

Möglichkeiten der Erstellung eines DGM aus SRTM-Daten unter vergleichender Einbeziehung der Landnutzungsklassifikationen CORINE und ATKIS

Problemstellung

Mit dem Terrainmodell der Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) aus dem Jahr 2000 steht für die Landoberfläche der Erde zwischen 60° S und 60° N ein öffentliches Oberflächenmodell in einer Auflösung von 3 Bogensekunden zur Verfügung. Das SRTM-Terrainmodell liegt in 1°x1°-Kacheln vor, die jeweils aus 1201x1201 Pixeln bestehen. Die Auflösung in Y-Richtung entspricht demnach ca. 92,6m, in X-Richtung nimmt sie mit der geografischen Breite zu und liegt bei 53° N (oder 53°S) bei ca 55,7m. In diesem Auflösungsbereich sind die SRTM-Daten unter den freien Geodaten konkurrenzlos - das bisher beste frei verfügbare Höhenmodell war das GTOPO30 mit einer Auflösung von 30 Bogensekunden.

Die SRTM3-Daten wurden aus einem vorher erstellten SRTM1-Terrainmodell durch eine Nachbarschaftsanalyse (Mittelwertbildung) interpoliert. Die SRTM1-Daten sind leider nur für das Gebiet der USA verfügbar. Bei der Interpretation der Daten ist jedoch diese Interpolation zu berücksichtigen, da die Höhe von Strukturen, deren Ausdehnung kleiner ist als eine SRTM3-Rasterzelle (z.B. Gebäude), immer mit ihren Nachbarstrukturen gemittelt werden.

Die SRTM-Daten beinhalten insbesondere an Steilhängen sowie über Schnee- und Eisflächen Datenlücken und über Wasserflächen Rauschen. Für die Betrachtung der Landoberfläche im Raum Nordeutschland sind diese Probleme unbedeutend. Eine generelle Beeinträchtigung der Nutzung als Digitales Höhenmodell (DGM) ist die Tatsache, dass es sich bei den SRTM-Daten um ein Oberflächenmodell handelt, das die Strukturhöhen der Objekte auf der Landoberfläche (z.B. Wälder, Gebäude) mit beinhaltet.

Für einen Ausschnitt von ca. 7000 km² Landfläche im niedersächsischen Küstenraum, für den sowohl SRTM3 als auch DGM50, CORINE Landnutzungskataster und ATKIS DLM Daten vorliegen, werden nachfolgend beispielhaft folgende Fragen beantwortet:

1. **Vergleich SRTM3/DGM50:** Mit welchen Einschränkungen können SRTM3-Daten als DGM verwendet werden? Wie groß ist die mittlere Überhöhung und die Abweichung ohne Berücksichtigung einer Landnutzungsklassifikation? Inwieweit können die SRTM3-Daten durch eine Nachbarschaftsanalyse (Minimalfilter) einem Höhenmodell angenähert werden?
2. **Strukturbereinigung von SRTM3-Daten mit CORINE und ATKIS:** Wie hoch ist die Überhöhung von SRTM3-Daten über bestimmten Landnutzungstypen (z.B. Wald, Siedlungen)? Kann unter Verwendung von Landnutzungsdaten (CORINE, ATKIS) das SRTM-Terrainmodell verbessert werden, so dass es als DGM verwendet werden kann?

Untersuchungsraum

Der Untersuchungsraum befindet sich zwischen RW 3410000 und 3500000 sowie HW 5875000 und HW 5975000 (DHDN), hat also eine Ausdehnung von 90 km in WE-Richtung und 100 km in SN-Richtung. Von den 9000 km² werden 6962 von Landflächen inkl. der beiden Inseln Spiekeroog und Norderney, eingenommen. Die Abgrenzung der Land- und Wasserflächen wurde mit Hilfe der ESRI Geodaten der deutschen Bundesländer (ArcExplorer CD 1) vorgenommen. Im Vergleich zu den ESRI Geodaten Europa (ArcView 3.3 CD) weist die Küstenlinie darin eine bessere Übereinstimmung mit deren tatsächlichem Verlauf auf, wie er aus den SRTM-Daten erkennbar ist (vgl. Abb. 1). Nicht berücksichtigt bei der Digitalisierung wurde darin allerdings die Insel Mellum, die daher auch in der vergleichenden Analyse der Geodaten keine Berücksichtigung findet. Die blaue Fläche in der Darstellung entspricht nicht der Küstenlinie, sondern Gebieten unter Null. Schwarze Flächen kennzeichnen Datenlücken in den DGM50-Daten (rechts oben) sowie in den SRTM-Daten (Küstenbereiche Jadebusen, Jadeästuar, Weserästuar). Datenlücken wurden in der vergleichenden

Untersuchung nicht berücksichtigt.

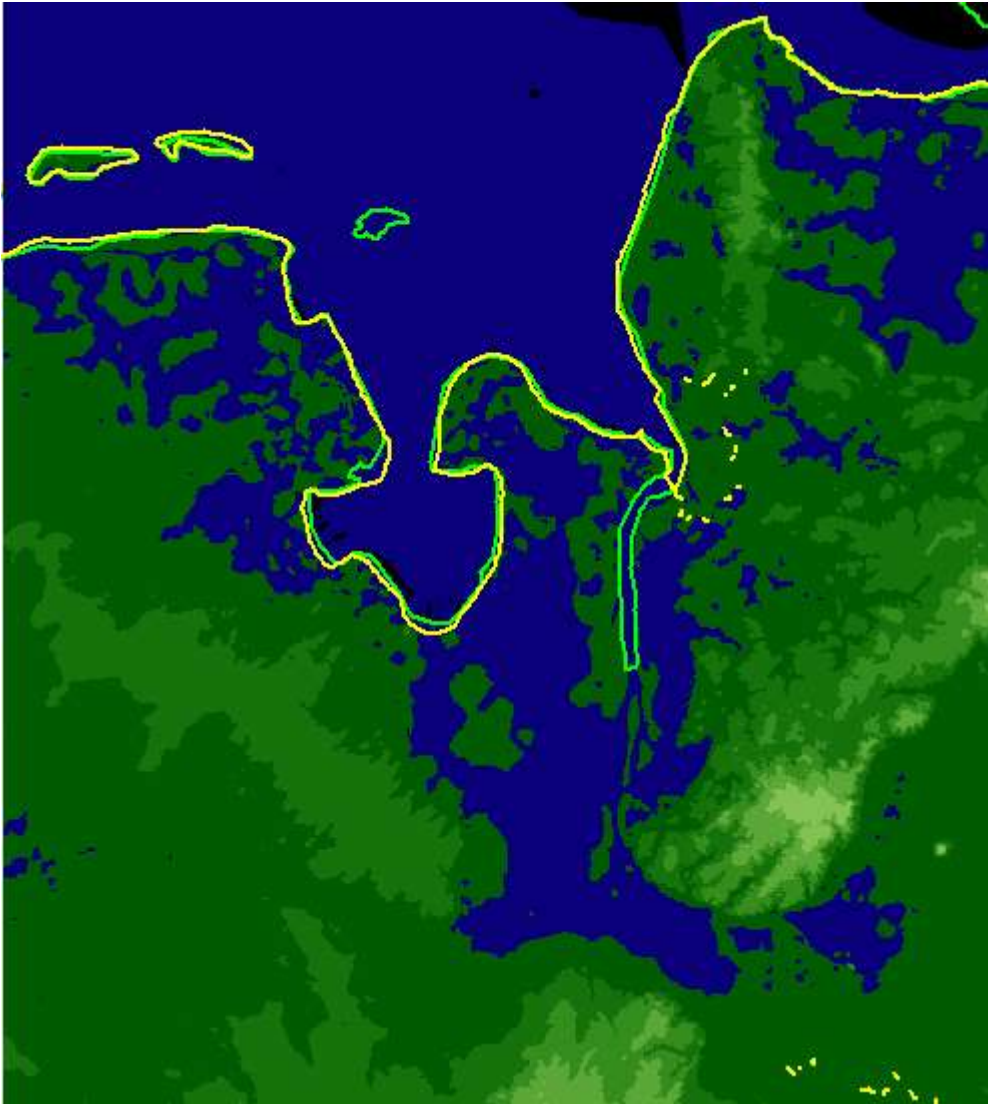


Abb. 1.: Die Küstenlinie im Untersuchungsgebiet (grün: ESRI Geodaten Europa, gelb: ESRI Bundesländergrenzen)

Vergleich SRTM3/DGM50

Frage: Mit welchen Einschränkungen können SRTM3-Daten als DGM verwendet werden?

Zum Vergleich SRTM3 und DGM50 wurde ein Differenzraster erstellt. Dies führt zu einigen unerwarteten Ergebnissen:

1. Der Mittelwert der Überhöhung liegt nicht wie erwartet im positiven Bereich (SRTM 3 höher als DGM 50), sondern unter Null, d.h. selbst unter Einbeziehung der Überhöhung über Siedlungen und Waldbereichen geben die SRTM3-Daten im Mittel höhere Geländewerte wieder als das DGM 50. Von einer Überhöhung kann lediglich nur über Wald- und Siedlungsbereichen gesprochen werden.
2. Im Untersuchungsgebiet liegen 71.8 % der SRTM-Werte unter dem DGM, 14.0 % auf gleicher Höhe und 14.2 % darüber. Diese geben sehr deutlich die Wald- und Siedlungsflächen wieder.

In den nachfolgend angegebenen Toleranzbereichen liegen die untenstehenden Anteile der untersuchten Landfläche:

<i>0 m</i>	<i>± 1 m</i>	<i>± 2 m</i>	<i>± 3 m</i>	<i>± 4 m</i>	<i>± 5 m</i>
14.0 %	33.0 %	56.3 %	77.9 %	89.9 %	94.4 %

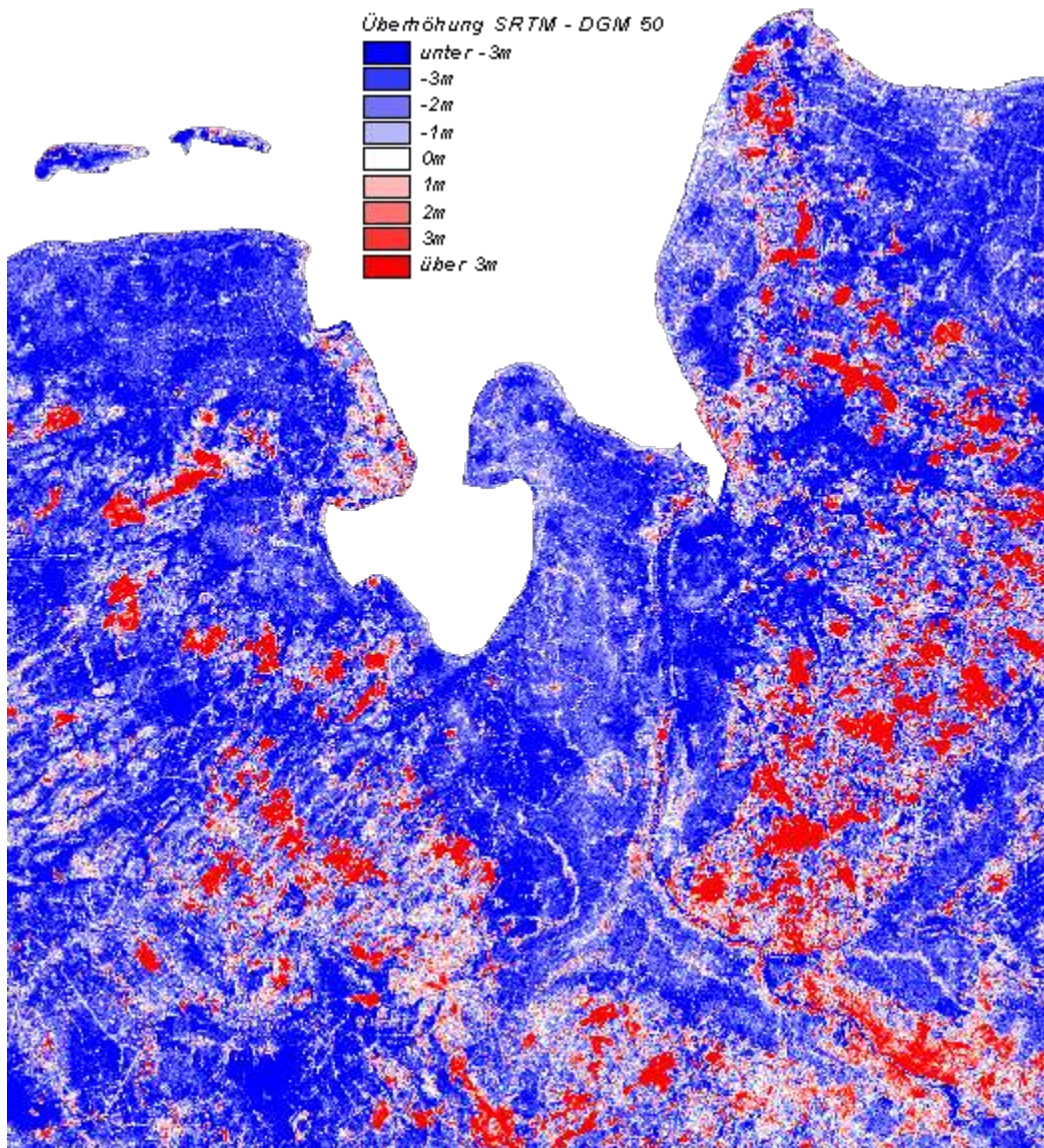


Abb. 2: "Überhöhung" der SRTM-Daten gegenüber DGM50. Es fällt auf, dass die meisten Bereiche niedriger liegen als im DGM50. Deutlich sind Waldgebiete (dunkelrot) sowie Siedlungsflächen (hellrot, 2-3m Überhöhung) erkennbar (z.B. rechts unten die Stadt Bremen)

Antwort: Eine Verwendung der SRTM-Daten als Höhenmodell ist nur dann zu empfehlen, wenn Wald- und Siedlungsflächen generell nicht betrachtet werden sollen, bzw. mit ihrer Strukturhöhe in die Berechnung eingehen sollen. Eine mögliche Anwendung wäre die Verwendung für eine Sichtbarkeitsanalyse, in der Siedlungsinnenbereiche und Waldflächen von der Untersuchung ausgeschlossen werden, da man hier grundsätzlich von einer Sichtverschattung ausgeht.

Frage: Wie groß ist die mittlere Überhöhung und die Abweichung ohne Berücksichtigung einer Landnutzungs-klassifikation?

Antwort: Die mit der (Statistik-Funktion von Grid Machine ermittelte) mittlere "Überhöhung" der SRTM 3-Daten gegenüber dem DGM 50 liegt bei -1.28 m, der Median bei -2.5 m und das Maximum bei -2 m.

Frage: Inwieweit können die SRTM3-Daten durch eine Nachbarschaftsanalyse (Minimalfilter) einem Höhenmodell angenähert werden?

Die Überlegung hierzu war, die angenommene Überhöhung der SRTM3-Daten dadurch zu relativieren, indem über die Daten ein Minimalfilter gelegt wird, d.h. jedes Pixel bekommt den niedrigsten Wert im Vergleich zwischen sich und seinen 8 Nachbarpixeln zugewiesen. Die Methodik muss allerdings nach den bisherigen Ergebnissen evtl. schon skeptisch betrachtet werden, da die SRTM-Daten ja in ihrer Gesamtheit gar keine Überhöhung aufweisen. Die Überhöhung der Wald- und Siedlungsbereiche scheint jedoch einen derart zusammenhängenden Charakter zu haben, dass hier der Minimalfilter nur in den Randbereichen etwas bewirken kann. Ein entsprechendes Bild zeigt sich auch in den Ergebnissen:

Differenzraster	0 m	± 1 m	± 2 m	± 3 m	± 4 m	± 5 m
SRTM3-DGM50	14.0 %	33.0 %	56.3 %	77.9 %	89.9 %	94.4 %
SRTM3(Filter)-DGM50	10.5 %	25.7 %	47.4 %	72.0 %	88.1 %	94.7 %

Abb. 1: Vergleich der Toleranzbereiche der Abweichungen:

Das Ergebnis des Minimalfilters erreicht also erst bei einem Toleranzbereich von ± 5 m die Präzision der ungefilterten SRTM3-Daten. Die Filterung der Daten führt nicht dazu, dass die Daten des Terrainmodells einem Geländemodell angeglichen werden, sondern hat insbesondere den Effekt, dass die De-Facto-Überhöhung des DGM50 gegenüber dem SRTM3 weiter zunimmt: Der Mittelwert der "Überhöhung" der SRTM-Daten liegt bei -1.9 m, der Median weiterhin bei -2.5 m (aufgrund der ganzzahligen Werte) und das Maximum bei -3 m.

Antwort: Die Methode des Minimalfilters ist nicht geeignet, aus den SRTM3-Daten ein Quasi-Höhenmodell zu erstellen. Möglicherweise kann die Methode erfolgreich auf (nicht interpolierte) SRTM 1-Daten angewandt werden. Diese sind leider für das Untersuchungsgebiet nicht frei erhältlich.

Strukturbereinigung von SRTM3-Daten mit CORINE und ATKIS

Frage: Wie hoch ist die Überhöhung von SRTM3-Daten über bestimmten Landnutzungstypen (z.B. Wald, Siedlungen)?

Zur Beantwortung dieser Frage wurden einzelne Polygone der CORINE-Shapedatei ermittelt, die eine gute Übereinstimmung mit den Bereichen aufweisen, in denen eine deutliche Überhöhung der SRTM-Daten vorliegt. ATKIS-Daten sind hierfür weniger geeignet, da sie nicht zwischen Laub-, Nadel- und Mischwald unterscheiden. Als Beispiel sei hier ein Bereich zweier Nadelwälder (Coniferous) von insgesamt 7,3 km² Fläche aufgeführt (siehe nachfolgende Abbildung). Die Überhöhung beträgt hier im Mittel 9 m bei einem Spitzenwert von 19 m (zu bedenken ist hier wiederum der Mittelwert-Charakter der SRTM3-Daten). Typische Überhöhungen (anhand ausgewählter Übereinstimmungen zwischen Überhöhung und CORINE-Daten) sind:

Nutzungstyp	Untersuchte Fläche	Mittelwert	Spitzenwert
Nadelwald	7.3 km ²	9,0 m	19.7 m
Mischwald	5.1 km ²	8.9 m	19.5 m
Laubwald	3.1 km ²	2.3 m	20.5 m
Diskont. Bebauung	23.1 km ²	-0.6 m	10.0 m

Abb. 2: Ausgewählte Untersuchungsareale zur Ermittlung der Höhen der Nutzungsklassen

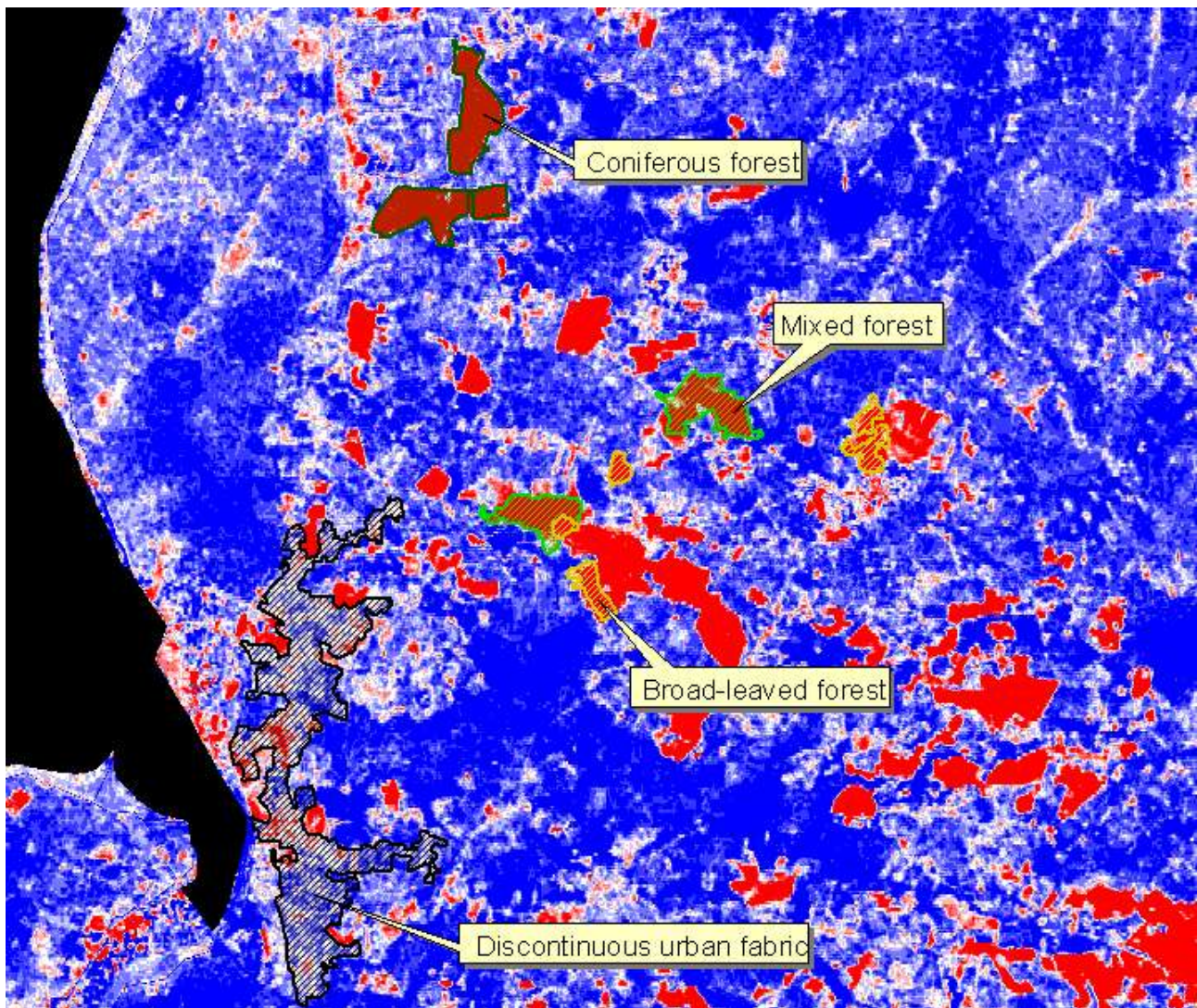


Abb. 3: Überhöhung der SRTM-Daten im Bereich zweier Nadelwaldflächen aus dem CORINE Landnutzungskataster sowie andere Testareale (Mischwald, Laubwald, Städt. Bebauung). Die unter den Polygonen liegenden Bereiche des Grids werden jeweils mit Grid Machine (Extract parts of grids) extrahiert und danach statistisch analysiert.

Antwort: Typische Überhöhungen gibt es nur in Bereichen sehr dichter Strukturen wie z.B. Nadel- oder Mischwald. Schon Laubwald weist oft einen zu diskontinuierlichen Charakter auf, und städtische Bebauung unterscheidet sich kaum von außerstädtischen Landschaften. Im Falle von Nadel- und Mischwald kann mit einer Erhöhung von ca. 9 m gerechnet werden.

Frage: Kann unter Verwendung von Landnutzungsdaten (CORINE, ATKIS) das SRTM-Terrainmodell verbessert werden, so dass es als DGM verwendet werden kann?

Hier wird nach folgendem Verfahren vorgegangen: Die mittleren Abweichungen zwischen SRTM 3 und DGM 50 werden in Abhängigkeit aller einzelnen jeweiligen Nutzungs- bzw. Objektklassen ermittelt. Im Falle der ATKIS-Daten wird zunächst eine Topologie erstellt, da sich die ATKIS-Objektklassen vielfach überlappen und daher unvorbehandelt nicht zur Erstellung eines Rasters verwendet werden können. Die von WEIGEL 2004 (S. 27) für den Großraum Braunschweig bestimmte ATKIS-Topologie erwies sich als derart robust, dass sie ohne Änderungen auch für den norddeutschen Küstenraum übernommen werden konnte.

Zunächst zur Strukturkorrigierung des SRTM-Modells mit Hilfe von CORINE-Daten. Es erfolgt eine Zuweisung der mittleren SRTM-DGM 50-Abweichungen zu jeder der CORINE-Klassen. Es ergibt sich (sortiert nach Höhe der Abweichung) folgende Zuordnung:

CODE2000	CLC_CLASS	MINIMUM	MAXIMUM	MEAN
313	Mixed forest	-8,00	27,76	7,29
312	Coniferous forest	-16,26	24,57	7,24
311	Broad-leaved forest	-19,97	25,20	6,45
141	Green urban areas	-30,11	16,61	4,41
111	Continuous urban fabric	-6,00	22,00	2,74
243	Land principally occupied by agriculture	-14,00	21,04	1,15
122	Road and rail networks and associated land	-6,42	12,00	0,80
324	Transitional woodland-shrub	-7,60	9,00	0,52
121	Industrial or commercial units	-12,64	22,81	0,51
123	Port areas	-16,77	30,23	0,51
112	Discontinuous urban fabric	-18,98	19,65	0,16
132	Dump sites	-30,60	20,00	0,00
142	Sport and leisure facilities	-16,80	17,00	-0,40
133	Construction sites	-6,23	7,00	-0,70
331	Beaches, dunes, sands	-13,82	9,29	-1,06
124	Airports	-11,83	10,00	-1,25
411	Inland marshes	-10,00	6,00	-1,36
522	Estuaries	-38,71	35,81	-1,37
523	Sea and ocean	-9,98	10,07	-1,44
321	Natural grasslands	-28,70	13,63	-1,45
423	Intertidal flats	-20,25	22,89	-1,54
333	Sparsely vegetated areas	-14,64	13,00	-1,60
421	Salt marshes	-13,50	4,55	-1,80
322	Moors and heathland	-14,88	10,88	-1,81
211	Non-irrigated arable land	-27,00	23,00	-1,90
242	Complex cultivation patterns	-11,77	20,13	-1,99
231	Pastures	-29,49	22,05	-2,41
512	Water bodies	-32,20	40,15	-2,50
511	Water courses	-51,00	39,10	-2,68
412	Peat bogs	-10,85	12,00	-2,93
131	Mineral extraction sites	-25,60	11,30	-4,47

Tab. 3: Mittlere "Überhöhung" der einzelnen CORINE-Klassen im SRTM-Modell

Deutlich wird zunächst, dass die Testareale für Mischwald und für Diskontinuierliche Bebauung sicher nicht repräsentativ gewählt waren, da für Mischwald eine sehr deutliche Überhöhung von ca. 6.5 m sichtbar wird, und auch diskontinuierliche städtische Bebauung mit ca. 0.2 m zumindest nicht unter Null liegt. Ebenso ist der Wert für Tagebau (Mineral extraction sites) mit -4.5 m negativer "Überhöhung" durchaus nachvollziehbar. In der Karte ergibt sich im Vergleich zwischen SRTM-Überhöhung und deren Zuweisung auf CORINE-Klassen folgende Gegenüberstellung:

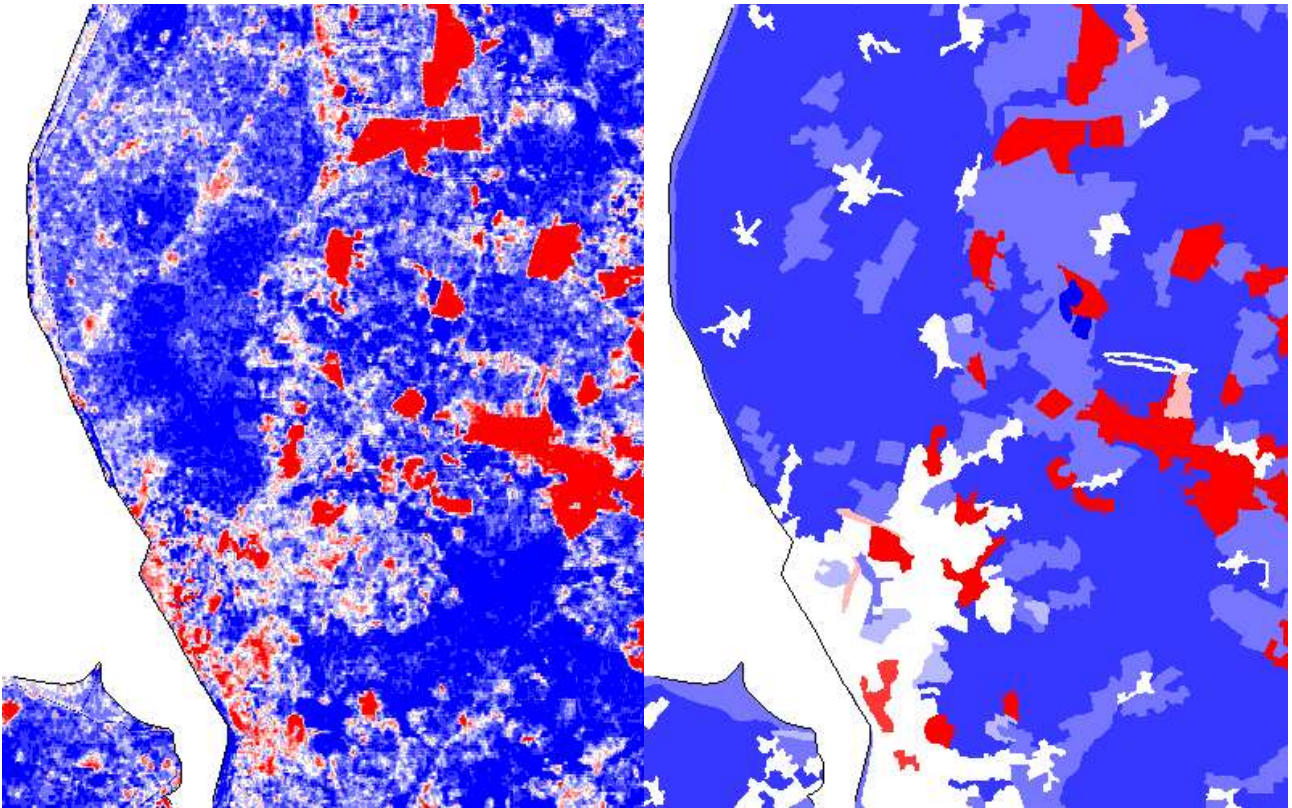


Abb. 4: Mittlere Überhöhung der SRTM-Modells (links) sowie Zuordnung der Überhöhungswerte zu den CORINE-Klassen (rechts). Legende wie in Abb. 2 und 3

Auf den ersten Blick wirkt die Zuordnung der Klassen recht vielversprechend, jedoch kommt es bei der tatsächlichen Umsetzung, d.h. bei der Erstellung eines strukturbereinigten Höhenmodells zu einer Reihe von Problemen:

1. **Falsche Klassenzuordnung:** Bereiche sind z.B. als Nadelwald klassifiziert, in der Realität befindet sich dort jedoch kein Wald mehr, sondern beispielsweise Grünland. Hier würden von der korrekten Höhenangabe in den SRTM-Daten fälschlicherweise 7 m abgezogen werden. Ein Waldgebiet, das nicht in der Nutzungsklassifikation als solches kartiert ist, würde das Terrainmodell um seine gemessene Höhe (z.B. 15 m) überhöhen.
2. **Zu geringe Höhenkorrektur:** Da es sich bei den Höhenkorrekturen um Mittelwerte handelt, in die auch falsch klassifizierte Bereiche eingehen, ist die tatsächliche Höhenkorrektur zu gering. So wird ein Waldgebiet, das eine Strukturhöhe von 20 m aufweist, nur um 7 m korrigiert, und es bleibt immer noch eine immense Geländeüberhöhung übrig.
3. **Randeffekte:** In Randbereichen der einzelnen Klassen kommt es immer zu Ungenauigkeiten, also fälschlichen Höhenkorrekturen oder fälschlicherweise nicht korrigierten Gebieten.

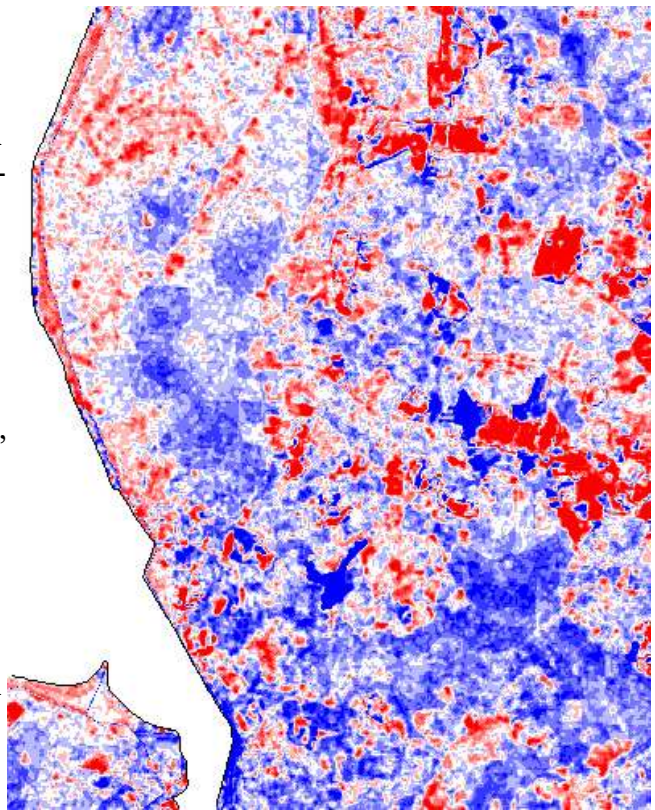


Abb. 5: SRTM-Überhöhung, CORINE-korrigiert und gefiltert (Low Pass)

Den ersten beiden Problemen lässt sich schwer begegnen, außer durch manuelle Nachbesserungen der Landnutzungsklassifikation oder durch eigene Satellitenbildklassifikationen. Beide Varianten sollen an dieser Stelle zunächst nicht weiter verfolgt werden, sondern erst das Ergebnis der automatischen Höhenkorrektur betrachtet werden. Eine geeignete Methode, die Randeffekte zu mindern, ist jedoch die an anderer Stelle angesprochene Nachbarschaftsanalyse, allerdings nicht mit einem Minimal-, sondern einem Low Pass-Mittelwertfilter. Wenn jedes Pixel mit seinen 8 Nachbarn gemittelt wird, werden einzelne Ausreißer nach oben und unten schnell korrigiert. Nach Abzug der CORINE-Strukturhöhen von der SRTM-Überhöhung ergibt sich das vorangegangene Bild.

Einer Gegenüberstellung der CORINE-korrigierten SRTM-Daten mit dem DGM 50 sieht folgendermaßen aus:

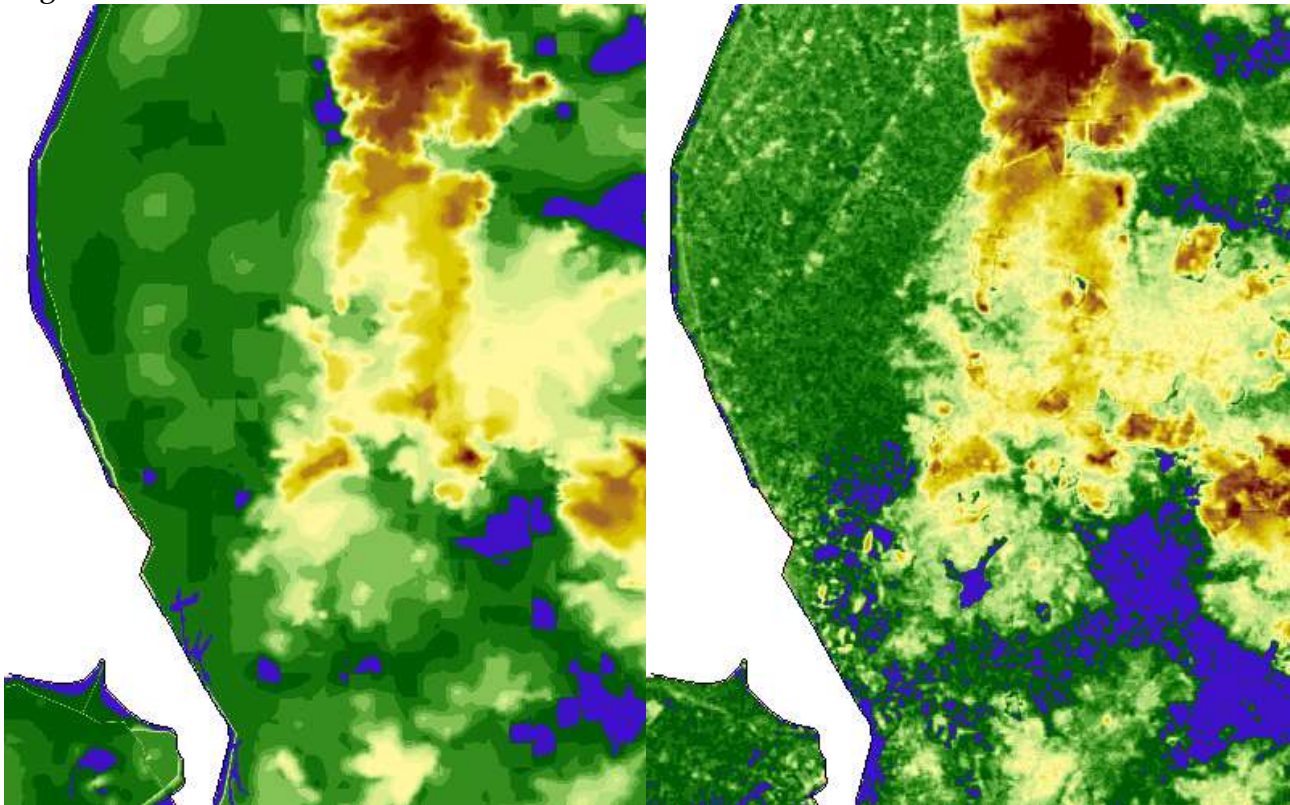


Abb. 6: Gegenüberstellung DGM 50 (links) und CORINE-bereinigtes SRTM3-Modell (rechts). Die Geländestrukturen sind im SRTM-Modell präzise zu erkennen. Ein weiterer Filturvorgang würde helfen, das Rauschen des SRTM-Höhenmodells zu verringern.

Im ganzen scheint das DGM aus SRTM-Daten von guter Qualität zu sein und sogar einige Strukturen korrekter wiederzugeben, als dies in den DGM 50-Daten der Fall ist (beispielsweise Kleinstrukturen der Geesthügel im oberen Bildbereich). Lineare Strukturen wie z.B. der Deichverlauf sind allerdings in den DGM 50-Daten nach wie vor weitaus präziser nachzuvollziehen (vgl. Bildrand links unten). Eine Verwendung des CORINE-bereinigten SRTM-Terrainmodells als Quasi-Höhenmodell wird an dieser Stelle generell für möglich gehalten, jedoch soll die Methode vorher noch einer statistischen Analyse unterzogen sowie einem ATKIS-korrigierten Terrainmodell gegenübergestellt werden.

Zur Strukturkorrigierung der SRTM-Daten anhand von ATKIS werden zunächst für die einzelnen ATKIS-Objektklassen wieder - analog zum Vorgehen mit den CORINE-Daten - die mittleren SRTM-DGM50-Abweichungen ermittelt.

Es ergibt sich (sortiert nach Höhe der Abweichung, also nach Grad der Überhöhung) folgende Zuordnung zu den relevanten ATKIS-Klassen. Auch hier liegt wieder Wald ganz oben, weiterhin auch Halde/Aufschüttung, wohingegen Bergbaubetrieb und Tagebau/Grube/Steinbruch gegenüber dem DGM 50 die höchste Anhebung erfahren muss.

OBJART	KLARTEXT	MINIMUM	MAXIMUM	MEAN	STDDEV
4107	Wald Forst	-17,79	27,76	6,66	4,46
2302	Halde Aufschüttung	-2,75	16,00	4,72	3,78
2211	Freilichttheater	-1,00	8,00	2,26	1,87
2213	Friedhof	-7,55	14,57	2,20	3,14
2227	Grünanlage	-34,37	22,05	2,19	4,17
3502	Raststätte	-1,47	6,00	2,05	2,04
2133	Heizwerk	0,31	2,92	1,95	0,67
2134	Wasserwerk	-5,95	11,81	1,89	2,79
2122	Abfalldeponie	-30,60	20,00	1,18	5,01
3514	Brücke Unterführung Überführung	-7,27	7,48	1,16	2,48
2316	Turm	-3,38	3,47	1,03	3,12
2126	Kraftwerk	-6,54	30,23	1,00	4,19
2123	Raffinerie	-7,00	11,00	0,99	2,18
3304	Flughafen-Vorfeld	-3,70	6,93	0,88	2,71
2223	Schiesstand	-13,00	14,95	0,84	2,77
2114	Fläche besonderer funktionaler Prägung	-12,42	24,02	0,67	3,16
3501	Bahnhofsanlage	-7,00	12,00	0,36	2,13
2101	Ortslage	-41,99	30,23	0,35	2,52
3401	Hafen	-32,20	30,23	0,23	4,04
2111	Wohnbaufläche	-18,98	19,65	0,17	1,98
3103	Platz (Rastplatz Parkplatz)	-14,54	17,47	0,11	2,55
4108	Gehölz	-17,00	15,52	0,06	2,70
2201	Sportanlage	-16,00	19,00	0,05	3,02
2124	Werft	-8,59	10,56	0,04	2,93
2112	Industrie- und Gewerbefläche	-30,60	30,23	0,00	3,04
2224	Schwimmbad Freibad	-8,33	8,56	-0,02	1,89
4104	Heide	-16,80	14,72	-0,03	3,40
2113	Fläche gemischter Nutzung	-16,68	22,00	-0,06	2,07
2345	Schwimmbecken	-5,00	8,56	-0,16	2,17
4120	Vegetationslose Fläche	-15,03	13,27	-0,26	2,55
3302	Flugplatz Landeplatz	-11,83	18,52	-0,30	3,40
3303	Rollbahn	-6,00	4,38	-0,38	2,40
7311	Wasserschutzgebiet	-22,88	27,76	-0,41	4,18
5303	Schleuse	-7,72	4,63	-0,47	2,47
2226	Freizeitpark Safaripark	-4,00	8,69	-0,56	2,56
2221	Stadion	-8,65	5,72	-0,60	2,73
2225	Zoo	-6,71	5,78	-0,65	2,41

2222	Sportplatz	-14,31	16,61	-0,71	2,25
2129	Kläranlage Klärwerk	-7,66	13,12	-0,80	2,16
2127	Umspannwerk	-8,53	4,51	-0,80	1,91
2228	Campingplatz	-11,88	10,00	-0,81	2,35
2135	Abfallbeseitigungsanlage	-5,00	8,61	-0,96	1,95
4103	Gartenland	-8,17	10,38	-1,05	1,93
4105	Moor	-10,78	13,68	-1,11	2,51
2202	Freizeitanlage	-14,00	9,68	-1,12	3,06
2132	Gärtnerei	-6,00	9,97	-1,15	2,02
5104	Priel	-9,08	6,62	-1,19	2,26
3402	Hafenbecken	-32,20	17,00	-1,24	4,37
2323	Dock	-6,54	4,16	-1,31	2,03
2314	Absetzbecken Rieselfeld Schlammteich	-5,75	12,62	-1,37	2,57
4199	Fläche z.Zt. unbestimmbar	-25,00	19,48	-1,38	2,60
2128	Förderanlage	-3,66	2,23	-1,43	1,47
7302	Naturschutzgebiet	-29,11	19,29	-1,44	3,57
5121	Watt	-24,78	22,89	-1,58	2,56
4109	Sonderkultur	-7,78	14,00	-1,61	2,02
5102	Kanal (Schifffahrt)	-10,00	9,68	-1,73	2,24
3301	Flughafen	-11,62	8,86	-1,75	2,34
5111	Meer	-20,25	22,89	-1,81	2,90
7211	Insel	-18,75	8,50	-1,85	1,97
5321	Uferbefestigung	-6,00	3,58	-1,87	0,94
5112	Binnensee Stausee Teich	-29,49	40,15	-2,12	3,43
4101	Ackerland	-27,00	18,47	-2,12	1,71
5103	Graben Kanal (Wasserwirtschaft)	-6,77	7,02	-2,26	1,68
5101	Strom Fluß Bach	-51,00	39,10	-2,41	3,97
4102	Grünland	-25,00	18,28	-2,42	1,78
5302	Talsperre Wehr	-4,72	-2,97	-3,69	0,53
5301	Durchlaß	-3,73	-3,73	-3,73	0,00
2121	Bergbaubetrieb	-25,60	11,30	-4,35	4,14
2301	Tagebau Grube Steinbruch	-25,60	10,44	-4,96	2,77
Tab. 4: Mittlere "Überhöhung" der einzelnen ATKIS-Klassen im SRTM-Modell					

Die Überhöhung des SRTM-Modells gegenüber dem DGM 50 wurde schon in Abb. 4 (links) dargestellt. An dieser Stelle soll daher anhand der Ergebnisse der Berechnung eine Gegenüberstellung der ATKIS-Strukturhöhe mit der CORINE-Strukturhöhe sowie eine Gegenüberstellung der ATKIS-höhenkorrigierten SRTM-Daten mit den CORINE-korrigierten Daten vorgenommen werden. Die ATKIS-Höhenkorrigierung wurde auch hier wieder einem Low Pass-Filter unterzogen, um Randeefekte abzumildern.

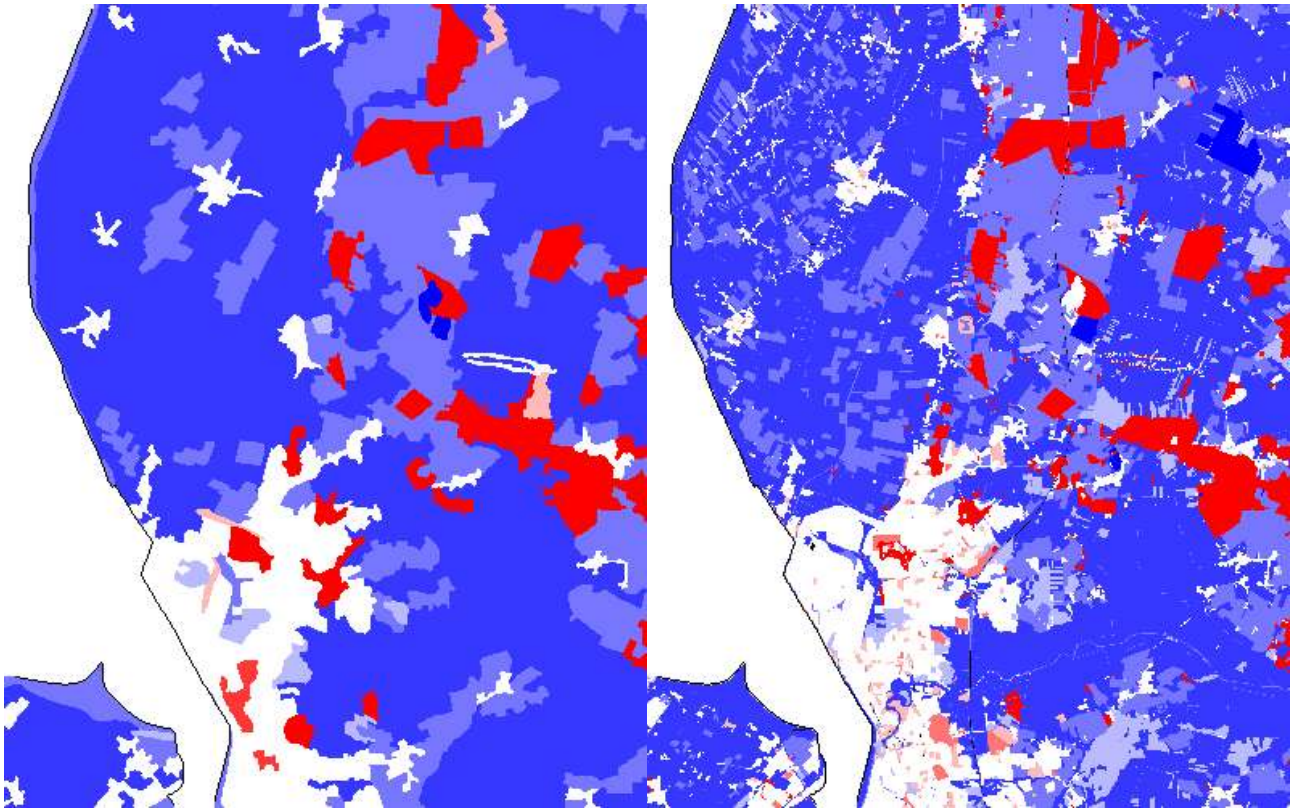


Abb. 7: Gegenüberstellung zwischen CORINE-Strukturhöhe (links) und ATKIS-Strukturhöhe (rechts), Legende nach Abb. 2. Deutlich erkennbar ist die größere Detailgenauigkeit der ATKIS-Klassifikation. Der Vorteil der CORINE-Daten liegt neben ihrer Verfügbarkeit in der genaueren Klassifikation von Waldflächen.

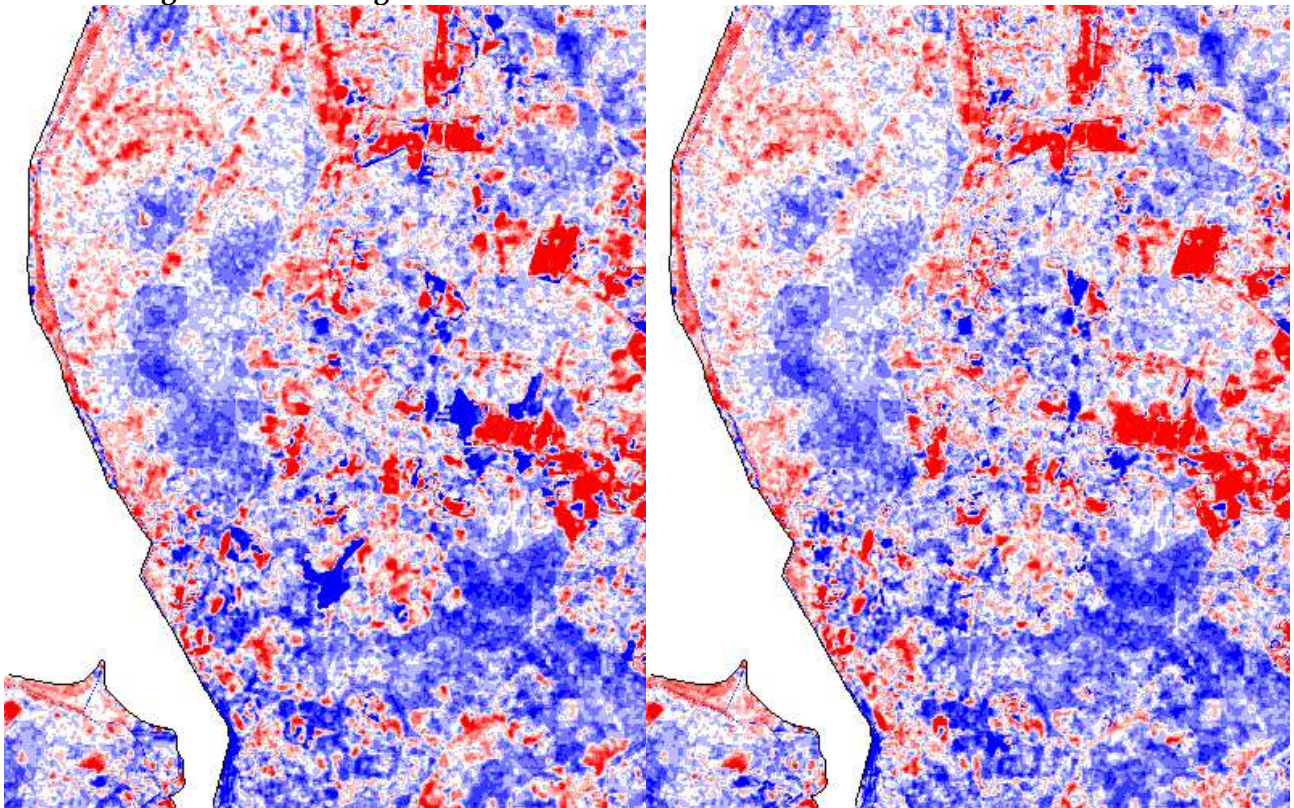


Abb. 8: Vergleich der Abweichung einer Strukturkorrigierung des SRTM 3 gegenüber dem DGM 50 mit Hilfe von CORINE (links) und ATKIS (rechts). Dunkelblaue Flächen geben i.d.R. fehlerhaft als Wald klassifizierte Bereiche wieder.

Was bei einem Vergleich der Abweichungskarten auffällt, ist zum einen, dass in beiden Fällen offensichtlich Waldflächen zu großzügig kartiert wurden, da die Strukturhöhenbereinigung in jedem Fall eine unbereinigte "Resthöhe" von über drei Metern (rote Flecken) zurücklässt. Die dunkelblauen Flecken stehen für fälschlicherweise klassifizierten Wald und scheinen in der CORINE-Klassifikation häufiger aufzutreten. Genauer wird eine statistische Analyse bringen. Hierfür soll nun zunächst, analog zu Tabelle 1, ein Vergleich der Toleranzbereiche vorgenommen werden, also eine statistische Aussage darüber, wie nah das Ergebnis dem DGM 50 kommt, bzw. wie signifikant die Abweichungen sind.

<i>Differenzraster</i>	<i>0 m</i>	<i>± 1 m</i>	<i>± 2 m</i>	<i>± 3 m</i>	<i>± 4 m</i>	<i>± 5 m</i>
SRTM3-DGM50	14.0 %	33.0 %	56.3 %	77.9 %	89.9 %	94.4 %
SRTM3(Filter)-DGM50	10.5 %	25.7 %	47.4 %	72.0 %	88.1 %	94.7 %
SRTM3-CORINE-DGM50	45.4 %	74.8 %	88.5 %	94.0 %	96.6 %	98.0 %
SRTM3-ATKIS-DGM50	47.9 %	77.3 %	90.1 %	95.1 %	97.3 %	98.5 %

Tab. 5: Vergleich der Toleranzbereiche der Abweichungen zwischen SRTM3-Rohdaten sowie strukturbereinigten SRTM-Daten

Die Höhenkorrektur mit Hilfe von ATKIS-Daten bringt in der Tat ein etwas besseres Ergebnis als die Verwendung von CORINE-Daten. In einem Toleranzbereich von ± 3 m um die DGM 50-Daten liegen bereits 95.0 % der errechneten Daten des Quasi-Höhenmodells (mit CORINE: 94.1 %), und in einem Bereich von ± 5 m bereits 98.5 % (CORINE: 98 %).

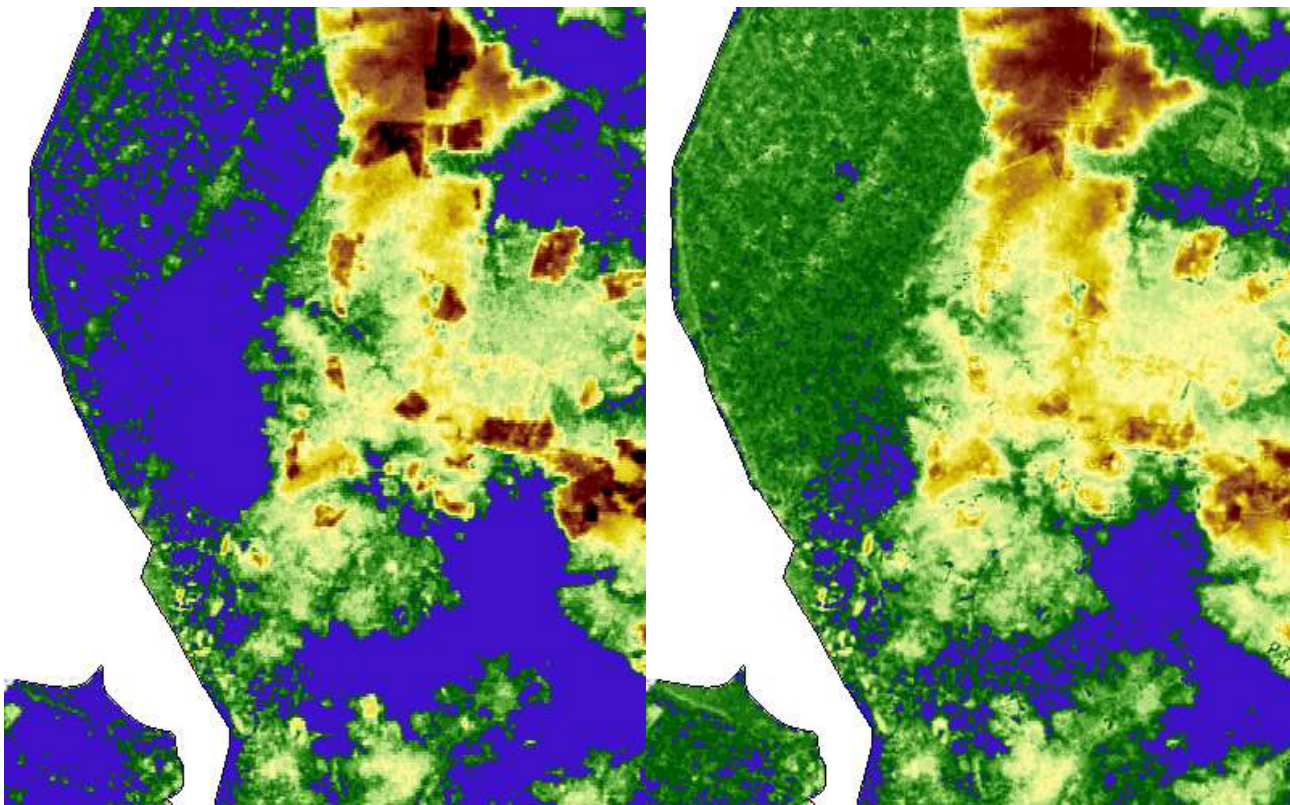


Abb. 9: Gegenüberstellung unbereinigter sowie ATKIS-korrigierter SRTM-Daten (vgl. auch die beiden Kartendarstellungen in Abb. 6)

Man bedenke, dass die Genauigkeit des DGM 50-Modells selbst nur im Bereich ± 5 m liegt, und oftmals sicher die SRTM-Daten sogar näher an der Realität sein dürften (so erklärt sich wohl auch

die generelle "Überhöhung" des DGM 50 gegenüber den Radardaten). Nichtsdestotrotz ist auch die Abweichung CORINE-korrigierten Höhenmodells kaum schlechter als die des ATKIS-korrigierten Höhenmodells, die Daten können als nahezu gleichwertig angesehen werden. Beide Modelle können zur Verwendung empfohlen werden.

In der untenstehenden Abbildung wurden die Toleranzbereiche aufgeführt, in denen sich die Abweichung der Quasi-Höhenmodelle zum DGM 50 beläuft. Interessant sind die zwei Spitzen bei den unbereinigten SRTM3-Daten, die einerseits eine generelle Überhöhung des DGM 50 zeigen, zum anderen die Überhöhung einzelner Gebiete aufgrund deren Nutzung (insbesondere Wald). Die Überhöhung des DGM 50 könnte allerdings auch ihre Ursache in der besonderen Situation der Landsenkung in Norddeutschland haben und die Hypothese erlauben, dass eine Neuvermessung der Höhen hier tatsächlich niedrigere Werte ergeben würde.

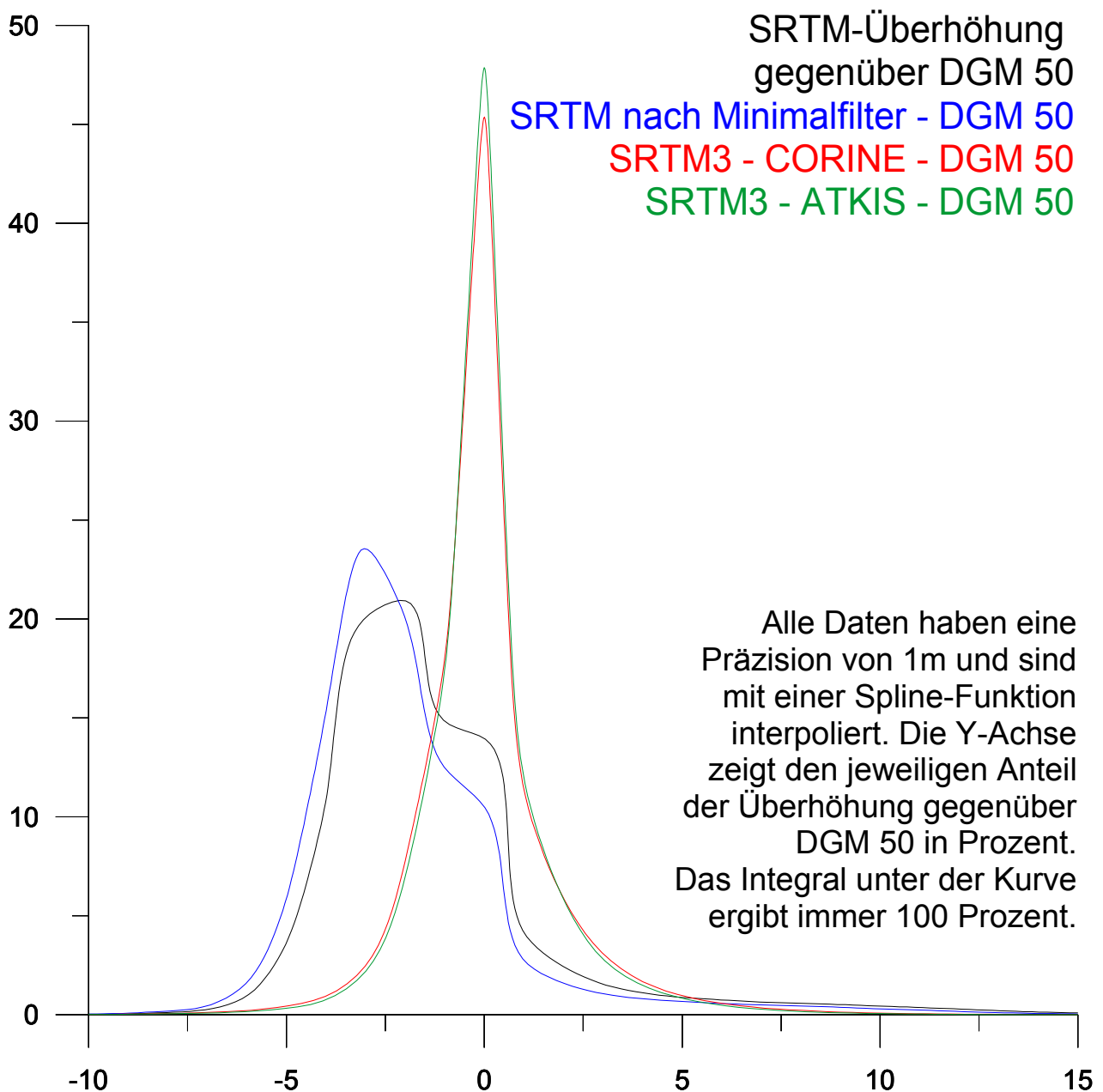


Abb. 10: "Überhöhung" bzw. Abweichung der verschiedenen Geländemodelle (SRTM3, SRTM3 mit Minimalfilter, CORINE-korrigiertes SRTM3-Modell und ATKIS-korrigiertes SRTM3-Modell) in Metern (X-Achse) und deren Anteile in Prozent (Y-Achse)

Antwort (auf die Frage nach der Verwendbarkeit CORINE- bzw. ATKIS-korrigierter SRTM-Daten): Eine Strukturbereinigung der SRTM3-Daten mit Hilfe von ATKIS- oder CORINE-Daten macht in der Tat Sinn. Es sollte darauf geachtet werden, dass die Nutzungsdaten auch möglichst nahe am Jahr 2000 erhoben worden sind, was für das CORINE Land Cover 2000 sicherlich gegeben ist. Mit ATKIS-Daten wird sogar ein etwas besseres Ergebnis erzielt, was deren größeren Detailgenauigkeit zuzuschreiben ist. Auftretende Fehler durch falsche Klassifikationen bzw. Randeffekte sollten unbedingt durch geeignete Filtermethoden minimiert werden.

Die Übertragbarkeit der hier aufgestellten Höhenzuweisung für CORINE- bzw. ATKIS-Daten auf andere Gebiete sollte anhand einer Region überprüft werden, für die ebenfalls ATKIS-DGM und DLM-Daten vorliegen. Weiterhin wäre zu wünschen, dass dem Autor Zugriff auf SRTM1-Daten ermöglicht wird, so dass deren Verwendbarkeit zur Erstellung eines Höhenmodells ermittelt werden kann.

Quellen:

WEIGEL, J. (2004): Erstellung eines hochauflösenden Geländemodells und eines Rauigkeitslängenrasters aus ATKIS DGM- und DLM-Daten, URL: <http://www.ecogis.de/gelaendemodell.pdf>, as of 02/13/2005