

Sichtbarkeitsanalyse Niedersachsen-Korridor

Durchführung einer Ex-Ante-Sichtbarkeitsanalyse mit Hilfe von Visibility Analyst für einen Korridor von der niedersächsischen Küste bis zur Nordrhein-Westfälischen Grenze

Johannes Weigel
ECOGIS Geoinformatik, Hannover

1. Eingangsdaten

Die Eingangsdaten kommen aus folgenden Quellen:

- Deutsche Landesvermessung (DGN, ATKIS-Daten)
- Biotopkartierung durch INTAC Hannover und Planungsgruppe Landschaft (PGL) Hannover
- Europäisches Landnutzungskataster (CORINE)
- Frei verfügbare Geodaten (SRTM, GTOPO 30)

Zu unterscheiden sind dabei die Eingangsdaten für das Geländemodell sowie die Daten für Landnutzung und daraus abgeleitete Strukturhöhen. Für alle verwendeten Daten wurde eine Auflösung von 25m festgelegt, die zum einen für das Gesamtgebiet noch rechenbar, zum anderen aber auch fein genug erschien, kleinräumliche Strukturen adäquat wiederzugeben.

1.1 Geländemodell

Die ArcView-Erweiterung Visibility Analyst bietet die Möglichkeit, für eine Sichtbarkeitsanalyse entweder ein Digitales Oberflächenmodell (DOM) oder alternativ ein Digitales Geländemodell (DGM) und ein normiertes Oberflächenmodell bzw. Strukturhöhenmodell zugrunde zu legen. Zunächst war geplant, lediglich mit einem DOM zu arbeiten, d.h. einem Höhenmodell, auf dem sowohl die Objekte (Masten) als auch die Beobachter platziert werden. Hierbei treten jedoch folgende Probleme auf:

- Wenn nicht in Gelände- und Strukturhöhe unterschieden wird, stehen sowohl Beobachter als auch Objekte auf den Baumwipfeln. Dies führt zu einer stark verzerrten Überhöhung der Sichtbarkeit sowohl von als auch zu Standorten im Wald. Waldgebiete müssen also sowohl als Standort für Objekte als auch als Beobachterstandort ausgenommen werden.
- Das gleiche gilt für Siedlungen. Im Falle von Siedlungen ist das Problem jedoch nicht so bedeutsam, da Siedlungsbereiche sowieso als Standorte für Objekte ausgenommen wurden.

Da Waldgebiete letztendlich nicht generell als Anlagenstandort ausgenommen werden sollten, wurde entschieden, die Eingangsdaten in eine reine Geländehöhe und eine Strukturhöhe zu unterscheiden. In Bezug auf eine Ermittlung der Geländehöhe wurden folgende Varianten geprüft:

- Errechnung eines Höhenmodells durch Strukturbereinigung von SRTM-Daten mit Hilfe von Landnutzungsdaten (CORINE und ATKIS)
- Eigene Digitalisierung
- Verwendung eines DGM 50 der Deutschen Landesvermessung

Bei den SRTM-Daten handelt es sich um die Ergebnisse der Radar-Höhenvermessung der Erde durch ein Space Shuttle im Jahr 2000. Bei den Daten handelt es sich um interpolierte Strukturhöhen in einer Auflösung von 3" (ca. 60-90 m Rasterweite), also de facto Werte zwischen Gelände- und Oberflächenmodell. Die Verwendung von SRTM-Daten wurde geprüft (siehe WEIGEL 2005) und schließlich für das vorliegende Untersuchungsgebiet als nicht empfehlenswert erachtet. Zwar lässt sich die Überhöhung des SRTM-Modells sowohl mit ATKIS- als auch mit CORINE-Daten weitgehend eliminieren, aber Abweichungen im Bereich von $\pm 5\text{m}$ bleiben bestehen, was bei der weitgehend geringen Reliefenergie des Untersuchungsgebietes eher zu Verfälschungen der Realität als zu einer Verbesserung der Ergebnisse führen würde.

Die Möglichkeiten einer eigenen Digitalisierung bzw. einer Anschaffung von DGM 50-Daten für das gesamte Untersuchungsgebiet wurde aufgrund der geringen Reliefenergie der weitesten Teile für nicht erforderlich gehalten. Schlussendlich wurden für den Bereich ganz im Süden des Planungskorridors (Ankumer Höhe) DGM 50-Daten verwendet und für das restliche Gebiet das freie Höhenmodell GTOPO30 (Auflösung: 30", entspricht ca. 600-900m Rasterweite) verwendet. Die Höhenmodelle wurden unter Verwendung der ArcView-Erweiterung Grid Machine (von Johannes Weigel) in der Version 6.62 miteinander verschnitten und auf eine Auflösung von 25m interpoliert.

1.2 Nutzungsdaten und Strukturhöhen

Für den Bereich des Vorranggebiets für die Planung der Freileitung wurde zur Ermittlung der Landnutzung eine Biotopkartierung unter Zuhilfenahme von Luftbildern durch INTAC und PGL durchgeführt. Für den Bereich der 1km-Zone um das Vorranggebiet wurden Daten des ATKIS-DLM hinzugezogen. Neben einer Erfassung der Topologie wurden die linienhaften Gehölze für das gesamte Gebiet getrennt aufgenommen. Die Zuordnung von Höhen zu den Landnutzungsklassen und Landschaftselementen sowie die Zusammenfassung der Daten der Biotopkartierung und der ATKIS-Daten wurde von INTAC/PGL durchgeführt.

Zur Erstellung eines Rasters wurden anschließend folgende Schritte durchgeführt:

- Die linienhaften Gehölze mit einem beidseitigen Puffer von 12,5 m auf eine Breite von 25m gebracht, um sie der Rasterweite des Rechengebietes anzupassen.
- Die daraus entstandenen länglichen Polygone (Puffer-Shape) wurden aus dem bestehenden Vektorthema der Landnutzung ausgeschnitten
- Anschließend wurde das Landnutzungsshape und das Puffer-Shape miteinander verschnitten (Merge), um sicherzugehen, dass die Gehölze im Zweifel Vorrang vor anderen Nutzungen haben. Dies führt auch im Bereich der Siedlungen zu keinen Unstimmigkeiten, da sowohl die Gehölze als auch die Siedlungsbereiche mit einer mittleren Höhe von 7m angenommen wurden.
- Im letzten Schritt wurde aus dem dadurch entstandenen "Strukturhöhen-Shape" ein Grid mit einer Auflösung von 25m und der gleichen Ausdehnung wie das Grid der Geländehöhen erstellt.

2. Landschaftsbewertung

Neben der Erfordernis eines Geländemodells und eines Strukturhöhenmodells besteht für die Sichtbarkeitsanalyse mit Visibility Analyst zwingend die Erfordernis eines sog. Wertigkeitsgrids, und zwar auch dann, wenn lediglich die Belastung der Landschaft "an sich" ohne eine qualitative Landschaftsbewertung untersucht werden soll. Das hat folgenden Grund:

Beim rechnerischen Schritt der Sichtbarkeitsanalyse, d.h. für die Untersuchung, ob ein einzelnes Objekt in einer bestimmten Höhe aus seiner Umgebung gesehen wird, kann nicht

zwischen reinen Sichthindernissen (wie Gebäuden oder Bäumen) und Geländeerhebungen (wie Hügeln oder Dämmen) unterschieden werden. Jeder Beobachter wird also grundsätzlich auf den Strukturelementen platziert, was im Falle von Bäumen und Gebäuden zu einem falschen Ergebnis führt. Dieser Effekt kann allerdings dadurch ausgeglichen werden, dass alle Gebiete mit Strukturhöhen, die über der Augenhöhe des Betrachters liegen, als Betrachterstandort nicht berücksichtigt werden (Gewichtung mit Faktor 0), und lediglich die freie Landschaft gewertet wird (Faktor 1). Da keine Strukturhöhen unter 3m vergeben wurden, kommt es hier auch zu keinen Verfälschungen durch niedrige Landschaftselemente. Es muss also ein sog. Filter-Grid erstellt werden, das eine 1 für jede Rasterzelle enthält, auf der grundsätzlich ein Betrachter stehen kann, und eine 0 für alle anderen Flächen (in denen der Betrachter sozusagen "im Wald" steht). Vom Verfahren her ist es so, dass Visibility Analyst die Sichtbarkeit eines jeden Objekts unabhängig voneinander untersucht. Daher muss jedes Teilergebnis für jedes Einzelobjekt mit diesem Filtergrid verschnitten (multipliziert) werden, um ausschließen zu können, dass Beobachter "auf den Baumwipfeln" platziert werden. Zur Erstellung des Filtergrids für den "Wert der Landschaft an sich" wurde folgendermaßen vorgegangen:

- Aus dem Raster der Strukturhöhen wurde ein Abfrageraster (Grid "Keine Strukturhöhe") erstellt, das für alle Strukturhöhen > 2m eine 0, für alle darunterliegenden Strukturhöhen eine 1 enthält
- Aus dem Vektorthema der Landnutzung (vor der Verschneidung mit den Gehölzen) wurden in einer neuen Tabellenspalte (Parameter "Siedlung") alle Siedlungsbereiche mit 1 und alle restlichen Bereiche mit 0 attribuiert. Aus dem daraus entstandenen Siedlungs-Shape wurde ein Grid erstellt, das für alle Siedlungsbereiche (sowie alle Bereiche außerhalb des Korridors) keine Daten enthält, und für die Nicht-Siedlungsbereiche eine 1.
- Durch Verschneidung (Multiplikation) der daraus entstandenen Rasterdatei (Grid "Keine Siedlung") mit dem Grid "Keine Strukturhöhe" entsteht das Filtergrid "Filt_Freifl", das für alle Freiflächen eine 1, für alle Strukturhöhen außerorts eine 0 und für alle Siedlungsbereiche keine Daten enthält. So kann gewährleistet werden, dass einerseits Beobachter im Wald bzw. im Siedlungsbereich nichts sehen können, andererseits im Siedlungsbereich zusätzlich auch keine Objekte platziert werden können

Neben dieser Betrachtung des Wertes der Landschaft an sich galt es bei der durchgeführten Sichtbarkeitsanalyse, das "Schutzgut Mensch" gesondert zu betrachten. Hierfür in einem getrennten Filtergrid nur die Siedlungsränder gewertet. Dabei war das Problem zu lösen, dass die Siedlungsbereiche selbst ja eine Strukturhöhe aufweisen (7m), die sie auch aufgrund ihrer Funktion als Sichthindernis beibehalten müssen, aber andererseits die Betrachter in den Ortschaften ja nicht "auf die Dächer" gestellt werden dürfen. Daher wurde eine Vorgehensweise gefunden, bei der die Bewohner der Siedlungen sozusagen im Siedlungsrandbereich unmittelbar *außerhalb* der Siedlungen angenommen werden. Dabei musste lediglich noch berücksichtigt werden, dass kleine Siedlungen (Einzelhöfe) nicht gegenüber größeren zusammenhängenden Siedlungen überbewertet werden. Hierfür wurde folgendermaßen vorgegangen:

- Zunächst wurde über alle Polygone im Siedlungs-Shape eine Aggregation ("Dissolve") über den booleschen Parameter "Siedlung" mit Hilfe der ArcView-Erweiterung Geoprocessing durchgeführt, um nebeneinanderliegende Siedlungsbereiche miteinander zu verschmelzen. Mit der Funktion "Fläche oder Lände aktualisieren" der ArcView-Erweiterung Memo Tools (von Harald Kuttig) wurden dann die Flächengrößen in m² in einer zusätzlichen Tabellenspalte festgehalten.

- Mit Unterstützung durch das Avenue-Script Wizardbuffer_Finish (von Thad Tilton) wurde nun eine Pufferung der Siedlungsbereiche um 25m durchgeführt, bei der das Attribut der Flächengröße mit in den Puffer-Ring übernommen wurde. Anschließend wurde wiederum mit Memo Tools auch jeder Pufferzone die Flächengröße zugewiesen. Jeder 25m-Ring um jeden Siedlungsbereich enthält also nun sowohl die Information über die eigene Flächengröße als auch über die Fläche der Siedlung, die er repräsentiert.
- Als nächstes wurde der Quotient aus Siedlungsfläche und Pufferfläche gebildet. Dadurch erhalten die Pufferflächen um große Siedlungen höhere Werte als die Pufferflächen um kleinere Siedlungen. Auf diese Weise repräsentiert der Pufferbereich immer genau die Größe der zugehörigen Siedlung.
- In einigen Fällen von sehr großen Ortschaften wurden dabei Index-Werte größer als 2 erreicht. In diesen Fällen wurde der Wert auf ein Maximum von 2 beschränkt, da ja für Bewohner der zentralen Bereiche großer Ortschaften keine ästhetische Beeinträchtigung durch Bauwerke im Siedlungsrandbereich angenommen werden muss.
- Um eine Normierung zwischen 0 und 1 zu erzielen, wurden anschließend die Indexwerte wieder durch 2 geteilt¹.
- Von dem entstandenen Vektorthema der Siedlungsrandbereiche wurden im nächsten Schritt die Bereiche mit Strukturhöhen anhand des Strukturhöhen-Shapes wieder aus dem Vektorthema ausgeschnitten, da ja Gebiete mit Strukturhöhen keine Wertigkeit haben dürfen.
- Das daraus entstandene Thema wurde analog zum Vorgehen bei der Bewertung der Landschaft "an sich" mit dem Vektorthema "Keine Siedlung" verschnitten, um die Siedlungsbereiche als Standorte für Objekte unberücksichtigt zu lassen.
- Im letzten Schritt wurde das Vektorthema wieder in ein Grid "Filt_Siedl" mit einer Auflösung von 25m konvertiert.

Neben den beiden Wertigkeitsgrids "Filt_Freifl" und "Filt_Siedl", die als Filter bei der Berechnung verwendet werden, um im Ergebnis Aussagen über die Belastung der Landschaft "an sich" sowie des "Schutzgut Mensch" zu gewinnen, kann für die Sichtbarkeitsanalyse auch eine Bewertung der Landschaftsqualität nach subjektiven Kriterien vorgenommen werden. Im Gegensatz zu den Wertigkeitsgrids, die sich auf die Bewertung des Ortes des Betrachters beziehen, macht es hierbei Sinn, die Landschaftsbildqualität am Standort der Objekte zu betrachten. Eine solche Operation kann jedoch auch nach Abschluss der Berechnung der Sichtbeziehungen durchgeführt werden, indem das Endergebnis mit der Landschaftsbildqualität verschnitten (multipliziert) wird.

3. Eindrucksstärke

Mit der Entfernung vom Objekt nimmt die Eindrucksstärke beim Betrachter ab. Visibility Analyst bietet dabei mehrere Möglichkeiten, die Abnahme der ästhetischen Beeinträchtigung zu definieren:

- Keine Abnahme mit der Entfernung
- Lineare Abnahme von 1 bis zu einem Restwert in einer Maximalentfernung
- Geknickt-lineare Abnahme mit einem Knick und einem Restwert
- Angabe einer beliebigen Degressionskurve, z.B. einer Exponentialfunktion

¹ Dieser Schritt hat allerdings zur Folge, dass die Maximalgewichtung einer Rasterzelle im Siedlungsrandbereich nur noch einem Wert von 0,5 für die durch sie repräsentierte Siedlungsfläche entspricht. Um eine Gleichgewichtung zwischen Betrachtern im Siedlungsbereich und Betrachtern in der freien Fläche zu gewährleisten, muss also bei einer anschließenden Addition der Ergebnisse die Sichtbarkeit von den Siedlungsändern wieder mit dem Faktor 2 multipliziert werden.

Varianten der Berechnung der Ästhetischen Beeinträchtigung

Beispiel: Maximale Sichtweite= 2000 m; D=Entfernung; B=Beeinträchtigung

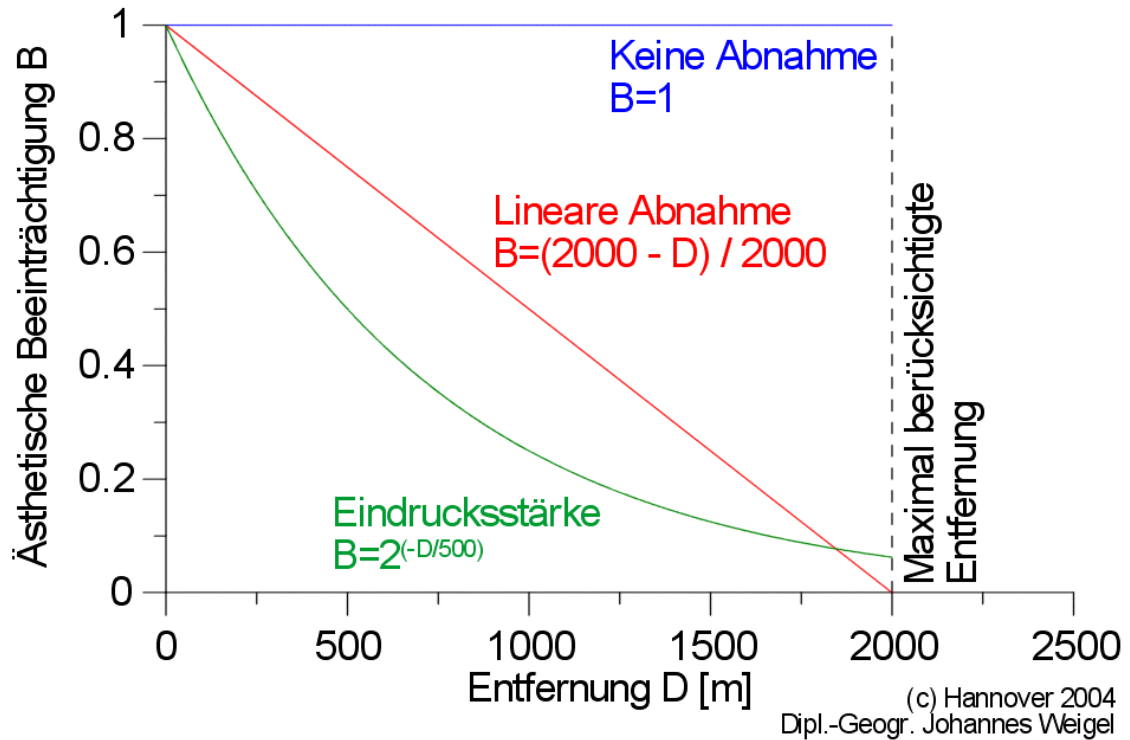


Abb. 1: Ästhetische Beeinträchtigung in Abhängigkeit der Entfernung vom Objekt (Quelle: Eigener Entwurf)

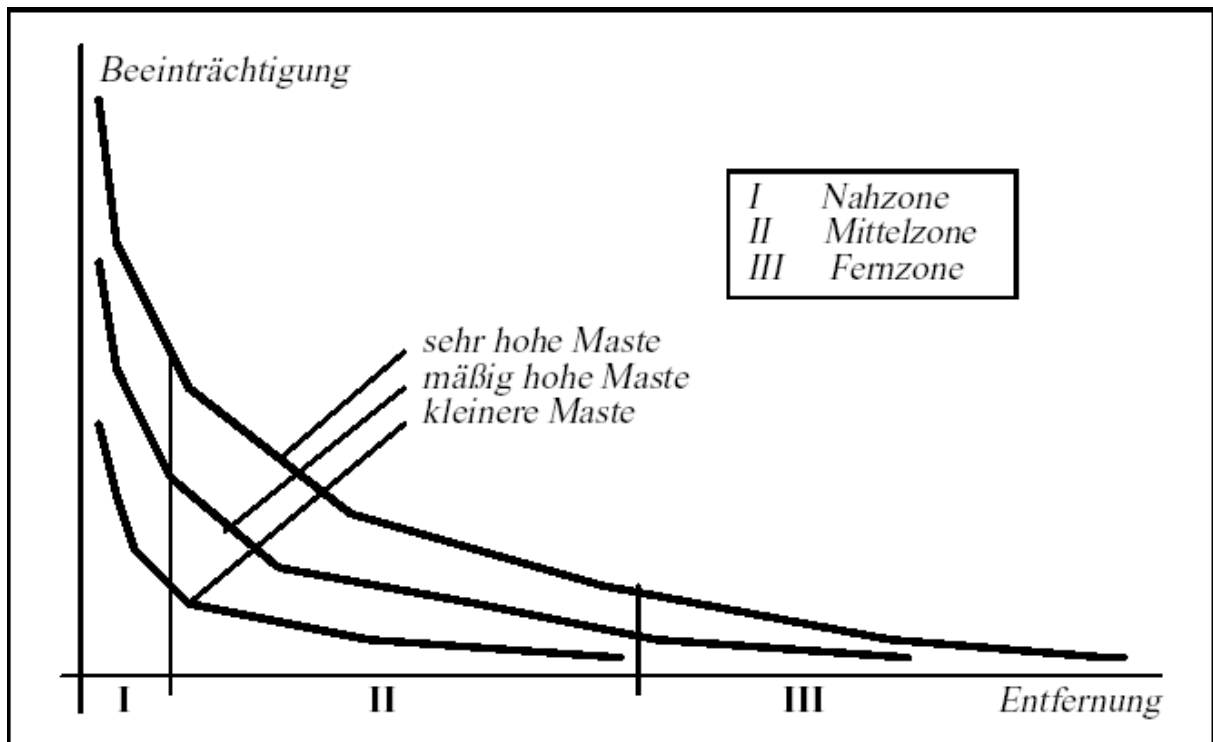


Abb. 2: Abnahme der ästhetischen Beeinträchtigung mit der Entfernung zum Mast

Bei der Berechnung der Sichtbarkeit wurde schließlich die in Abb. 1 grün dargestellte Exponentialfunktion verwendet, allerdings nur mit einem maximalen Sichtbarkeitsradius von 1000 m. Die Beschränkung der Sichtweite musste aufgrund der Tatsache vorgenommen werden, dass nur Landnutzungsdaten für einen erweiterten Bereich von 1000 m um den Planungskorridor vorlagen.

Der Zusammenhang zwischen Entfernung und ästhetischer Beeinträchtigung wird z.B. bei NOHL 1993 (Abb. 2) ähnlich dargestellt, wobei dieser keinen konkreten mathematischen Zusammenhang formuliert bzw. nicht mit exakten Skalierungen der Achsen arbeitet (Abb. 2).

Zur ersten Rechnung wurde daher nach der in Abb. 1 dargestellten Degressionskurve verfahren. B steht hierbei für die Beeinträchtigung und D für die Distanz zum Objekt.

$$B = 2^{\frac{-D}{500}}$$

Nach Durchführung des ersten Berechnungslaufes zeigte sich, dass die Degressionskurve zu flach verläuft. Folgendes Problem wurde deutlich: Je größer die Entfernung von einem Objekt wird, desto mehr Betrachter können aus der jeweiligen Entfernung (bzw. aus dem entsprechenden "Entfernungsring") das Objekt sehen. Das führt bei der verwendeten Formel dazu, dass bis zu einer Entfernung von 650m von einem Objekt die Sichtbarkeit zu- statt abnimmt (vgl. Abb. 3). Das zeigte sich z.B. an Siedlungsrändern ohne Sichtverschattung, wo die maximale Sichtbelastung in einer Entfernung von 600-800m auftrat.

Gesamte Eindrucksstärke eines Objekts in offener Umgebung

Beispiel: Maximale Sichtweite= 1000 m; D=Entfernung; B=Beeinträchtigung

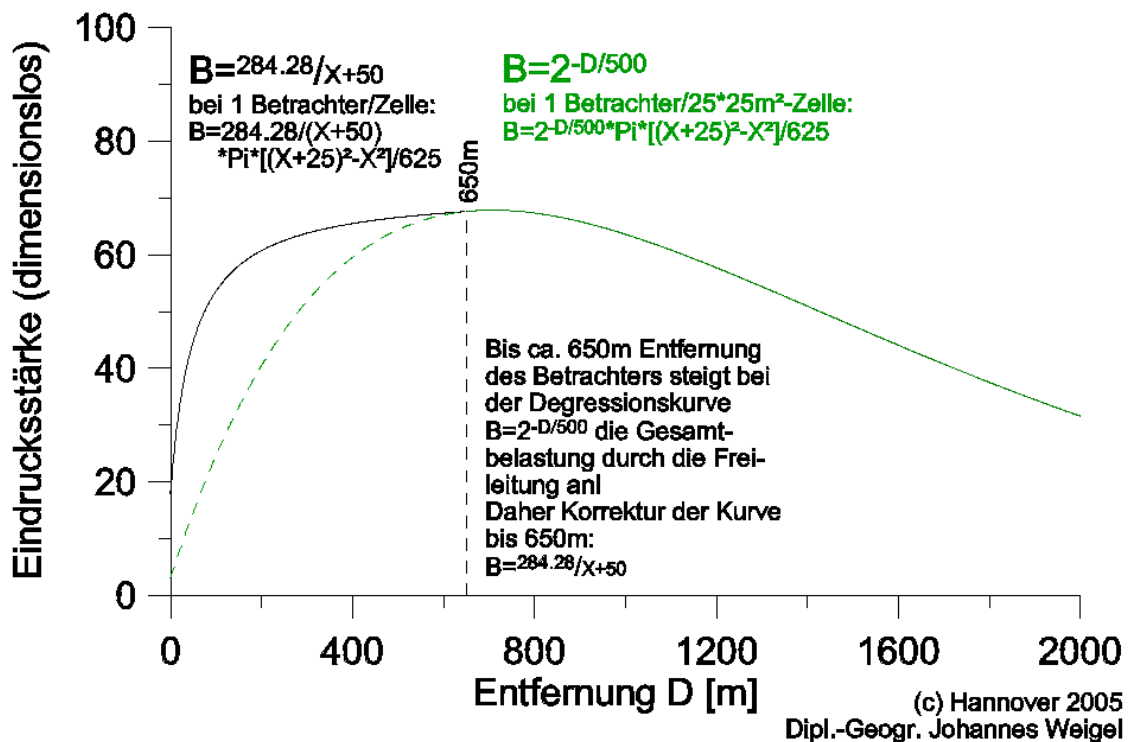


Abb. 3: Gesamteindruck eines Objekts unter Berücksichtigung der Zunahme der Zahl der Betrachter mit der Entfernung

Daher wurde nach der ersten Rechnung, die für Siedlungsränder und Freiflächen getrennt mit einer Degressionskurve $B=2^{-D/500}$ und einer maximalen Sichtweite von 1000m durchgeführt wurde, eine zweite Rechnung durchgeführt, in der bis zu einer Sichtweite von 650m das

fehlende Integral zwischen der grünen und der schwarzen Kurve getrennt berechnet und anschließend zu den Ergebnissen addiert wurde. Die verwendete Degressionsformel lautet entsprechend:

$$B = \frac{284.28}{D+50} - 2^{\frac{-D}{500}}$$

Abnahme der Eindrucksstärke mit der Entfernung

Beispiel: Maximale Sichtweite= 1000 m; D=Entfernung; B=Beeinträchtigung

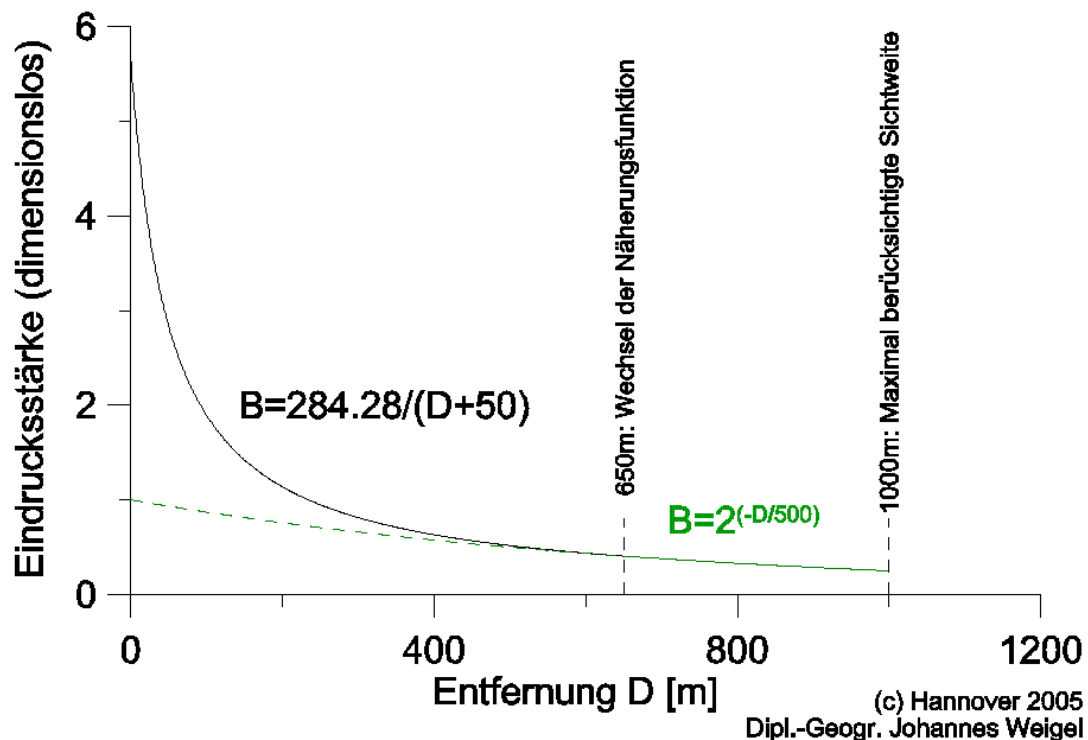


Abb. 4: Abnahme der Eindrucksstärke mit der Entfernung. Bis 650m Sichtweite wurde eine nachträgliche Rechnung durchgeführt, was zu einer insgesamt steileren Degressionskurve führt (schwarze Funktion).

4. Weitere Parameter

Die Ex-Ante-Sichtbarkeitsanalyse mit Visibility Analyst funktioniert nach einem iterativen Verfahren. Es wird ein Testobjekt nach dem anderen im Untersuchungsgebiet platziert und auf diese Weise für einen Punkt nach dem anderen die Sichtbarkeit in der Umgebung in Abhängigkeit der Geländedaten (DGM, Strukturhöhe), der Landschaftsbewertung (Siedlungsränder, Wälder etc) und der Degressionskurve der Eindrucksstärke betrachtet. Hierbei kann ein Näherungsverfahren für die Ermittlung des sichtbaren Anteils jedes Mastes sowie für die Vorgehensweise bei der Verteilung der Testobjekte festgelegt werden.

4.1 Sichtbarer Anteil der Objekte

An jedem einzelnen im Untersuchungsgebiet platzierten Testobjekt wird für verschiedene festgelegte Höhen (z.B. Fußpunkt, Mastmitte, Mastspitze) die Sichtbarkeit in der Umgebung ermittelt. Vorher muss plausibel definiert werden, wie die Ergebnisse zu interpretieren sind. Bei der Sichtbarkeitsanalyse wurden für den Planungskorridor Niedersachsen bei einer 60m hohen Freileitung folgende vereinfachende Annahmen definiert:

- Keine Sichtbarkeit in 50m Höhe: Es wird ein sichtbarer Anteil von 0m angenommen
- Sichtbarkeit in 50m Höhe: Es wird ein sichtbarer Anteil von 20m angenommen
- Sichtbarkeit in 30 und 50m Höhe: Es wird ein sichtbarer Anteil von 40m angenommen
- Sichtbarkeit in 10, 30 und 50m Höhe: Es wird ein sichtbarer Anteil von 60m angenommen

4.2 Verteilung der Testobjekte

Visibility Analyst bietet verschiedene Vorgehensweisen bei der Verteilung der Testobjekte. Es kann ein Rechteckraster, ein Hexagonalraster oder eine intelligente Zufallsverteilung verwendet werden. Bei der letztgenannten Methode wird eine Schleife durchlaufen, bei der mindestens zehn Punkte zufällig im Untersuchungsgebiet platziert werden, und anschließend der Punkt gesetzt wird, der den größten Abstand (bei einem vorgegebenen Mindestabstand) zu seinen Nachbarn aufweist. Nach dieser Methode können die Sichtbeziehungen im gesamten Untersuchungsgebiet mit permanent wachsender Genauigkeit errechnet werden. Für die durchgeführte Sichtbarkeitsanalyse wurde nach dieser Methode der sog. "Abstandsoptimierten Verteilung" vorgegangen.

4.3 Normierung des Ergebnisses

Da es keine einheitlich definierte Einheit zur Messung des Ästhetischen Belastung gibt, muss eine Methode definiert werden, um das Endergebnis der einzelnen Rechnungen miteinander vergleichbar zu machen. Hierzu bietet Visibility Analyst die Möglichkeit einer Normierung des Ergebnisses nach der Höhe der Objekte und nach der Fläche des Sichtkreises. Bei der Normierung nach der Objekthöhe wird das Ergebnis für jeden berechneten Punkt durch die vordefinierte Objekthöhe (60m) geteilt, um das Ergebnis vergleichbar mit Rechnungen für andere Objekthöhen zu machen. Bei der Normierung nach der Fläche wird die Sichtbarkeit jedes Punktes zusätzlich durch die Fläche seines Sichtbarkeitskreises geteilt, so dass (für den Fall einer Berechnung ohne Abnahmefunktion der Eindrucksstärke) am Ende theoretisch das Ergebnis für jeden Punkt zwischen 0 (totale Sichtverschattung) und 1 (keine Sichtverschattung) liegen kann. Durch die Angabe einer Funktion der Abnahme der Eindrucksstärke liegt der maximal mögliche Wert allerdings niedriger als 1 (er entspricht dem Integral der angegebenen Funktion der Eindrucksstärke, d.h. der Fläche unter der dargestellten Kurve).

Bei den verwendeten Parametern und insbesondere aufgrund der Tatsache, dass mit zwei verschiedenen Abnahmefunktionen der Eindrucksstärke gerechnet wurde, kommt man am Ende zu einem dimensionslosen Ergebnis der Eindrucksstärke oder Ästhetischen Belastung. Entscheidend ist jedoch, dass die Werte der einzelnen Rechnungen miteinander vergleichbar sind, dass die Parameter festgehalten und daher auch auf andere Gebiete übertragbar sind, und dass eine relative Auskunft über die Sichtbarkeit einer Freileitung an jedem Punkt des Planungskorridors getroffen werden kann.

Da sowohl mit einer Flächennormierung als auch mit einer Höhennormierung gearbeitet wurde, muss ein Punkt beachtet werden, der die Addition der Einzelrechnungen für das gesamte angenommene Sichtfeld (1000m) und für den Nahbereich (650m) betrifft: Durch die Flächennormierung werden die Ergebnisse der ersten Rechnung (1000m Sichtweite) auf eine Fläche von 19739 m² normiert, die der Nahbereichsrechnung (650m Sichtweite) jedoch auf 12830 m². Um die Ergebnisse miteinander verrechnen zu können, muss das Ergebnis der Nahbereichsrechnung also vor der schlussendlichen Addition durch 0,65 dividiert werden.

Die gesamten Einstellungen für die Sichtbarkeitsanalyse (in diesem Fall: Nahbereich bis 650m), wie sie im Einstellungsdialog von Visibility Analyst angegeben sind, können Sie der nachfolgenden Abb. 5 entnehmen.

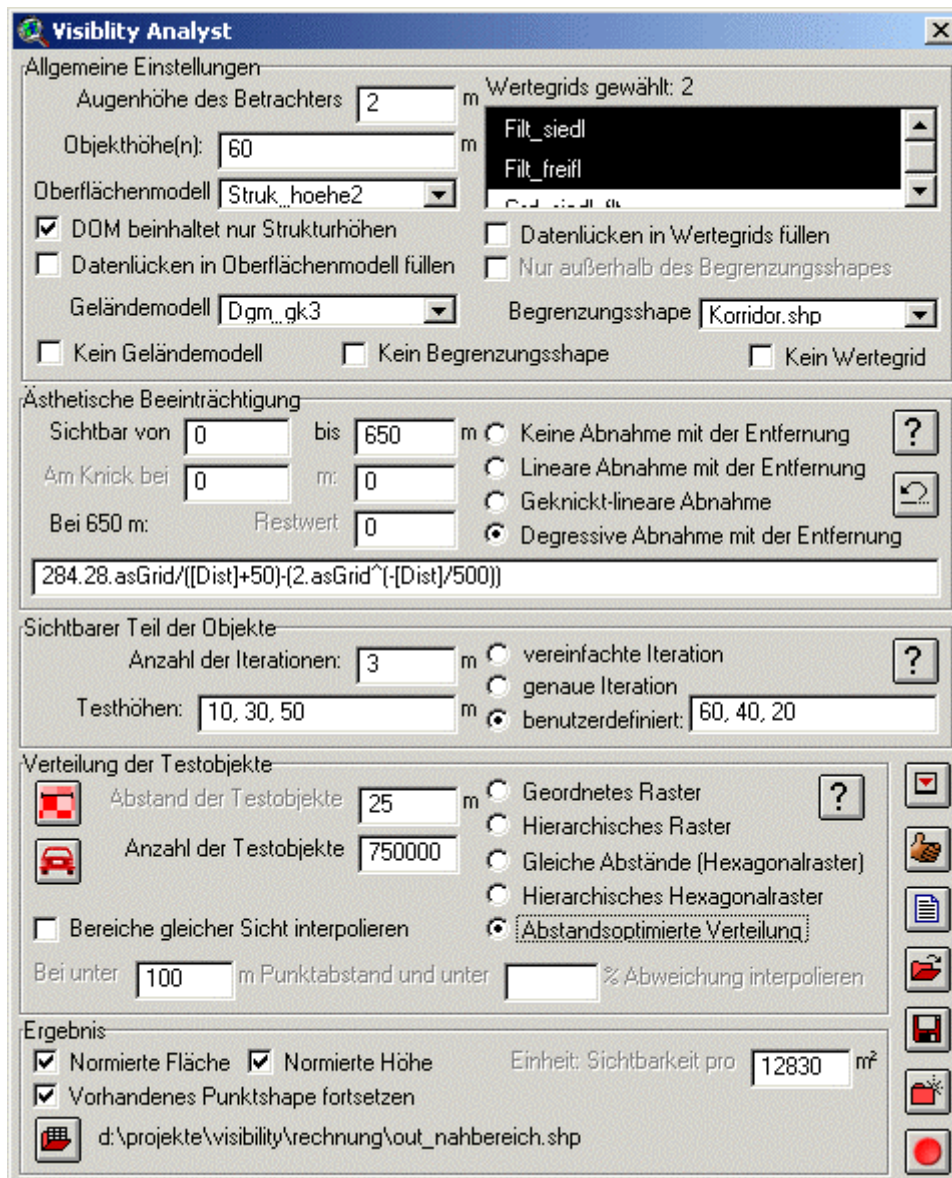


Abb. 5: Einstellungen für die Sichtbarkeitsanalyse des Niedersachsen-Korridors

5. Ergebnisermittlung

Bei der ersten Rechnung (1000m Sichtbarkeitsradius) wurde die Rechnung getrennt für die Filter-Grids Filt_Freifl und Filt_Siedl durchgeführt, da zunächst noch das Verfahren für die Betrachtung der Siedlungsråder definiert werden musste. Für die zweite Rechnung (Zusatzrechnung Nahbereich) wurden beide Filter-Grids angegeben (vgl. Parameter in Abb. 5). In jedem Fall besteht das Ergebnis zunächst aus einem Punktshape, das die Sichtbarkeit jedes berechneten Punktes enthält. Zur Verrechnung mit den anderen Ergebnissen müssen die Daten jedoch auch in ein Rasterformat (Grid) überführt werden. Um "Treppeneffekte" durch eine vorgegebene Rasterung zu minimieren, wird hierfür eine Rasterweite von 5m angesetzt. Die Konvertierung der Daten von Punktshapes in Grids erfolgt mit Hilfe der Importfunktion der ArcView-Erweiterung "Grid Machine" (vgl. Abb. 6). Mit Grid Machine können beim Datenimport auch Parameter zur Interpolation festgelegt werden. Durch eine lineare Interpolation (Power: 1) mit zwei Nachbarn wird erreicht, dass Werte in Rasterzellen, die zwischen Rechenpunkten liegen, gemittelt werden. Die Interpolation sorgt ebenfalls für eine Überlappung im Randbereich des Korridors, so dass es hier zu keinen "Treppeneffekten" kommt.

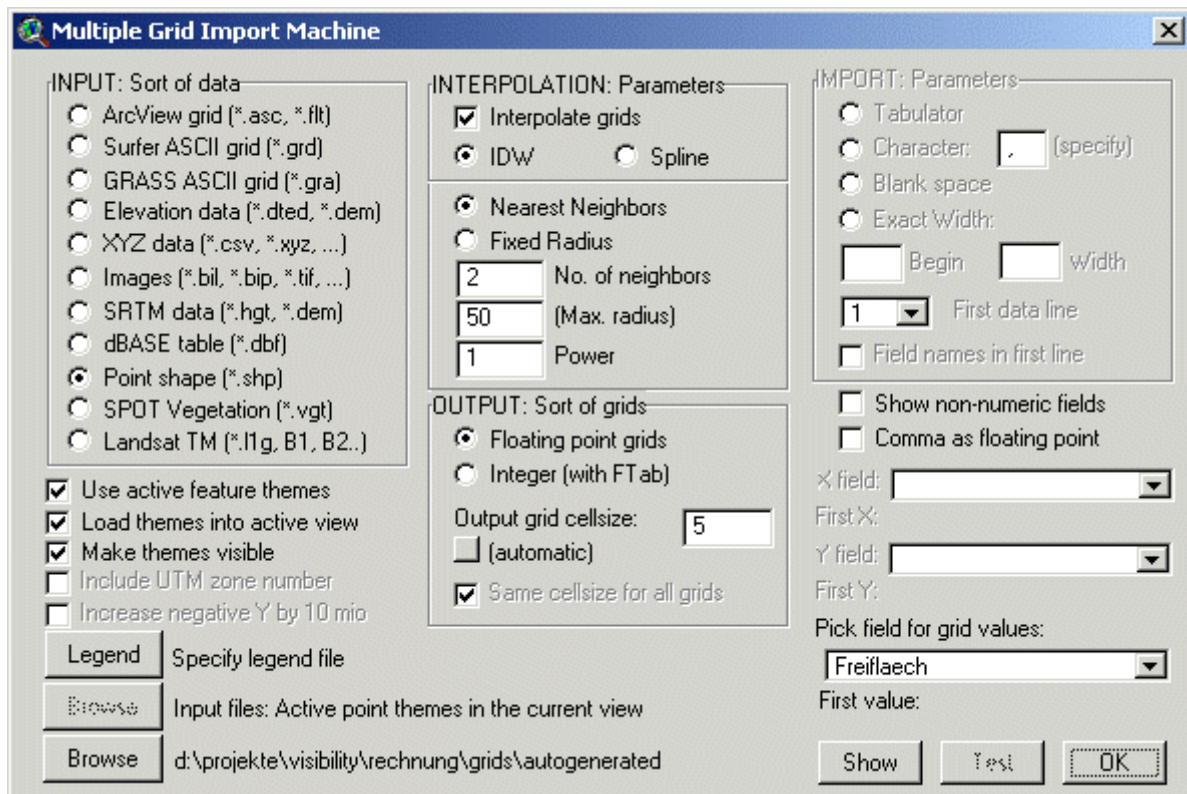


Abb. 6: Grid Machine Import-Parameter für die Konvertierung der Ergebnisse in Grids

Auf die beschriebene Weise werden alle vier Grids importiert:

- Grd_Frf_1000: Freiflächen (Rechnung bis 1000m)
- Grd_Sdl_1000: Siedlungsränder (Rechnung bis 1000m)
- Grd_Frf_650: Freiflächen (Rechnung Nahbereich)
- Grd_Sdl_650: Siedlungsränder (Rechnung Nahbereich)

Beim Import muss darauf geachtet werden, dass in der Analyseumgebung des Spatial Analyst die Ausdehnung auf "Same as Korridor.shp" gesetzt wird, um zu gewährleisten, dass die neuen Grids tatsächlich das gesamte Untersuchungsgebiet bedecken. Dann werden jeweils die Ergebnisse der Betrachtung der Freiflächen und der Siedlungsränder folgendermaßen miteinander verschnitten (Addition):

- $[Grd_Freifl] = [Grd_Frf_1000] + ([Grd_Frf_650]/0.65)$
- $[Grd_Siedl] = [Grd_Sdl_1000] + ([Grd_Sdl_650]/0.65)$

Den entstandenen Grids müssen nun Legenden zugewiesen werden. Um auch in den Bereichen mit niedrigen Werten eine Differenzierung vornehmen zu können, ist es ratsam, hier kleinere Intervalle zu definieren als bei den höheren Werten. Auch muss beachtet werden, dass die Größenordnung der Ergebnisse für die Siedlungsränder insgesamt etwa eine Zehnerpotenz unter dem Ergebnis für die Freiflächen liegt. Nachfolgende Abbildung zeigt die Zuweisung der Legenden für die Sichtbarkeits-Grids:

Symbol	Value	Label	Symbol	Value	Label
	0 - 0.025	0 - 0.025		0 - 0.0025	0 - 0.0025
	0.025 - 0.05	0.025 - 0.05		0.0025 - 0.005	0.0025 - 0.005
	0.05 - 0.075	0.05 - 0.075		0.005 - 0.0075	0.005 - 0.0075
	0.075 - 0.1	0.075 - 0.1		0.0075 - 0.01	0.0075 - 0.01
	0.1 - 0.125	0.1 - 0.125		0.01 - 0.0125	0.01 - 0.0125
	0.125 - 0.15	0.125 - 0.15		0.0125 - 0.015	0.0125 - 0.015
	0.15 - 0.2	0.15 - 0.2		0.015 - 0.02	0.015 - 0.02
	0.2 - 0.25	0.2 - 0.25		0.02 - 0.025	0.02 - 0.025
	0.25 - 0.3	0.25 - 0.3		0.025 - 0.03	0.025 - 0.03
	0.3 - 0.35	0.3 - 0.35		0.03 - 0.035	0.03 - 0.035
	0.35 - 0.4	0.35 - 0.4		0.035 - 0.04	0.035 - 0.04
	0.4 - 0.45	0.4 - 0.45		0.04 - 0.045	0.04 - 0.045
	0.45 - 0.5	0.45 - 0.5		0.045 - 0.05	0.045 - 0.05
	0.5 - 0.55	über 0.5		0.05 - 0.055	über 0.05
		No Data			No Data

Abb. 7: Zuweisung der Legenden für die Sichtbarkeit in Bezug auf die Betrachtung der Freiflächen (links) und der Siedlungsränder (rechts)

Durch die Interpolation beim Konvertieren der Punktdaten in Grids kommt es an den Rändern des Korridors und der Siedlungsbereiche zu einem Überhang der Daten über das Untersuchungsgebiet hinaus. Um durch die Rasterung bedingte Treppeneffekte zu vermeiden, werden diese Überhänge erst nach der Konvertierung in Polygonshapes abgeschnitten. Die Konvertierung kann mit einer Reklassifizierung anhand der Legende bequem mit Grid Machine durchgeführt werden.

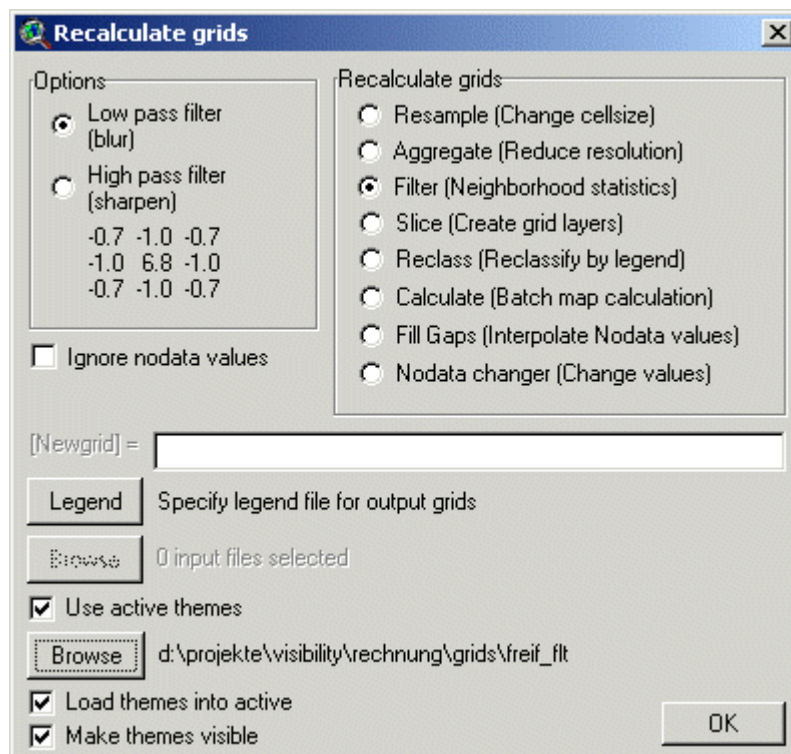


Abb. 8: Vor der Konvertierung in Polygonshapes wird ein Tiefpassfilter angewandt

Vor der Konvertierung der Daten in Polygonshapes müssen sie jedoch noch mit einem Tiefpassfilter behandelt werden, um interpolationsbedingte Datenfehler (Spikes und Wells) zu bereinigen. Dieser Schritt ist unter dem Aspekt der Informationserhaltung unbedenklich, da die Auflösung der Daten mit 5m weit besser ist als das Rechenraster von 25m. Abb. 8 zeigt die Einstellungen in Grid Machine (Funktion: Recalculate Grids) und Abb. 9 einen Ausschnitt im äußersten Süden des Projektgebietes vor und nach der Filterung.

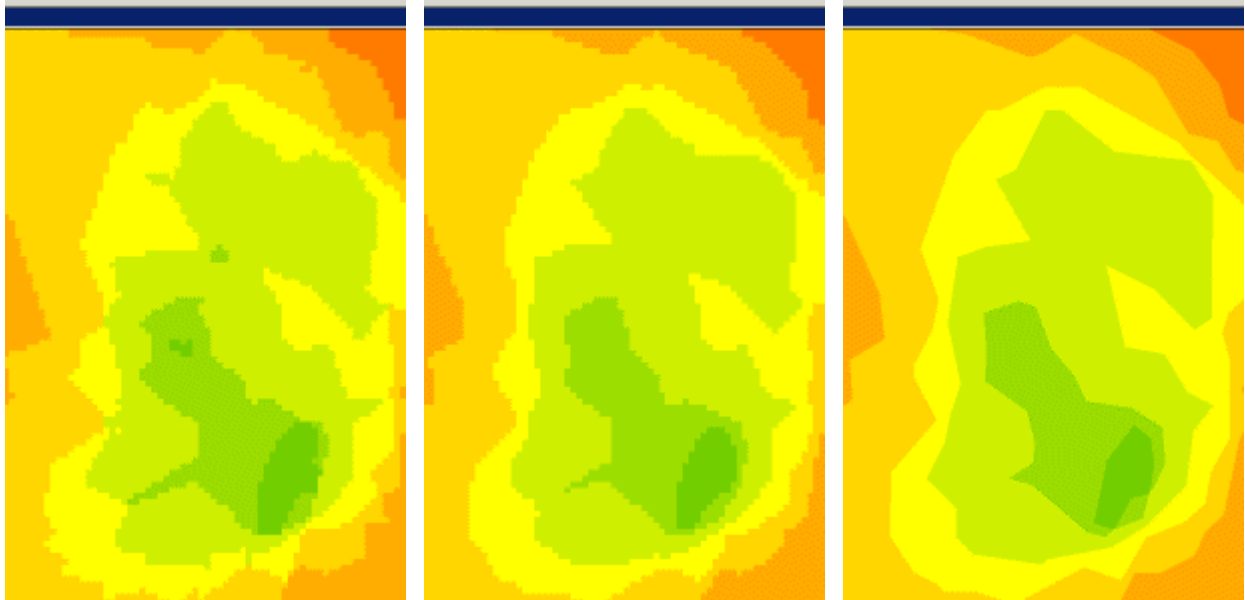


Abb. 9: Zuweisung der Legenden für die Sichtbarkeit in Bezug auf die Betrachtung der Freiflächen (links) und der Siedlungsränder (Mitte). das Bild rechts zeigt die Daten nach der Umwandlung in ein Polygonshape

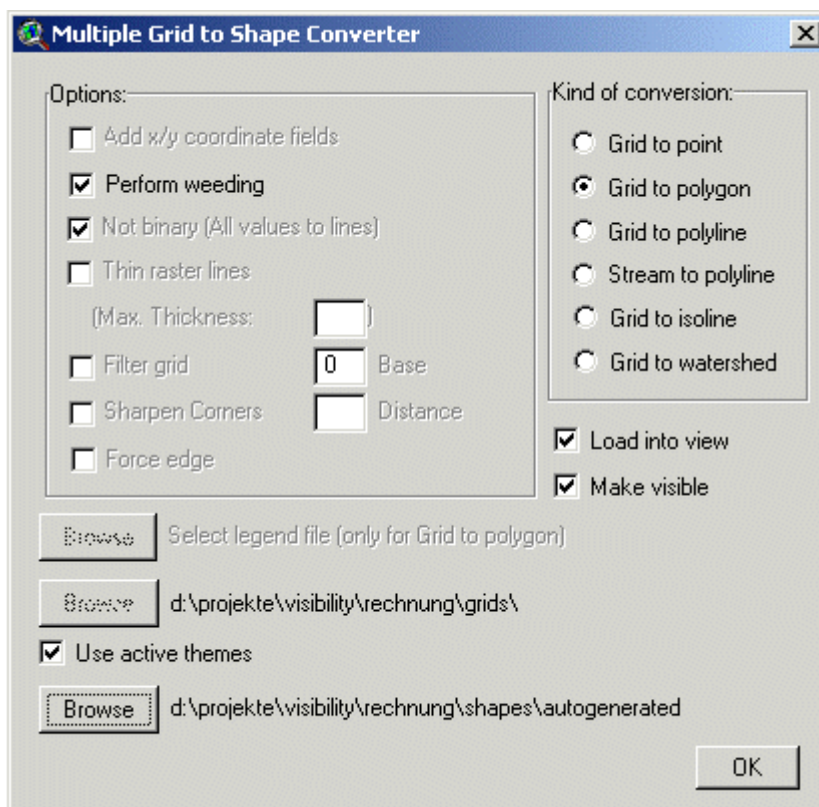


Abb. 10: Konvertierung der Grids in Polygonshapes anhand deren Legendeninformation

Die Umwandlung in Polygonshapes kann auch mit Grid Machine vorgenommen werden. Die Einstellung "Perform Weeding" führt dabei zu einer Glättung der Treppeneffekte. Das Beispiel in Abb. 9 zeigt den Prozess für die Daten des Ergebnisses der Freiflächen-Rechnung. Die gleiche Operation wird auch für die Siedlungsråder durchgeführt. Zu beachten ist lediglich, dass diese Funktion den Polygonen Umrandungslinien hinzufügt, die in der Legende manuell wieder entfernt werden müssen.

Jetzt erst zunächst das Polygonshape mit einer Maske verschnitten, die es an den Rändern des Korridors sowie der Siedlungen exakt beschneidet. Dadurch wird ausgeschlossen, dass es hier zu unnötigen Beeinträchtigungen des Kartenbildes durch die Rasterung kommt. Hierbei werden noch einmal das Shape-Thema des Korridors sowie das Polygonshape, das die Siedlungsbereiche definiert, verwendet. Mithilfe der Funktion "Erase Features" der ArcView-Erweiterung X-Tools können die Siedlungsbereiche aus dem Korridor-Thema "herausgestanzt" werden, so dass eine Maske übrigbleibt, die auf das Ergebnisshape angewandt werden kann. Dieser letzte Schritt kann mit der X-Tools-Funktion "Clip with Polygon(s)" oder (besser) mit dem Geoprocessing Wizard ("Clip one theme based on another") durchgeführt werden. Diese Operation wird sowohl für die Betrachtung der Freiflächen als auch für die Betrachtung der Siedlungsråder durchgeführt, so dass am Ende zwei Polygonshapes stehen, die die Sichtbarkeit im Korridorbereich unter Ausschluss der Siedlungsbereiche wiedergeben.

6. Interpretation

Eine Simulation kann kein genaues Abbild der Wirklichkeit erzeugen, in dem sämtliche denkbaren Informationen über den untersuchten Sachverhalt - in diesem Falle die Sichtbarkeit einer Freileitung - herauszulesen sind. Die Aussagekraft des Ergebnisses ist durch verschiedene Faktoren limitiert, die einerseits schon in den Eingangsdaten beinhaltet sind, andererseits auch durch den Rechenvorgang bestimmt werden. Je genauer man jedoch die limitierenden Faktoren definieren kann, um so besser ist am Ende die Entscheidung, die man aufgrund der Kartendarstellung treffen kann. Zur Unterstützung bei der Interpretation der Karte werden an dieser Stelle noch einmal die wichtigsten getroffenen Näherungen und Limitierungen aufgeführt sowie Gefahrenquellen bei der Analyse aufgezeigt.

- Die Eingangsdaten (Landnutzung, Strukturhöhe und Geländehöhe) liegen in einer Rasterweite von 25m vor. Die Genauigkeit der Standortwahl kann daher nicht besser als 25m sein.
- Lineare Gehölze wurden mit einer Höhe von 7m und einer Breite von einer Rasterzelle angenommen. Eine Durchlässigkeit z.B. von Alleen wurde nicht berücksichtigt.
- Waldgebiete werden fast generell als bevorzugte Bereiche für die Standortwahl (geringe Sichtbarkeit) herausgestellt, da einerseits Betrachter im Wald nichts sehen und andererseits die Freileitungsmasten nur mit den Spitzen aus den Wäldern herausragen. Dies ist jedoch aus zwei Gründen mit Vorsicht zu genießen: Zum einen werden die Sichtbeziehungen in den Schneisen, die für die Freileitung erforderlich sind, nicht berücksichtigt, zum anderen gibt es hier natürlich auch Bedenken aus landschaftsökologischer Sicht.
- Die Freileitung wird nur abstrahiert in Form linearer Masten berücksichtigt. Es geht weder die spezielle Form der Mastspitze, noch das Durchhängen der Leitung in die Betrachtung ein.
- Durch die Beschränkung der Sichtweite auf 1000m wird die Sichtbarkeit in Offenlandbereichen generell unterbewertet. Da es sich hierbei durchgängig um Bereiche handelt, in denen die Sichtbarkeit auch bei einer Beschränkung der Sichtweite maximale Werte aufweist, wurde diese Vereinfachung in Kauf genommen.

- Es wurde lediglich die Sichtbarkeit in 10, 30 und 50m Höhe betrachtet. Da die Höhe von Siedlungsbereichen und Gehölze mit 7m angenommen wurden, kann ein Betrachter ab einem gewissen Abstand von der Geländestruktur über diese Strukturhöhen hinwegsehen, wobei er dann immer noch das gesamte Objekt wahrnimmt. Auch dieser Effekt führt zu einer zu geringen Annahme der Sichtbarkeit in Offenlandbereichen.
- Durch die Einteilung der Werte in Intervalle für die Kartendarstellung geht in Einzelbereichen Information über Abweichungen der Sichtbarkeit innerhalb der Intervallgrenzen verloren
- Der Darstellung der Karten für die Sichtbarkeit von den Siedlungsrändern und von den Freiflächen liegen unterschiedliche Legenden zugrunde (Faktor 1:10). Für eine vergleichende Betrachtung muss ein qualitativer Faktor gefunden werden, der die Gewichtung des Schutzgut Mensch (Siedlungsränder) und des Landschaftswertes an sich (Freiflächen) definiert. Bei einer Verschneidung der Karten müssen die Werte für die Siedlungsränder mindestens doppelt gewichtet werden, um das Schutzgut Mensch mit gleichem Grad zu berücksichtigen. Sinnvoller wäre jedoch eine Gewichtung von wenigstens 4:1, um dem Schutzgut Mensch wenigstens eine geringfügig höhere Bedeutung als dem Landschaftswert an sich beizumessen.

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/arbeitbereiche/forsten/landschaftsbildbewertung.pdf> as of 04/28/2005)

WEIGEL, J. (2005): Möglichkeiten der Erstellung eines DGM aus SRTM-Daten unter vergleichender Einbeziehung der Landnutzungsklassifikationen CORINE und ATKIS, Hannover (URL: <http://www.ecogis.de/srtm-aufbereitung.pdf> as of 04/28/2005)