

Kompensationsflächenberechnung für Freileitungen

Johannes Weigel, Hannover, 11/2007

Zur Ermittlung des Kompensationsflächenbedarfs für den Bau von Freileitungen (bzw. generell für Landschaftseingriffe mit mastenartigen Bauwerken) wurde auf Grundlage der derzeit maßgeblichen Methodik nach PAUL et al. 2004 von der Firma ECOGIS die Software „Visibility Analyst“ weiterentwickelt und optimiert, so dass nun ein automatisiertes Verfahren vorliegt, mit welchem eine präzise und robuste Berechnung der zu schaffenden Kompensationsflächen möglich ist.

Modifizierte Methodik nach PAUL et al. 2004

Für die Landschaftsbildbewertung nach PAUL et al. 2004 wird die Gesamtbelastung des Landschaftsbildes für jeden Quadratmeter belasteter Fläche quantifiziert und aufsummiert. In Bezug auf die Berücksichtigung der einzelnen Faktoren ist die Methodik sehr umfassend, war jedoch in ihrer Detailschärfe angesichts der heutigen Möglichkeiten GIS-basierter Auswertung zu optimieren.

Folgende Multiplikatoren gehen in die Landschaftsbildbewertung ein:

- w: **Wahrnehmungskoeffizient:** Die Eindrucksstärke eines Objektes in Abhängigkeit der Entfernung des Betrachters
- i: **Identifikationsfaktor Sichtbarkeit:** Die tatsächliche Sichtbarkeit der Objekte in Abhängigkeit von deren Sichtverschattung (Identifikationsfaktor partielle Sichtbarkeit i_P) und der Bewertung der Sichtbarkeit mehrerer Objekte (Identifikationsfaktor Mehrfach-sichtbarkeiten i_M)
- k: **Kompensationsflächenfaktor** (wird mit 0,1 angenommen)
- e: **Erheblichkeitsfaktor** (Erheblichkeit des Eingriffs in Abhängigkeit der Bewertung des Landschaftsbildes; wird im Nachhinein mit der „reinen“ Landschaftsbildbelastung verschnitten)

Die Faktoren werden für jeden Quadratmeter des Untersuchungsraumes ermittelt. Die Gesamtsumme ergibt die Höhe der zu schaffenden Kompensationsfläche. Der Faktor k ist dabei ein von Naturschutzbehörden bzw. Landschaftsplanungsbüros festzulegender Multiplikator, ebenso wie der Faktor e, der den ästhetischen Wert eines vorhandenen Raums in die Berechnung einbezieht. Beide Faktoren werden zweckmäßigerweise getrennt von der „reinen“ Sichtbarkeitsanalyse betrachtet und können anschließend mit den flächenhaften Ergebnissen verschnitten werden. Diese Vorgehensweise ist aus zwei Gründen sinnvoll:

1. Die Ergebnisse der Sichtbarkeitsanalyse können ggf. mit verschiedenen Einschätzungen des ästhetischen Wertes des Landschafts verschneiden werden
2. Das Ergebnis der Sichtbarkeitsanalyse ist die Beeinträchtigung des Landschaftsbildes am Ort des Betrachters. Für die Frage der Eingriffserheblichkeit ist ebenfalls der Ort des Betrachters entscheidend, so dass eine Verschneidung im Nachhinein vorgenommen werden kann.

Aus den genannten Gründen sind für die reine Sichtbarkeitsanalyse nur die Faktoren w und i von Bedeutung. Für die Quantifikation des Faktors i wird die Methodik nach PAUL et al. 2004 übernommen, wobei für die Berechnung des Faktors w in der genannten Arbeit zwei

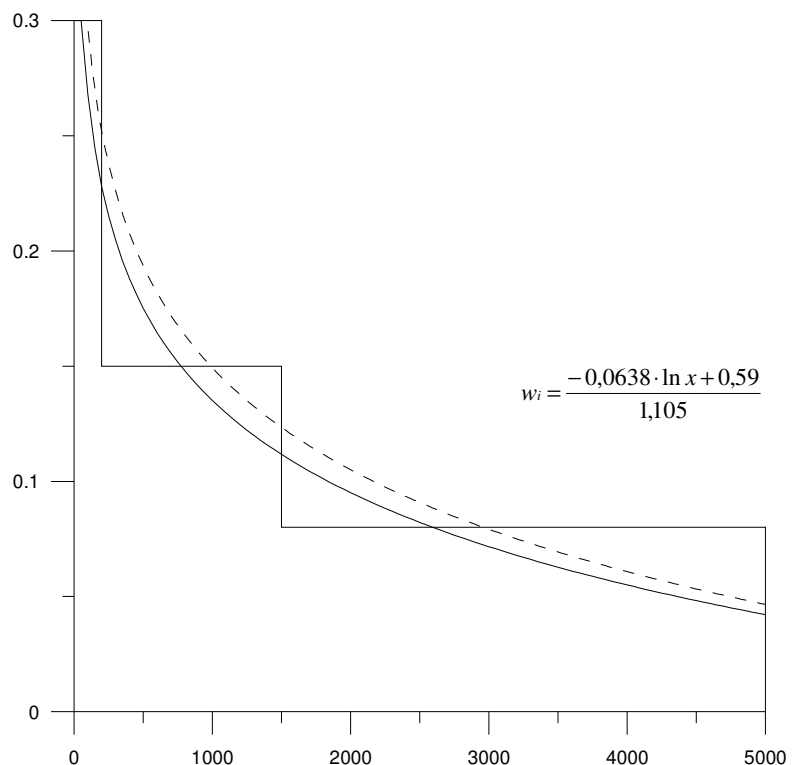
Vereinfachungen vorgenommen wurden, die im Ergebnis zu extremen Verfälschungen führen könnten und daher angepasst wurden:

1. **Die Einbeziehung der Masthöhe:** Hier wird bei PAUL et al 2004 eine einfache Differenzierung in Masthöhen über 60 m („große Masten“) und Masthöhen bis 60 m („kleine Masten“) vorgenommen. Für einen Betrachter in unmittelbarer Nähe des Mastes wird im Falle von großen Masten ein Faktor w von 0,6 angenommen, im Falle von kleinen Masten beträgt er lediglich 0,3. Da bei der untersuchten Trasse die unterschiedlichsten Masthöhen im Bereich zwischen 45 m und 71 m vorkommen, würde dies im Bereich von Masthöhen um 60 m zu Abweichungen führen, die nicht vertretbar wären (ein 61 m hoher Mast hätte eine über doppelt so hohe Eindrucksstärke wie ein 60 m hoher Mast) und auch nicht aus der Realität ableitbar sind. Hier wurde dementsprechend ein Identifikationsfaktor Masthöhe (i_H) eingeführt, der in einer linearen Funktion die tatsächliche Masthöhe abbildet. Der Faktor w beträgt bei einer Masthöhe von 50 m 0,4 und bei einer Masthöhe von 70 m 0,5 und liegt damit bei der „kritischen“ Höhe von 60 m genau beim Wert 0,45 (also zwischen den Werten für große und für kleine Masten nach PAUL et al).
2. **Die Einbeziehung des Betrachterabstands:** Hier werden bei PAUL et al. drei Wirkzonen gebildet, und zwar 0 bis 200 m Abstand (Wirkzone I), 200 bis 1500 m Abstand (Wirkzone II) sowie 1500 bis 5000 m Abstand (Wirkzone III). Jeweils mit Eintritt in die nächstfernere Wirkzone halbiert sich die Eindrucksstärke des Objekts. Für „kleine Masten“ liegt sie z. B. in Wirkzone I bei 0,3, in Wirkzone II bei 0,15 und in Wirkzone III nur noch bei 0,08. Da auch hier wieder „Treppenstufen“ gebildet werden, die keine Entsprechung in der Natur bzw. in der psychologischen Wahrnehmung haben, wurde eine Funktion der Eindrucksstärke genähert, die durch die jeweiligen Mitten der Wirkzonen verläuft. Die beste Näherung erfolgte durch die logarithmische Funktion:

$$Y = -0.0638 * \ln(X) + 0.59.$$

Anschließend wurde die (gestrichelt dargestellte) Funktion durch den Faktor 1,105 geteilt, wodurch erreicht wurde, dass das Integral unter der Kurve genau den „Treppenstufen“ nach PAUL et al. 2004 entspricht (durchgezogene Linie). Beim „Maximalwert“, d.h. in obigem Fall bei einem Wert von 0,3, wird die Funktion abgeschnitten, da sie sonst bei einer Annäherung von $X=0$ gegen unendlich verlaufen würde.

Abb. rechts: Eindrucksstärke in Abhängigkeit der Betrachterentfernung

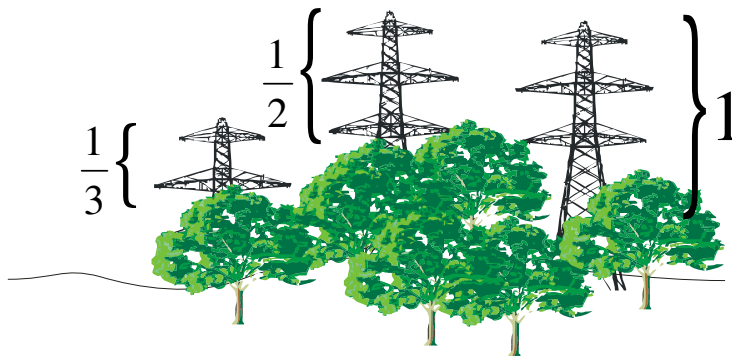


Zur Ermittlung des Identifikationsfaktors Sichtbarkeit werden die Überlegungen von PAUL et al. 2004 übernommen:

1. Der **Identifikationsfaktor partielle Sichtbarkeit** wird durch die Wurzel aus relativen sichtbaren Anteil gebildet. Ein voll sichtbarer Mast hätte also einen i_p von 1, ein zur Hälfte sichtbarer Mast einen Wert von 0,70, ein. Dadurch wird die Überlegung berücksichtigt, dass ein teilweise sichtbarer Mast einen stärkeren Eindruck hinterlässt als sich aus der reinen Proportion des sichtbaren Teils errechnen würde, da der Betrachter schließlich weiß, dass das Bauwerk in der Realität größer ist als sein sichtbarer Anteil.



2. Der **Identifikationsfaktor Mehrfach-sichtbarkeit** wird folgendermaßen berechnet: Der am stärksten wahrgenommene Mast geht voll in die Berechnung ein, der nächste zur Hälfte, der nächste zu einem Drittel usw. Dadurch wird der Tatsache Genüge getan, dass bei mehreren sichtbaren Masten eine Übersättigung des Betrachters auftritt, der als zusätzliche Belastung wahrgenommene Anteil wird mit jedem weiteren Mast geringer.



Die Tatsache, dass im Identifikationsfaktor Sichtbarkeit die tatsächliche Masthöhe bzw. der absolute sichtbare Anteil der Masten nicht berücksichtigt wird, macht deutlich, warum die Einführung eines Identifikationsfaktors Masthöhe unumgänglich war. Die Grafik auf der nächsten Seite zeigt die Bemessung der Eindrucksstärke eines 20 m sichtbaren Anteils in Abhängigkeit von der Gesamthöhe des Mastes. Bei dem Verfahren nach PAUL et al. 2004 (blaue Linie) wird neben dem „Sprung“ bei einer Masthöhe von 60 m (vgl. weiter oben unter „Einbeziehung der Masthöhe“) auch deutlich, dass im Falle eines gleich großen absolut sichtbaren Teils (im Beispiel: 20 m) ein höherer Mast in der gleichen Entfernung zum Betrachter geringer belastend wirkt als ein weniger hoher Mast!

Für die Berücksichtigung der tatsächlichen Masthöhe wird aus nachstehenden Gründen die Verwendung der orangefarbenen Kurve empfohlen. Nach dieser Kurve wirkt ein 20 m

sichtbarer Anteil auf den Betrachter in etwa gleich intensiv, unabhängig von der tatsächlichen Masthöhe.

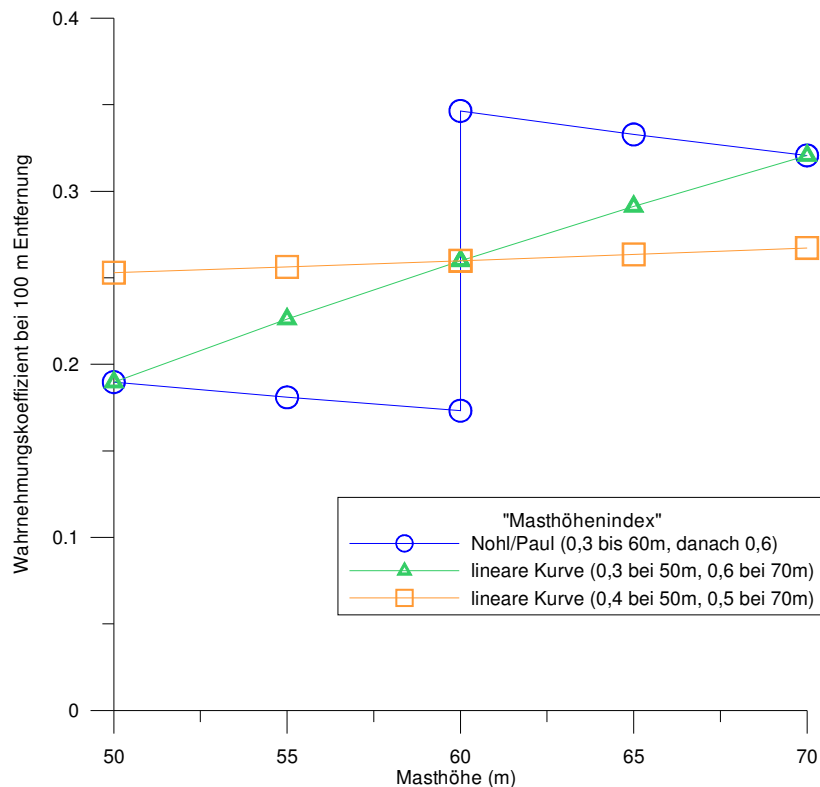


Abb. links: Wahrnehmung eines 20 m sichtbaren Anteils in unmittelbarer Nähe des Objekts in Abhängigkeit der tatsächlichen Masthöhe.

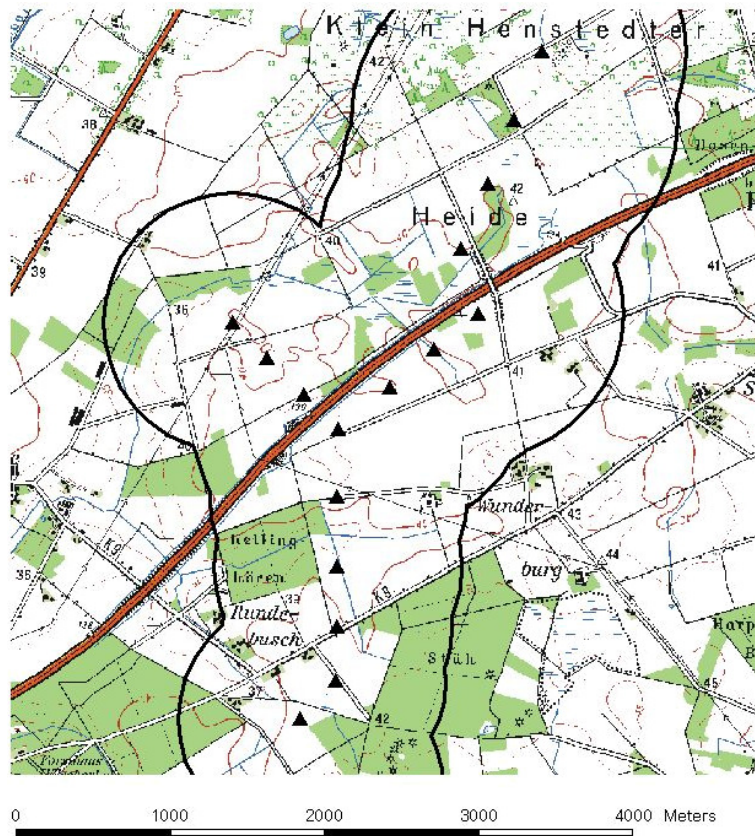
Deutlich wird, dass hier das Verfahren nach PAUL etc al. 2004 (blaue Kurve) keine sinnvollen Ergebnisse liefert.

Gerechnet wurde mit der orangefarbenen Kurve, nach der ein gleicher absolut sichtbarer Anteil unabhängig von der tatsächlichen Masthöhe auch nahezu die gleiche Wirkung auf den Betrachter hat.

Abgrenzung des Untersuchungsraums

Der Untersuchungsraum wurde auf die 15-fache Masthöhe um die Trasse limitiert. Zugrunde gelegt wurde die individuelle Höhe jedes einzelnen Mastes. Der Abstand der 15-fachen Masthöhe gilt in Niedersachsen als „erheblich beeinträchtigter Bereich“.

Abb. rechts: Der Untersuchungskorridor ist abhängig von der Höhe der jeweiligen Masten. Der Kartenausschnitt zeigt die Querung der A1 sowie einen Verbindungsabschnitt zu einer bereits vorhandenen Trasse.



Eingangs- und Ausgabedaten

Folgende Eingangsdaten wurden für die Rechnung verwendet:

1. Ein Höhenmodell in einer interpolierten Auflösung von $5*5 \text{ m}^2$, generiert aus einem DGM 50
2. Landnutzungsdaten aus einer Biotoptypenkartierung, ergänzt durch Information über eventuelle Schneisen durch Waldabschnitte
3. Den Landnutzungsdaten zugewiesene Strukturhöheninformationen
4. Maststandorte, Masthöhen und Information über den Masttyp
5. Den Masttypen zugeordnete Informationen über die sichtbaren Anteile bei teilweiser Sichtverschattung (von Masten mit drei Traversen ist bei gleichem sichtbarem Anteil mehr sichtbar als von Masten mit zwei Traversen)

Daten aus einer Laserscanning-Befliegung wurden für die Verifizierung von Strukturhöhen verwendet.

Die linearen Strukturen (Gehölze, Hecken) wurden mit einer Breite von 5 m berücksichtigt, um bei der der Rechnung zugrundeliegenden Zellgröße von $5*5 \text{ m}^2$ berücksichtigt werden zu können.

Folgende Strukturhöhen wurden schließlich den einzelnen Strukturelementen zugewiesen:

1. Wald: 20 m
2. Hecken: 10 m
3. Siedlung: 9 m
4. Gebüsch: 5 m
5. Schneisen: 2 m

Zur Durchführung der Berechnung mit Visibility Analyst ist ein sog. „Wertegrid“ erforderlich, in dem definiert wird, zu welchem Anteil jede Rasterzelle gewichtet wird. Auf diese Weise kann z. B. eine besondere Berücksichtigung der Siedlungsränder definiert werden. Auch bei Durchführung einer Rechnung mit einheitlicher Gewichtung aller Betrachterstandorte muss ein solches Wertegrid erstellt werden. In diesem Falle werden lediglich alle Bereiche mit Strukturhöhen über Augenhöhe des „Normalbetrachters“ (1,75 m) als Betrachterstandorte ausgenommen, da von dort keine Sichtbarkeit möglich ist (der Betrachter steht z. B. „im Wald“).

Das Ergebnis der Rechnung wurde als Punktdatensatz übergeben, wobei jeder Punkt der aggregierten Landschaftsbildbelastung der zugehörigen $5*5 \text{ m}^2$ -Zelle entspricht. Die gesamte Landschaftsbildbelastung kann demnach errechnet werden, indem jeder Punkt mit dem zugehörigen Erheblichkeitsfaktor multipliziert und die Gesamtsumme schließlich mit dem Kompensationsfaktor verrechnet wird.

Für geplante Trassen sowie für eine rückzubauende (Entlastung) und vorhandene Trassen (Vorbelastung) werden getrennte Rechnungen durchgeführt. Analog zu PAUL et al. 2004 kann die Kompensationsfläche für die Entlastungstrasse gutgeschrieben werden und die Landschaftsbildbelastung der bestehenden Trasse zur Hälfte von der neuen Belastung durch das Bauvorhaben abgezogen werden.

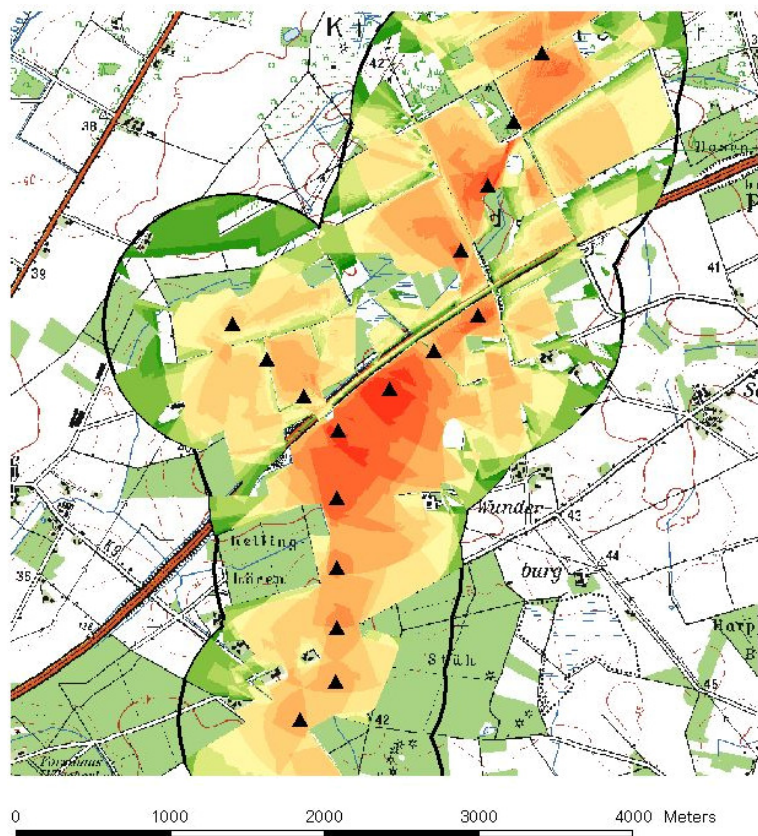
Berechnung der Kompensationsfläche mit Visibility Analyst

Die Software Visibility Analyst wurde ursprünglich zur Berechnung der Einsehbarkeit potentieller Freileitungsmasten im Gelände vor Festlegung der Maststandorte entwickelt. Für die vorliegende Fragestellung der Kompensationsflächenberechnung mussten einige zusätzliche Features implementiert werden:

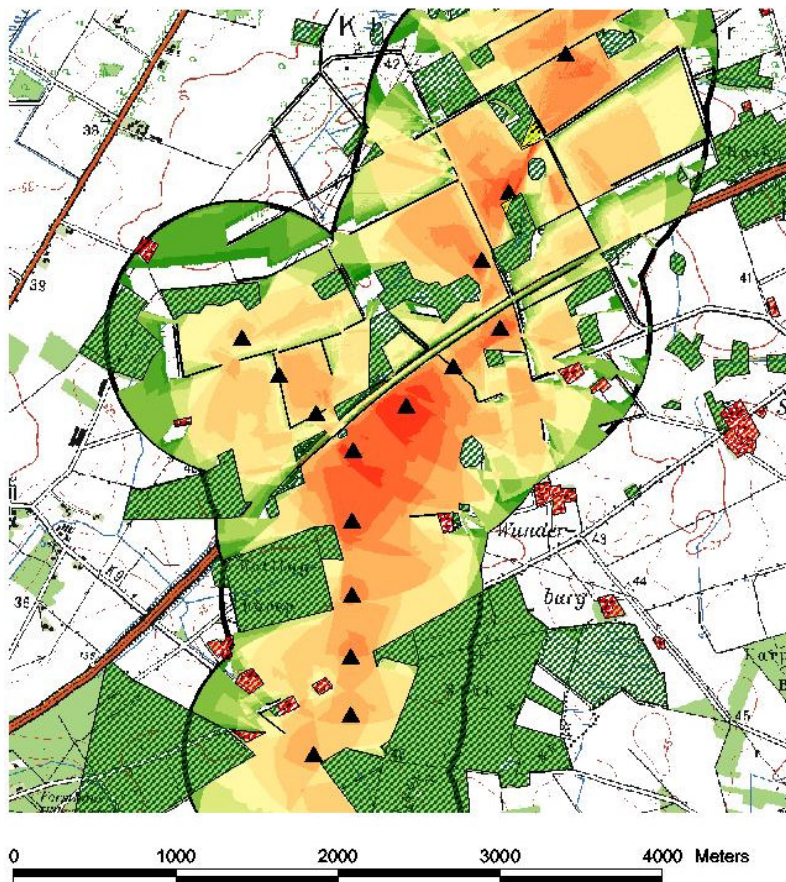
1. Die Maststandorte können in einem Punktshape definiert werden
2. Die Masthöhe muss nicht mehr einheitlich festgelegt werden, sondern kann in den Punktdaten definiert werden
3. Mit den Punktdaten können Masttypen und mit diesen Informationen über die Betrachtung der sichtbaren Anteile der Masten angegeben werden (vgl. hierzu weiter unten)
4. Der Identifikationsfaktor Sichtverschattung kann durch die Wurzel des relativen sichtbaren Anteils berechnet werden
5. Die Masthöhe kann durch einen linearen Masthöhenindex angegeben werden
6. Mehrfach sichtbarkeiten können wie in PAUL et al. 2004 berechnet werden

Für die Berechnung des sichtbaren Anteils bei teilweiser Sichtverschattung mit Visibility Analyst ist folgendes zu beachten:

Das Programm führt eine Schleife aus, in der die Sichtbarkeit der definierten Maststandorte einzeln berechnet wird. Für jeden einzelnen Mast kann nun nicht in einem Rechenschritt ermittelt werden, wie groß der sichtbare Anteil des Mastes von jedem einzelnen Punkt aus der Umgebung ist, sondern dieser Anteil muss durch eine Iteration ermittelt werden. Hierzu werden in einem Abstand von 5 m von der Mastspitze gesehen einzelne Punkte gesetzt und daraufhin ermittelt, welcher dieser Punkte von jedem Betrachter aus gerade noch zu sehen ist. Wenn z. B. der oberste Punkt eines 50 m hohen Masten noch zu sehen ist, aber der zweite (in 45 m Höhe) nicht mehr, so wird von einer Masthöhe von 47,5 m ausgegangen. Diese sichtbaren Anteile sind individuell für jeden Masttyp definiert. Auf diese Weise kann berücksichtigt werden, dass ein Mast mit drei Traversen bei einem gleichen sichtbaren Anteil in der Gesamtwahrnehmung etwas stärker berücksichtigt wird als ein Mast mit zwei Traversen. Diese Vorgehensweise ist erstens schlüssig und zweitens auch im Sinne der Überlegungen von PAUL et al., da die Problematik der Traversen auch hier erkannt wird (und u. a. auch als Begründung für die Berechnung des sichtbaren Anteils mit der Wurzel aus dem relativen sichtbaren Anteil herangezogen wird).



In der Abbildung auf der Vorseite sehen Sie die Darstellung der Sichtbarkeit der Trasse für einen Kartenausschnitt. Rot dargestellt sind Bereiche hoher Landschaftsbildbelastung, grün dargestellt ist geringe Belastung. Sichtverschattete Bereiche ohne Sichtbelastung (bzw. der Raum außerhalb des „erheblich belasteten Bereichs“ im Abstand der 15-fachen Masthöhe) sind transparent gehalten, dahinter sieht man einen Ausschnitt der Topografischen Karte TK 50. Da die Darstellung der Waldgebiete auf der Karte nicht genau mit der Biotoptypenkartierung übereinstimmt, sind hier teilweise vermeintlich Sichtbarkeiten in Waldgebieten angegeben, bzw. sichtverschattete Bereiche ohne erkennbare Ursachen zu sehen. Deutlich erkennbar sind die Ursachen der Sichtverschattungen hingegen, wenn man die Strukturhöhen aus der Biotoptypenkartierung hinzuzieht. Grün schraffiert sind Waldflächen, rot schraffiert Siedlungen und gelb schraffiert Schneisen. Hecken und Gehölze sind als lineare Strukturen abgebildet.



Quellen

NOHL, W. (1993): Beeinträchtigung des Landschaftsbildes durch mastenartige Eingriffe, Materialien für die naturschutzfachliche Bewertung und Kompensationsermittlung, München (URL: <http://www.munlv.nrw.de/sites/arbeitsbereiche/forsten/landschaftsbildbewertung.pdf> vom 28.04.2005)

PAUL, H.-U., D. UTHER, M. NEUHOFF, K. WINKLER-HARTENSTEIN, H. SCHMIDTKUNZ u. J. GROßNICK (2004): GIS-gestütztes Verfahren zur Bewertung visueller Eingriffe durch Hochspannungsfreileitungen - Herleitung von Kompensationsmaßnahmen für das Landschaftsbild, in: Naturschutz und Landschaftsplanung - Zeitschrift für Angewandte Ökologie, Jg. 36, Heft 5/2004, Stuttgart

WEIGEL, J. u. J. FALKENHAGEN (2005): Software simuliert Wirkung auf das Landschaftsbild - Ex-Ante-Sichtbarkeitsanalyse für Großräume am Beispiel einer Freileitungstrasse durch Niedersachsen, in: Erneuerbare Energien, Jg. 15, Heft 8/2005