

KFÜ-ABR

Windfeldberechnung und Auswirkung von Rauigkeiten auf die KFÜ-ABR

*W. Scheuermann; A. Lurk; N. Kaufmann
Institut für Kernenergetik und Energiesysteme
Universität Stuttgart
Pfaffenwaldring 31
70569 Stuttgart*

*C. Krass; L. Scheuermann
KE-Technologie GmbH
Pfaffenwaldring 31
70569 Stuttgart*

*T. Wilbois; Y. Ren; O. Rockweiler; I. Lachnitt
T-Systems International GmbH
Olgastr. 63
89073 Ulm*

*M. Hagmann; M. Flaskamp; S. Schneider; C. Grimm
Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg
Kernerplatz 9
70812 Stuttgart*

*U. Neff; R. Aures; C. Mandel; U. Müller
LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg
Hertzstr. 173
76187 Karlsruhe*

*M. Maurer; R. Hentzschel
Ministerium für Wirtschaft, Klimaschutz, Energie und Landesplanung Rheinland-Pfalz
Stiftstr. 9
55116 Mainz*

1. EINLEITUNG.....	143
2. METEOROLOGISCHE GRUNDLAGEN.....	143
2.1 DIE PLANETARISCHE GRENZSCHICHT.....	143
2.2 DER BEGRIFF DER RAUIGKEITSLÄNGE.....	144
2.3 VERWENDUNG DER RAUIGKEITSLÄNGE IN DER ABR.....	147
3. VERGLEICH WINDO – MCF.....	147
3.1 VERGLEICH DER MODELLE.....	147
3.2 VERGLEICHSRECHNUNGEN.....	147
4. UNTERSUCHUNG DES EINFLUSSES DER RAUIGKEITSLÄNGEN.....	151
4.1 RECHNUNGEN MIT HOMOGEN RAUIGKEITSLÄNGEN.....	151
4.2 RECHNUNGEN MIT INHOMOGEN VERTEILTEN RAUIGKEITSLÄNGEN.....	154
5. ZUSAMMENFASSUNG.....	159
6. LITERATUR.....	160

1. Einleitung

Von Beginn an wurde bei der in der Kernreaktor-Fernüberwachung (KFÜ) eingesetzten Ausbreitungsrechnung (ABR) der Einfluss des Geländes durch die Integration digitaler Höhenmodelle berücksichtigt, die Einfluss auf die Bestimmung diagnostischer Windfelder sowie auf das Transportmodell und die Dosisberechnung haben. Das eingesetzte Windfeldmodell MCF (Mass Consistent Flow) beruht auf einem geländefolgenden Koordinatensystem und bietet die Möglichkeit, für jede Masche des Lösungsgebiets einen eigenen Reibungswert vorzugeben, um die Bebauung und den Bewuchs des Geländes zu modellieren, was gerade im Hinblick auf die in den letzten Jahren realisierte Vergrößerung des Modellgebiets von Bedeutung ist. Nachdem das MCF-Modell auch im mesoskaligen Bereich im Verbundprojekt BodenseeOnline /1/ erprobt wurde, konnte bereits eine erste, prototypische Integration in die KFÜ realisiert werden.

Der folgende Bericht beinhaltet zunächst einen Vergleich zwischen den traditionellen und den mit MCF errechneten ABR-Ergebnissen. Im Anschluss daran wird der Einfluss der Bodenrauigkeit auf die Ergebnisse der ABR untersucht. Hierzu wurden spezielle künstliche Verteilungen mit erhöhten Rauigkeiten innerhalb des Durchzugsgebiets einer radioaktiven Wolke definiert. Die Diskussion der Ergebnisse zum Einfluss der Rauigkeit erfolgt anhand räumlicher Verteilungen von Windfeld (insbesondere den Vertikalprofilen) und resultierenden Dosisbelastungen.

2. Meteorologische Grundlagen

Die physikalischen Prozesse der Ausbreitung von radioaktiven Partikeln spielen sich im Wesentlichen in der sogenannten atmosphärischen Grenzschicht ab. Diese oberhalb der Erdoberfläche liegende Luftschicht, in welcher die Strömung als ständig turbulent charakterisiert werden kann, besitzt eine vertikale Ausdehnung von bis zu ca. 2 Kilometern. Die Meteorologie der atmosphärischen oder planetarischen Grenzschicht ist gekennzeichnet durch eine Vielzahl z.T. recht komplexer physikalischer Prozesse. Zum besseren Verständnis sollen die für die in der ABR erforderlichen wesentlichen Begriffe in diesem Kapitel eingeführt werden. Für eine tiefergehende Diskussion sei auf die Literatur zur Grenzschichtmeteorologie verwiesen /2/, /3/, /4/.

2.1 Die planetarische Grenzschicht

Die Grenzschicht bildet den unmittelbar durch den Einfluss der Erdoberfläche beeinflussten unteren Bereich der Atmosphäre. Sie wird wiederum in drei Bereiche unterteilt:

1. **Viskose oder molekulare Schicht** mit einer Ausdehnung von wenigen Millimetern: Der Einfluss dieser Schicht auf die für die ABR relevanten dynamischen Vorgänge in der gesamten Grenzschicht ist sehr gering und wird daher hier nicht weiter betrachtet.
2. **Prandtl-Schicht** (= bodennahe Grenzschicht) mit einer Ausdehnung von 20 bis zu ca. 100 Metern: In dieser Schicht ist der turbulente Impulsfluss bzw. die turbulente

Schubspannung nahezu höhenkonstant. Der Einfluss der Coriolis-Kraft ist noch gering, so dass mit der Höhe lediglich die Windgeschwindigkeit annähernd logarithmisch ansteigt; eine Änderung der Windrichtung liegt hingegen nicht vor. Die Prandtl-Schicht wird aufgrund des großen Einflusses von Rauigkeitselementen oftmals in zwei Schichten unterteilt, die als Rauigkeitsschicht und Trägheitsschicht bezeichnet werden. In der Rauigkeitsschicht sind die Austauschprozesse stark von lokalen Eigenschaften der Oberfläche beeinflusst und variieren in gleicher Höhe auch horizontal stark. Der unterste Bereich der Prandtl-Schicht wird nochmals eingegrenzt durch die Rauigkeitslänge, d.h. diejenige Höhe, in der die mittlere Windgeschwindigkeit verschwindet.

3. **Ekman-Schicht** (auch als Spiralschicht bezeichnet): Die Übergangsschicht zwischen der Prandtl-Schicht und der freien Atmosphäre hat die größte Ausdehnung. Das Abnehmen der turbulenten Flüsse mit der Höhe führt in Verbindung mit dem Einfluss der Corioliskraft zu einer laminaren Luftströmung, dem geostrophischen Wind der freien Atmosphäre.

2.2 Der Begriff der Rauigkeitslänge

Üblicherweise wird die Rauigkeitslänge z_0 in Zusammenhang mit der Monin-Obukhovschen Ähnlichkeitstheorie eingeführt. So findet man für neutrale Schichtung die Beziehung

$$\bar{u}(z) = \frac{u_*}{\kappa} \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)$$

mit der Schubspannungsgeschwindigkeit u_* (Maß für den turbulenten Impulsfluss), die von Karman-Konstante κ und der Höhe über Grund z mit bestimmt wird. Oft findet man anstelle von z auch die Größe $z-d$, wobei d die sog. Verdrängungshöhe kennzeichnet, die z.B. durch die mittlere Bewuchshöhe bei homogener Vegetation (Waldgebiet) kennzeichnet (siehe auch Abbildung 1). Es zeigt sich ein erheblicher Einfluss von z_0 auf das Windgeschwindigkeitsprofil in der Prandtl-Schicht.

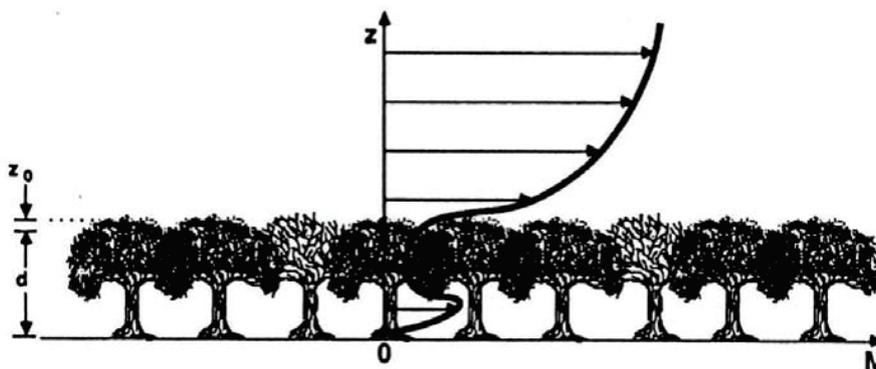


Abbildung 1: Zusammenhang zwischen Windprofil und Rauigkeitslänge über einem geschlossenen Waldgebiet (Quelle: R. B. Stull /3/, Abb. 9.7)

Abbildung 2 zeigt die Unterschiede im Windprofil bei gegebener Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe, einer Standardmesshöhe für den Bodenwind bei neutraler Schichtung und Verdrängungshöhen zwischen 0,01 und 2 m bei gleicher Geschwindigkeit von 10 m/s. Die Rauigkeitslänge lässt sich definitionsgemäß unmittelbar aus dem z -Wert für $u=0$ ablesen.

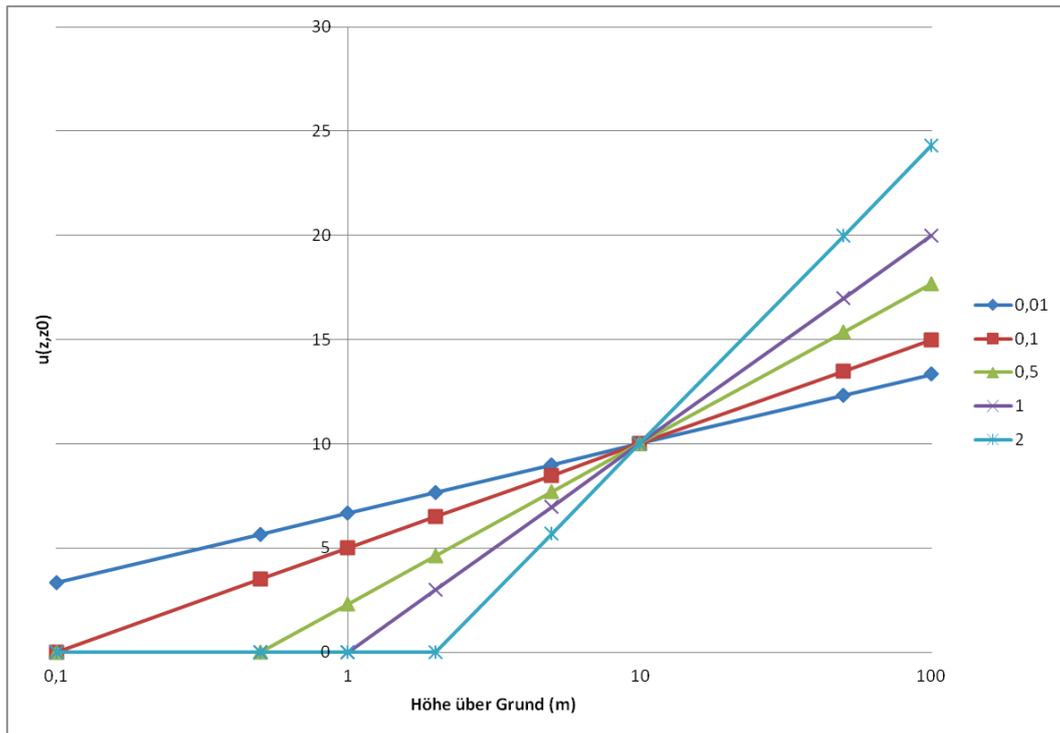


Abbildung 2: Windgeschwindigkeitsprofile bei neutraler Schichtung für verschiedene Rauigkeitslängen bei vorgegebener Windgeschwindigkeit in 10 Metern Höhe

Durch Ausmessen des vertikalen Windgeschwindigkeitsprofils bei neutralen Bedingungen lässt sich sowohl u_x als auch z_0 mittels linearer Regression bestimmen. In der Praxis sind hierzu mehrere Messhöhen kleiner als ca. 10 Meter erforderlich.

In der Praxis wird die mittlere Rauigkeitslänge eines Gebietes oftmals auf Basis der Landnutzungsklassen des sog. CORINE-Katasters festgelegt (siehe /5/ und Tabelle 1). Auf dieser Basis könnte beispielsweise eine räumlich hoch aufgelöste Rauigkeitskarte an Hand von Fernerkundungsdaten abgeleitet werden. Recht realistische räumliche Verteilungen für das Gebiet von Baden-Württemberg stehen im Rahmen der DWD-Prognose /6/ zur Verfügung (siehe Abbildung 3). Wie die Abbildung zeigt, sind die Rauigkeitsunterschiede innerhalb der Modellgebiete deutlich ausgeprägt.

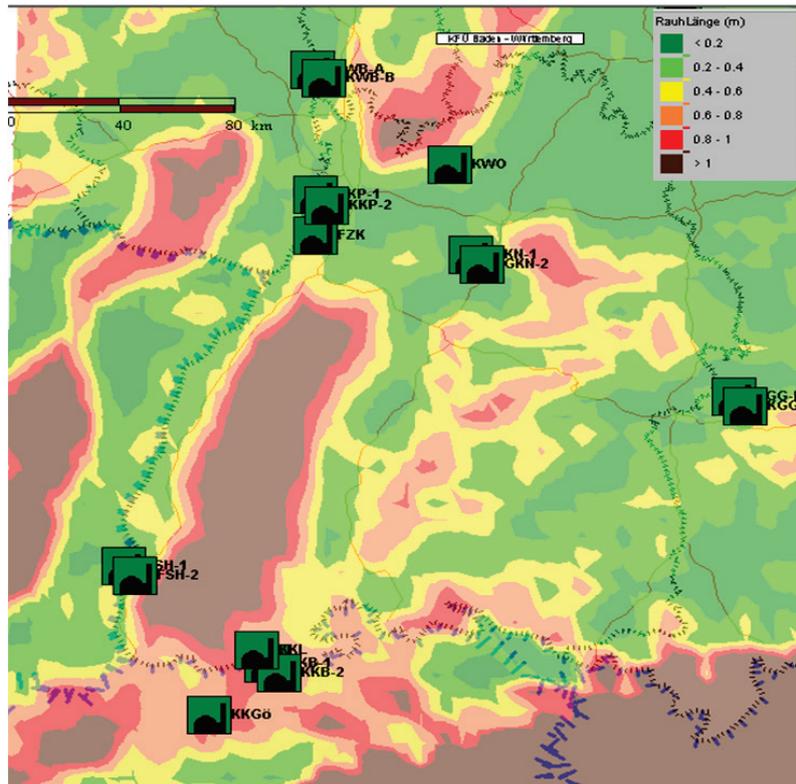


Abbildung 3: Übersicht über die in COSMO-EU verwendeten Rauigkeitslängen

z_0 in m	CORINE-Klasse
0,01	Strände, Dünen und Sandflächen (331); Wasserflächen (512)
0,02	Deponien und Abraumhalden (132); Wiesen und Weiden (231); Natürliches Grünland (321); Flächen mit spärlicher Vegetation (333); Salzwiesen (421); In der Gezeitenzone liegende Flächen (423); Gewässerläufe (511); Mündungsgebiete (522)
0,05	Abbauflächen (131); Sport- und Freizeitanlagen (142); Nicht bewässertes Ackerland (211); Gletscher und Dauerschneegebiete (335); Lagunen (521)
0,10	Flughäfen (124); Sümpfe (411); Torfmoore (412); Meere und Ozeane (523)
0,2	Straßen, Eisenbahn (122); Städtische Grünflächen (141); Weinbauflächen (221); Komplexe Parzellenstrukturen (242); Landwirtschaft und natürliche Bodenbedeckung (243); Heiden und Moorheiden (322); Felsflächen ohne Vegetation (332)
0,50	Hafengebiete (123); Obst- und Beerenobstbestände (222); Wald-Strauch-Übergangsstadien (324)
1,0	Nicht durchgängig städtische Prägung (112); Industrie- und Gewerbeflächen (121); Baustellen (133); Nadelwälder (312)
1,5	Laubwälder (311); Mischwälder (313)
2,00	Durchgängig städtische Prägung (111)

Tabelle 1 : Mittlere Rauigkeitslänge in Abhängigkeit von den Landnutzungsklassen des CORINE-Katasters (gemäß /5/).

2.3 Verwendung der Rauigkeitslänge in der ABR

Der Einfluss der subskaligen Orographie, der über die Rauigkeitslänge definiert ist, geht als Parameter in die verwendeten diagnostischen Windfeldmodelle ein. Die Windfelder bilden die Basis für den konvektiven mittleren Partikeltransport in der ABR. Im Einklang mit dem Leitfaden /7/ wurde bisher die Rauigkeitslänge $z_0 = 0,5$ Meter global für das gesamte Modellgebiet vorgegeben. Mit der Einführung von MCF steht ein Modell für die ABR zur Verfügung, mit dem auch lokal unterschiedliche Rauigkeitsprofile verwendet werden können.

3. Vergleich WINDO – MCF

In den folgenden Abschnitten werden erste Analysen zum Einfluss lokaler Rauigkeitsprofile diskutiert. Zunächst wird ein Modellvergleich Windo – MCF mit globaler Behandlung der Rauigkeitsfaktoren durchgeführt. Hierbei werden insbesondere die Vertikalprofile herangezogen, da hier die Haupteffekte zu erwarten sind. Die Untersuchung zum Einfluss lokal unterschiedlicher Rauigkeitslängen erfolgt dann ausschließlich mit MCF.

3.1 Vergleich der Modelle

Bei den in der ABR integrierten Windfeldmodellen WINDO und MCF handelt es sich um diagnostische Modelle, die ausgehend von einem oder mehreren Startwerten zum Zeitpunkt t für das gegebene Modellgebiet ein Windfeld berechnen. Beide Modelle berechnen durch Interpolation zunächst ein noch divergentes Windfeld und lösen im Anschluss daran die Kontinuitätsgleichung, um daraus ein divergenzfreies und massenkonsistentes Windfeld zu erzeugen. Im Wesentlichen unterscheiden sich die Modelle in dreierlei Hinsicht:

1. Erzeugung eines vertikalen Windprofils für das initiale Windfeld: Bei MCF ist die Schichtung der Atmosphäre und die Anbindung an den geostrophischen Wind von Bedeutung, während bei WINDO von einem logarithmischen Profil ausgegangen wird
2. MCF legt ein geländefolgendes, WINDO ein kartesisches Koordinatensystem zugrunde, wobei sich mit dem geländefolgenden Koordinatensystem bodennahe Effekte besser erfassen lassen, ohne die Maschenzahl deutlich erhöhen zu müssen.
3. MCF bietet die Möglichkeit, für jede Masche in der bodennahen Schicht eine Rauigkeitslänge vorgeben zu können, womit sich zusätzlich zur Topographie noch der Einfluss von inhomogenem Bewuchs und Bebauung erfassen lassen.

3.2 Vergleichsrechnungen

Um die Auswirkung der Modellunterschiede quantifizieren zu können, wurden Vergleichsrechnungen durchgeführt. Dabei sollte untersucht werden, welche vertikalen Windprofile sich sowohl am Messort, als auch in einiger Entfernung davon ausbilden. Um die Frage zu beantworten, wurden als meteorologische Eingangsdaten Messwerte verwendet. Die Rechnungen wurden für die Standorte Philippsburg (KKP) und Neckarwestheim (GKN) durchgeführt, um auch den Einfluss der Topographie abschätzen zu können.

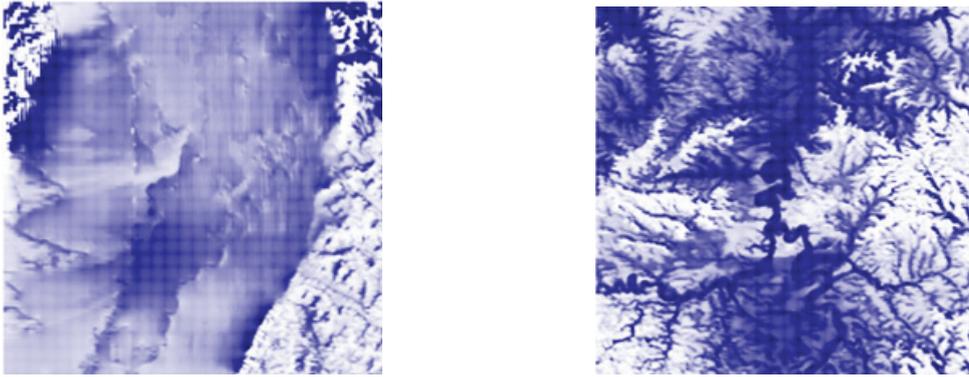


Abbildung 4: WINDO: Windgeschwindigkeitsverteilung KKP (links) und GKN (rechts)

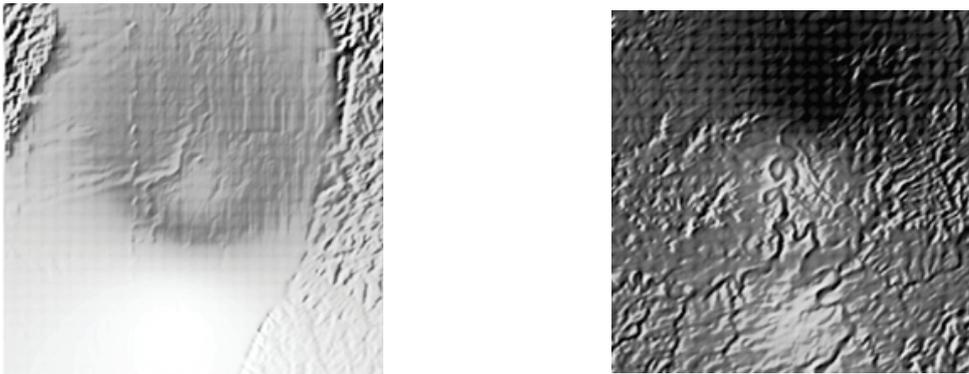


Abbildung 5: MCF: Windgeschwindigkeitsverteilung KKP (links) und GKN (rechts)

Die Abbildungen 4 und 5 zeigen die horizontale Verteilung der Windgeschwindigkeit von beiden Modellen in einer Höhe von ca. 100m über Grund. Dabei zeigt sich, dass sich bei WINDO die Struktur der zugrundeliegenden Topographie noch deutlich abzeichnet, während bei MCF sich die topografischen Gegebenheiten nur noch undeutlich abzeichnen. Mit zunehmender Höhe verschwinden die topographischen Einflüsse bei beiden Modellen. Auffällig ist, dass sich bei MCF kreisförmige Strukturen sowohl mit niedrigeren als auch höheren Windgeschwindigkeiten abzeichnen.

Betrachtet man die Windprofile am Standort, so zeigt sich, dass sich bei WINDO ein logarithmisches Profil ausbildet (Abbildung 6), während bei MCF sich nur in der Prandtl-Schicht ein solches Profil ausbildet und in der Schicht darüber (Ekman-Schicht) die Windgeschwindigkeit kaum noch zunimmt. Die Oszillation der gemessenen Windgeschwindigkeit (Abbildung 7) macht sich hingegen bei den aus den Rechnungen stammenden Profilen kaum bemerkbar, während die gemessenen Oszillationen bei der Windrichtung bei beiden Modellrechnungen deutlich sichtbar sind (Abbildung 8).

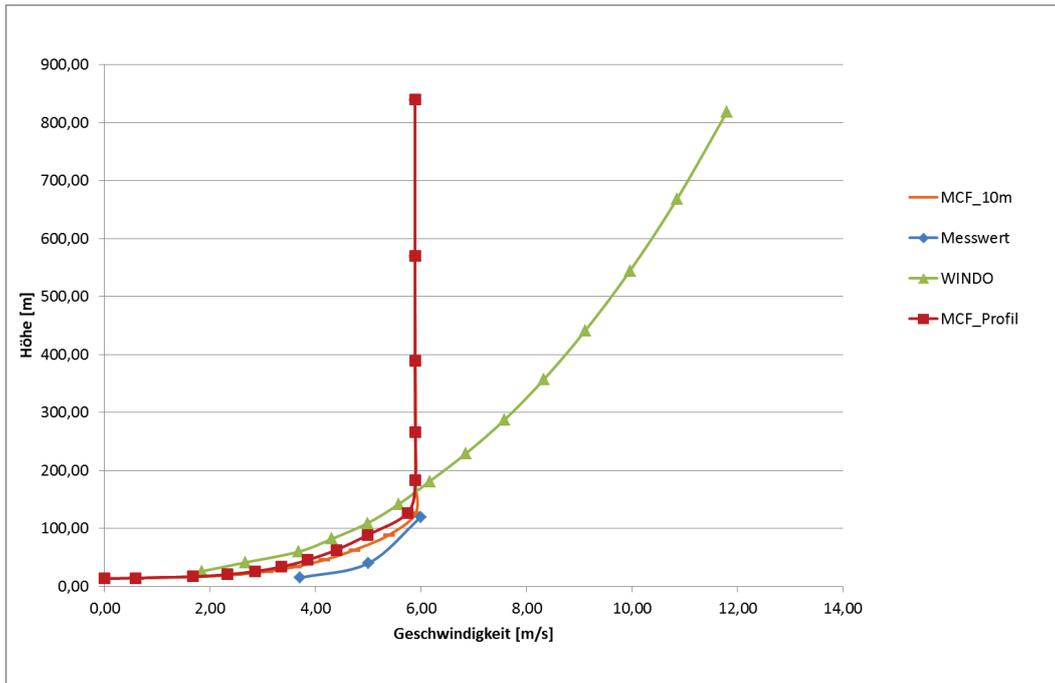


Abbildung 6: Geschwindigkeitsprofil am Standort KKP

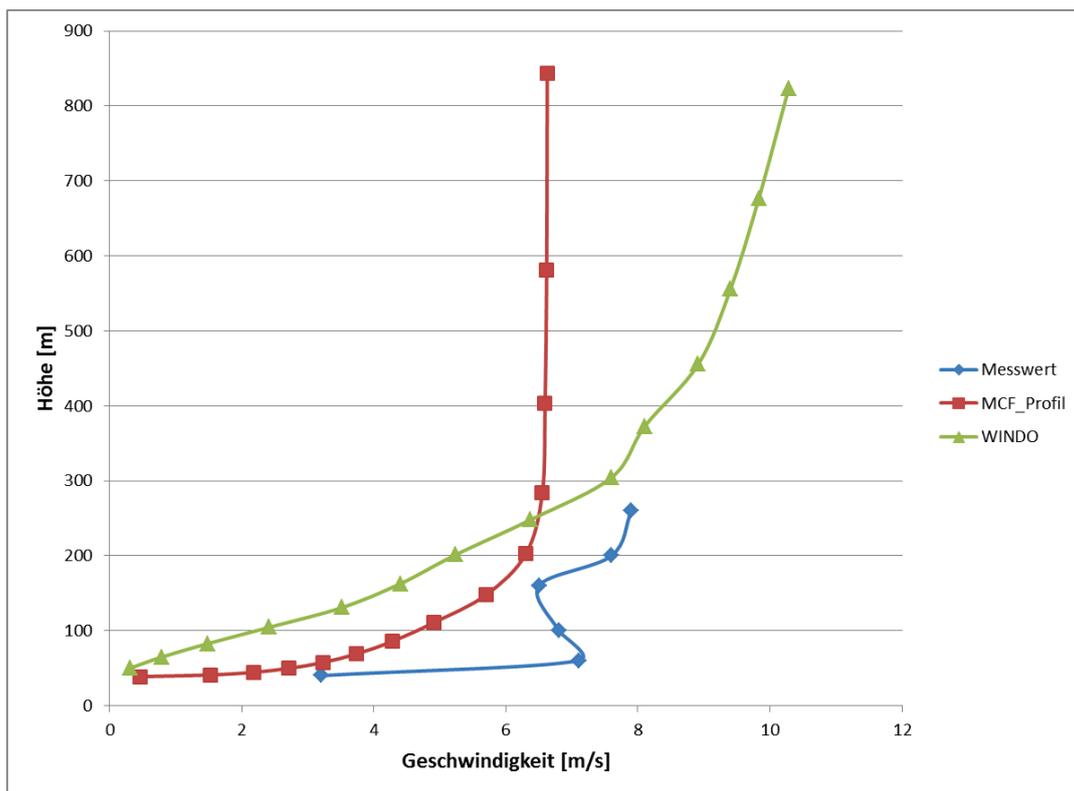


Abbildung 7: Geschwindigkeitsprofil am Standort GKN

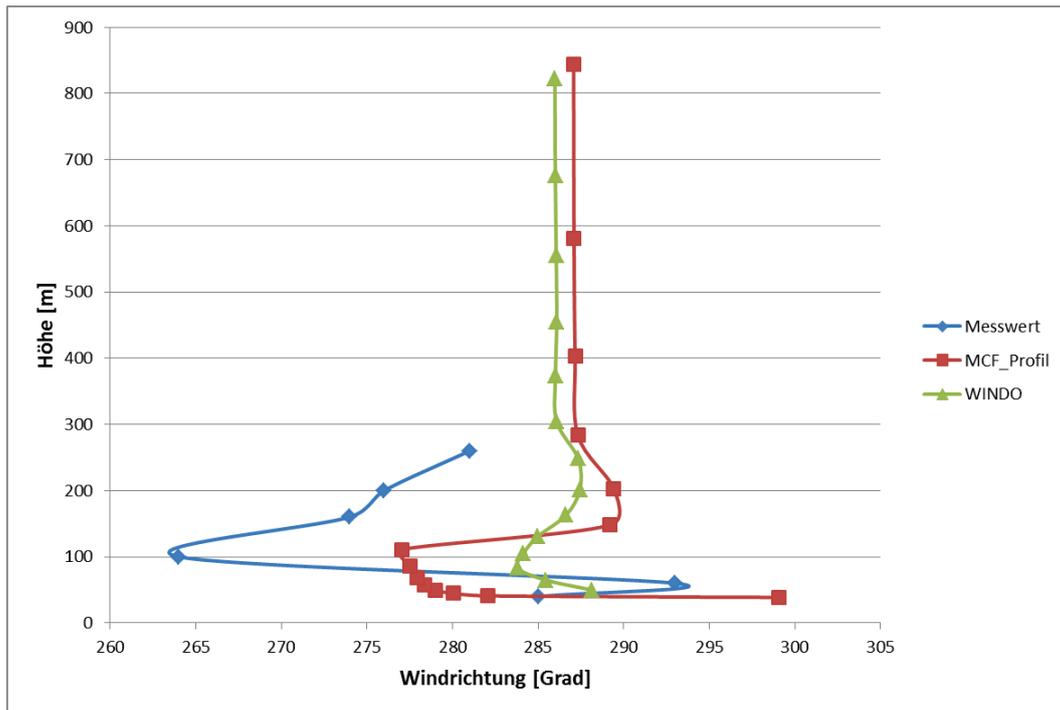


Abbildung 8: Profil der Windrichtung am Standort GKN

Zur Erläuterung der Darstellungsform: Wie sich bei allen Rechnungen gezeigt hat, sind bei MCF die Werte in der untersten Masche immer konstant, die Windgeschwindigkeit ist definitionsgemäß null und die Windrichtung beträgt 90 Grad. Da sich hierdurch die einzelnen Linien in den unteren Maschen sehr stark überdecken würden und die Effekte in Bodennähe nicht sichtbar würden, beginnen alle Linienplots erst in der 2. Masche.

Vergleicht man die Ergebnisse dieser Rechnungen mit den Ergebnissen beim Einsatz von MCF im Informations- und Notfallschutzsystem BodenseeOnline /1/, so zeigt sich, dass dort bei Rechnungen mit MCF im Vergleich mit vorliegenden Messwerten eine sehr gute Übereinstimmung erzielt wird. Der Vergleich der beiden Implementierungen zeigt, dass der wesentliche Unterschied darin liegt, dass bei Implementierung vom MCF in BodenseeOnline für MCF über die gesamte vertikale Ausdehnung des Modellgebiets ein logarithmisches Windprofil vorgegeben wird, während bei der Integration von MCF in die ABR davon ausgegangen wurde, dass die vorliegenden vertikalen Profile der Messwerte ausreichend für die Windfeldberechnung sind.

Es ist festzuhalten, dass MCF über mehrere Möglichkeiten der Eingabe der meteorologischen Anfangsbedingungen verfügt /8/. Im Einzelnen sind dies:

- Vorgabe von Windgeschwindigkeit und Richtung des geostrophischen Windes
- Zusätzlich zum geostrophischen Wind Messwerte aus der bodennahen Schicht
- Numerische Daten von großräumigen Modellrechnungen
- Messdaten und Windwerte aus den oberen Schichten

Bei der Integration von MCF in die ABR wurde, da bei Messwerten Angaben über den geostrophischen Wind nicht verfügbar sind, die zuletzt genannte Variante gewählt.

Es ist daher dringend notwendig zu untersuchen, inwieweit die Initialisierung der Windfelder bei Rechnungen auf Basis von Messwerten verbessert werden kann. Entscheidend hierfür ist die Kenntnis der Stärke der Grenzschicht. Im KFÜ liegen hierzu sowohl Prognosedaten als auch auf Basis des meteorologischen Präprozessors des DFK-Modells mit der Standortinstrumentierung errechnete Pseudomesswerte vor. Deren Integration in die ABR ist in naher Zukunft geplant.

Aufgrund der sich aus den Vergleichsrechnungen ergebenden Probleme bei der Windfeldberechnung mit MCF auf Basis von Messwerten wurde zum einen auf die weitere Untersuchung der Auswirkung auf die Dosisverteilung verzichtet und zum anderen wurde entschieden, die anstehenden Rechnungen zum Einfluss von Rauigkeitslängen auf Basis von Prognosewerten durchzuführen.

4. Untersuchung des Einflusses der Rauigkeitslängen

Im Rahmen dieser Untersuchungen wurden zuerst Rechnungen mit unterschiedlichen, aber über das gesamte Modellgebiet konstanten Rauigkeitslängen durchgeführt. In weiteren Rechnungen wurde dann untersucht, wie sich im Modellgebiet inhomogen verteilte Rauigkeitslängen auf die Ausbildung des Windfeldes und die Dosisverteilung auswirken. Die Rechnungen wurden ebenfalls für die Standorte KKP und GKN durchgeführt, um auch hier den Einfluss der Topographie abschätzen zu können.

Standardmäßig wird in der ABR sowohl bei WINDO als auch bei MCF ein Rauigkeitsfaktor von 0,5 verwendet. Um Rechnungen mit anderen Rauigkeitslängen durchführen zu können, mussten die Modelle in der ABR entsprechend modifiziert werden.

4.1 Rechnungen mit homogenen Rauigkeitslängen

Die Rauigkeitslängen beschreiben, wie bereits erwähnt, den Einfluss von Vegetation und Bebauung auf die Ausbildung des Windfeldes. Im Rahmen dieser Untersuchungen wurden folgende Rauigkeitslängen gewählt:

- 0,001 entsprechend einer freien Wasserfläche
- 0,5 entsprechend einer mittleren Rauigkeit (Standardwert in der ABR)
- 1,0 entsprechend einer nicht durchgehenden städtischen Bebauung, Nadelwälder
- 2.0 entsprechend einer durchgehend städtischer Bebauung

Dabei entspricht der Wert von 0,001 dem bei BodenseeOnline verwendeten Wert.

Abbildung 9 zeigt das Geschwindigkeitsprofil über die gesamte Höhe des Modellgebiets. Dabei zeigt sich, dass sich die unterschiedlichen Rauigkeitslängen in der Ekman-Schicht kaum noch auswirken.

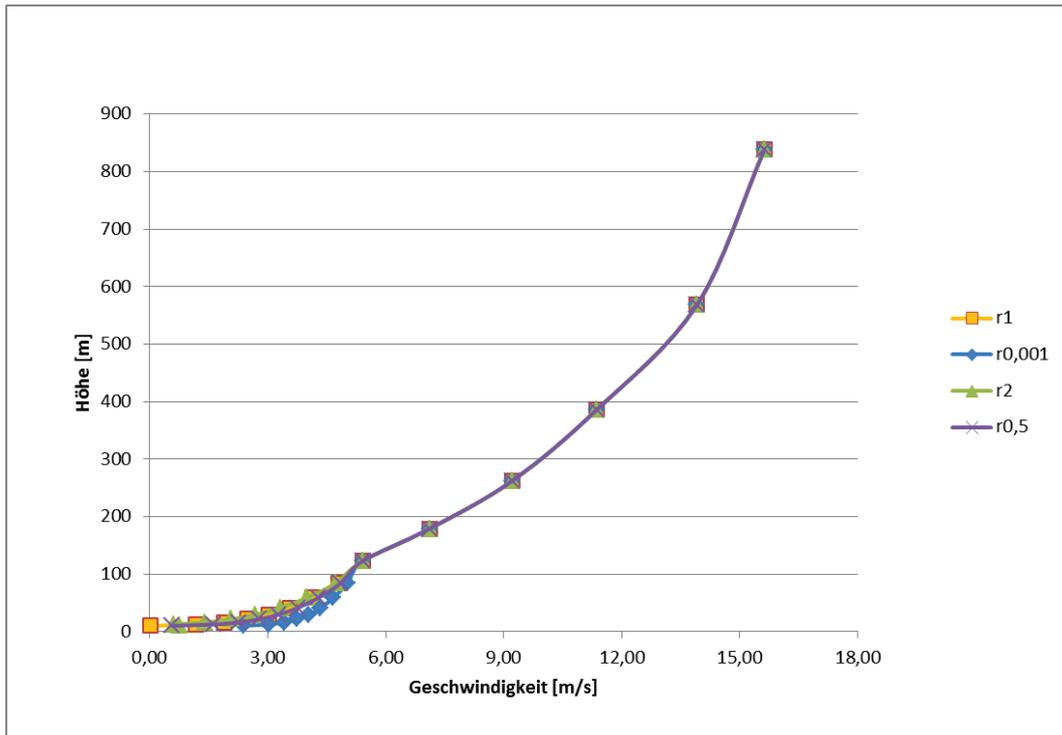


Abbildung 9: Beispiel für ein Geschwindigkeitsprofil am Standort KKP

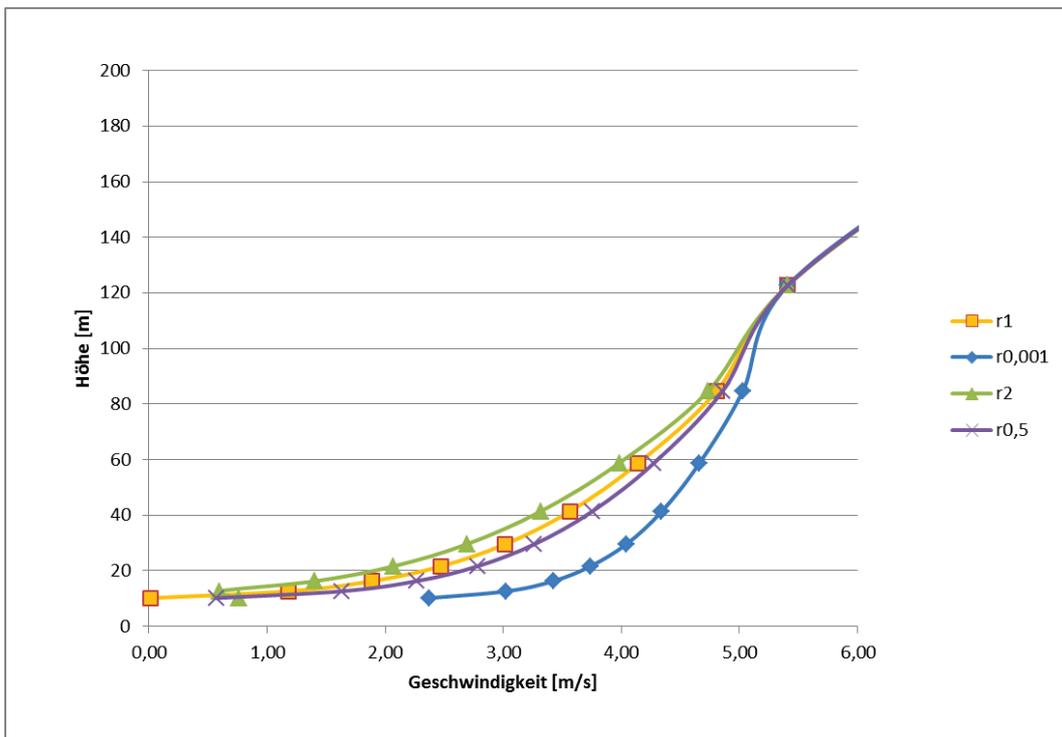


Abbildung 10: Beispiel für ein Geschwindigkeitsprofil am Standort KKP innerhalb der Prandtl-Schicht

Die Detailansicht (Abbildung 10) zeigt deutlich die unterschiedlichen Geschwindigkeitswerte, abhängig von der Rauigkeitslänge. So ist, wie zu erwarten, die Geschwindigkeit bei 0,001 am größten und nimmt mit zunehmender Rauigkeitslänge ab. Mit zunehmender Höhe nimmt die Geschwindigkeit kontinuierlich zu. Bei einer Rauigkeitslänge von 2,0 hingegen zeigt sich

ein anderes Verhalten. Hier ist in der unteren Masche die Geschwindigkeit mit 0,76 m/s höher als in der Schicht darüber mit 0,6 m/s und auch deutlich höher als die Geschwindigkeit bei einem Rauigkeitsfaktor von 1,0.

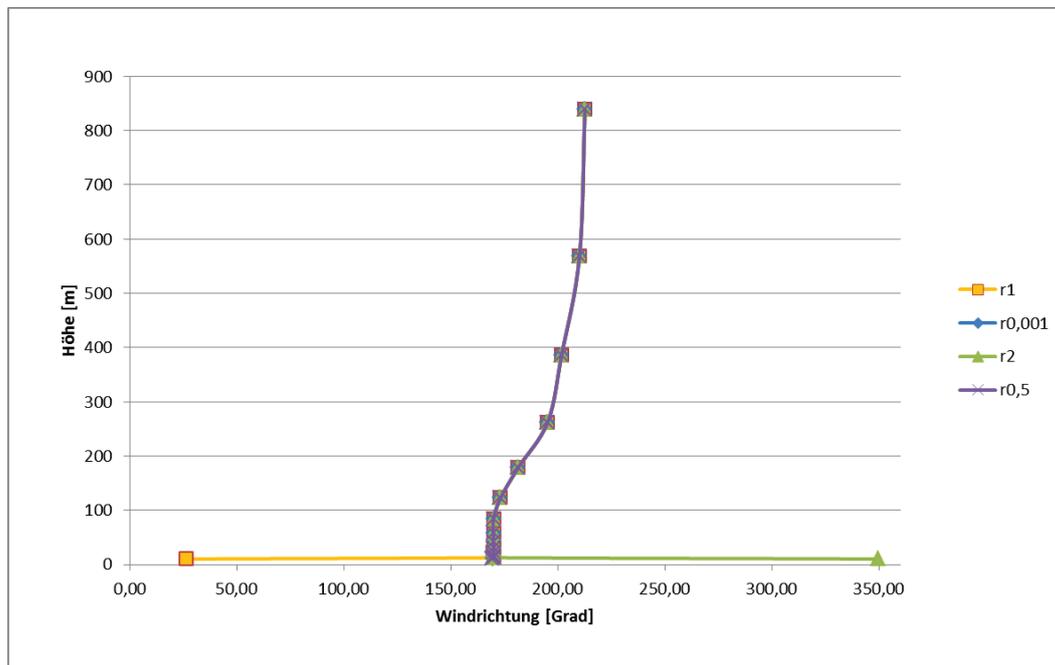


Abbildung 11: Beispiel für ein Profil der Windrichtungen am Standort KKP

Betrachtet man Abbildung 11, so zeigt sich, dass die Startwerte der Kurven für die Rauigkeitsfaktoren von 1,0 und 2,0 von ungefähr 0, bzw. 360 Grad auf ca. 180 Grad umschwenken.

Betrachtet man die Werte für Geschwindigkeit und Richtung erst ab der darüber liegenden Masche, folgen beide Profile dem zu erwartenden Verlauf. Weitere Untersuchungen sind hier notwendig, um diese Effekte in Bodennähe näher zu untersuchen.

Dasselbe Verhalten zeigt sich auch bei Geschwindigkeitsprofilen am Standort GKN (Abbildung 12). Vergleicht man nun die Dosisverteilung aus den Rechnungen mit dem kleinsten und dem größten Rauigkeitsfaktor, ergeben sich als Folgerung der oben diskutierten Geschwindigkeitsverteilungen im Dosismaximum während der Freisetzungsphase Unterschiede von ca. 30% (Abbildung 13 und Abbildung 14).

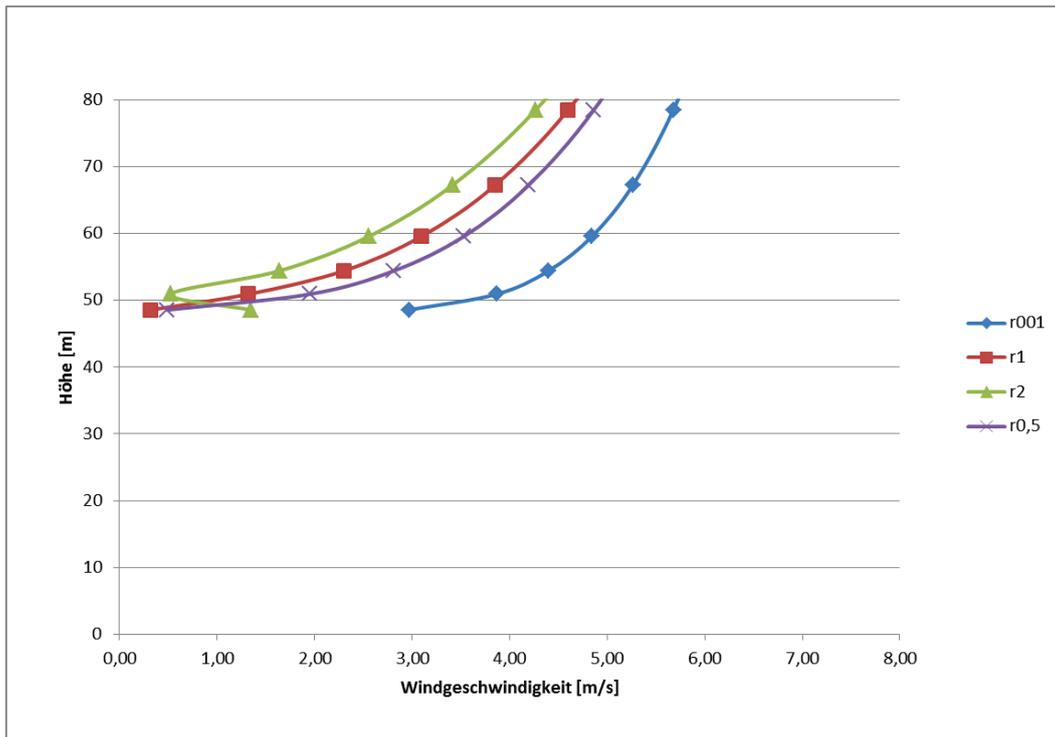


Abbildung 12: Beispiel für ein Profil der Windgeschwindigkeiten am Standort GKN

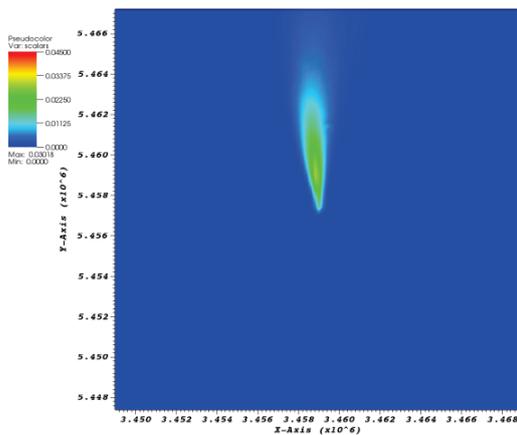


Abbildung 13: Ortsdosisleistung am Standort KKP, Rauigkeitsfaktor 0,01

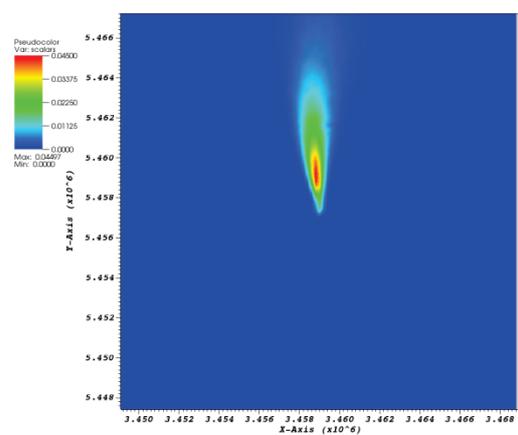


Abbildung 14: Ortsdosisleistung am Standort KKP, Rauigkeitsfaktor 2,0

4.2 Rechnungen mit inhomogen verteilten Rauigkeitslängen

Insgesamt wurden für jeden Standort 4 Rechnungen durchgeführt, eine Basisrechnung mit dem Standard-Rauigkeitsfaktor 0,5 sowie 3 Rechnungen mit dem Rauigkeitsfaktor 2,0 für unterschiedlich große Gebiete innerhalb des Modellgebiets. Gewählt wurden quadratische Gebiete mit 10 x 10 Maschen, d.h. einer Seitenlänge von 2 km, mit 20 x 20 Maschen (Seitenlänge 4 km) sowie ein Gebiet mit 40 x 40 Maschen (Seitenlänge 8 km). Gerechnet wurde mit dem Modellgebiet 20 km x 20 km (100 x 100 Maschen). Die Lage der Gebiete mit höherer Rauigkeit zeigt Abbildung 15.

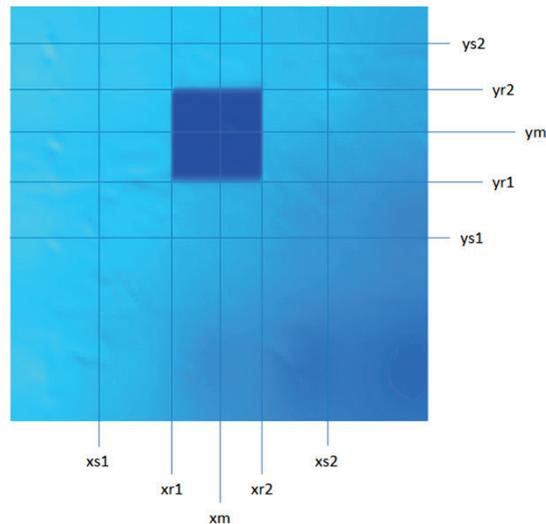


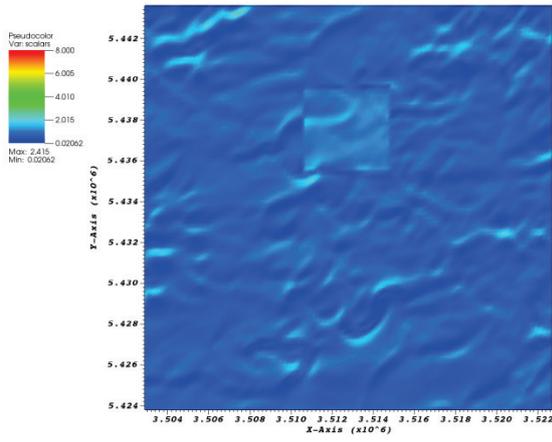
Abbildung 15: Lage des Gebiets mit erhöhter Rauigkeit (10x10 Maschen)

Die eingezeichneten Linien kennzeichnen die Lage der Maschen, an denen die Windprofile der Abbildungen 17 und 18 erzeugt wurden. Die Angaben für x und y beziehen sich auf die Nummer der Maschen in x- und y-Richtung (Tabelle 2). Daraus ergeben sich dann die Kurvenbezeichnungen in der Legende, wie beispielsweise x44/y65 für den Punkt (xr1, ym).

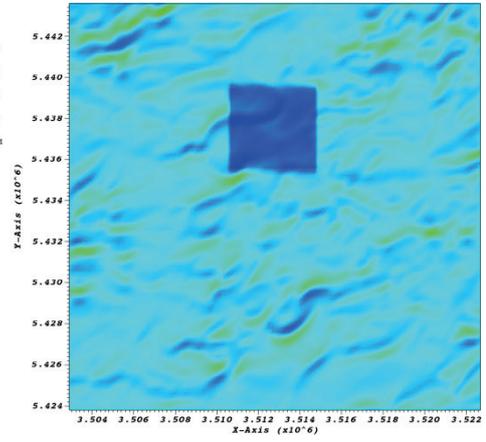
Trägt man, wie in Abbildung 16 gezeigt, die horizontale Verteilung der Windgeschwindigkeit in verschiedenen Höhen auf, so zeigt sich, dass mit zunehmender Höhe die Gebiete mit erhöhter Rauigkeit immer mehr an Einfluss verlieren. Auffallend ist, dass in Level 2 bei diesem Beispiel (20 x 20 Maschen) die Windgeschwindigkeit innerhalb des Gebiets mit erhöhter Rauigkeit eine höhere Windgeschwindigkeit aufweist, was aufgrund der Analyse bei homogener, erhöhter Rauigkeit zu erwarten war. Dies bestätigen auch die Abbildungen 17 und 18, wo analog zu Abbildung 16 die charakteristischen höheren Geschwindigkeitswerte in der untersten dargestellten Masche deutlich zu sehen sind. Ebenso zeigen beide Abbildungen die Windprofile am Rand des Gebiets (x44/y65 und x54/y65) mit erhöhter Rauigkeit, dass dieser Effekt ebenfalls noch zu beobachten ist. Zusätzlich zeigt die Kurve am Punkt x50/y75, in der Legende mit „homogen“ bezeichnet, das Windprofil aus der Rechnung mit dem Standardrauhigkeitsfaktor von 0,5 eingezeichnet. Der Punkt selbst liegt in der Mitte des Gebiets mit erhöhter Rauigkeit.

Lage		Maschennr. in x-Richtung	Maschennr. in y-Richtung
Mitte (r=2)	xm / ym	50	65
Linker Rand (r=2)	xr1 / ym	44	65
Rechter Rand (r=2)	xr2 / ym	54	65
Unterer Rand (r=2)	xm / yr1	50	59
Oberer Rand (r=2)	xm / yr2	50	69
Linkes Gebiet (r=0,5)	xs1 / ym	40	65
Rechtes Gebiet (r=0,5)	xs2 / ym	60	65
Unteres Gebiet (r=0,5)	xm / ys1	50	55
Oberes Gebiet (r=0,5)	xm / ys2	50	75

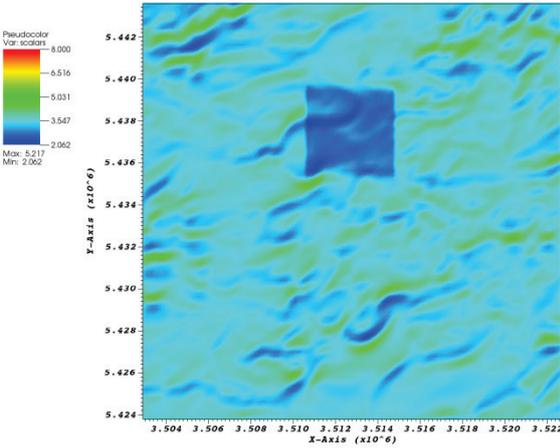
Tabelle 2: Für die Untersuchung der vertikalen Windprofile ausgewählte Maschen



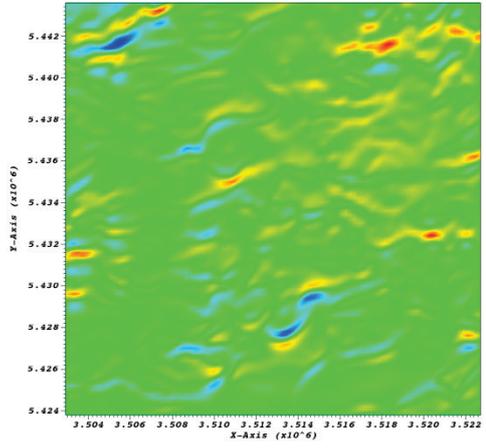
Level 2



Level 3



Level 5



Level 10

Abbildung 16: Horizontale Verteilung der Windgeschwindigkeit

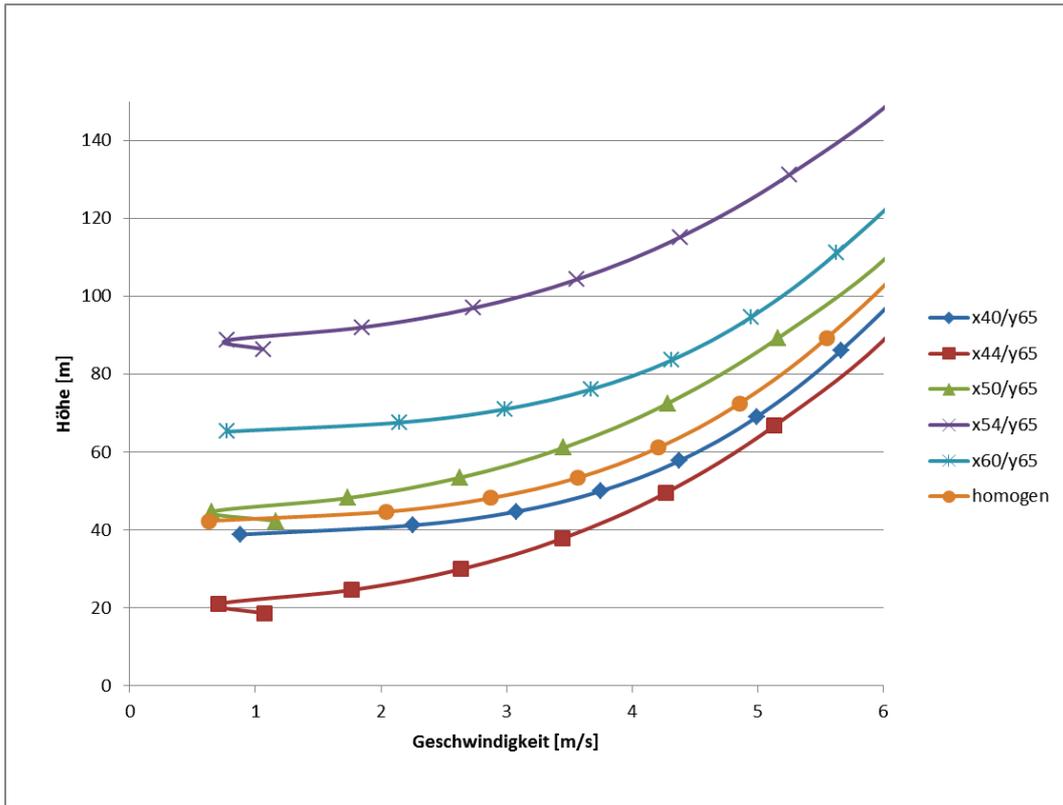


Abbildung 17: GKN: Geschwindigkeitsprofile bei 10 x 10 Maschen, Schnitt in x-Richtung

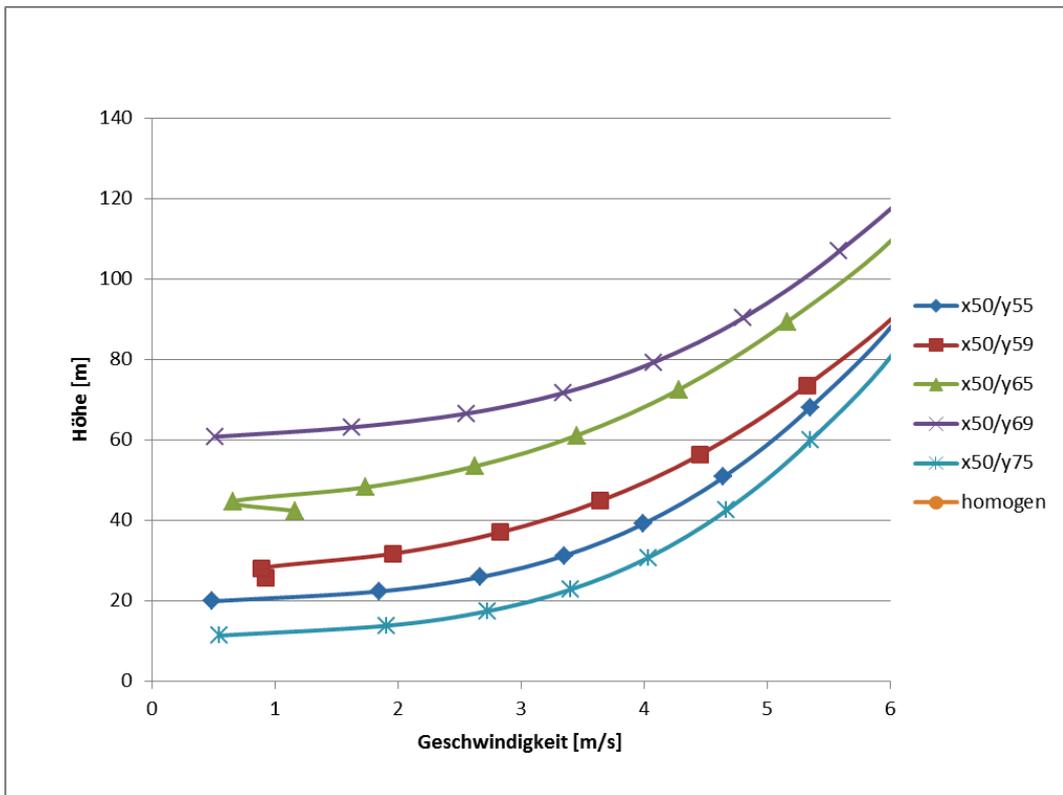


Abbildung 18: GKN: Geschwindigkeitsprofile bei 10 x 10 Maschen, Schnitt in y-Richtung

Bei dem gewählten Prognosezeitraum herrschte vorwiegend eine südliche Strömung. Inwieweit sich die Anströmung des Gebiets in Windrichtung (y-Richtung) von der Umströmung des Gebiets quer zur Windrichtung (x-Richtung) unterscheidet, zeigen die Abbildungen 17 und 18. Dabei zeigt sich, dass in y-Richtung nur die Maschen am unteren Rand und in der Mitte des Gebiets mit erhöhter Rauigkeit eine höhere Windgeschwindigkeit in der unteren Masche berechnen.

Die Abbildungen 19 bis 22 zeigen die Ortsdosisleistung für die unterschiedlich großen Gebiete mit erhöhter Rauigkeit sowie das Ergebnis einer Rechnung mit der homogenen Standard-Rauigkeit von 0,5. Dabei zeigt sich, dass der Einfluss der Bodenrauigkeit mit zunehmender Gebietsgröße immer deutlicher wird und die maximale Dosisleistung sowie die Größe des Gebiets mit höherer Dosis zunimmt. Das Dosismaximum liegt dabei im Bereich der erhöhten Rauigkeit.

Ein ähnliches Verhalten ergibt sich auch für den Standort KKP, wobei hier die Änderung der Geschwindigkeit von der untersten zur nächst höheren Masche deutlich sichtbarer ist (Abbildung 23).

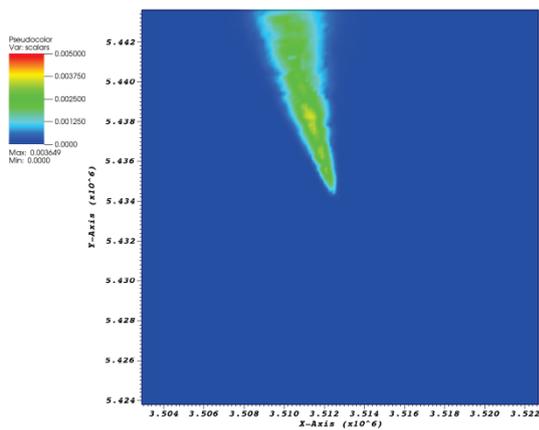


Abbildung 19: GKN: Ortsdosisleistung (MCF, Standard-Rauigkeit)

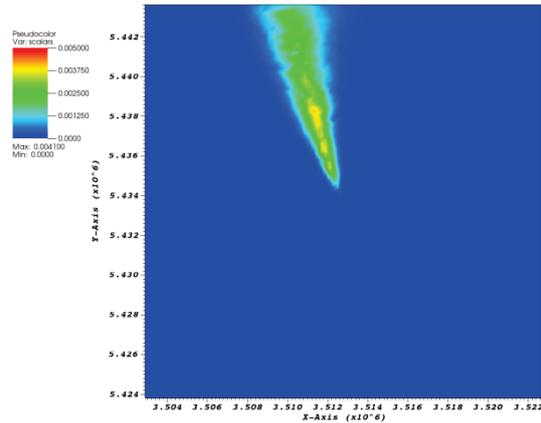


Abbildung 20: GKN: Ortsdosisleistung (MCF, 10 x 10 Maschen)

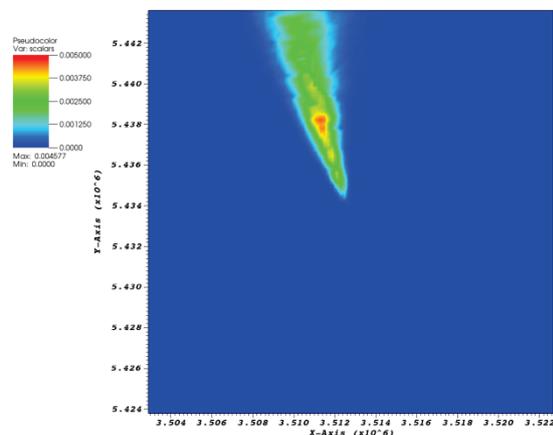


Abbildung 21: GKN: Ortsdosisleistung (MCF, 20 x 20 Maschen)

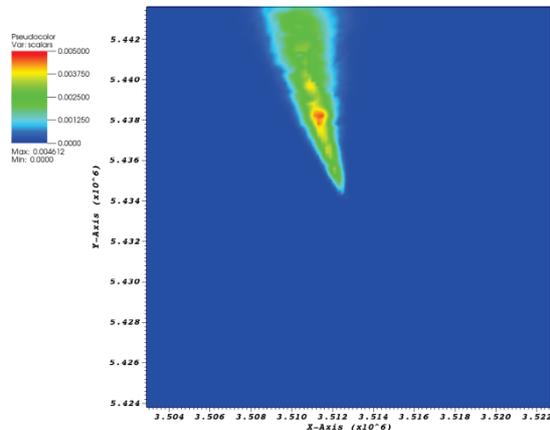


Abbildung 22: GKN: Ortsdosisleistung (MCF, 40 x 40 Maschen)

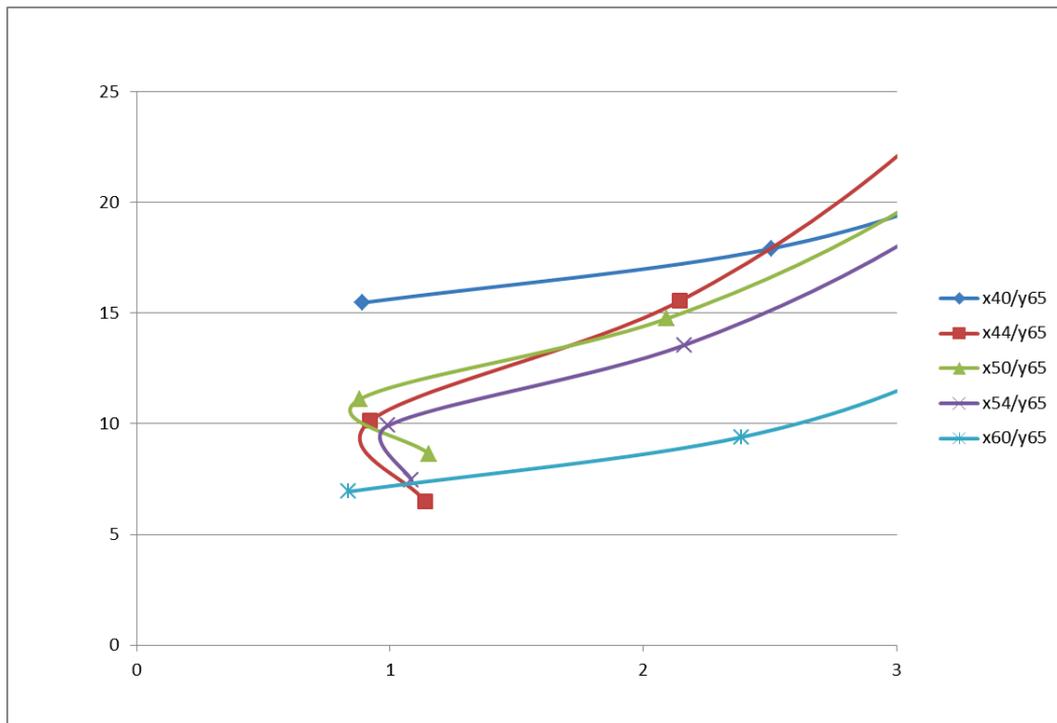


Abbildung 23: KKP: Geschwindigkeitsprofile bei 10 x 10 Maschen, Schnitt in x-Richtung

Dies lässt (mit aller gebotenen Vorsicht) darauf schließen, dass der Effekt durch den Einfluss der Topographie gemindert wird.

5. Zusammenfassung

Im Rahmen der Untersuchung zum Einfluss von Rauigkeitsfaktoren wurde eine Vielzahl von Rechnungen durchgeführt. Dabei wurden die Rauigkeitsfaktoren einheitlich im gesamten Modell und anschließend bei konstantem Rauigkeitsfaktor die Gebietsgröße mit erhöhter Rauigkeit variiert. Einleitend wurde noch mit einem Modellvergleich der beiden in der ABR integrierten Windmodelle begonnen, dieser jedoch nach nur wenigen Rechnungen abgebrochen. Grund hierfür war, dass die in der ABR vorgenommene Parametrierung des Modells MCF überprüft werden muss, da die sich aus der Initialisierung ergebende Windgeschwindigkeit oberhalb der Prandtl-Schicht nahezu konstant bleibt, was den physikalischen Vorgängen in der Ekman-Schicht nicht entspricht. Eine kurze Analyse der Modellbeschreibung ergab, dass für MCF weitere Initialisierungsoptionen bestehen, was insbesondere die Anbindung an den geostrophischen Wind betrifft.

Hier sind weitere Untersuchungen notwendig, nicht nur bzgl. einer geänderten Initialisierungsoption bei MCF, sondern auch im Hinblick darauf, inwieweit ein am Kraftwerksstandort gemessenes vertikales Windprofil für ein weiträumiges Gebiet gültig ist. Dabei ist auch die Frage zu diskutieren, ob es sinnvoller sein könnte, mit Prognosedaten des Deutschen Wetterdienstes anstatt mit Messwerten zu rechnen. Diese Fragestellung wird umso wichtiger, da mit der Umstellung der Prognose auf COSMO-DE die Prognosedaten kurzzeitiger und räumlich höher aufgelöst verfügbar sind und in den meisten Fällen erfahrungsgemäß sehr nahe

an der Realität liegen. Zu beachten ist dabei aber, dass diese Daten wie bisher lediglich als Stundenmittelwerte vorliegen, womit kurzfristige Wetteränderungen nicht erfasst werden.

Eine weitere Frage bleibt aufgrund der unbefriedigenden Initialisierung des Windprofils unbeantwortet, nämlich diejenige, inwieweit sich im Modell unterschiedliche Rauigkeitsfaktoren auf die Diffusionsprozesse bei der Ausbreitung auswirken. Zum einen ist im Rahmen der ABR die Diffusionskategorie bei der Windfeldbestimmung mit MCF fest auf labil bis stabil (Klasse C) eingestellt, zum anderen sind bei den Prognosedaten, wie sie für die Analysen verwendet wurden, die Stabilitätsfaktoren implizit enthalten, wobei zu überlegen ist, ob es zumindest bei Rechnungen mit Prognosedaten nicht zielführender wäre, die Stabilität der Atmosphäre über die Monin-Obukhov-Länge zu beschreiben, die ja bereits im KFÜ aus den Prognosedaten ermittelt wird und als Verteilung zur Verfügung steht. Trotz der verbleibenden offenen Fragen lassen sich aus der Untersuchung doch einige Erkenntnisse ableiten.

Die Modellierung des Geländes, nicht allein mit einer detaillierten Topographie und einem geländefolgenden Windfeld, sondern unter Berücksichtigung von lokalem Bewuchs und lokaler Bebauung, ergeben eine neue Qualität. Die Analysen haben gezeigt, dass in Gebieten mit städtischer Bebauung, einem Gebiet also, in dem viele Menschen leben, sich die Windgeschwindigkeit deutlich verringert und somit die radioaktive Wolke länger im Gebiet verbleibt, was zu einer erhöhten Belastung der Bevölkerung führt. Es ist daher zu empfehlen, die ABR entsprechend anzupassen, d.h. die tatsächliche Bebauung und den Bewuchs auf die Ausbildung der im Überwachungsgebiet der Kraftwerksstandorte herrschenden Windfelder zu integrieren. Im ersten Schritt können hierzu die Rauigkeitsdaten des DWD verwendet werden.

6. Literatur

- /1/ Verbundforschungsvorhaben BodenseeOnline: Ein Informationssystem zur Vorhersage der Hydrodynamik und der Wasserqualität von Seen am Beispiel des Bodensees, Abschlussbericht 2008.
- /2/ Etling, D. (2007): Theoretische Meteorologie – Eine Einführung, Springer, Berlin.
- /3/ Stull, R. B., (1988): An Introduction to Boundary Layer Meteorology, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- /4/ Oke, R. T. (1987): Boundary Layer Climates, Methusen, London.
- /5/ Die Bundesregierung (2002): Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft-TA Luft), Anhang 3, <http://www.verwaltungsvorschriften-im-internet.de/pdf/BMU-IG-20020724-KF-A003.pdf>
- /6/ Steppeler, J. et al. (2002): Das Lokal-Modell LM, promet, Jahrg. 27, Offenbach.
- /7/ Strahlenschutzkommission (2004): Leitfaden für den Fachberater Strahlenschutz der Katastrophenschutzleitung, Elsevier, Bonn.
- /8/ Martens, R. (1997): Description of the Atmospheric Flow Model MCF (Mass Consistent Flow), Gesellschaft für Anlagen und Reaktorsicherheit mbH, Köln.