

# GIS-basierte Sichtbarkeitsanalysen

## Ein Vergleich von digitalen Gelände- und Landschaftsmodellen als Eingangsdaten von Sichtbarkeitsanalysen

Marc-André Täuber und Michael Roth

### Zusammenfassung

Mit Hilfe eines Geoinformationssystems wurden verschiedene Digitale Gelände- und Landschaftsmodelle als Eingangsdaten für Sichttraumanalysen vergleichend untersucht und die Effekte von Datenqualität und räumlicher Auflösung auf die Ergebnisse der Sichtbarkeitsberechnungen ermittelt. Dieser Artikel beschreibt neben der Aufbereitung der Eingangsdaten auch die Durchführung von Sichtbarkeitsberechnungen sowie den Vergleich und die Validierung der Ergebnisse. Schlussfolgernd werden Empfehlungen für Sichtbarkeitsanalysen gegeben.

### Summary

*In the study described, several digital elevation models and digital landscape models were compared as input data for GIS-based viewshed analyses. The effects of data quality and spatial resolution on the visibility calculations were investigated. In addition to the preparation of input data, this article also describes the operational viewshed calculations as well as the comparison and validation of the results. Finally, recommendations for GIS-based viewshed analyses are presented.*

**Schlüsselworte:** Sichtbarkeit, Landschaft, Eingriffsregelung, Digitales Geländemodell (DGM), Digitales Landschaftsmodell (DLM)

## 1 Problemstellung und Zielsetzung

GIS-basierte Sichtbarkeitsanalysen können dazu dienen, Auswirkungen von in der Landschaft errichteten, technischen Objekten (z. B. Windkraftanlagen oder Hochspannungsleitungen) auf das Landschaftsbild zu ermitteln und zu bewerten. Aufgrund der technischen Fortschritte digital verfügbarer Gelände- und Landschaftsmodelle sind solche Analysen zu wichtigen Hilfsmitteln in der Planungspraxis geworden.

Grundlegende Eingangsdaten für Sichtbarkeitsanalysen sind *Digitale Geländemodelle* (DGM) sowie *Digitale Landschaftsmodelle* (DLM). Diese dienen dazu, die reale Landschaft in den geographischen Informationssystemen modellhaft abzubilden und enthalten sowohl den nötigen räumlichen Kontext für den (virtuellen) Beobachter und das Zielobjekt der Sichtbarkeitsanalyse (z. B. eine Windkraftanlage) als auch Informationen zu möglichen sichtbarblockierenden Hindernissen (Relief oder Landnutzungen). Sichtbarkeitsberechnungen sind sowohl auf Grundlage von komplett kostenfreien Daten, die jedoch qualitative

Defizite aufweisen, als auch auf Basis kostenpflichtiger, qualitativ hochwertiger Daten durchführbar.

An der Fakultät Raumplanung der Technischen Universität Dortmund wurden im Rahmen einer Diplomarbeit (Täuber 2010) verschiedene DGM und DLM vergleichend analysiert. Diese wurden als Eingangsdaten für Sichtbarkeitsberechnungen einer Windkraftanlage (WKA) verwendet und die Effekte von Datenqualität und räumlicher Auflösung auf die Ergebnisse der Sichtbarkeitsberechnungen ermittelt.

Die Untersuchung beinhaltet ebenfalls eine Kosten-Nutzen-Analyse. Vor dem Hintergrund limitierter Budgets in der Planungspraxis wird empirisch begründetes Wissen über den Verlust an Aussagegenauigkeit (in Abhängigkeit von der Genauigkeit und Auflösung der Eingangsdaten und somit auch deren Kosten) dringend benötigt. Als Fallbeispiel diente der Untersuchung eine 146 m hohe Windkraftanlage in Haltern am See, Nordrhein-Westfalen.

## 2 Durchführung der Sichtbarkeitsanalyse

Als digitale Höhenmodelle kamen bei der Sichtbarkeitsanalyse das DGM 10, das DGM 25 sowie das SRTM DOM zum Einsatz. Beim SRTM DOM handelt es sich um ein Digitales Oberflächenmodell, das auf der Basis von Fernerkundungsdaten der Erdoberfläche, die bei der Shuttle Radar Topography Mission im Februar 2000 aus dem Weltraum aufgezeichnet wurden, generiert wurde. Als Landschaftsmodelle wurden die Daten des ATKIS® Basis-DLM sowie CORINE LANDCOVER-Daten (CLC DLM) verwendet. Die benötigten Daten wurden zum einen von der Bezirksregierung Köln, Abteilung 7, Geobasis NRW zur Verfügung gestellt (DGM 10, DGM 25, ATKIS® Basis-DLM), zum anderen waren sie frei im Internet verfügbar (SRTM DOM, CLC DLM). Die Sichtbarkeitsanalyse wurde mit einem Radius von 10 km um die Windkraftanlage durchgeführt, was dem üblichen Ausmaß visueller Wirkzonen von punktuellen Vorhaben großer Höhe entspricht (Adam et al. 1986, Nohl 1993, Gerbaulet 1994, Galler 2000, Gerhards 2003). Daher wurden Daten für eine Fläche von etwa 314 km<sup>2</sup> (Kreisfläche mit 10 km Radius) benötigt.

Um mit Hilfe der Software ArcGIS Sichtbarkeitsberechnungen der Windkraftanlage durchführen zu können, wurden sämtliche Eingangsdaten zunächst aufbereitet und für die Verwendung in der Software vorbereitet.

### Aufbereitung der Eingangsdaten

Die Aufbereitung des DGM 10 sowie des DGM25 gestaltete sich unproblematisch, denn diese Daten mussten lediglich vom ASCII-Format, in welchem sie zur Verfügung gestellt wurden, in ein Rasterformat konvertiert werden.

Bei den SRTM-Daten war hingegen mehr Arbeitsaufwand nötig. Zum einen besteht bei SRTM-Daten ein

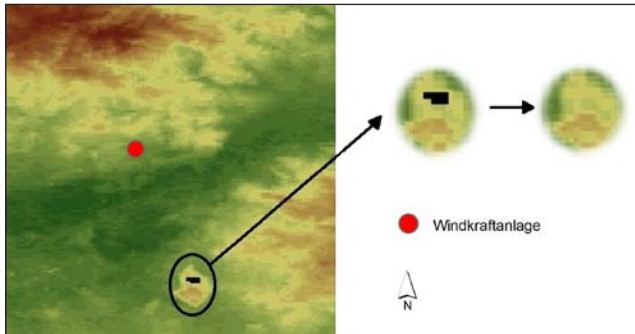


Abb. 1: Interpolation von SRTM-Datenlücken

Problem darin, dass an steilen Hängen oder über Wasserflächen Datenlücken vorliegen können. Deshalb wurden zunächst sämtliche Datenlücken, die in den für das Untersuchungsgebiet relevanten Daten vorhanden waren, mittels Interpolationen bereinigt (Abb. 1).

Bei den SRTM-Daten handelt es sich zudem nicht um ein Digitales Geländemodell (DGM), sondern um ein Digitales Oberflächenmodell (DOM), welches neben der Erdoberfläche zudem alle sich auf ihr befindenden Objekte (Bewuchs, Bebauung etc.) repräsentiert. Aus diesem Grund wurde zunächst mit Hilfe eines Differenzialrasters ermittelt, in welchem Maße das SRTM DOM im Vergleich zum hochauflösenden DGM 10 abweicht (Abb. 2).

Insbesondere über bewaldeten Flächen sind die SRTM DOM-Daten deutlich überhöht. Diese Überhöhung beträgt in der Regel mehr als 5 m, häufig sogar mehr als 10 m (*dunkelrot*). Über Siedlungsbereichen beträgt die Überhöhung überwiegend 1 bis 3 m (*hellrot*). Auffällig ist zudem, dass über freien Flächen die Überhöhung des SRTM DOM im Vergleich zum DGM 10 vielfach nicht im positiven, sondern oftmals leicht im negativen Bereich liegt (*hellblau*). Aufgrund großer Waldgebiete

liegt die mittlere Überhöhung des SRTM DOM im Untersuchungsgebiet im Schnitt bei 3,7 m.

In Anlehnung an Weigel (2005a) wurde deshalb eine Strukturhöhenbereinigung durchgeführt. Hierdurch konnte die Überhöhung der SRTM-Daten über Siedlungsbereichen und Wäldern minimiert werden und näherte die SRTM-Daten der Genauigkeit des DGM 10 an.

Die Strukturhöhenbereinigung wurde sowohl unter Einbeziehung des ATKIS® Basis-DLM als auch unter Einbeziehung des CLC DLM durchgeführt. Zunächst wurden beide DLM jeweils über das in Abb. 2 dargestellte Differenzialraster gelegt. Auf diese Weise konnte überprüft werden, um wie viele Meter im SRTM DOM die Flächen der jeweiligen ATKIS®- und CLC-Objektarten (z. B. Wälder, Wohnbauflächen etc.) im Mittel gegenüber dem DGM 10 überhöht waren. Anschließend wurden die Flächen der jeweiligen Objektarten im Höhenmodell um die entsprechenden Werte angehoben beziehungsweise abgesenkt.

Die Überhöhung des CLC-bereinigten SRTM wies insgesamt etwas kleinere Werte aus, als die des ATKIS®-bereinigten SRTM. Bei beiden Varianten ist jedoch eine deutliche Verbesserung der Höhengenaugkeiten im Vergleich zum SRTM DOM erkennbar.

Um den Standort der Windkraftanlage in das GIS einzubringen, wurden Geoobjekt-Klassen (*feature classes*)

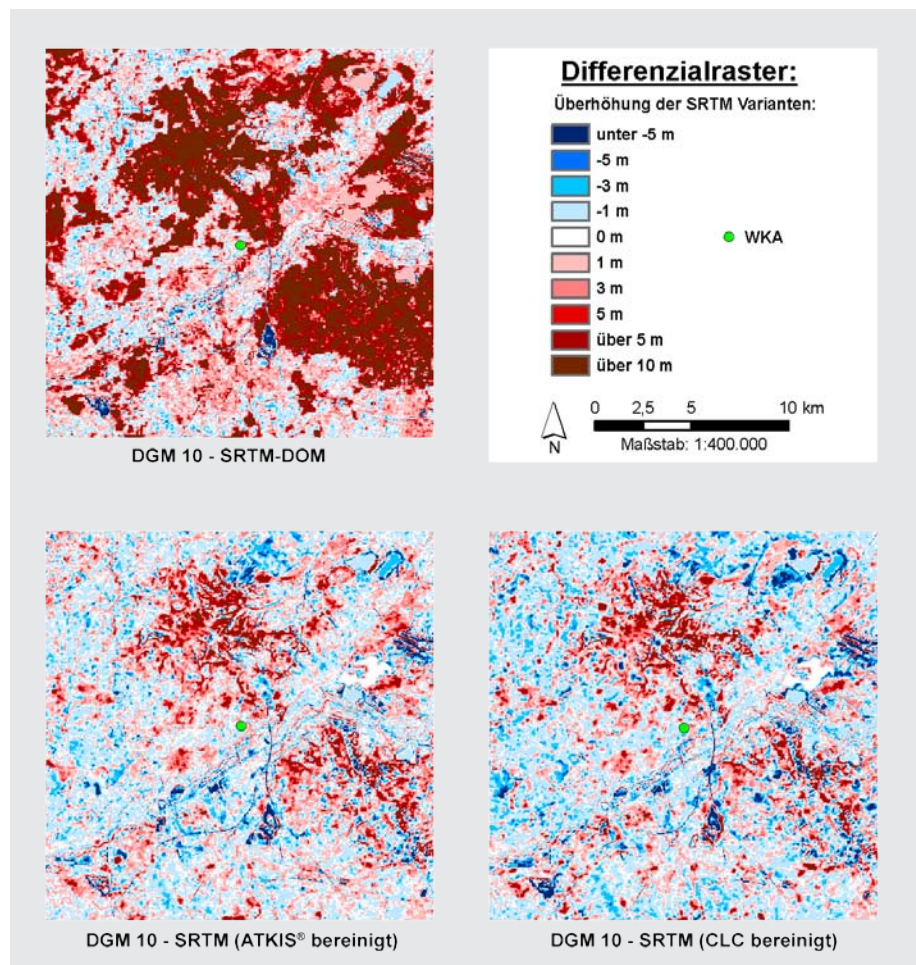


Abb. 2: Überhöhung der SRTM-Varianten im Vergleich zum DGM 10

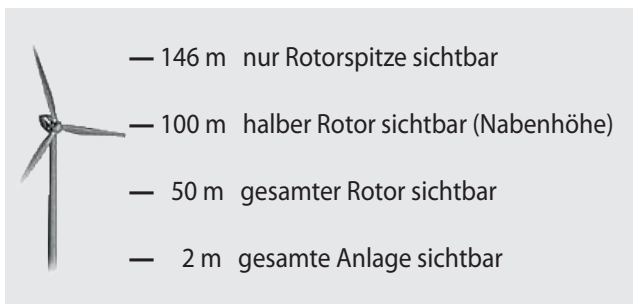


Abb. 3: Sichtbarkeitsabschnitte der Windkraftanlage

erstellt, welche die exakte Lage und Höhe der Anlage beschreiben. Von vielen Standorten in der Landschaft aus sind beispielsweise lediglich die oberen Abschnitte des Rotors der Windkraftanlage bis hinunter zur Nabe sichtbar, was sich auf die Intensität der Wirkung einer Anlage auswirkt. Im Rahmen der Sichtbarkeitsanalyse wurden deshalb verschiedene Anlagenabschnitte betrachtet (Abb. 3).

Um Sichtverschattungen der Windkraftanlage durch Landnutzungen (z. B. durch Gebäude oder Wälder) in den Berechnungen zu berücksichtigen, wurden anschließend in den Daten des ATKIS® Basis-DLM und des CLC DLM allen Objektarten, die eine vertikale Ausdehnung haben, geeignete Nutzungshöhen hinzugefügt.

Da eine Erfassung und Kartierung der exakten Lage und Höhe jedes einzelnen Gebäudes und Baumes im Untersuchungsgebiet nur unter immensem Zeit- und Kostenaufwand realisierbar wäre (und dieser Aufwand in keinem Verhältnis zu dem Mehrwert steht, den dies für eine Sichtbarkeitsanalyse in der Planungspraxis bringen

würde), wurden generalisierte Flächen sowie einheitliche Höhen für die jeweiligen Landnutzungen verwendet.

Unter Berücksichtigung der Vorschläge für generalisierte Höhen von Gerbaulet (1994), Weidenbach (1999), Mittelstädt (2001), Roth (2002), Weigel (2005b) sowie Sander et al. (2007) wurde für die folgenden Sichtbarkeitsberechnungen eine generalisierte Höhe von 10 m für Siedlungs-, Industrie- und Gewerbeflächen sowie Gehölze festgelegt. Waldflächen wurden mit einer Höhe von 25 m klassifiziert. Nach Festlegung dieser generalisierten Objekthöhen wurden anschließend die Daten des ATKIS® Basis-DLM sowie des CLC DLM herangezogen und entsprechend bearbeitet. Allen relevanten Objektarten, die eine Sichtverschattung der Windkraftanlage zur Folge haben könnten, wurden die generalisierten Nutzungshöhen (Tab. 1) hinzugefügt. Abschließend wurden die Shapefiles zu Rastern konvertiert, um die Nutzungshöhen den Geländehöhen des DGM 10, DGM 25 und der verschiedenen SRTM-Varianten hinzuzuaddieren.

Daran anknüpfend wurden additive Geländeoberflächenmodelle erstellt, indem nun die Raster der DLM, inklusive der Landnutzungshöhen, auf die Raster der DGM addiert wurden. Um das Ziel der Untersuchung, einen Vergleich der verschiedenen DGM und DLM als Eingangsdaten in Sichtbarkeitsanalysen zu verfolgen, wurden folgende fünf Varianten erstellt:

- I: DGM 10 + ATKIS® Basis-DLM  
 II: DGM 25 + ATKIS® Basis-DLM  
 III: SRTM (ATKIS®-bereinigt) + ATKIS® Basis-DLM  
 IV: SRTM (CLC-bereinigt) + CLC DLM  
 V: SRTM DOM (unbereinigt) + CLC DLM

Tab. 1: Generalisierte Höhen der relevanten ATKIS®- und CLC-Objektarten

ATKIS®-Objektarten	CLC-Objektarten	Generalisierte Höhe
Wohnbaufläche (41001)	Flächen städtischer Prägung (111+112)	10 m
Industrie- und Gewerbefläche (41002)	Industrie- und Gewerbefläche (121)	10 m
Fläche gemischter Nutzung (41006)		10 m
Fläche bes. funktionaler Prägung (41007)		10 m
	Laubwald (311)	25 m
Wald (43002)	Nadelwald (312)	25 m
	Mischwald (313)	25 m
Gehölz (43003)	Wald-Strauch-Übergangsstadien (324)	10 m

Die für eine Sichtbarkeitsanalyse zu veranschlagenden Kosten sind zu einem großen Teil abhängig von den verwendeten Eingangsdaten. Daher wurden diese fünf Kombinationen ausgewählt, um sowohl kostenpflichtige als auch komplett kostenfreie Varianten miteinander vergleichen zu können.

Sichtbarkeitsberechnungen

In den vorigen Abschnitten wurden die Grundlagen erläutert, um mit den zur Verfügung stehenden DGM und DLM Sichtbarkeitsberechnungen der Windkraftanlage durchführen zu können. Die Eingangsdaten wurden entsprechend aufbereitet, sodass mittels der *viewshed*-Funktion in ArcGIS nicht nur dargestellt werden konnte, von wo

auf 100% aller Flächen zutrifft, ist diese Einschränkung aufgrund der Verwendung generalisierter Nutzungshöhen nötig. In der Realität ist es jahreszeitlich bedingt selbstverständlich möglich, durch kleine Baumreihen hindurch die Windkraftanlage zu sehen, wenn die Bäume klein sind oder nur wenig Laub tragen. Diese »FuzzyViewsheds« wurden bisher in der Wissenschaft wenig bearbeitet, obgleich erste Ansätze existieren (z.B. Fisher 1992

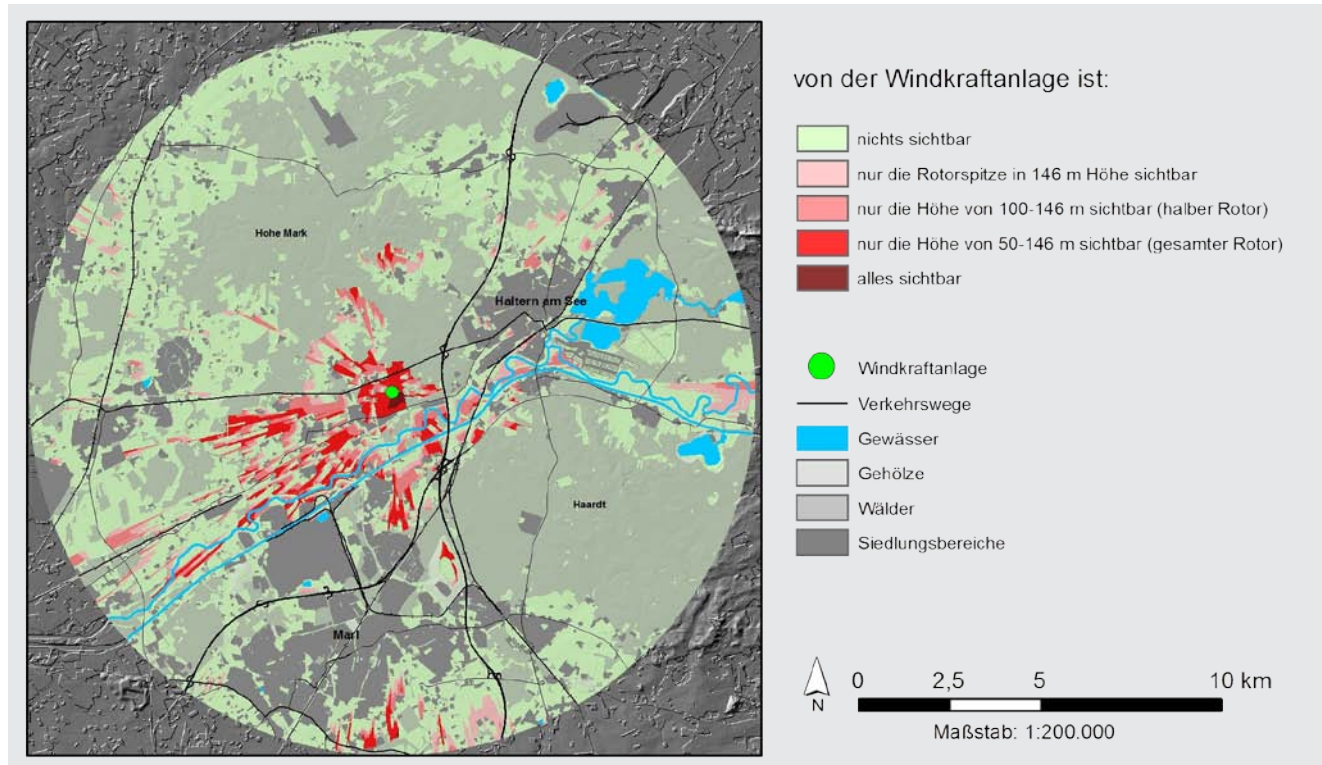


Abb. 4: Sichtbarkeitsberechnung I (Referenzberechnung) der Windkraftanlage »Neuer Kamp« in Haltern-Bergbrossendorf

aus die WKA sichtbar ist (binäre Sichtbarkeitsanalyse), sondern auch welche Anteile der WKA von jedem Standort aus innerhalb des Untersuchungsgebiets zu sehen sind (quantitative Sichtbarkeitsanalyse).

Bei den durchgeführten Sichtbarkeitsberechnungen (Abb. 4 zeigt das Beispiel der Berechnung I auf Grundlage des DGM 10 sowie des ATKIS® Basis-DLM) wurde davon ausgegangen, dass es von einem Standort innerhalb von Waldflächen oder Siedlungsbereichen aus unmöglich ist, die Windkraftanlage zu sehen. Auch wenn dies nicht

und 1994, Ogburn 2006). Ebenfalls gibt es innerhalb von Siedlungsbereichen Freiflächen, von denen aus die Anlage zu sehen ist, vor allem von Straßenräumen aus. Führen diese in Richtung Windkraftanlage, ist es teilweise möglich von den Freiflächen aus die oberen Abschnitte der Anlage über der umgebenden Bebauung zu sehen.

Tab. 2 zeigt die durchgeführten Sichtbarkeitsberechnungen mit den jeweils verwendeten Rasterweiten. Zudem sind die jeweiligen Kosten aufgeführt, basierend auf den entsprechenden Datengrundlagen.

Tab. 2: Die Sichtbarkeitsberechnungen I bis V

Berechnung	DGM	DLM	Rasterweite	Kosten
I (Referenzberechnung)	DGM 10	ATKIS® Basis-DLM	10 m	11.813 €
II	DGM 25	ATKIS® Basis-DLM	25 m	3.623 €
III	SRTM (ATKIS® bereinigt)	ATKIS® Basis-DLM	46 m	2.363 €
IV	SRTM (CLC bereinigt)	CLC-DLM	46 m	0 €
V	SRTM-DOM (unbereinigt)	CLC-DLM	46 m	0 €

### 3 Validierung und Vergleich der Ergebnisse

Nachfolgend sollen ausgewählte Ergebnisse der Sichtbarkeitsanalyse betrachtet, miteinander verglichen und deren Validität überprüft werden.

#### Vergleich

Zunächst wurden vier verschiedene Ausschnitte aus den Sichtbarkeitsberechnungen in einem deutlich größeren Maßstab betrachtet. Da mehrere Faktoren Auswirkungen auf die Sichtbarkeit bzw. Sichtverschattung der Windkraftanlage haben, wurden die folgenden Vergleiche analysiert:

- Vergleich A: Sichtverschattung durch Siedlungsbereiche
- Vergleich B: Sichtverschattung durch Waldflächen
- Vergleich C: Sichtverschattung durch Gehölze
- Vergleich D: Sichtverschattung aufgrund einer bewaldeten Anhöhe

An dieser Stelle soll beispielhaft auf die Ergebnisse aus dem Vergleich A (Sichtverschattung durch Siedlungsbereiche) eingegangen werden. Bei diesem Vergleich liegen die beiden Ortsteile Freiheit und Lippramsdorf zwischen dem Standort der Windkraftanlage und dem Vergleichsausschnitt (Abb. 5).

Anhand des Geländeschnitts A-A' ist zu erkennen, dass sich das Zentrum des 1 × 1 km großen Vergleichsaus-

schnitts mit 35 m über Normalnull etwa 20 m niedriger befindet, als der Standort der Windkraftanlage und rund 3,2 km von diesem entfernt ist. Durch diese Höhendifferenz wird die Relevanz der Objekthöhen von dazwischen liegenden Gebäuden oder Bäumen gesteigert. In Abb. 6 sind die Ergebnisse dieses Vergleichsausschnitts aller fünf Sichtbarkeitsberechnungen gegenübergestellt.

Die Sichtbarkeitsergebnisse der Berechnung II liegen mit durchschnittlich 1,35% Abweichung für jeden WKA-Abschnitt sehr nah an denen der Referenzberechnung, die Abweichungen der Ergebnisse der Berechnung III immerhin noch bei weniger als 7%. Bei diesen Werten ist jedoch zu berücksichtigen, dass sie sich lediglich auf die absoluten Maße der Flächen, von denen aus die jeweiligen WKA-Abschnitte innerhalb des Vergleichsausschnitts sichtbar sind, beziehen und nicht auf deren Lagegenauigkeiten. Ein solcher Vergleich wäre aufgrund der unterschiedlichen Rasterweiten der Berechnungen aufwändiger, aber prinzipiell ebenfalls möglich. Unter Berücksichtigung der niedrigeren Auflösungen und Kosten der Berechnungen II und III lassen sich deren Abweichungen als hinnehmbar einschätzen. Bei den Ergebnissen der Berechnungen IV und V sind nur wenige Übereinstimmungen mit der Berechnung I zu erkennen.

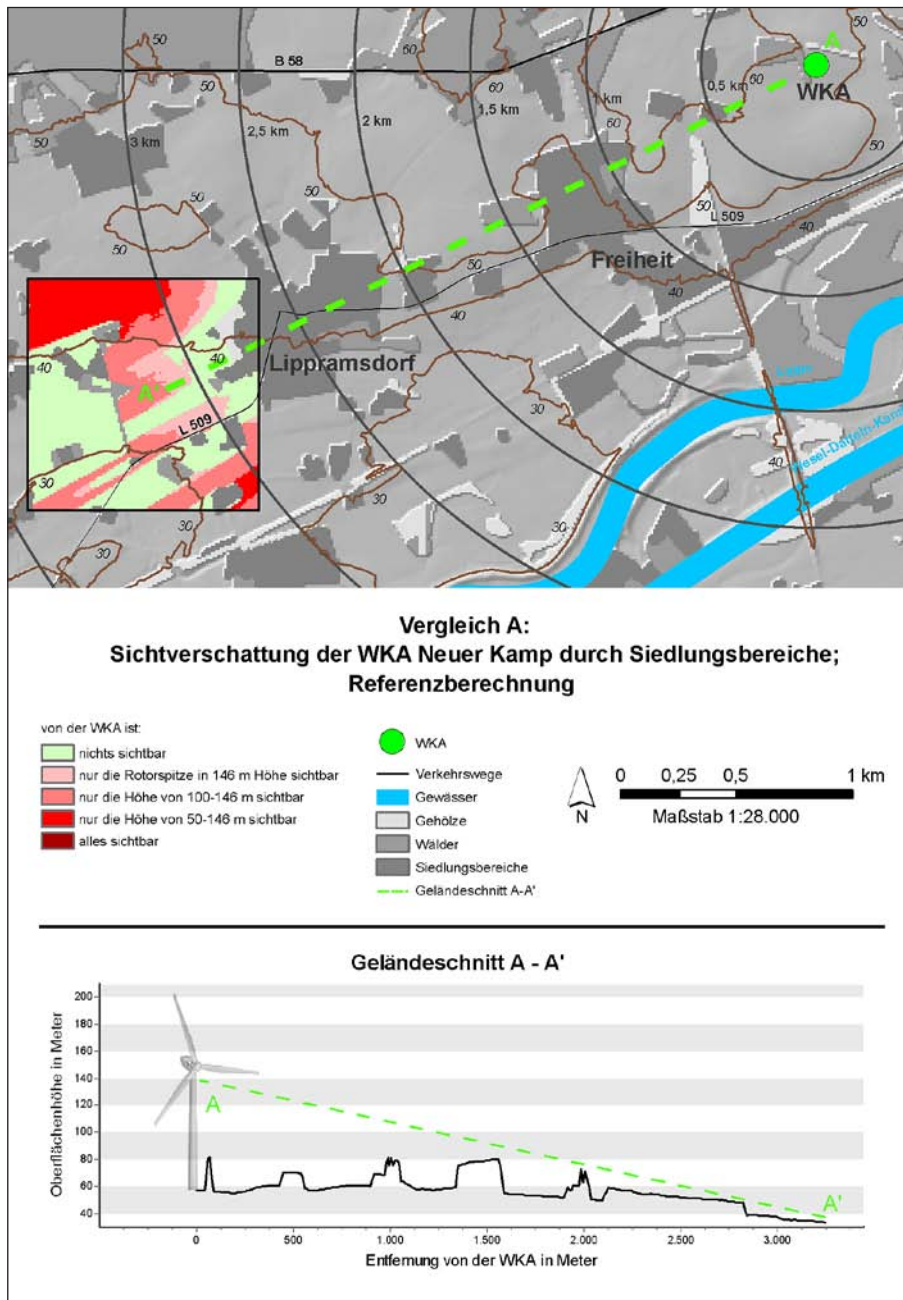


Abb. 5: Sichtverschattung der Windkraftanlage »Neuer Kamp« durch Siedlungsbereiche; Referenzberechnung

Da diese Ergebnisse durchschnittlich um mehr als 46% von der Referenzberechnung abweichen, sind sie als unbrauchbar zu bewerten. Die Vergleiche B (für Sichtverschattungen durch Waldflächen), C (für Sichtverschattungen durch Gehölze) und D (für kombinierte Sichtverschattungen durch Wald und Relief) lieferten insgesamt ähnliche Ergebnisse. Zu bemerken ist ebenfalls, dass mit steigender Auflösung des Modells und deshalb verminderter Berücksichtigung kleinerer sichtverschattender Strukturen, eine generelle Überschätzung der Sichtbarkeit auftritt.

**Validierung**

Neben der Übereinstimmung der Modelle untereinander ist deren Übereinstimmung mit der Realität ein wichtiges Kriterium zur Beurteilung der Validität (= Gültigkeit) von Sichtbarkeitsberechnungen. Unter Validität wird die Sachgerechtigkeit der Abbildung (der realen Sichtbarkeit des Objektes) durch das Modellierungsverfahren verstanden (Auhagen 1998), also ob »ein Verfahren wirklich das mißt, was es messen soll« (Bechmann 1976).

Anhand von Fotos aus dem Untersuchungsgebiet wurde die Validität der Referenzberechnung (Sichtbarkeitsberechnung I; DGM 10 + ATKIS® Basis-DLM) überprüft. Beispielhaft soll dies im Folgenden ebenfalls anhand des Vergleichs A dargestellt werden.

Gemäß Berechnung I ist an dem Standort A' lediglich der WKA-Abschnitt 100–146 m sichtbar, da die dazwischen liegenden Siedlungsbereiche sichtverschattend wirken. In Abb. 7 ist erkennbar, dass von genau diesem Standort aus in der Tat lediglich die Nabe der WKA sowie der obere Teil des Rotors sichtbar sind. Auf dem Foto ist jedoch auch erkennbar, dass sich innerhalb des Siedlungsbereichs Bäume befinden. Diese sind in den verwendeten DLM nicht als solche gekennzeichnet. Da die Bäume teilweise höher sind als die Bebauungen, kommt es an einigen Stellen zu einer Unterschätzung der realen Sichtverschattung durch das Modell.

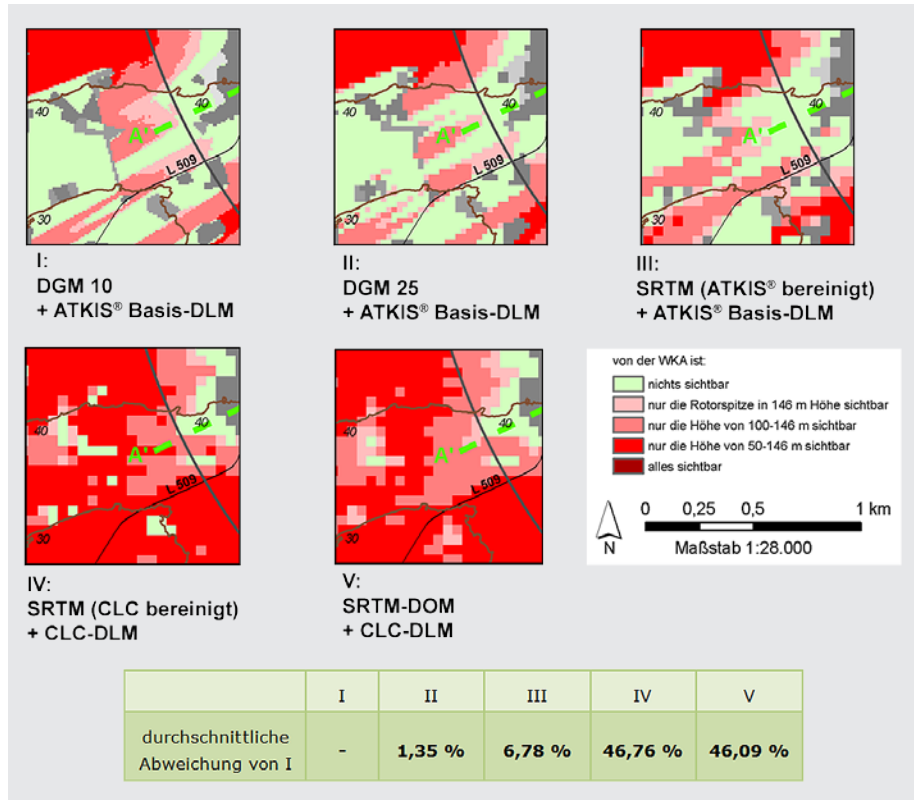


Abb. 6: Vergleichsausschnitte A: Sichtverschattung anhand von Siedlungsflächen, berechnet für die fünf Varianten an Kombinationen aus DGM und DLM



Abb. 7: Validierung der Sichtverschattung durch Siedlungsbereiche am Standort A'

**Zusammenfassende Betrachtung und Bewertung**

Die in der Sichtbarkeitsberechnung I verwendeten Eingangsdaten (DGM 10 und ATKIS® Basis-DLM) sind von so hoher Qualität, dass die mittels GIS berechnete Sichtbarkeit eine sehr große Validität aufweist. Dass das DGM 10 mit seiner feinen Rasterweite von 10m sowie einer Höhengenaugigkeit von ± 50 cm gute Ergebnisse liefern würde, war zu vermuten. Zudem sind auch die Daten des ATKIS® Basis-DLM ausreichend detailliert und weisen hohe Lagegenauigkeiten auf. Die Sichtbarkeitsberechnung I demnach auch als Referenzberechnung zu betiteln, erscheint aufgrund ihrer hohen Qualität als legitim.

Insgesamt weisen die Ergebnisse der Sichtbarkeitsberechnungen II (DGM 25 und ATKIS® Basis-DLM) und III (ATKIS®-bereinigtes SRTM DOM und ATKIS® Basis-DLM) eine deutlich geringere Differenz zur Referenzberechnung I auf, als die Ergebnisse der Berechnungen IV (CLC-bereinigtes SRTM DOM und CLC DLM) und V (unbereinigtes SRTM DOM und CLC DLM).

Da das DGM 25 aus dem DGM 10 abgeleitet wird und sich lediglich in der geringeren Rasterweite von diesem unterscheidet, kommt die Sichtbarkeitsberechnung II der Referenzberechnung I am nächsten und liefert gute Ergebnisse.

Bei der Ergebnisbetrachtung der fünf Sichtbarkeitsberechnungen in einem größeren Maßstab werden jedoch auch die Mängel der Sichtbarkeitsberechnungen II und III deutlich. Befinden sich entweder Wald- oder Siedlungsflächen zwischen der Windkraftanlage und dem Betrachtungsstandort, liefert die Berechnung II sehr gute Ergebnisse. Die minimalen Abweichungen zur Referenzberechnung sind auf die geringere Rasterweite zurückzuführen und vernachlässigbar. Befindet sich neben Waldflächen jedoch zusätzlich noch eine Anhöhe zwischen der WKA und dem Betrachtungsstandort, verschlechtern sich die Ergebnisse jedoch merklich. Da die Rasterweite von 25 m zu groß ist, um einzelne Baumreihen abzubilden, finden solche Objekte zudem keine Berücksichtigung in diesen Berechnungen. Dies ist die größte Schwäche der Sichtbarkeitsberechnungen II auf Grundlage des DGM 25. Ein möglicher Lösungsansatz, um diese Schwäche zu umgehen, wäre eine Hochskalierung des DGM 25 auf die Rasterweite des DGM 10, was folglich im Zuge der Landnutzungsextrusion eine Berücksichtigung auch kleinerer Flächen sichtverschattender Nutzungen erlauben würde.

Ähnlich verhält es sich mit den Ergebnissen der Sichtbarkeitsberechnungen III (ATKIS®-bereinigtes SRTM). Es kommen die gleichen Mängel wie bei den Berechnungen II zum Tragen, im Fall einer bewaldeten Anhöhe zwischen der Windkraftanlage und dem Betrachtungsstandort jedoch in noch deutlich größerem Maße.

Die Sichtbarkeitsberechnungen IV und V weisen bei allen Vergleichen so große Mängel auf, dass sie als ungenügend zu bewerten sind. Die Mängel resultieren hier zu einem Teil aufgrund der groben Rasterweite sowie der geringeren Höhengenaugigkeit der verwendeten SRTM-Daten. Ausschlaggebender ist jedoch die mangelhafte Qualität und fehlende Berücksichtigung kleiner Vegetations- und Siedlungsflächen der CLC DLM-Daten.

#### Fazit der Sichtbarkeitsanalyse

Der qualitative Unterschied zwischen dem ATKIS® Basis-DLM und dem CLC DLM fällt insgesamt deutlicher ins Gewicht, als der Unterschied zwischen den drei verwendeten DGM. Da die Reliefenergie im gesamten Untersuchungsgebiet als gering zu bezeichnen ist, kommen die qualitativen Defizite der SRTM-Daten im Vergleich

zu den DGM 10 oder DGM 25 Daten nicht so sehr zum Tragen, wie es möglicherweise in Regionen mit höherer Reliefenergie oder feingliedrigeren Reliefformen der Fall wäre, insbesondere da die Qualität der SRTM-Daten in der vorliegenden Studie durch eine Strukturhöhenbereinigung deutlich verbessert werden konnte.

## 4 Empfehlungen für vergleichbare Sichtbarkeitsberechnungen

Im Fallbeispiel kommen die Unterschiede der verwendeten DLM deutlicher zum Tragen als die Unterschiede der DGM. Aus diesem Grund werden zunächst Empfehlungen bezüglich des DLM und anschließend bezüglich des DGM formuliert.

### DLM

Einen ersten großen Unterschied bei den beiden zur Verfügung stehenden DLM stellen die Kosten dar, die für ihre Bereitstellung zu tragen sind. Diese betragen für ein Untersuchungsgebiet mit einem Radius von 10 km (dies entspricht einer Fläche von etwa 314 km<sup>2</sup>) um ein zu betrachtendes Objekt beim ATKIS® Basis-DLM 2.363 Euro, wohingegen das CLC DLM kostenfrei ist.

Qualitative Unterschiede bei den beiden DLM gibt es vor allem beim Detaillierungsgrad der Daten sowie bei deren Lagegenauigkeiten. Während das CLC DLM auf Basis von Satellitenbildern in einem sehr kleinen Maßstab von 1:100.000 erstellt wird, ist die Grundlage für das ATKIS® Basis-DLM die Deutsche Grundkarte im Maßstab 1:5.000. Aufgrund des deutlich größeren Maßstabs der Ausgangsdaten werden im ATKIS® Basis-DLM selbst kleinste Wälder und sogar einzelne Gebäude abgebildet. Im CLC DLM werden Umrisse von großen Wäldern oder von großen, zusammenhängenden Siedlungsbereichen zwar ähnlich gut dargestellt, einzelne Gebäude oder kleine Baumgruppen finden jedoch keine Berücksichtigung. Zudem liegt die Lagegenauigkeit beim ATKIS® Basis-DLM bei  $\pm 3$  m, beim CLC DLM hingegen nur bei  $\pm 25$  m.

Da Hindernisse, die sich zwischen dem Standort des Betrachters und einem zu betrachtenden Objekt befinden, ein entscheidendes Kriterium für die Sichtbarkeit dieses Objekts in der Landschaft darstellen, sind Sichtbarkeitsberechnungen auf Grundlage von CLC DLM-Daten nicht zu empfehlen. Für Sichtbarkeitsanalysen ist als DLM lediglich das ATKIS® Basis-DLM zu empfehlen. Falls vorhanden, können zudem flächendeckende Biotopkartierungen hinzugezogen werden, welche hinsichtlich der Vegetation einen noch höheren Detaillierungsgrad aufweisen als das ATKIS® Basis-DLM.

## DGM

Bei den drei zur Verfügung stehenden DGM liegen die qualitativen Unterschiede insbesondere in der Rasterweite sowie in der Höhengenaugigkeit. Weiterhin gibt es große Unterschiede bei den Kosten.

Da nach den zuvor genannten Beurteilungen ausschließlich Sichtbarkeitsberechnungen auf Grundlage des ATKIS® Basis-DLM zu empfehlen sind, findet das CLC-bereinigte SRTM sowie das SRTM DOM an dieser Stelle keine Berücksichtigung mehr.

### DGM 10

Die Qualität der Sichtbarkeitsberechnung auf Grundlage des DGM 10 ist sehr hoch. Sowohl die geringe Rasterweite von 10 m als auch die Höhengenaugigkeit der Daten von  $\pm 50$  cm führen dazu, dass das DGM 10 in Kombination mit dem ATKIS® Basis-DLM hochwertige Ergebnisse liefert. Mit zu veranschlagenden Kosten von 11.813 Euro für eine solche Sichtbarkeitsberechnung ist dies jedoch mit Abstand die kostenintensivste Variante.

### DGM 25

Die Qualität der Sichtbarkeitsberechnung auf Grundlage des DGM 25 ist nur unwesentlich schlechter als die Qualität auf Grundlage des DGM 10. Im gesamten Untersuchungsgebiet gibt es auf über 90% aller Freiflächen keine Unterschiede in den Berechnungen. Der einzige Mangel des DGM 25 ist die Nichtberücksichtigung von schmalen Gehölzen (z.B. einzelnen Baumreihen) aufgrund der 2,5-fach größeren Rasterweite im Vergleich zum DGM 10. Dieser Mangel könnte jedoch mit Hilfe einer Hochskalierung des DGM 25 auf kleinere Rasterweiten behoben werden. Insgesamt kann eine Sichtbarkeitsanalyse auf Grundlage des DGM 25 in Kombination mit dem ATKIS® Basis-DLM somit empfohlen werden. Mit 3.623 Euro betragen die zu veranschlagenden Kosten zudem weniger als ein Drittel des Preises der Variante auf Grundlage des DGM 10, was den Einsatz dieser Variante in der Praxis sicherlich sehr interessant macht.

### SRTM (ATKIS®-bereinigt)

Da das SRTM DOM in Rohversion als Grundlage für Sichtbarkeitsberechnungen zunächst als unbrauchbar zu bezeichnen ist, ist eine Strukturhöhenbereinigung zwingend notwendig. Bezüglich des Kostenfaktors ist dabei problematisch, dass hierfür ein hochwertiges DGM herangezogen werden muss (im Fallbeispiel das DGM 10). Da die Überhöhung des SRTM DOM abhängig ist von der Reliefenergie sowie den Landschaftsobjekten, die sich im Untersuchungsgebiet befinden, muss eine Ermittlung der SRTM DOM-Überhöhung für jedes Untersuchungsgebiet spezifisch durchgeführt werden. Lediglich für Regionen,

in denen die Reliefenergie und die beinhaltenden Landschaftsobjekte vergleichbar mit dem Untersuchungsgebiet dieses Fallbeispiels sind, können die in Täuber (2010) ermittelten Werte der SRTM DOM-Überhöhung Verwendung finden. In einem solchen Fall kann eine Strukturhöhenbereinigung durchgeführt werden, ohne dass Kosten aufgrund eines zusätzlich benötigten DGM anfallen.

Die Qualität der Sichtbarkeitsberechnung auf Grundlage des ATKIS®-bereinigten SRTM ist unter zwei verschiedenen Blickwinkeln zu betrachten. Auf der einen Seite ist zu beachten, dass die Ergebnisse dieser Berechnung nur für knapp 83% aller Freiflächen im Untersuchungsgebiet mit denen des DGM 10 komplett übereinstimmen. Zudem werden bei den verschiedenen Beispielen von Sichtverschattungen Abweichungen von der Referenzberechnung deutlich. Auf der anderen Seite ist jedoch zu berücksichtigen, dass es sich beim SRTM um kostenfreie Daten handelt. Kommt es bei einer durchzuführenden Sichtbarkeitsanalyse nicht auf metergenaue Angaben an (z.B. in vorbereitenden Planungsverfahren/-schritten wie der Raumwiderstandsanalyse in der Umweltverträglichkeitsuntersuchung mit sehr großen Suchräumen), kann die Kombination SRTM (ATKIS®-bereinigt) und ATKIS® Basis-DLM durchaus empfohlen werden. Zumal die Kosten für diese Variante mit 2.363 Euro nur zwei Drittel der Variante auf Grundlage des DGM 25 und sogar nur ein Fünftel der Variante auf Grundlage des DGM 10 betragen. Im Rahmen hochgradig rechtlich relevanter Untersuchungen wie z.B. der Ermittlung von Kompensationsumfängen bei der naturschutzrechtlichen Eingriffsregelung, mit in der Regel aber auch kleineren Untersuchungsräumen, sollten dann aber die genaueren Datengrundlagen herangezogen werden.

## 5 Fazit und Ausblick

Als DLM sind für Sichtbarkeitsanalysen aus den zuvor genannten Gründen lediglich Daten des ATKIS® Basis-DLM zu empfehlen.

Die Tauglichkeit der zur Verfügung stehenden DGM ist abhängig vom jeweiligen Zweck, den eine durchzuführende Sichtbarkeitsanalyse erfüllen soll. Wenn möglichst metergenaue Ergebnisse benötigt werden, gibt es zum qualitativ hochwertigen DGM 10 (für NRW) derzeit keine Alternative. Bis zum Jahr 2012 wird für das Land NRW angestrebt, eine Flächendeckung des DGM 1 erreicht zu haben. Das DGM 1 wird im Vergleich zum DGM 10 ein Zehntel der Rasterweite (1 m) und damit eine hundertfach höhere Punktdichte aufweisen sowie eine deutlich bessere Höhengenaugigkeit von 0,05 m bis 0,2 m. Es wäre dann zu prüfen, ob die Genauigkeit/Validität einer Sichtbarkeitsanalyse auf Grundlage des DGM 1 im Vergleich zum DGM 10 noch weiter gesteigert werden kann. Hiervon ist durchaus auszugehen, da das DGM 1 einem reinen Ober-



flächenmodell schon sehr nahe kommt und Einzelgebäude metergenau abgebildet werden können. Eine Kosten-Nutzen-Überprüfung der gesteigerten Genauigkeit von Sichtbarkeitsanalysen im Vergleich zu den gesteigerten Kosten ist dann für die jeweiligen Planungsebenen erneut durchzuführen.

Je nach Anwendungsbereich liefern auch Sichtbarkeitsanalysen auf Grundlage des DGM25 beziehungsweise des ATKIS®-bereinigten SRTM verwendbare Ergebnisse, zumal die aufzubringenden Kosten bei diesen DGM deutlich geringer ausfallen als beim DGM10 und somit häufig die erste Wahl in der Planungspraxis darstellen werden.

### Hinweis und Danksagung

Die hier beschriebenen Analysen erfolgten unter Nutzung von Geoinformationen der Landesvermessung Nordrhein-Westfalen, welche für die zugrunde liegende wissenschaftliche Untersuchung gebührenfrei zur Verfügung gestellt wurden. Hierfür, wie auch für die Genehmigung der Nutzung der Daten im Rahmen von Forschung und Lehre, gilt der Bezirksregierung Köln – Abteilung 07, Geobasis NRW besonderer Dank.

### Literatur

- Adam, K., Nohl, W. & Valentin, W.: Bewertungsgrundlagen für Kompensationsmaßnahmen bei Eingriffen in die Landschaft. Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg.), Naturschutz und Landschaftspflege in Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf, als Typoskript vervielfältigt, 1986.
- Auhagen, A.: Verbal-Argumentation oder Punkte-Ökologie. Bewertungsverfahren unter der Lupe des Planers. In: Sächsische Akademie für Natur und Umwelt in Zusammenarbeit mit dem Lehr- und Forschungsgebiet Landschaftsplanung der Technischen Universität Dresden (Hrsg.): Dresdner Planergespräche. Vom Leitbild zur Quantifizierung. Bewertungsprobleme und ihre Lösung in der Landschafts- und Grünordnungsplanung. Oppenheim: Schmid und Druck, S. 57–109, 1998.
- Bechmann, A.: Überlegungen zur Gültigkeit von Landschaftsbewertungsverfahren. In: *Landschaft + Stadt* 8 (2), S. 70–81, 1976.
- Fischer, P.F.: First experiments in viewshed uncertainty: simulating fuzzy viewsheds. In: *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 58 (3), S. 345–352, 1992.
- Fischer, P.F.: Probable and fuzzy models of the viewshed operation. In: *Innovations in GIS* 1, S. 161–175, 1994.
- Galler, C.: Auswirkungen der Windenergienutzung auf Landschaftsbilder einer Mittelgebirgsregion. Optimierung der Standortplanung aus landschaftsästhetischer Sicht. Hannover: Universität Hannover, 2000.
- Gerbaulet, H.: Belastung von Naturhaushalt und Landschaftsbild durch eine Hochspannungsleitung. Eingriff und Kompensation. Schriftenreihe des Westfälischen Amtes für Landes- und Baupflege, Beiträge zur Landespflege Heft 7, 1994.
- Gerhards, I.: Die Bedeutung der landschaftlichen Eigenart für die Landschaftsbildbewertung. *Culterra* 33. Freiburg im Breisgau: Universität Freiburg, Institut für Landespflege, 2003.
- Mittelstädt, R.: Sichtbarkeitsanalyse eines Windkraftstandortes. Herausgegeben von Hydrotec Ingenieurgesellschaft für Wasser und Umwelt mbH, 2001.
- Nohl, W.: Beeinträchtigungen des Landschaftsbildes durch mastenartige Eingriffe. Materialien für die naturschutzfachliche Bewertung und Kompensationsermittlung, S. 45f. Geänderte Fassung. Kirchheim b. München: Werkstatt für Landschafts- und Freiraumentwicklung, 1993.
- Ogburn, D.E.: Assessing the level of visibility of cultural objects in past landscapes. In: *Journal of Archaeological Science* 33 (3), S. 405–413, 2006.
- Roth, M.: Möglichkeiten des Einsatzes geographischer Informationssysteme zur Analyse, Bewertung und Darstellung des Landschaftsbildes. In: *Natur und Landschaft* 77 (4), S. 154–160, 2002.
- Sander, H.; Manson, S.M.: Heights and locations of artificial structures in viewshed calculation: How close is close enough? In: *Landscape and Urban Planning* 82 (4), S. 257–270, 2007.
- Täuber, M.-A.: GIS-basierte Sichtbarkeitsanalyse einer Windkraftanlage – Ein Vergleich von Digitalen Geländehöhen- und Landschaftsmodellen als Eingangsdaten der Sichtbarkeitsanalyse. Dortmund: Technische Universität Dortmund, 2010.
- Weidenbach, M.: Geographische Informationssysteme und Neue Digitale Medien in der Landschaftsplanung. Berlin: Logos-Verlag, 1999.
- Weigel, J.: Möglichkeiten der Erstellung eines DGM aus SRTM-Daten unter vergleichender Einbeziehung der Landnutzungsklassifikation CORINE und ATKIS®. Hannover, 2005a.
- Weigel, J.: 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. ECOGIS Geoinformatik, 2005b.

### Anschrift der Autoren

Dipl.-Ing. Marc-André Täuber  
Absolvent der Fakultät Raumplanung, Technische Universität Dortmund  
Staufenstraße 46, 44139 Dortmund  
marc-andre.taeuber@tu-dortmund.de

Dipl.-Ing. Michael Roth  
Wissenschaftlicher Angestellter an der Fakultät Raumplanung der TU Dortmund; Lehrstuhl Landschaftsökologie und Landschaftsplanung  
Technische Universität Dortmund  
August-Schmidt-Straße 10, 44227 Dortmund  
michael.roth@tu-dortmund.de