10 km		
Anzahl Anlagen	Bewohner	Anteil	Anzahl Anlagen	Bewohner	Anteil	Anzahl Anlagen	Bewohner	Anteil	Anzahl Anlagen	Bewohner	Anteil
keine	519'507	99.0%	keine	480'147	91.5%	keine	431'748	82.3%	keine	324'552	61.9%
1 - 2	4'598	0.9%	1 - 2	17'747	3.4%	1 - 2	20'026	3.8%	1 - 2	46'911	8.9%
3 - 5	481	0.1%	3 - 5	18'030	3.4%	3 - 5	24'896	4.7%	3 - 5	26'089	5.0%
6 - 10	43	0.0%	6 - 10	7'990	1.5%	6 - 10	34'816	6.6%	6 - 10	40'307	7.7%
11 - 25	-	0.0%	11 - 25	714	0.1%	11 - 25	12'854	2.5%	11 - 25	72'290	13.8%
26 - 50	-	0.0%	26 - 50	-	0.0%	26 - 50	290	0.1%	26 - 50	14'314	2.7%
> 50	-	0.0%	> 50	-	0.0%	> 50	-	0.0%	> 50	166	0.0%
Total Bevölkerung	524'629	100.0%	Total Bevölkerung	524'629	100.0%	Total Bevölkerung	524'629	100.0%	Total Bevölkerung	524'629	100.0%
Total Betroffene	5'122	1.0%	Total Betroffene	44'482	8.5%	Total Betroffene	92'881	17.7%	Total Betroffene	200'077	38.1%



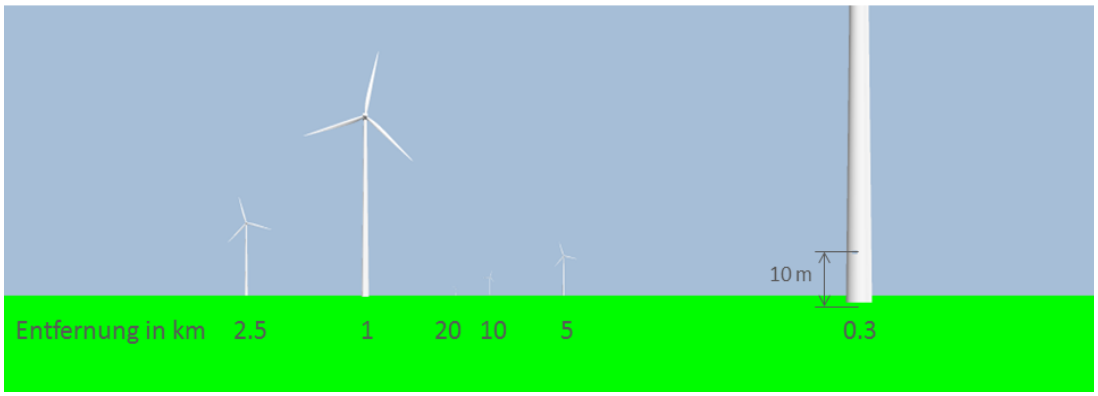


Abbildung 10: Grafische Zusammenfassung der Sichtbarkeitsanalyse.

4.3 Distanzgewichtete Sichtbarkeit

Wie in Kapitel 3.1.3 ausgeführt, ist die Wirkung einer Anlage im Nahbereich eine grundlegend andere als im Fernbereich. Deshalb wurde die Anzahl Anlagen in einem weiteren Schritt mit den Gewichten der einzelnen Distanzbereiche multipliziert und in Abbildung 11 dargestellt. Diese zeigt damit nicht die effektive Anzahl Anlagen, sondern gibt ein Mass für die Sichtbarkeit wieder – unter Berücksichtigung der in Tabelle 2 definierten Gewichtung. Rote Bereiche beispielsweise deuten auf eine im Vergleich zu den grünen Bereichen übermässige Sichtbarkeit hin.

Ein Interpretationsbeispiel: Der Beobachter sieht in seiner unmittelbaren Nähe, sprich im Radius 0–1 km, 10 Anlagen. Würden all diese Anlagen nun aber in einer Entfernung von 1–2.5 km stehen, hätten sie nur noch die äquivalente Wirkung von 5 sichtbaren Anlangen in unmittelbarer Nähe (10 sichtbare Anlagen x Gewicht 0.5 = 5 distanzgewichtete Anlagen). In einer Entfernung von 2.5–5 km hätten diese Anlagen nur noch eine Wirkung von 2.5 Anlagen in unmittelbarer Nähe. In 5–10 km Entfernung entspräche die Wirkung der 10 Anlagen nur noch 5% der Anlagen im nahen Umfeld des Beobachters.

In **Fleurier** beispielsweise beträgt die distanzgewichtete Sichtbarkeit 6.35. Dieser Wert ergibt sich aus: 0 sichtbare Anlagen in der Kernzone * 1 + 4 Anlagen im Nahbereich * 0.5 + 16 Anlagen im Mittelbereich * 0.25 + 7 Anlagen im Fernbereich * 0.05 = **6.35 sichtbare gewichtete Anlagen**.

Abbildung 11 zeigt erwartungsgemäss, dass sich die am stärksten betroffenen Gebiete in unmittelbarer Umgebung der Windparks befinden. Es ist zu berücksichtigen, dass dieses Resultat stark von der definierten Gewichtung abhängt.

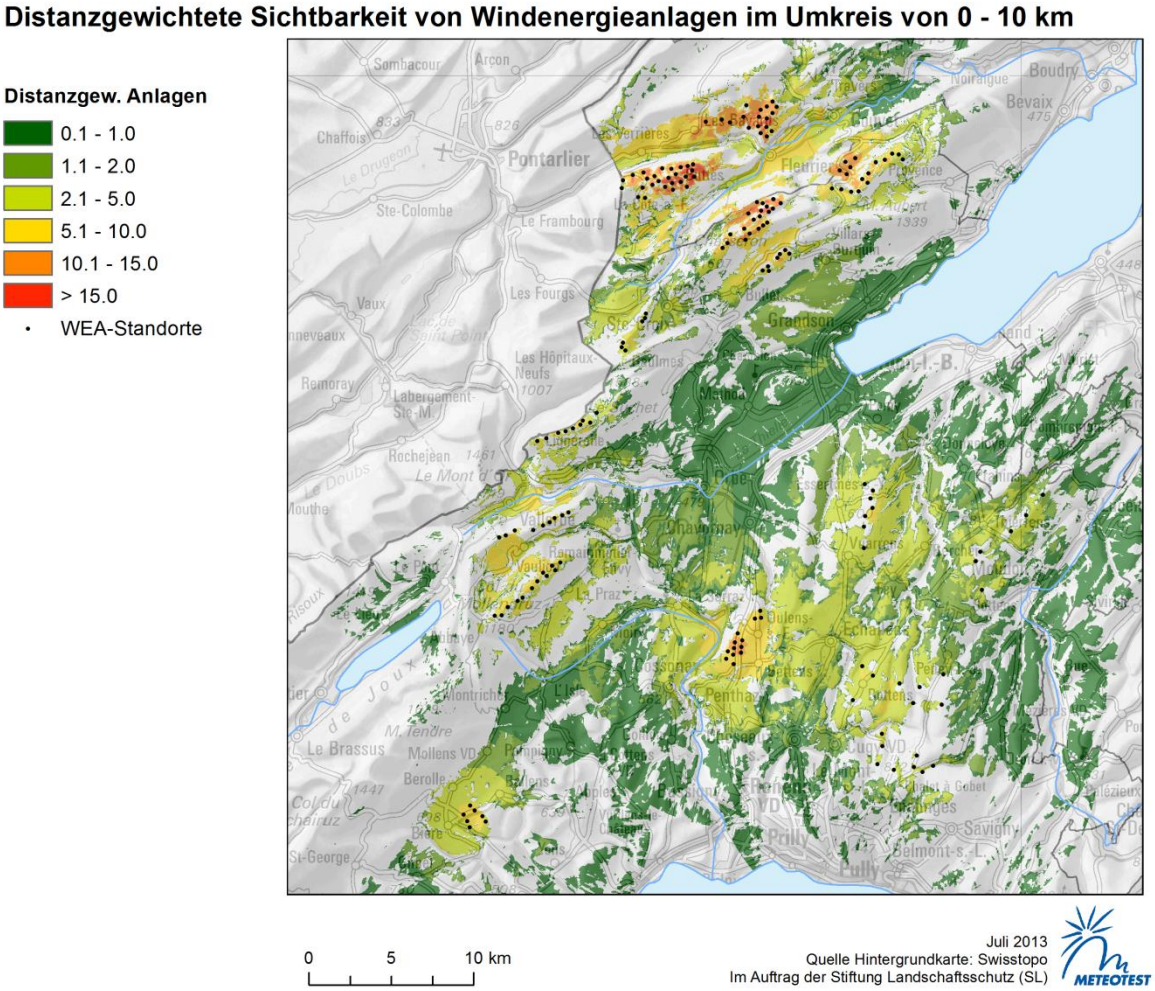


Abbildung 11: Distanzgewichtete Sichtbarkeit der Anlagen im Umkreis von 0 – 10 km.

4.4 Bevölkerungsexposition

Um das Resultat im Kartenbild besser darstellen zu können, wurde die Bevölkerungsexposition von 25 m auf 250 m aggregiert (durch Berechnung des Mittelwertes pro 250-m-Zelle). Abbildung 12 und Abbildung 13 zeigen in Farbe die unterschiedliche Stärke der Bevölkerungsexposition (Anzahl sichtbarer Anlagen multipliziert mit der Anzahl Bewohner). Die absoluten Werte der beiden Abbildungen sind nicht direkt vergleichbar, da sich bei der distanzgewichteten Variante aufgrund des abnehmenden Gewichts die Anzahl Anlagen stark reduziert.

Distanzgewichtet ergibt sich eine reduzierte Exposition von Yverdon aufgrund hauptsächlich weit entfernter Anlagen. Regionen, welche von vielen nahen Anlagen betroffen sind, wie etwa Fleurier im Kanton Neuenburg, erfahren eine stärkere Bevölkerungsexposition als bei der ungewichteten Variante. Zwar ist die Bevölkerungsdichte dort wesentlich geringer als in Yverdon, jedoch wirken die vielen nahe gelegenen Anlagen dominanter.

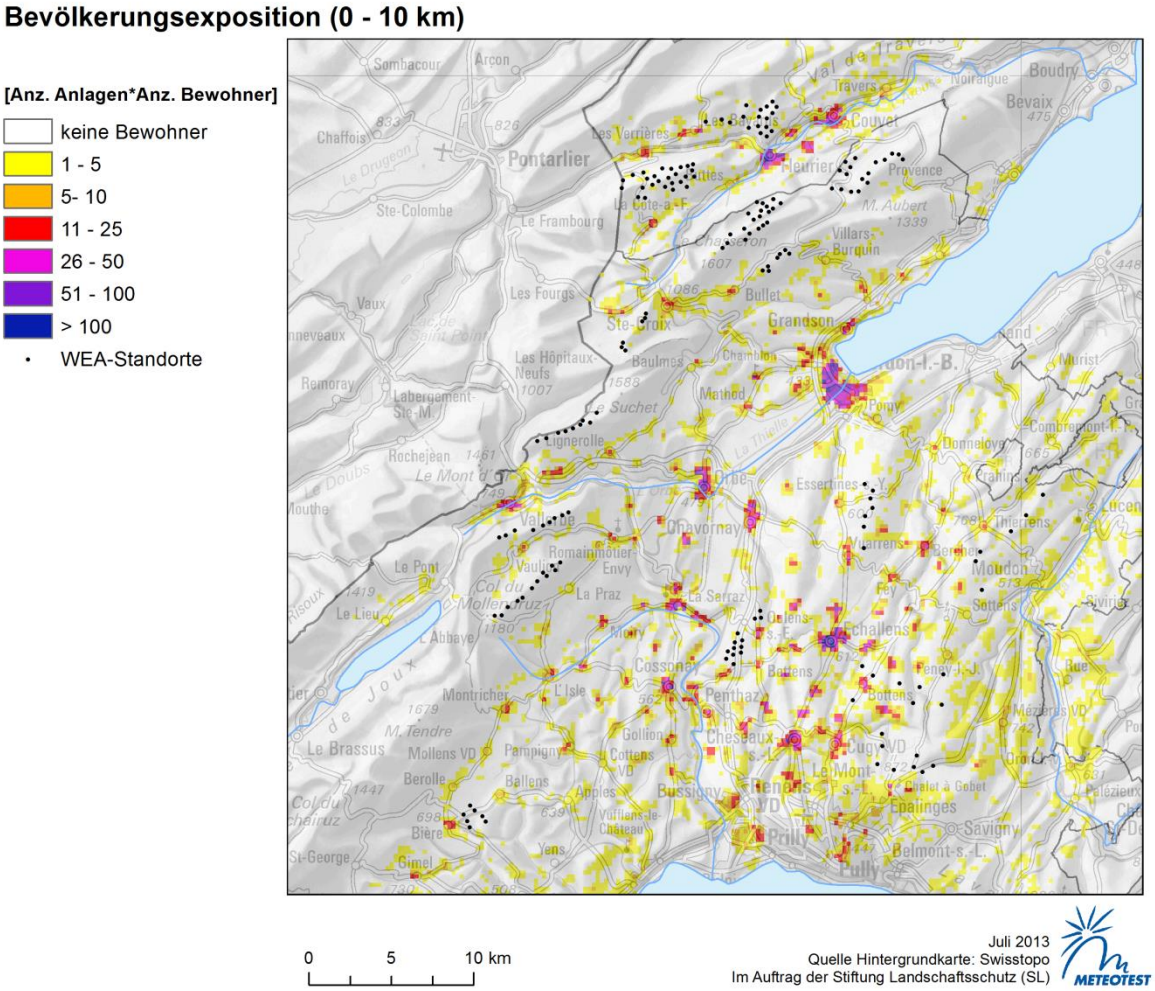


Abbildung 12: Bevölkerungsexposition im Umkreis von 0 – 10 km um die WEA. Maximalwert = 135 (Anzahl Anlagen * Anzahl Bewohner pro 250 x 250 m Zelle).

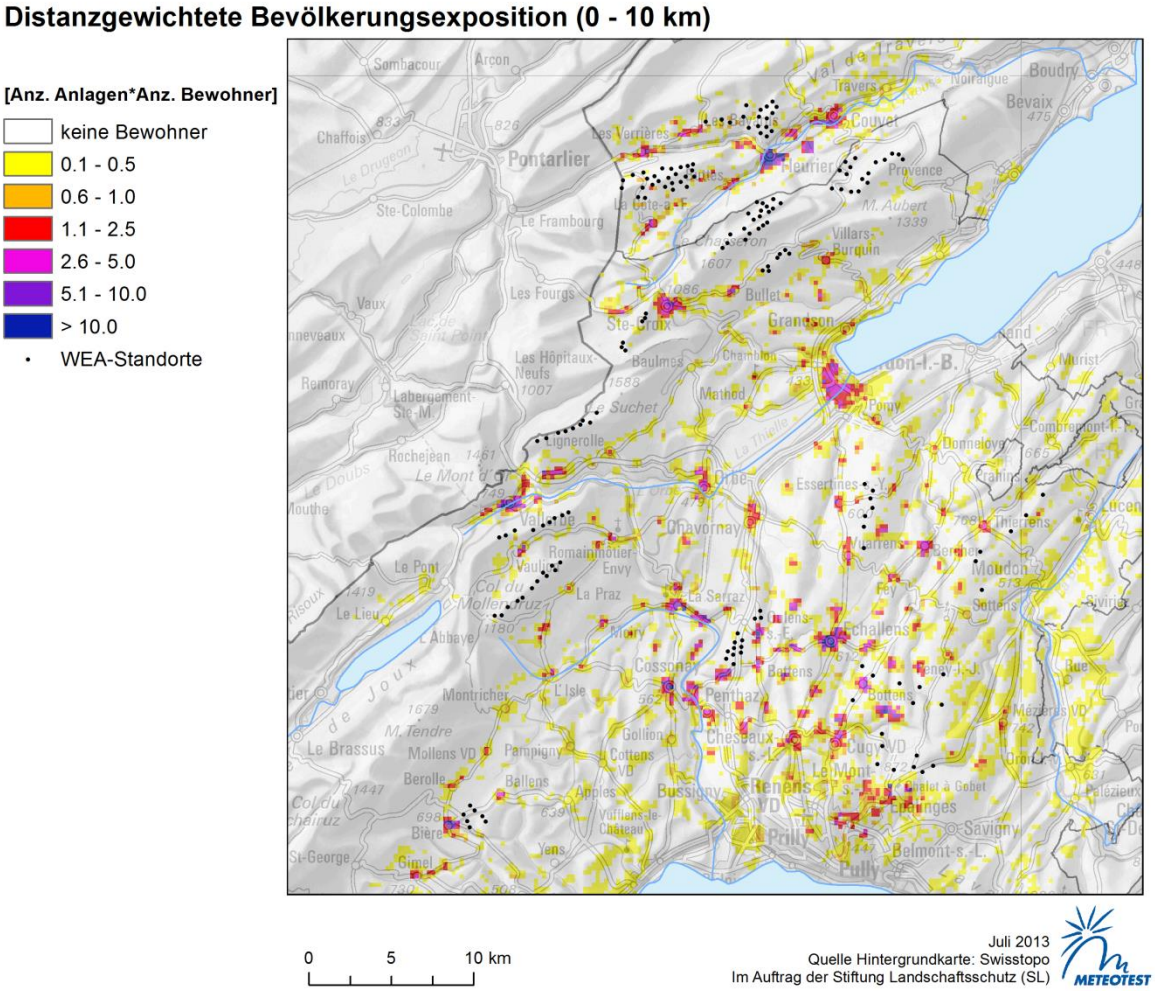


Abbildung 13: Distanzgewichtete Bevölkerungsexposition im Umkreis von 0 – 10 km um die WEA. Maximalwert = 22.7 (Anzahl distanzgewichtete Anlagen * Anzahl Bewohner pro 250 x 250 m Zelle).

5 Quellenangaben

BFS GEOSTAT, 2007: Arealstatistik nach Nomenklatur 1992. GEOSTAT-Datenbeschreibung, BFS GEOSTAT.

BFS GEOSTAT, 2012: Statistik der Bevölkerung und der Haushalte (STATPOP) 2010, BFS GEOSTAT.

Cattin, R., Schaffner, B., Humar-Mägli, T., Albrecht, S., Remund, J., Klauser, D., Engel, J., 2012: Energiestrategie 2050 – Berechnung der Energiepotenziale für Wind- und Sonnenenergie. Meteotest im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU), Abt. Arten, Ökosysteme, Landschaften, Bern.

DHM25: Digitales Höhenmodell mit 25 m horizontaler Auflösung. Bundesamt für Landestopografie, Swisstopo.

http://www.pro-cretes.ch/eoliennes-arc-jurassien. Cartes des projets (rouge) et des réalisations (bleu) des sites éoliens en Suisse. Stand: April 2013.

Knies, J. & Gräfe, A., 2011: Visuelle Wirkungsanalyse von Windenergieanlagen im Repowering – Kontext. Ein Werkzeug für die Regionalplanung.

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