

## **Immissionsprognosen mit AUSTAL 86 und AUSTAL 2000. Vergleich der Ergebnisse und Sensitivität der Eingangsparameter**

Axel Zenger und Jochen Beerhalter

### **Schlagwörter**

- ?? TA Luft
- ?? Ausbreitungsmodellierung
- ?? Immissionsschutz
- ?? Sensitivitätsanalyse

### **Kurztext**

Aufgrund der geänderten TA-Luft muss im Rahmen von Genehmigungsverfahren das neue Rechenverfahren AUSTAL2000 zur Prognose der bodennahen Immissionskonzentrationen verwendet werden. Beim Übergang zu einem neuen Ausbreitungsmodell ist es von Interesse, unter welchen Bedingungen das neue Programm im Vergleich zu dem bisher vorgeschriebenen Modell zu höheren, niedrigeren oder vergleichbaren Resultaten führt. Weiterhin ist es bedeutsam zu wissen, wie sensitiv AUSTAL 2000 auf eine Variation der Eingangsparameter reagiert. Der Beitrag erläutert die Ergebnisse von Vergleichsrechnungen mit AUSTAL 2000 und AUSTAL 86 für 3 verschiedene Stabilitätsklassen, 2 Windrichtungsintervalle, 2 Rauigkeitslängen und zwei Nullpunktverschiebungen in ebenem Gelände.

### **Zusammenfassung**

Im Rahmen der Novellierung der Technischen Anleitung Luft (TA Luft) am 1. Oktober 2002 erfolgte die Einführung eines neuen Rechenverfahrens zur Prognose der bodennahen Immissionskonzentrationen. Als beispielhafte Umsetzung, an der andere Programme überprüft werden können, wurde im Auftrag des vom Umweltbundesamt das Modell AUSTAL 2000 entwickelt. Beim Übergang zu einem neuen Konzept ist es für Anlagenbetreiber, Gutachter und Genehmigungsbehörden im Hinblick auf die bisher gewonnene Erfahrung von Interesse, unter welchen Bedingungen das neue Ausbreitungsprogramm im Vergleich zu dem bisher vorgeschriebenen Programm AUSTAL 86 zu höheren, niedrigeren oder vergleichbaren Resultaten führt und wie sensitiv AUSTAL 2000 auf eine Variation der Eingangsparameter reagiert. Vergleichsrechnung für eine Freisetzung in 70 m und 10 m Höhe für 3 verschiedene Stabilitätsklassen, 2 Windrichtungsintervalle, 2 Rauigkeitslängen und zwei Nullpunktverschiebungen zeigen, dass AUSTAL 2000 bei einer bodennahen Freisetzung (10 m Höhe) in den vorliegenden Fällen höhere maximale Immissionskonzentrationen, d.h. konservativer Ergebnisse prognostiziert als AUSTAL 86. Bei einer Freisetzungshöhe von 70 m berechnet AUSTAL 2000 in ebenem Gelände im Vergleich zu AUSTAL 86 hingegen meist niedrigere bis vergleichbare maximale Immissionskonzentrationen. Das Ergebnis hängt jedoch stark davon ab, welche Rauigkeitslänge und welche Verdrängungshöhe verwendet wird und ob die maximalen Immissionskonzentrationen durch eine Anströmung aus einem schmalen oder breiten Windsektor dominiert wird. Sehr erstaunlich ist, dass der Abstand des maximalen Aufpunktes zur Quelle bei AUSTAL 2000 wesentlich größer ist als bei AUSTAL 86.

### **Einleitung**

Am 1. Oktober 2002 erfolgte eine Anpassung der technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft an den derzeitigen Stand der Technik und an in Europa rechtliche Vorgaben. Die TA

Luft aus dem Jahr 1986 (TA-Luft, 1986) wurde in diesem Zusammenhang vollständig überarbeitet. Neben zahlreichen Änderungen bzgl. der emissionsbegrenzenden Anforderungen und der maximal zulässigen Immissionskonzentrationen änderte sich auch die Methode, mit der die zu erwartenden Immissionskenngrößen prognostiziert werden müssen. Während in der TA-Luft 86 ein Gauß-Fahnenmodell (beispielhafte Umsetzung AUSTAL 86) vorgeschrieben war, ist nun im Anhang 3 der TA Luft 2002 der Einsatz eines der VDI-Richtlinie 3945, Blatt 3 entsprechenden Partikelmodells festgelegt. Als beispielhafte Umsetzung, an der andere Programme überprüft werden können, wurde im Auftrag des Umweltbundesamtes das Modell AUSTAL 2000 entwickelt. Eine Anpassung des Rechenverfahrens an den neusten Stand der Technik war dringend geboten, da mit dem Ausbreitungsmodell AUSTAL 86 qualifizierte Immissionsprognosen i.W. nur unter den folgenden Voraussetzungen durchgeführt werden konnten:

- ?? flaches Gelände
- ?? ungestörtes, horizontal homogenes und stationäres Windfeld
- ?? mittlere bis hohe aerodynamische Rauigkeit
- ?? Windgeschwindigkeiten von mehr als 1 m/s
- ?? Freisetzungshöhen größer 10 m
- ?? Entfernungen von der Quelle von mehr als 100 m

Im Hinblick auf die genannten Voraussetzungen muss man feststellen, dass das Modell in der Vergangenheit sicher häufig auch bei Situationen eingesetzt wurde, in denen eine Anwendung aus modellphysikalischen Gründen nicht mehr zulässig war. Die oben genannten Einschränkungen bestehen bei dem neuen Lagrange- Modell nicht mehr.

Beim Übergang zu einem neuen Konzept ist es für Anwender des Prognosemodells, d.h. für Anlagenbetreiber, Gutachter und Genehmigungsbehörden im Hinblick auf die bisher gewonnene Erfahrung von Interesse,

- ?? unter welchen Bedingungen das neue Ausbreitungsprogramm im Vergleich zu AUSTAL 86 zu höheren, niedrigeren oder vergleichbaren Resultaten führt
- ?? wie sensitiv AUSTAL 2000 auf eine Variation modifizierbarer Eingangsparameter reagiert
- ?? ob z.B. durch Verwendung unterschiedlicher, derzeit auf dem Markt befindlicher Benutzeroberflächen bei gleichen Eingabegrößen einheitliche Ergebnisse erzielt werden.

Es überrascht, dass keine detaillierten Informationen über eine Verifikation von AUSTAL 2000 mit Naturmessungen vorliegen und dass nicht dokumentiert ist, unter welchen Bedingungen AUSTAL 2000 im Vergleich zu AUSTAL 86 höhere, niedrigere bzw. vergleichbare Immissionskonzentrationen prognostiziert. In der Literatur finden sich diesbezüglich nur zwei Vergleiche die im UFOPLAN 02/203 veröffentlicht sind (Janicke, 2003). Die erste Verifizierung bezieht sich auf eine Freisetzung in 0,5 m Höhe über sehr glattem Gelände mit einem  $z_0$  von 0,005 m (Prärie- Grass- Experiment). Da die TA-Luft nur für Freisetzungshöhen von mehr als 10 m konzipiert ist und in der BRD nur selten so geringe Rauigkeiten von 0,005 m auftreten ist die Verifikation mit diesem Datensatz nur eingeschränkt aussagekräftig. Der zweite Vergleich stellt die mit AUSTAL 2000 und AUSTAL 86 ermittelten Ergebnisse für eine beispielhafte Ausbreitungsklassenstatistik, unterschiedliche Rauigkeitslängen und Quelhöhen gegenüber. Die Idee ist, dass AUSTAL 86 an Messdaten angepasst ist, die in Ausbreitungsexperimenten in Jülich und Karlsruhe erhoben wurden. Als Resultat wird in dem UFOPLAN (Janicke, 2003) angegeben, dass AUSTAL 2000 für Quelhöhen von 50 und 100 m um bis zu 40% niedrigere maximale

Immissionskonzentrationen ermittelt als AUSTAL 86. Der Grund für die Unterschätzung der maximalen Immissionen liegt jedoch wahrscheinlich im Wesentlichen daran, dass für den Vergleich in AUSTAL 86 und 2000 unterschiedliche Anemometerhöhen angesetzt wurden. Es stellt sich die Frage, ob die Aussage des beschriebenen Vergleiches verallgemeinert werden kann oder ob das Resultat z.B. durch die verwendete Ausbreitungsklassenstatistik bzw. andere Kenngrößen bestimmt wird.

Um einen Überblick darüber zu bekommen, unter welchen Bedingungen AUSTAL 2000 im Vergleich zu AUSTAL 86 konservativere Ergebnisse ermittelt und welche Parameter ergebnisrelevant sind, wurden im Rahmen einer Examensarbeit im Weiterbildungsstudiengang Umweltschutz im Bauwesen an der FH Mainz Vergleichsrechnungen zwischen AUSTAL 86 und AUSTAL 2000 für unterschiedliche Eingangsparameter und verschiedene ausgewählte meteorologische Einzelsituationen durchgeführt.

### Vorgehensweise

Ziel dieser Untersuchung war es zu ermitteln, wie sensitiv AUSTAL 2000 in einem ebenem, homogenen Gelände auf eine Variation der Rauigkeitslänge  $z_0$  und der Nullpunktverschiebung  $d_0$  reagiert und welche Unterschiede zwischen AUSTAL 2000 und AUSTAL 86 in Abhängigkeit dieser Parameter für eine ausgewählte Windrichtung auftreten können. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass der Vergleich der Ergebnisse einer Ausbreitungsmodellierung mit AUSTAL 2000 und AUSTAL 86 noch von der Quellhöhe, dem Windrichtungsintervall, der Stabilität (bzw. der Ausbreitungsklasse) und der Rauigkeit abhängt. Um dies zu berücksichtigen wurden die Vergleichsrechnungen sowohl für

- ?? eine 10 und 70 m hohe impulsfreie Emissionsquelle ohne thermischen Auftrieb,
- ?? die Stabilitätsklassen II, III/1, und IV,
- ?? eine aerodynamische Rauigkeit  $z_0$  von 0,2 und 1 m
- ?? ein 10 bzw. 50 Grad breites Windrichtungsintervall (siehe Abb. 1)
- ?? eine Nullpunktverschiebung von  $d_0 = 0\text{m}^1$  und  $d_0 = 6 z_0$ .

durchgeführt. Da AUSTAL 2000 im Gegensatz zu AUSTAL 86 auch in der Prandtl-Schicht eine Winddrehung ansetzt und diese Drehung den hier beschriebenen Vergleich bei einer Anströmung aus einem schmalen Windrichtungsintervall beeinflusst, wurde diese Winddrehung für die beschriebene Untersuchung ausgeschaltet (OS „+NOSTANDARD +TAS(-V2.8)“). Die Anemometerhöhe  $H_a$  ist in der aktuellen Version von AUSTAL 2000 als reale Höhe des Windgebers über Grund definiert. Sie wurde bei den nachfolgend beschriebenen Rechnungen (sowohl bei AUSTAL 2000 als auch bei AUSTAL 86) mit 10 m angesetzt.

---

<sup>1</sup> entsprechend der Annehmensweise von AUSTAL 86

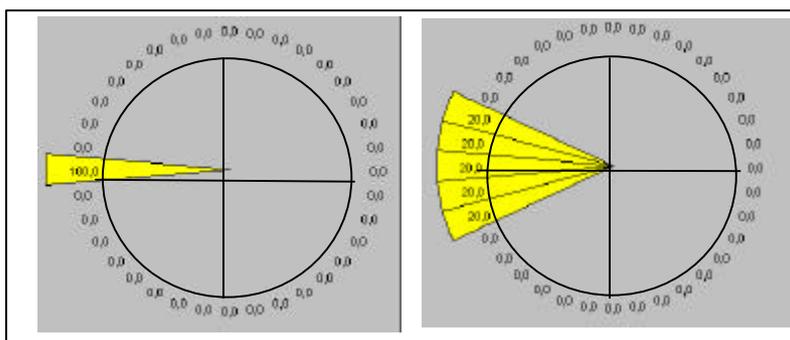


Abb.1: Um den Einfluss der Windrichtungsverteilung auf das Ergebnis zu ermitteln wurden die Vergleichsrechnungen für 2 unterschiedliche Windrichtungsintervalle von 10 bzw. 50 Grad durchgeführt. Die Zahlen geben die relativen Häufigkeiten an, mit der der Wind aus der jeweiligen Richtung weht.

Die horizontale Auflösung betrug bei den Rechnungen mit AUSTAL 2000 50 m. D.h. die mit AUSTAL 2000 bestimmten Konzentrationen stellen Mittelwerte über eine 50m x 50m großes Flächenelement dar. Die vertikale Auflösung beträgt 3 m. Um die Vergleichbarkeit mit den AUSTAL 86 - Ergebnissen zu gewährleisten wurde für die Rechnung mit AUSTAL 86 eine horizontale Auflösung von 25 m gewählt. Aus jeweils neun Einzelergebnissen wurde ein Flächenmittelwert gebildet, wobei in die Mittelung der Punkt, der deckungsgleich mit dem Volumenmittel nach AUSTAL 2000 liegt, und die acht angrenzenden Aufpunkte einbezogen wurden. In beiden Fällen beträgt die Rezeptorhöhe 1,5 m.

### Sensitiver Parameter von AUSTAL 2000

Das Ausbreitungsprogramm der neuen TA-Luft ist so aufgebaut, dass alle wesentlichen Parameter eindeutig festgelegt sind. Das heißt, der Nutzer hat nur sehr eingeschränkt die Möglichkeit, Eingangsparameter nach seiner Einschätzung zu modifizieren. Im Allgemeinen kann man davon ausgehen, dass bzgl. der Freisetzungshöhe, des Emissionsmassenstroms und der Freisetzungsbedingungen klare Vorgaben bestehen. Bzgl. der meteorologischen Eingangsgrößen ist zu prüfen, ob die verwendeten Daten für den Standort repräsentativ sind. Drei Parameter können vom Benutzer jedoch gegebenenfalls variiert werden. Dies ist

- ?? die aerodynamische Rauigkeitslänge  $z_0$
- ?? die Nullpunktverschiebung  $d_0$
- ?? die Anemometerhöhe  $H_a$

Die Rauigkeitslänge  $z_0$  ist ein Maß dafür, wie stark eine Luftströmung durch die bodennahe aerodynamische Rauigkeit geprägt wird. Sie beeinflusst die turbulente Diffusion und dadurch das logarithmische Windfeld und die Ausbreitungsbedingungen.

Die Nullpunktverschiebung  $d_0$  gibt den Bereich an, in dem der Wind vornehmlich durch die Hindernisumströmung und nicht durch das logarithmische Windprofil geprägt wird. Aufgrund des gewählten Ansatzes wird im Programm AUSTAL 2000 davon ausgegangen, dass die Windgeschwindigkeit bis zu einer Höhe von  $d_0 + 6 z_0$  linear, darüber logarithmisch zunimmt. Die Nullpunktverschiebung  $d_0$  ist in der neuen TA-Luft durch eine eindeutige Verknüpfung mit der Rauigkeitslänge  $z_0$  verbunden. Formal ist die Rauigkeitslänge  $z_0$  in der neuen TA-Luft mit Hilfe des Corine – Katasters<sup>2</sup> fest an die zugehörige Landnutzung gekoppelt. Jedoch ist es möglich - und nach den Vorgaben der TA-Luft gegebenenfalls sogar erforderlich -, dass bei einer Umnutzung des Geländes, bei augenscheinlichen Abweichungen der herrschenden

<sup>2</sup> Daten zur Bodenbedeckung der Bundesrepublik Deutschland. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden.

Bebauung bzw. des Bewuchses von den früheren Gegebenheiten und im Fall eines sehr inhomogenen Geländes von den Vorgaben des Katasters abgewichen werden muss. In dem Programm AUSTAL 86 war keine Variation von  $z_0$  möglich und auch der Einfluss von  $d_0$  auf das Windprofil wurde nicht berücksichtigt.

### **Einfluss der Anemometerhöhe auf das Ergebnis**

Es mag überraschen, dass die Anemometerhöhe im Rahmen dieser Untersuchung als sensitiver Parameter berücksichtigt wurde, denn diese Höhe sollte für jede Messstation eindeutig definiert, bekannt und vorgegeben sein. Die Anemometerhöhe  $H_a$  ist in der aktuellen Version von AUSTAL 2000 als reale Höhe des Windgebers über Grund definiert<sup>3</sup>, der Standardwert  $H_{a(\text{Standard})}$  ist jedoch abhängig von  $z_0$  und beträgt  $10\text{m} + d_0$ . In einer früheren Version von AUSTAL 2000 wurde unter der Anemometerhöhe  $H_a$  noch die Höhe des Windgebers über dem Störniveau verstanden. In mindestens einer derzeit erhältlichen Benutzeroberfläche von AUSTAL 2000 ist diese Änderung der Konvention von  $H_a$  nur unvollständig umgesetzt (Stand 1.9.2003). So unterscheiden sich die maximalen Immissionskonzentrationen bei einer Prognose mit AUSTAL 2000 unter Verwendung dieser Benutzeroberfläche in einem ausgewählten Beispiel um einen Faktor 2, je nachdem ob man, bei sonst gleichen Parametern<sup>4</sup>, als Anemometerhöhe 10 m oder 10,1 m eingibt. Der Grund für diese Diskrepanz liegt darin, dass einmal mit der Höhe des Windgebers von 10,1 m, das andere Mal jedoch mit der Standardhöhe  $10\text{m} + 6z_0$  (das entspricht bei einem  $z_0$  von 1 m einer Anemometerhöhe von 16 m) gerechnet wurde. Es muss dem Nutzer von AUSTAL 2000 daher dringend empfohlen werden, sich bei der Verwendung einer benutzerfreundlichen Oberfläche (und auch beim Ausfüllen der Steuerdatei AUSTAL2000.txt) stets zu vergewissern, dass tatsächlich die gewünschte Anemometerhöhe in der Eingabedatei von AUSTAL 2000 eingetragen ist.

### **Einfluss von $z_0$ , $d_0$ und des Windrichtungsintervalls auf das Ergebnis einer Immissionsprognose**

Ein wesentlicher Schwachpunkt der TA-Luft 86 war, dass die aerodynamische Rauigkeit in AUSTAL 86 nicht an die vorherrschenden Bedingungen angepasst werden konnte. Dem Modell lagen nur Freilanduntersuchungen bei einer mittleren bis hohen aerodynamischen Rauigkeit zugrunde. In dem Programm AUSTAL 2000 ist hingegen eine genauere Spezifizierung der Rauigkeitslänge  $z_0$  möglich. Um ein dem jeweiligen Gelände entsprechendes  $z_0$  zu berücksichtigen muss der Anwender der neuen TA-Luft auf das Corine-Kataster zurückgreifen. Dort wird, abhängig von der Position des Standortes, anhand einer zugehörigen Landnutzung eine Rauigkeitslänge spezifiziert. Es stellt sich jedoch die Frage, welche Auswirkungen eine durch eine Umnutzung des Geländes bedingte Änderung von  $z_0$  möglicherweise hat und ob eine in dem groben Corine Kataster nur unzureichend berücksichtigte Untergliederung des Geländes relevant sein kann. Weiterhin wirkt sich eine Variation von  $z_0$  auch direkt auf die Nullpunktverschiebung ( $d_0=6 z_0$ ) aus.

Um den Effekt einer variierten aerodynamischen Rauigkeit auf die Turbulenz und damit auf die Immissionskonzentrationen von dem Einfluss der damit gleichzeitig veränderten Verdrängungshöhe trennen zu können wurden in einem ersten Schritt die Ergebnisse von AUSTAL 2000 und AUSTAL 86 bei sonst gleichen Eingangsgrößen (mit einer Verdrängungshöhe  $d_0=0\text{ m}$ ) verglichen. Die Abb. 2 zeigt exemplarisch den für einen 70 m hohen Kamin, eine Stabilitätsklasse III/1 und eine Emission von 1 g/s berechneten Immissionsverlauf längs der Windrichtung. Die Richtung parallel zum Wind wird im Folgenden mit x, die bodenparallel senkrecht dazu mit y bezeichnet. Dargestellt sind die

<sup>3</sup> das ist die Höhe, in der die Windgeschwindigkeit  $u_a$  gemessen wurde

<sup>4</sup> Im betrachteten Fall  $z_0=1,0\text{ m}$  Quellhöhe 70 m; Rezeptorhöhe 1,5 m

Immissionskonzentrationen im Mittelpunkt der Abluftfahne ( $y = 0$ ) in einer Höhe  $z$  von 1,5 m. Die Anströmung erfolgte aus einem  $10^\circ$  breiten Windrichtungsintervall.

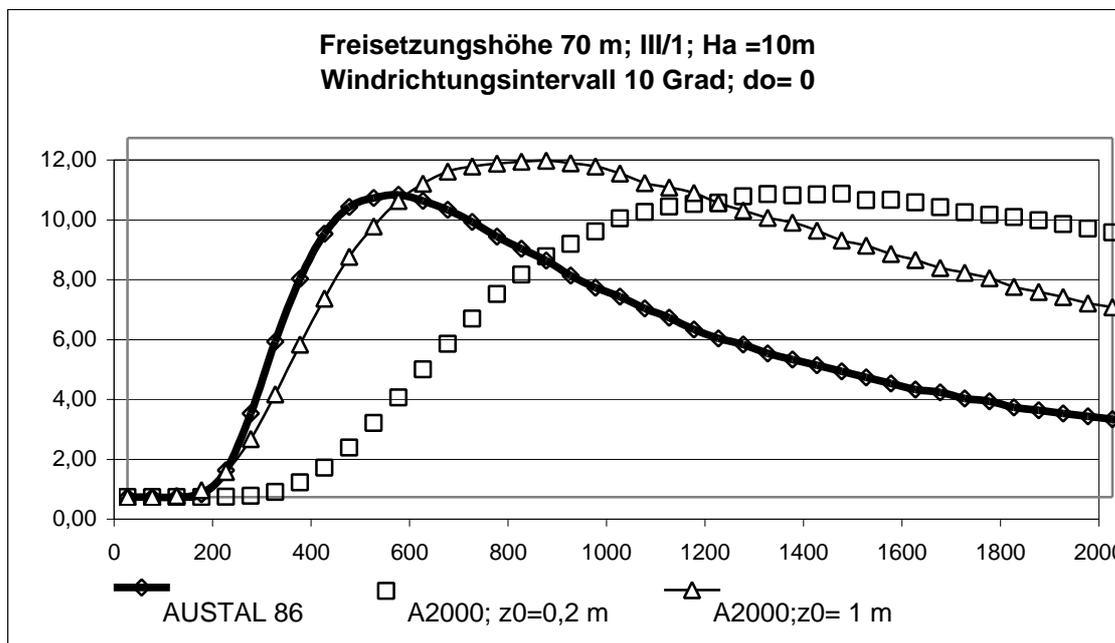


Abb. 2: Vergleich der mit AUSTAL 2000 und AUSTAL 86 bei neutraler Schichtung für einen 70 m hohen Kamin in 1,5 m Höhe berechneten Immissionskonzentrationen längs der Fahnenachse für unterschiedliche Rauigkeitslängen  $z_0$  bei konstantem  $d_0=0\text{m}$  und einem Windrichtungsintervall von 10 Grad. Die Anemometerhöhe  $H_a$  beträgt 10 m.

Wie man anhand der Abb.1 erkennt, ergeben sich bei der Anwendung von AUSTAL 86 und 2000 bei dieser Situation vergleichbare maximale Immissionskonzentrationen. Das bedeutet, dass AUSTAL 2000 für ein  $d_0 = 0$  die Ergebnisse betragsmäßig reproduziert, die in Freilandexperimenten zur Kalibrierung von AUSTAL 86 herangezogen wurden. Der Vergleich in der Abb.1 veranschaulicht weiterhin, dass die mit AUSTAL 2000 prognostizierten maximalen Immissionskonzentrationen mit  $d_0=0$  nur gering von der aerodynamischen Rauigkeitslänge  $z_0$  abhängen. Die Lage des Konzentrationsmaximums verschiebt sich bei kleinerem  $z_0$ , wie zu erwarten, zu größeren Quellabständen, liegt jedoch bei AUSTAL 2000 stets deutlich weiter von der Quelle entfernt als bei AUSTAL 86.

Untersucht man die mit AUSTAL 2000 und 86 berechnete Immissionsverteilung senkrecht zur Ausbreitungsrichtung, so fällt auf, dass AUSTAL 2000 in Quer-, d.h. in  $y$ - Richtung wesentlich schmalere Fahnen prognostiziert als AUSTAL 86. Anders ausgedrückt, AUSTAL 2000 geht von einer deutlich geringeren Diffusion quer zur Windrichtung aus als AUSTAL 86. Inwieweit dies im Widerspruch zu den Untersuchungen steht, die zur Kalibrierung von AUSTAL 86 herangezogen wurden, wäre zu überprüfen. Das bedeutet jedoch auch weiterhin, dass der Vergleich zwischen AUSTAL 2000 und 86 unterschiedlich ausfällt, je nachdem ob man ein  $10^\circ$  oder ein z.B.  $50^\circ$  breites Anström- Windrichtungsintervall zugrunde legt. Die Abb. 3 veranschaulicht dies anhand einer Vergleichsrechnung, die die gleichen Eingangsparameter zugrunde liegen, die auch bei der Ermittlung des Ergebnisses in der Abb. 2 verwendet wurden.

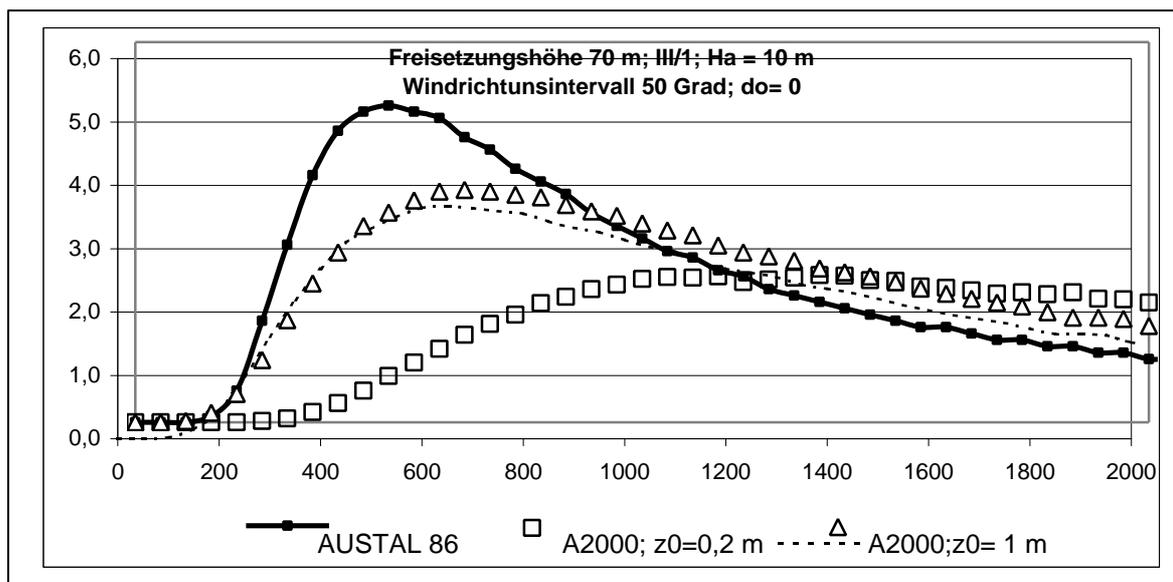


Abb. 3: Vergleich der mit AUSTAL 2000 und AUSTAL 86 bei neutraler Schichtung für einen 70 m hohen Kamin in 1,5 m Höhe berechneten Immissionskonzentrationen längs der Fahnenachse für unterschiedliche Rauigkeitslängen  $z_0$  bei konstantem  $d_0=0$  m und einem Windrichtungsintervall von 50 Grad. Die Anemometerhöhe  $H_a$  beträgt 10 m

Man erkennt im Vergleich zu Abb.2, dass die mit AUSTAL 2000 berechneten maximalen Immissionskonzentrationen  $C_{\max}$  nun deutlich niedriger ausfallen, als die Ergebnisse, welche für die gleichen Bedingungen mit AUSTAL 86 prognostiziert wurden. Dies ist leicht verständlich, überlagert man nämlich die quer zur Ausbreitungsrichtung „schmalere“ Konzentrationsverteilungen von AUSTAL 2000 für mehrere Windrichtungsintervalle, so ergibt sich eine kleinere mittlere Immission als bei der Überlagerung der „breitere“ Immissionsverteilung (größeres  $\sigma_y$ ) die AUSTAL 86 prognostiziert. Das bedeutet jedoch, dass ein Vergleich der mit AUSTAL 86 und 2000 prognostizierten maximalen Immissionen auch davon abhängt, ob schmale Windsektoren die maximalen Konzentrationen dominieren oder nicht.

Ziel dieser Untersuchung war es, die Unterschiede zwischen AUSTAL 86 und 2000 für unterschiedliche Kombinationen der Eingangsparameter zu bestimmen. Dazu wird nachfolgend das Verhältnisses der mit beiden Programmen bestimmten maximalen Immissionskonzentrationen  $c_{\text{Austal2000}} / c_{\text{Austal86}}$  diskutiert. Dies soll in einem ersten Schritt für AUSTAL 2000 - Rechnungen mit einer Nullpunktverschiebung  $d_0=0$  durchgeführt werden.

Tabelle 1: Quotient der Ergebnisse der mit den Programmen AUSTAL 2000 und AUSTAL 86 bestimmten maximalen Immissionskonzentrationen (AUSTAL 2000/ AUSTAL 86) für ein Windrichtungsintervall von 10° und 50° und eine Nullpunktverschiebung  $d_0=0\text{m}$ .

Stabilitäts- klasse	Freisetzungshöhe	$d_0$	Windrichtungsintervall	AUSTAL2000/AUSTAL86	
				$z_0=0,2\text{ m}$	$z_0=1,0\text{ m}$
II	70	0	10	- <sup>5</sup>	1,2
III/1	70	0	10	1,0	1,1
IV	70	0	10	1,1	1,0
II	70	0	50	- <sup>6</sup>	0,6
III/1	70	0	50	0,5	0,7
IV	70	0	50	0,75	0,8

Da die Ergebnisse von AUSTAL 86 unabhängig von der Rauigkeitslänge  $z_0$  sind, veranschaulicht der oben aufgeführte Vergleich auch, ob AUSTAL 2000 sensitiv auf eine Variation der Rauigkeitslänge reagiert. Man erkennt aus der Tabelle 1, dass die mit AUSTAL 2000 für eine Rauigkeitslänge  $z_0=0,2\text{ m}$  und  $1\text{ m}$  und für eine Emissionshöhe von  $70\text{ m}$  ermittelten Ergebnisse bei Verwendung von  $d_0=0$  nur geringfügig voneinander abweichen. Für eine Anströmung aus einem 10° breiten Windrichtungsintervall stimmen die von AUSTAL 86 und 2000 prognostizierten maximalen Immissionskonzentrationen gut überein, das Verhältnis  $c_{\text{AUSTAL2000}}/c_{\text{AUSTAL86}}$  ist etwa 1. Das bedeutet, dass AUSTAL 2000 die zur Kalibrierung von AUSTAL 86 herangezogenen Messungen für diese Parameterkombination reproduziert. Betrachtet man die entsprechenden Verhältnisse, die sich bei einer Anströmung aus einem 50° breiten Windrichtungsintervall ergeben, so zeigt sich, dass die mit AUSTAL 2000 ermittelten Resultate um bis zu einem Faktor 2 unter den Ergebnissen liegen, die mit AUSTAL 86 für die gleiche Ausbreitungssituation bestimmt wurden. Der Grund liegt, wie schon im Vorfeld erläutert, in der in y-Richtung vergleichsweise geringen Ausdehnung der Abgasfahne bei AUSTAL2000.

Wird die Immissionsprognose für eine Emissionsquelle mit einer Freisetzungshöhe von  $10\text{ m}$  durchgeführt, so liefert AUSTAL2000 im Vergleich zu AUSTAL 86 konservativere Ergebnisse. Dies war zu erwarten, da für AUSTAL 86 für derart niedrigere Freisetzungshöhen keine Messungen zur Kalibrierung vorlagen. Im Anbetracht eines Unterschiedes von einem Faktor 2 und mehr muss sich jedoch die Frage stellen, ob der Gauß- Ansatz zur Prognose bodennah freigesetzter Schadstoffe (wie er z.B. in der VDI 3782 Blatt 8 für die Prognose verkehrsbedingte Luftbelastungen immer noch empfohlen wird) noch aufrecht zu halten ist.

Bei den in der Tabelle 1 vorgestellten Vergleichen wurde die Nullpunktverschiebung von AUSTAL 2000 zu  $0\text{ m}$  gesetzt. Setzt man die Verdrängungshöhe entsprechend den Angaben der neuen TA-Luft zu  $6 z_0$  an, so ergeben sich die in Tab. 2 aufgeführten Ergebnisse.

<sup>5</sup> Maximum bei AUSTAL2000 nicht innerhalb eines Bereiches des 50-fachen der Kaminhöhe

Tabelle 2: Quotient der Ergebnisse der mit den Programmen AUSTAL 2000 und AUSTAL 86 bestimmten maximalen Immissionskonzentrationen (AUSTAL 2000/ AUSTAL 86) für ein Windrichtungsintervall von 10° und 50° und eine Nullpunktsverschiebung  $d_0 = 6 z_0$ .

Stabilitäts- klasse	Freisetzungshöhe	$d_0$	Windrichtungs- intervall	AUSTAL2000/AUSTAL86	
				$z_0 = 0,2 \text{ m}$	$z_0 = 1,0 \text{ m}$
II	70	$6 z_0$	10	- <sup>6</sup>	1,1
III/1	70	$6 z_0$	10	1,0	0,8
IV	70	$6 z_0$	10	1,0	0,7
II	70	$6 z_0$	50	- <sup>7</sup>	0,5
III/1	70	$6 z_0$	50	0,5	0,5
IV	70	$6 z_0$	50	0,7	0,5

Vergleicht man das Ergebnis in Tabelle 2 mit dem Resultaten in Tab.1 so fällt auf, dass AUSTAL 2000 bei der Berücksichtigung der Verdrängungshöhe  $6 z_0$ , einer Freisetzungshöhe von 70 m und einer Anströmung aus einem 10 Grad schmalen Windrichtungsintervall nun deutlich empfindlich auf Änderungen von  $z_0$  reagiert als wenn  $d_0$  zu 0m gesetzt wird. Dies wird verständlich, wenn man die Höhenabhängigkeit der Windgeschwindigkeit bei den beiden Programmen vergleicht. Während bei AUSTAL 86 ein Potenz- Profil zugrunde liegt, nimmt bei AUSTAL 2000 die Windgeschwindigkeit bis zu der Höhe  $d_0 + 6 z_0$  linear, darüber logarithmisches mit der Höhe zu. Das bedeutet, dass die Ergebnisse von AUSTAL 2000 aufgrund des im Bodenbereich angesetzten linearen Windprofils stark von dem Eingabeparameter  $d_0$  abhängen. Da  $d_0$  standardmäßig zu  $6 * z_0$  angesetzt wird ergibt sich dadurch auch eine strenge Abhängigkeit von  $z_0$ , die jedoch nur indirekt auf eine Änderung der aerodynamischen Rauigkeit zurückzuführen ist. Dieses Ergebnis ist erstaunlich. In der neuen TA-Luft wurde sehr viel Wert auf die Spezifikation von  $z_0$  anhand des Corine Katasters gelegt obwohl dieser Parameter jedoch wohl nur indirekt ergebnisrelevant ist. Für den sehr sensitiven Parameter  $d_0$  liegt hingegen ein sehr pauschaler Ansatz zugrunde.

Weiterhin überrascht, dass das Programm AUSTAL 2000 die in Karlsruhe und Jülich in ebenem und aerodynamisch rauhem Gelände gemessenen (und folgerichtig mit AUSTAL 86 prognostizierten) Ergebnisse (für ein 10 Grad Windrichtungsintervall) nur dann in etwa reproduziert, wenn  $d_0$  im Gegensatz zu den Vorgaben der aktualisierten TA-Luft zu 0 m gesetzt wird. Wird entsprechend den Vorgaben der neuen TA-Luft vorgegangen, so unterscheiden sich die mit AUSTAL 86 und AUSTAL 2000 ermittelten maximalen Immissionskonzentrationen je nach Windrichtungsintervall, Rauigkeitslänge und Ausbreitungsklassenstatistik um bis zu einem Faktor 2.

Wird die Immissionsprognose für eine Emissionsquelle mit einer Freisetzungshöhe von 10 m durchgeführt, so liefert AUSTAL2000 im Vergleich zu AUSTAL 86 erneut, wie auch schon für  $d_0=0$ , konservativere Ergebnisse.

<sup>6</sup> Maximum bei AUSTAL2000 nicht innerhalb eines Bereiches des 50-fachen der Kaminhöhe

**Welches Programm liefert konservativer Ergebnisse – AUSTAL 2000 oder AUSTAL 86**

Beim Übergang zu einem neuen Ausbreitungsprogramm ist es für Anlagenbetreiber, Gutachter und Genehmigungsbehörden im Hinblick auf die bisher gewonnene Erfahrung von Interesse, unter welchen Bedingungen das neue Ausbreitungsprogramm im Vergleich zu AUSTAL 86 zu höheren, niedrigeren oder vergleichbaren Resultaten führt. Die bisher gezeigten Ergebnisse verdeutlichen, dass AUSTAL 2000 bei einer bodennaher Freisetzung von 10 m meist konservativer Ergebnisse prognostiziert. Dies war zu erwarten, da AUSTAL 86 für derartig niedrige Freisetzungshöhen aus modellphysikalischen Gründen nicht korrekt anzuwenden ist und auch keine Messungen zur Kalibrierung vorlagen.

Bei einem 70 m hohen Kamin berechnet AUSTAL 2000 im Vergleich zu AUSTAL 86 für die betrachteten Fälle niedrigere oder vergleichbare maximale Immissionskonzentrationen. Das Ergebnis von AUSTAL 2000 hängt stark davon ab, welche Rauigkeitslänge  $z_0$  und Verdrängungshöhe  $d_0$  verwendet wird und ob die maximalen Immissionskonzentrationen durch eine Anströmung aus schmalen Windsektoren dominiert werden. Im Großteil der Fälle werden sich für mittel hohe Kamine (z.B. 70 m) mit AUSTAL2000 deutlich niedrigere maximale Immissionskonzentrationen ergeben als mit AUSTAL 86. Dies trifft im Besonderen zu, wenn die maximalen Immissionskonzentrationen nicht durch einzelne schmale Windrichtungsintervalle dominiert werden und die Nullpunktverschiebung, wie in der TA-Luft gefordert, zu  $6 z_0$  angesetzt wird.

**Literatur:**

TA-Luft (2002): Erste allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz, Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft. Bundesratsbeschluss vom 26.4.2002

TA-Luft (1986): Erste allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz, Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft. 26.2.1986

VDI 3945 Blatt 3: Umweltmeteorologie – Atmosphärische Ausbreitungsmodelle – Partikelmodell.

Janicke (2001): Programmbeschreibung für Austal 2000. In Beschreibung vom 15.8.2001

Janicke (2003): Entwicklung eines modellgestützten Beurteilungssystems für den anlagenbezogenen Immissionsschutz. UFO-Plan 200 43 256. Februar 2003