

Aufgabenstellung:

Windkraftanlagen sollen virtuell in ein Foto eingebettet werden, so dass diese in Position und Größe realistisch dargestellt werden. Gegeben sind als Planungsgrößen sowohl die exakten Koordinaten (Längen- und Breitengrade) der Windkraftanlagen als auch die geplante Höhe dieser Anlagen. Für die Erstellung und anschließende Bearbeitung eines dazu aufgenommenen Fotos wird die folgende näher beschriebene Methodik angewandt. Es werden neben den zu berücksichtigenden Voraussetzungen bei der Fotoaufnahme ebenfalls das Berechnungsmodell zur Bestimmung von Lage und Größe des Windrades auf dem erstellten Foto prinzipiell beschrieben.

Als ersten betrachten wir die vertikale Positionierung der Windkraftanlage auf dem Foto:

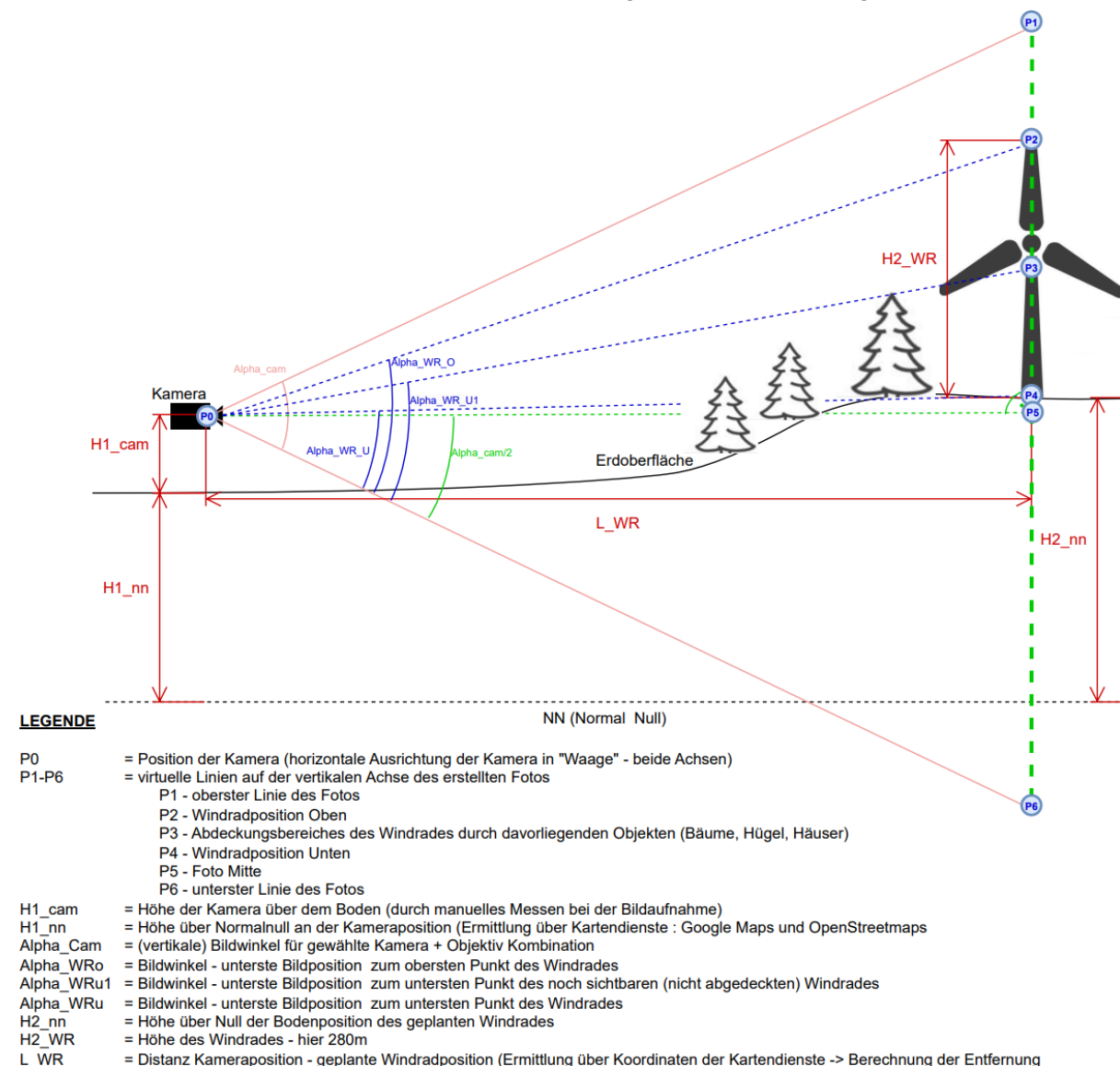


Abbildung 1

Die Kameraposition (P0) ist bei der Aufnahme in dem Gelände exakt zu ermitteln. Die Längen- und Breitengrade werden via GPS gemessen, zusätzlich erfolgt eine Prüfung der Position anhand von Kartendiensten. Dort lässt sich auch die Höhe über Null (H1_nn) der Kameraposition ermitteln. Zur Verifizierung werden unterschiedliche Kartendienste (Google

Maps und Openstreetmap) verwendet. Weiterhin wird die Kamera auf ein Stativ so montiert und niveliert, dass die Kamera exakt horizontal ausgerichtet ist. Der Abstand der Kamera zum Boden wird ebenfalls ermittelt ($H1_{cam}$).

Nun wird von dieser ausgerichteten und vermessenen Position ein Foto in Richtung der geplanten Windräder aufgenommen. Aus der Kamera- und Objektivkombination (Sensorgröße und Objektiv-Brennweite) wird der vertikale Bildwinkel der Fotoaufnahme ermittelt (α_{cam}), ebenso die Bildmitte bei $\alpha_{cam}/2$.

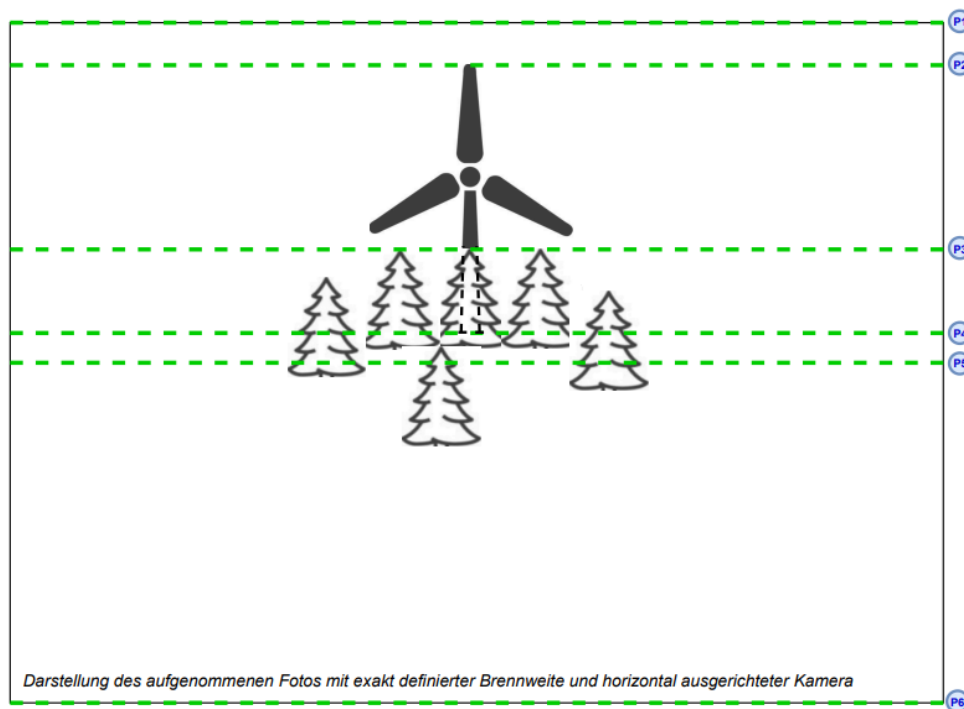


Abbildung 2: Hilfslinien für die vertikale Positionierung des Windrades auf dem Foto

Es folgt nun die Berechnung, wo und wie groß das Windrad auf dem Foto dargestellt wird (hier erst einmal nur die Ermittlung der vertikalen Position auf dem Foto). Dazu müssen die vertikale Position $P2$ und die Windradhöhe $P4 \rightarrow P2$ für das Foto errechnet werden. Auch wenn das Windrad nicht komplett dargestellt wird, da es wie in Abbildung 2 ggf. im Fußbereich von Bäumen (oder anderen Objekten) teilweise verdeckt ist, reichen diese 2 Angaben aus, das Windrad in das Foto einzubetten. Zumindest dann, wenn das Foto von einem tieferen Punkt als die zu errichtenden Windräder aufgenommen wird und dadurch eine klare Abgrenzung Wald - Himmel vorhanden ist. Das heißt, das Windrad ist auf dem Foto im Bereich des Himmels ab der Höhe $P2$ einzusetzen und im Bereich der Baumgrenze $P3$ zu beschneiden, da es dort dann durch die Bäume verdeckt wird und der Fuß des Windrades nicht mehr sichtbar ist. Die unterste Position des Windrades ist jedoch trotzdem (ob mit oder ohne Überdeckung) immer zu ermitteln, um eine exakte Skalierung des Windrades bzw. des sichtbaren Teils des Windrades zu ermöglichen.

Wie werden nun die Hilfslinien $P1$ bis $P6$ berechnet? $P1$ ist die oberste Linie des Bildes, $P6$ die unterste. Das digital aufgenommene Foto hat eine entsprechende Anzahl an Bildpunkten, die als gleichmäßige Matrix angeordnet sind. $P1$ entspricht der ersten Pixelzeile

und P6 der untersten vertikalen Pixelzeile. Die max. Anzahl der Pixel ist durch die Kamera und der gewählten Auflösung definiert und bekannt.

Die Position P4 ist durch einfache Trigonometrie berechenbar (siehe Abbildung 1). P0, P5 und P4 sind die 3 Punkte eines rechtwinkligen Dreiecks, die Entfernung P0→P5 (L_{WR}) läßt sich über Kartendienste leicht ermitteln. Die Strecke P4→P5 werden über die Höhendaten der Kartendienste sowie unter Berücksichtigung des Kameraabstandes vom Boden berechnet ($P4 \rightarrow P5 = H2_{nn} - H1_{nn} - H1_{cam}$). Mit diesen Daten läßt sich der Winkel α_{WR_u} als unterste Windradposition berechnen.

Analog wird die obere Windradposition P2 ermittelt. Hier ist für die Strecke P2→P5 noch die Höhe des Windrades (im Vergleich zur Länge P4→P5) zu addieren. Mit diesen Daten wird der Winkel α_{WR_o} berechnet.

Aus den ermittelten Winkeln α_{WR_u} und α_{WR_o} und des gegebenen vertikalen Bildwinkels α_{cam} lassen sich die exakte Pixelzeile auf dem Foto für die virtuelle Windradposition für Kopf und Fuß berechnen. Damit ist dann auch die Windradhöhe (P2→P4) in Pixeln bekannt.

Mittels Bildverarbeitungssoftware (z.B. Gimp/Photoshop) kann ein Windradmodell auf diese Anzahl an Pixeln skaliert werden und an der Position P2 auf dem erstellten Foto eingefügt werden (hier am Besten einen separaten Layer verwenden). Der Bereich P4→P5, an dem das Windrad durch Bäume oder andere Objekte verdeckt wird, muss manuell angepasst werden, d.h. hier wird das Windrad sauber beschnitten bzw. ausradiert.

Horizontale Positionsermittlung:

Noch kurz zur horizontalen Positionsermittlung des Windrades auf dem Foto: Bei Aufnahme des Fotos mit der ausgerichteten Kamera wird gleichzeitig auch die Aufnahmerichtung (mittels Kompass) exakt eingemessen. Durch Kenntnis der Kamera- und Objektivkombination ist der horizontale Bildwinkel des Fotos ebenso bekannt. Somit läßt sich auch in dieser Orientierung sehr leicht die exakte horizontale Position des Windrades auf dem Foto (in Pixel) berechnen, analog zur vertikalen Berechnung.

Abschließend noch eine kurze Fehlerbetrachtung:

Bei der Berechnung wurde die Erdkrümmung nicht berücksichtigt. Die Abdeckung durch Erdkrümmung beträgt auf einen Kilometer ca. 0,08m, d.h. bei einer Windradgröße von 280m kann dies vernachlässigt werden.

Weiterhin könnte es bzgl. der Kameraausrichtung trotz Ausrichtung zu leichten Ungenauigkeiten kommen. Für eine Validierung der Ausrichtung werden deshalb definierte und bekannte Punkte (z.B. Kirchturm) auf dem Foto genutzt. Die Entfernung dieser Punkte zur Kamera läßt sich ebenfalls über die Kartendienste ermitteln und die xy-Position auf dem Bild nachrechnen. Stimmen diese mit der tatsächlichen Position des Bildes überein, sind die Voraussetzungen bzgl. der Ausrichtung geprüft und erfüllt.

Müssen mehrere Windräder nach dieser Methodik in ein Bild eingefügt werden, sind als erstes die Windräder einzufügen, die am weitesten entfernt sind. Dadurch wird auch die Überdeckung eines Windrades durch ein anderes korrekt dargestellt.