

Abschätzung diffuser Staubemissionen einer Großbaustelle

Oktober 2009



Abschätzung diffuser Staubemissionen einer Großbaustelle

Amt der Tiroler Landesregierung

Abteilung Emissionen-Sicherheitstechnik-Anlagen

Herrengasse 1-3, 6020 Innsbruck

E Mail: esa@tirol.gv.at

Internet: <http://www.tirol.gv.at/buerger/sicherheit/esa/emissionsbegrenzung/>

Erstellt von

Ing. Markus Kuntner^x

Dr. Dietmar Öttl^{*}

Mag. Andreas Krismer^o

Mag. Anton Strobl^x

^x Amt der Tiroler Landesregierung, Abteilung Emissionen-Sicherheitstechnik-Anlagen

^o Amt der Tiroler Landesregierung, Abteilung Waldschutz

^{*} Land Steiermark, FA 17C Technische Umweltkontrolle, Referat für Luftgüteüberwachung, Landhausgasse 7,
8010 Graz

Dieser Bericht darf nur vollinhaltlich, ohne Weglassen oder Hinzufügen, veröffentlicht werden, ansonsten ist die Zustimmung der Autoren einzuholen.

Titelbild: Blick von Baumkirchen und der nur zeitweise betriebenen Messstelle
Fritzner Bogen in Richtung Osten zur Hauptbaustelle Fritzens samt
asphaltierter Hauptverbindung Fritzens-Baumkirchen (16.12.2008)

Abschätzung diffuser Staubemissionen einer Großbaustelle

1. Einleitung

In Tirol wird derzeit mit der neuen Unterinntalbahnrinne von Kundl bis Baumkirchen von der Brenner-eisenbahn GmbH (BEG) ein Infrastrukturprojekt mit entsprechend umfangreichen Tiefbauarbeiten errichtet. Im Zuge des UVP-Verfahrens wurde eine umfassende Beweissicherung in Form von Immissionsmessstellen festgelegt, sodass in einem nur 16 km langen Abschnitt des Inntals zwischen Hall in Tirol und Vomp neben drei bereits bestehenden Messstellen des Amtes der Tiroler Landesregierung (AdTL) zwei weitere Messstellen durch die BEG in Baustellennähe betrieben werden. Aufgrund der hohen Messstellendichte kann sowohl die Grundbelastung als auch die Zusatzbelastung in Baustellennähe für einzelne Bauabschnitte und Bauzeiträume mit hoher Genauigkeit erhoben werden. Die Positionen der Messstellen und die großräumige Lage des Inntals zwischen Innsbruck im Westen und Schwaz im Osten sind in Bild 1 dargestellt.

Zielsetzung dieses Projekts ist es, aufbauend auf die ermittelten Zusatzbelastungen Parameter für die Emissionsprognose zu bestimmen, spezifische Emissionsfaktoren bezogen auf die Masse des manipulierten Bodenaushubs zu ermitteln und die verwendeten Ausbreitungsmodelle AUSTAL2000 und GRAL zu vergleichen.

Besonderer Dank gebührt der Brenner-eisenbahngesellschaft, namentlich Herrn DI Schrötter und Frau Mag.^a Wolkenstein für die zur Verfügung gestellten Unterlagen und die Mitarbeit bei der nachträglichen Erhebung der Arbeitsvorgänge und manipulierten Massen an Bodenaushub.

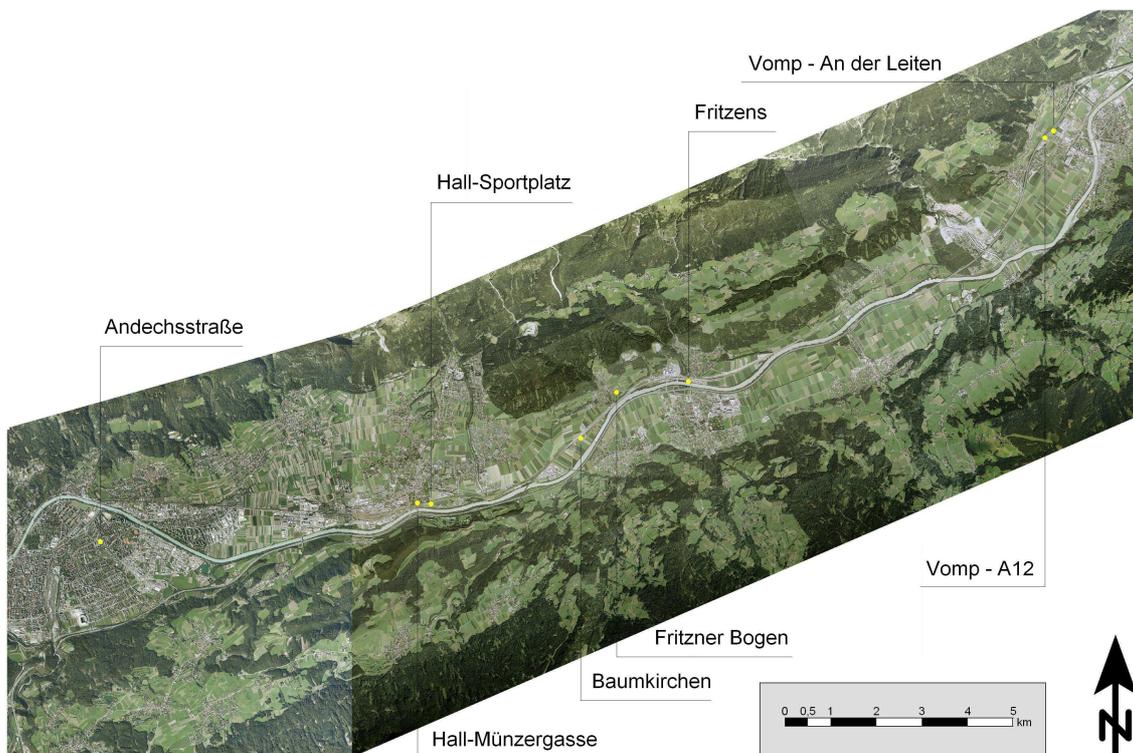


Bild 1: Orthofoto des Untersuchungsgebiets mit eingetragenen Immissionsmessstellen

2. Beschreibung des Hauptbauloses und der Bauaktivitäten

Die untersuchten Baustellenbereiche befinden sich im Talboden des Inntals, wobei der Baustellenbereich Baumkirchen in Talmitte, der Baustellenbereich Fritzens am nördlichen Talrand gelegen ist. Das Untersuchungsgebiet der beiden betrachteten Baustellenbereiche umfasste jeweils den Bereich der wesentlichen Bautätigkeiten in einem Umkreis von bis zu 500 m zur Immissionsmessstelle.

2a) Baustellenbereich Fritzens:

Am Hauptbaulos Fritzens wird seit 2005 gearbeitet. Die Tunnel wurden in offener Bauweise, in Deckelbauweise mit Bohrpfählen unter Druckluft und in bergmännischer Sonderbauweise hergestellt. Das Baulos weist eine Länge von 5.285 m auf, der Materialumsatz betrug ca. 1,1 Millionen m³, für Verfüllungen und Dämme werden 550.000 m³ Material benötigt. Weiters wurden 340.000 m³ Beton und 29.000 t Betonstahl verbaut. Die Arbeiten sollen im Dezember 2009 abgeschlossen sein. Im Bereich der Messstelle Fritzens wurde in Deckelbauweise gearbeitet, wobei die Bohrpfahlarbeiten und die Deckelherstellung in offener Baugrube erfolgten. Die Messstelle Fritzens befindet sich südlich der Baustelle, quer zur Hauptwindrichtung, in einem Abstand von rund 15 m zum Baustellenrand, wobei der Schwerpunkt der Bauarbeiten in westlicher Richtung in einem Abstand von 300 bis 400 m zur Messstelle lag. Gegenüber der Messstelle befand sich die Spritzbetonsiloanlage für die untertägigen Bauabschnitte. Das bergfeuchte Tunnelausbruchmaterial wurde aus den östlich und westlich gelegenen Tunnelstrecken mittels Förderband antransportiert, zwischengelagert, auf LKW verladen und ins Tonwerkgelände nordwestlich der Messstelle (ca. 200-300 m Entfernung) transportiert. Das Material aus den weiter östlich gelegenen Abschnitten wurde per LKW ebenfalls ins Tonwerkareal transportiert. Am Baufeld waren die Fahrwege weitgehend unbefestigt, bis auf die Hauptverbindung zwischen Baumkirchen und Fritzens, welche Mitte 2007 asphaltiert wurde. Die von Baufahrzeugen frequentierten öffentlichen Straßen sind asphaltiert und wurden während der Bauarbeiten gekehrt und befeuchtet.

Der Großteil der Aushubarbeiten erfolgte in den Jahren 2005 bis 2007, in denen pro Jahr rund 180.000 m³ bzw. 360.000 t Material anfiel und 70.000 m³ bzw. 140.000 t verfüllt wurden. Diese Menge wurde im Nahbereich der Messstelle umgeschlagen, das entspricht in Summe rund 250.000 m³ bzw. 500.000 t pro Jahr.

Im Osten wurden ca. 200.000 m³ ausgehoben, davon 1/3 ins Tonwerk transportiert und ca. 60.000 m³ hinterfüllt, wobei diese Menge vor Ort im Abschnitt Ost zwischengelagert wurde.

Die Arbeiten unter Tags fanden rund um die Uhr statt, über Tag wurde von 6:00 Uhr bis 22:00 Uhr gearbeitet.

In Bild 2 ist die Lage der Immissionsmessstelle und der Baustellenbereiche (hellblau markierte Flächen) dargestellt. Gut erkennbar ist die unmittelbar neben der Messstelle vorbeiführende Gemeindestraße, die sowohl als Transportweg für die Aushubmaterialien des Baustellenabschnittes Fritzens als auch für Zu- und Abfahrten zum nördlich der Bahnstrecke gelegenen Industriegebiet (Tonwerkareal - Mineralrohstoffwirtschaft) dient.



Bild 2: Baustellenbereich Fritzens

2b) Baustellenbereich Baumkirchen:

Die Arbeiten in Baumkirchen begannen im Jahr 2005 mit Errichtung einer neuen, provisorischen Bahnunterführung westlich des Baustellenbereiches, sodass im Juni 2005 mit dem Ausbau der bestehenden Bahnunterführung der Landesstraße L224, die sich bei den Zwischenlagern ZW 1 und ZW2 befindet, südlich der Bahnstrecke begonnen werden konnte.

In dieser ersten Bauphase wurden im Zeitraum von Juni bis September 2005 rund 10.000 m³ Bodenaushub aus der Errichtung der Unterführung ins Zwischenlager 2 (ZW 2 – siehe Bild 3) verbracht. Von Dezember 2005 bis März 2006 wurden rund 8.000 m³ aus diesem ZW 2 in einen südlich der Bestandslinie errichteten Bahndamm für ein Gleisprovisorium, das zur Aufrechterhaltung des Bahnverkehrs während der Bauarbeiten benötigt wurde, geschüttet.

In der Folge wurde zwischen Juni bis August 2006 die Straßenunterführung an der Nordseite ausgehoben und 10.000 m³ ins Zwischenlager 1 (ZW 1) verbracht. Gleichzeitig wurden 2.000 m³ aus dem ZW 2 zur Hinterfüllung der Bahnunterführung an der Südseite verwendet. Im August und September 2006 wurden 2.000 m³ aus dem ZW 1 zur Hinterfüllung der nordseitigen Bahnunterführung herangezogen.

Im Jahr 2007 wurden die Wanne Baumkirchen ausgehoben und betoniert. Zur Herstellung der Wanne erfolgte ein Unterwasseraushub mit einer Kubatur von rund 55.000 m³, ein Bodenaustausch mit einer Kubatur von rund 27.000 m³, eine Dammschüttung mit 60.000 m³ und diverse Hinterfüllungen mit 8.000 m³.

Die Lage der Baustellenbereiche und der Messstelle sind in Bild 3 dargestellt.

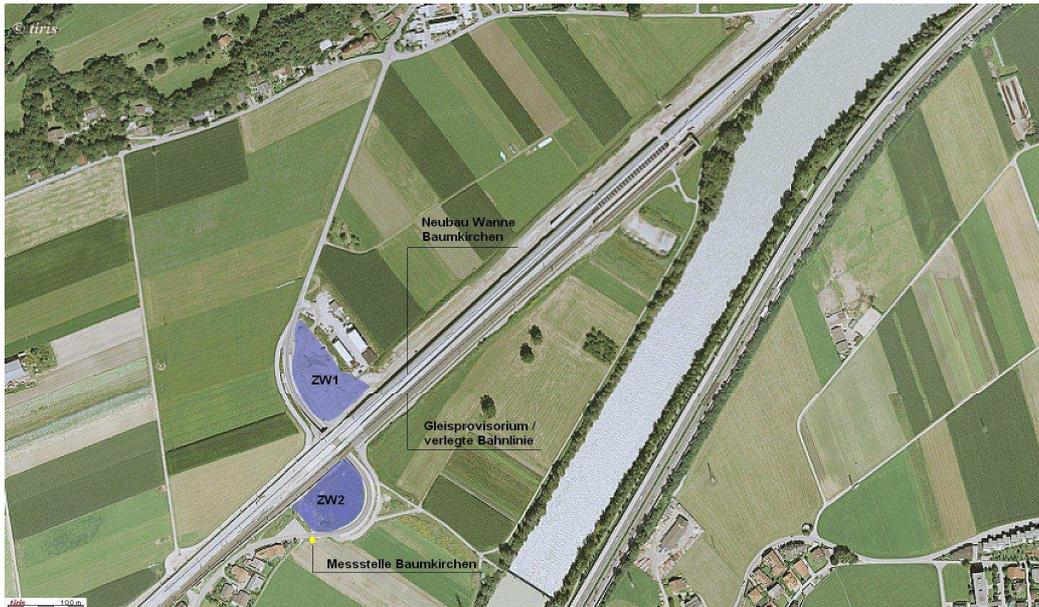


Bild 3: Baustellenbereich Baumkirchen

Die beschriebenen Baustellenaktivitäten beziehen sich ausschließlich auf die Manipulation von Bodenaushub. Bauwaren- und Baustoffanlieferungen (Fertigbeton, Baustoffe, Schalmaterial, Baustahl, das Aufbringen des Gleisschotter usw.) sind in den Massenangaben nicht enthalten.

3. Immissionssituation

In Tabelle 1 sind die Jahresmittelwerte der in diesem Projekt herangezogenen und in Bild 1 dargestellten Immissionsmessstellen für die Jahre 2002 bis 2008 zusammengefasst.

Jahr		BEG Fritzens	AdTL Hall / Münzergasse (ab 2007: Hall Sportplatz)	AdTL Vomp a. d. Leiten	AdTL Vomp A12	BEG Baumkirchen
		$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
2002	Vorbelastung	34 ⁽¹⁾	29	29	27	29
2003	Vorbelastung	35	31	29	30	29
2004	Vorbelastung	30	29	26	27	28
2005	mit Bauarbeiten	40	30	26	32	31
2006	mit Bauarbeiten	46	28	26	33	35
2007	mit Bauarbeiten	37	24	24	27	27
2008	mit Bauarbeiten	29	23	21	23	23

Tabelle 1: PM10 Jahresmittelwerte

⁽¹⁾ aus den Messdaten Mai-Dezember auf den Jahresmittelwert hochgerechnet

Aufbauend auf diese Messdaten und die zu Grunde liegenden Tagesmittelwerte ergeben sich die in Tabelle 2 angegebenen gemessenen Zusatzbelastungen. Dabei wird als MW der Mittelwert der gemessenen Zusatzbelastung über den jeweiligen Zeitraum bezeichnet. Die Angabe MW-GB bezeichnet einen Mittelwert der gemessenen Zusatzbelastung abzüglich einer „überdurchschnittlichen Grundbelastung“. Emissionstechnisch konnten ausschließlich die unmittelbaren Bauaktivitäten in Zusammenhang mit dem Erdaushub bzw. der Verfüllung Berücksichtigung finden. Mangels Verkehrszählraten war eine emissionstechnische Berücksichtigung des Verkehrs auf öffentlichen Straßen nicht möglich. Die „überdurchschnittliche Grundbelastung“ ist eine Folge der Staub-Wiederaufwirbelung durch den nicht baustellenbedingten Verkehr auf öffentlichen Straßen.

In Fritzens kann dieser Anteil nicht repräsentativ erhoben werden, da durch die nur an Arbeitstagen stattfindenden Fahrbewegungen im Tonwerkareal situierten Betriebe der Verkehr auf öffentlichen Straßen nicht vom baustelleninduzierten Verkehr getrennt werden kann. Durch die höhere Vorbelastung in den Jahren ohne Baustellenbetrieb ist die Emission des Verkehrs auf der öffentlichen Straße zumindest für normal verschmutzten Straßenbelag berücksichtigt. An der Messstelle Fritzens lagen die PM10-Immissionen bereits in den Jahren 2002 bis 2004, in denen noch keine Bauaktivitäten der BEG vorhanden waren, um durchschnittlich $3,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ über den Referenzmessstellen in Hall und Vomp an der Leiten. Diese höhere Grundbelastung wird auf die betrieblichen Aktivitäten des nördlich gelegenen Industriegebietes (Tonwerkareal) samt Zu- und Abfahrten über die Landesstraße zurückgeführt. Mit Beginn der Bauarbeiten in Fritzens im Jahr 2005 bis zum Abklingen der stark emittierenden Arbeiten zu Beginn des Jahres 2008 lag der PM10-Jahresmittelwert an der Messstelle Fritzens um durchschnittlich $16 \mu\text{g}/\text{m}^3$ über der Referenzmessstelle Vomp - An der Leiten, stieg somit gegenüber den Vorjahren um rund $11 (10,5) \mu\text{g}/\text{m}^3$ an. Für die Messstelle Fritzens wird dieser Wert für die folgenden Betrachtungen als die durch die Baustellenaktivitäten induzierte Zusatzbelastung herangezogen.

Die Messstelle Baumkirchen befindet sich wie die Messstelle Fritzens unmittelbar neben einer öffentlichen Straße, der Landesstraße L224. In Baumkirchen überwiegt der Individualverkehr in Form von PKW Fahrten. Die Analyse der Immissionsmessdaten dieser Messstelle hat gezeigt, dass an Tagen ohne Baustellenbetrieb im Jahr 2005 die PM10 Immissionen annähernd der Grundbelastung entsprechen haben. Dies kann darauf zurückgeführt werden, dass während der Errichtung der Bahnunterführung kein öffentlicher Verkehr auf der L224 möglich war und damit keine Wiederaufwirbelung stattfand. Mit Eröffnung der Bahnunterführung für den öffentlichen Verkehr im Jahr 2006 konnte auch an Tagen ohne Baustellenbetrieb eine erhöhte Grundbelastung an der Messstelle Baumkirchen im Vergleich zu den Referenzmessstellen festgestellt werden. Diese Zusatzimmission an arbeitsfreien Tagen kann so erklärt werden, dass baustellenbedingt während der Arbeitstage Schmutz auf die öffentliche Straße verfrachtet und auch an den folgenden arbeitsfreien Tagen durch den Verkehr aufgewirbelt wird. Da zumindest dieser Verkehr auch an Tagen mit Baustellenbetrieb anzunehmen ist, wurde der an arbeitsfreien Tagen ermittelte, nicht unmittelbar mit der Baustellentätigkeit in Zusammenhang stehende Anteil der Zusatzimmission, von dieser in Abzug gebracht. Auch im Jahr 2009, also zu einem Zeitpunkt, an dem die Bauarbeiten weitgehend abgeschlossen waren, konnte optisch ein Schmutzeintrag in die öffentliche Straße und die Wiederaufwirbelung durch den Verkehr der L224 im Nahbereich der Messstelle festgestellt werden. In Zusammenhang mit den in Tabelle 2 angegebenen Immissionswerten zeigt sich, dass dem Schmutzeintrag auf öffentliche Straßen, insbesondere durch den Effekt der Wiederaufwirbelung, zur Immissionsminderung ein besonderes Augenmerk zu legen ist.

	Zeitraum	gemessene Zusatzbelastung	
		MW ⁽¹⁾	MW – GB ⁽²⁾
		[µg/m ³]	[µg/m ³]
Fritzens	2005-2007	9,3	9,3
Baumkirchen	2005 (06-09)	9,0	8,9
Baumkirchen	2006	7,8	5,8
Baumkirchen	2007	2,2	0,7

Tabelle 2: gemessene Zusatzbelastungen

⁽¹⁾ Mittelwert der gemessenen Zusatzbelastung über den jeweiligen Zeitraum

⁽²⁾ Mittelwert der gemessenen Zusatzbelastung abzüglich einer überdurchschnittlichen Grundbelastung über den jeweiligen Zeitraum

4. Emissionsprognosen

Emissionsberechnungen konnten ausschließlich für die im Detail beschriebenen und gut strukturierbaren Bauarbeiten im Bauabschnitt Baumkirchen vorgenommen werden. Im Bauabschnitt Fritzens wurden zahlreiche Aktivitäten parallel vorgenommen und es gab einen erheblichen Einfluss durch den Verkehr auf der Gemeindestraße, sodass für diesen Abschnitt keine Emissionen ermittelt, sondern ausschließlich über eine Immissionsberechnung auf eine durchschnittliche Emission im betrachteten Zeitraum rückgerechnet wurde.

Die Emissionsprognose für den Abschnitt Baumkirchen erfolgte auf Basis der technischen Grundlage „Ermittlung von diffusen Staubemissionen und Beurteilung der Staubimmissionen“, herausgegeben vom Bundesministerium für wirtschaftliche Angelegenheiten im Jahr 1999 (TG).

Die Wahl der zahlreichen Parameter zur Emissionsberechnung lassen bei gleichen Eingangsdaten eine erhebliche Streubreite der prognostizierten Emissionsmassenströme zu. Für die in der Folge durchgeführten Ausbreitungsberechnungen wurden für Straßen ohne staubfreien Belag ein Staubgehalt der Straßenoberfläche „s“ von 8 % entsprechend US-EPA AP 42 gemäß Tabelle 13.2.2-1 für „construction sites“ und ein Feuchtigkeitsgehalt „M“ von 0,8 % sowie eine Anzahl von 115 Tagen mit mindestens 1 mm Niederschlag angesetzt. Für den Umschlag von Materialien wurde ein Gewichtungsfaktor $A=\sqrt{100}$ und ein Feinstaubanteil von 20 % am Gesamtstaub berücksichtigt. Dieses Emissionsszenario wird in der Folge mit „TG Max“ bezeichnet. In der Folge wurden Emissionsprognosen mit den in der TG angegebenen Durchschnittswerten, das ist ein Staubgehalt der Straßen von 4,8 % und ein Feuchtigkeitsgehalt von 1 %, bezeichnet mit „TG Mean“, sowie Emissionsprognosen mit Faktoren und Formeln nach der aktuellen Ausgabe der US-EPA (11/06), bezeichnet mit „US-EPA (11/06)“ vorgenommen.

Unter Anwendung dieser Emissionsansätze und Berechnungsmethoden ergaben sich die in Tabelle 3 gerundet angegebenen Feinstaub (PM10) Emissionen, wobei jeweils im Klammersausdruck der Emissionsanteil auf Fahrwegen angegeben ist.

Zeitraum	Berechnungsmethode		
	„TG Max“ s=8 %, W=0,8 %	„TG Mean“ s=4,8 %, W=1 %	„US EPA (11/06)“ s=8 %, W=0,8 %
Juni bis September 2005	850 (550) kg	530 (330) kg	370 (170) kg
2006	1.590 (1.130) kg	1.000 (690) kg	670 (350) kg
2007	11.250 (10.680) kg	7.130 (6.560) kg	3.950 (3.380) kg

Tabelle 3: PM10 Emissionsprognosen für Baumkirchen

5. Immissionsprognosen

Die Immissionsprognose erfolgte mit den Ausbreitungsmodellen GRAL sowie AUSTAL 2000.

Modellbeschreibung GRAL:

Es wurde das von der Technischen Universität Graz entwickelte Ausbreitungsmodell GRAL (Grazer Lagrange Modell) angewendet. GRAL ist ein Lagrange'sches Partikelmodell, das speziell für die Schadstoffausbreitung im komplexen Gelände und auch für Schwachwindsituationen entwickelt wurde. Bei diesen Modellen wird die Schadstoffausbreitung durch eine große Anzahl von Teilchen simuliert, deren Bewegung durch das vorgegebene Windfeld sowie einer überlagerten Turbulenz bestimmt ist. Der Vorteil liegt darin, dass inhomogene Wind- und Turbulenzverhältnisse berücksichtigt werden können. Außerdem können beinahe beliebige Formen von Schadstoffquellen simuliert werden. Die überlagerte turbulente Windgeschwindigkeit wird über stochastische Differentialgleichungen ermittelt. Dabei werden die horizontalen turbulenten Bewegungen unabhängig von den vertikalen angenommen. Die beiden horizontalen Raumrichtungen werden jedoch über zwei gekoppelte stochastische Differentialgleichungen beschrieben, die im Prinzip einen gedämpften harmonischen Oszillator simulieren (z.B. [ÖTTL 2005]). Dadurch können große horizontale Windrichtungsänderungen bei Schwachwindsituationen (Mäandrieren) modelliert werden. Eine umfangreiche Dokumentation von GRAL kann über die LUIS Homepage <http://www.umwelt.steiermark.at/cms/beitrag/11023486/19222537/> heruntergeladen werden [ÖTTL, 2008].

Für die Bestimmung von Immissionskonzentrationen wurde in einem festgelegten Gitter zu jedem Zeitpunkt die Anzahl an Teilchen in jedem Gittervolumen ermittelt und über die Zeit integriert. Da erfahrungsgemäß die vertikalen Konzentrationsgradienten höher sind als die horizontalen, wurde ein Auszählgitter verwendet, dessen horizontale Abmessung 10 m und in der Vertikale 2 m beträgt. Damit werden die räumlichen Gradienten der Konzentration genügend genau erfasst und statistische Unsicherheiten (Stichprobenfehler) reduziert. Als Rauigkeitslänge wurde ein Wert von 0,2 m angenommen.

Die Emissionen wurden vom Amt d. Tiroler LR zur Verfügung gestellt. Diese wurden mit der TG für diffuse Staubemissionen (BMWA, 1999) berechnet.

Modellbeschreibung AUSTAL 2000:

Die Schadstoffausbreitung wurde mit dem Ausbreitungsmodell AUSTAL 2000 prognostiziert, das als Rechenmethode einen Lagrange - Algorithmus nach der Richtlinie VDI 3945 Blatt 3 verwendet.

In einem ersten Schritt wird anhand des Strömungsmodells TALdia ein dreidimensionales Windfeld für eine meteorologische Statistik (Windrichtung und -geschwindigkeit gemittelt auf Stundenwerte) berechnet. Die Gebäude und auch Lärmschutzwände in der Umgebung der Emissionsquellen wurden im Modell digitalisiert und vom Strömungsmodell TALdia als Hindernisse berücksichtigt. TALdia erzeugt zu einem vorgegebenen Gelände- und Anstömprofil ein divergenzfreies Windfeld und verwendet dafür ein dem Geländeprofil folgendes Koordinatensystem.

In einem weiteren Schritt wird die Ausbreitung von Spurenstoffen in der Atmosphäre berechnet, indem für eine Gruppe repräsentativer Stoffteilchen Transport und Dispersion simuliert werden. Aus der räumlichen Verteilung der Teilchen wird auf die Konzentration der Spurenstoffe in der Schadstoffwolke geschlossen.

Die Berechnung der Immissionen erfolgte sowohl mit der in AUSTAL 2000 integrierten Deposition von Partikeln als auch bei gleichen Emissionsmassenströmen für gasförmige Schadstoffe ohne Berücksichtigung der Deposition. Für Vergleichszwecke werden beide Ergebnisse angegeben.

Die Rauigkeit wurde mit 0,2 m und die Verdrängungshöhe mit 1,2 m festgelegt. Das Rechengitter wurde mit 15 m, bei kleinen Abständen zwischen Quellen und Immissionspunkt mit 8 m festgelegt. Die diffusen Emissionen wurden als Volumenquellen definiert.

Die Windmessdaten (siehe Bild 4) wurden für beide Modelle gleich von der Messstelle Baumkirchen übernommen, die Ermittlung der Ausbreitungsklassen erfolgte anhand der Globalstrahlung und eines Temperaturprofils für das Modell GRAL nach U.S.-EPA (2003) mit der modifizierten Globalstrahlungsmethode, für das Modell AUSTAL 2000 nach der SRDT-Methode. Es ist ersichtlich, dass die berechneten labilen Klassen für beide Methoden in ähnlich hoher Gesamtanzahl auftreten (siehe Tabelle 4). Die SRDT-Methode führt aber zu wesentlich höheren Häufigkeiten bei den neutralen Klassen und zu deutlich weniger stabilen Klassen. Für die Ausbreitungsmodellierung bedeutet dies, dass die Rechenergebnisse des Modells AUSTAL rein aufgrund der unterschiedlichen Ausbreitungsklassenstatistik gegenüber dem Modell GRAL geringere Immissionskonzentrationen bei gleicher Emissionsstärke simulieren sollte. Da die Turbulenzparametrisierung in beiden Modellen unterschiedlich ist, findet sich dieser Effekt in den Ergebnissen nicht wieder. So wird beispielsweise vom Modell AUSTAL für den Immissionspunkt „Messstelle Fritzens“ eine deutlich niedrigere Immissionskonzentration (bei gleicher Emissionsstärke) gegenüber GRAL berechnet. Für Baumkirchen werden entweder deutlich höhere Immissionen (2005) oder in etwa gleich hohe Konzentrationen am Standort der Messstelle berechnet (2006 und 2007).

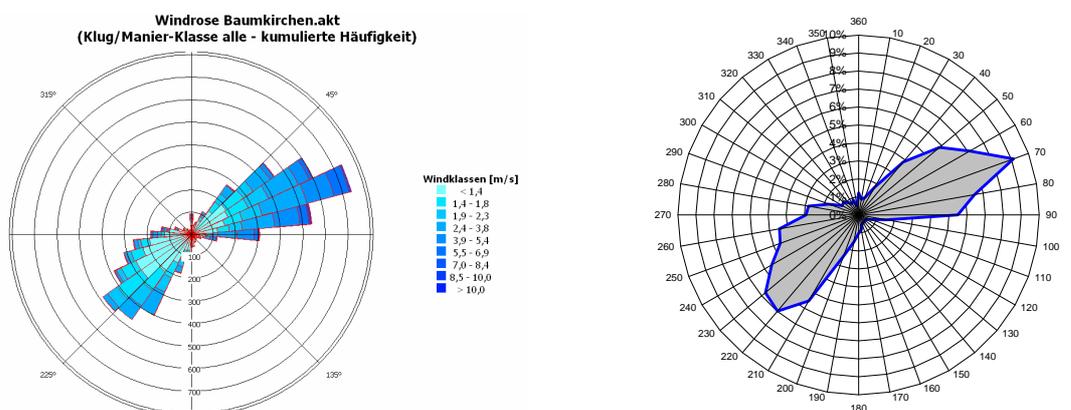


Bild 4: Windrichtungs- und Geschwindigkeitsverteilung AUSTAL 2000 (links) und GRAL (rechts)

		Sommer	Winter
A	very unstable	9%	0%
B	unstable	20%	10%
C	slightly unstable	5%	3%
D	neutral	49%	40%
E	stable	9%	14%
F	very stable	6%	32%

		Sommer	Winter
1	very unstable	5%	0%
2	unstable	15%	8%
3	slightly unstable	11%	5%
4	neutral	32%	28%
5	Slightly stable	1%	1%
6	stable	17%	14%
7	very stable	19%	44%

Tabelle 4: Ausbreitungsklassen AUSTAL 2000 (links) und GRAL (rechts)

Die Berechnungsergebnisse für die gewählten Immissionspunkte, das sind die Standorte der Messstellen, sind in Tabelle 5 zusammengefasst. In den folgenden Bildern 5a bis 8 d werden die flächenhaft berechneten Immissionen für die Bauabschnitte Fritzens und Baumkirchen dargestellt.

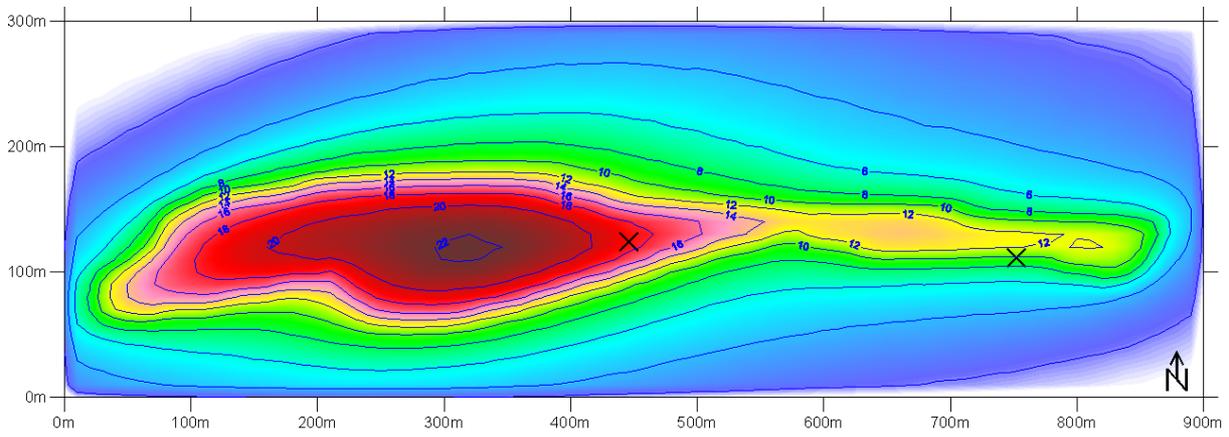


Bild 5a: Baustellenbereich Fritzens: mit GRAL simulierte durchschnittliche PM10 Zusatzimmission bei einer Emission von 1928 kg/a

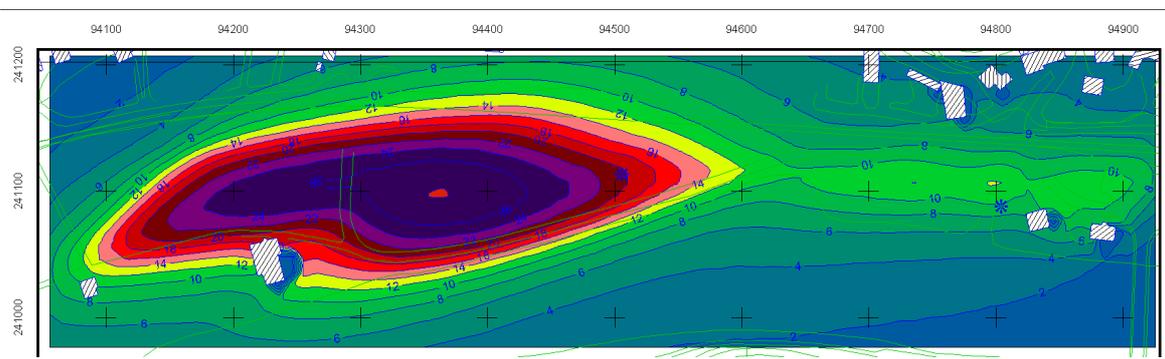


Bild 5b: Baustellenbereich Fritzens: mit AUSTAL2000 simulierte durchschnittliche PM10 Zusatzimmission bei einer Emission von 3900 kg/a

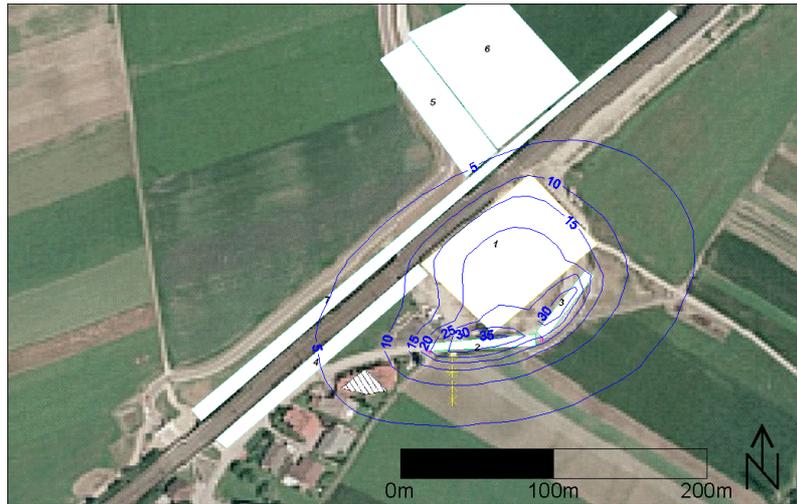


Bild 6a: Baumkirchen 2005: mit GRAL prognostizierte durchschnittliche PM10 Zusatzimmission



Bild 6b: Baumkirchen 2005: mit AUSTAL2000 prognostizierte durchschnittliche PM10 Zusatzimmission

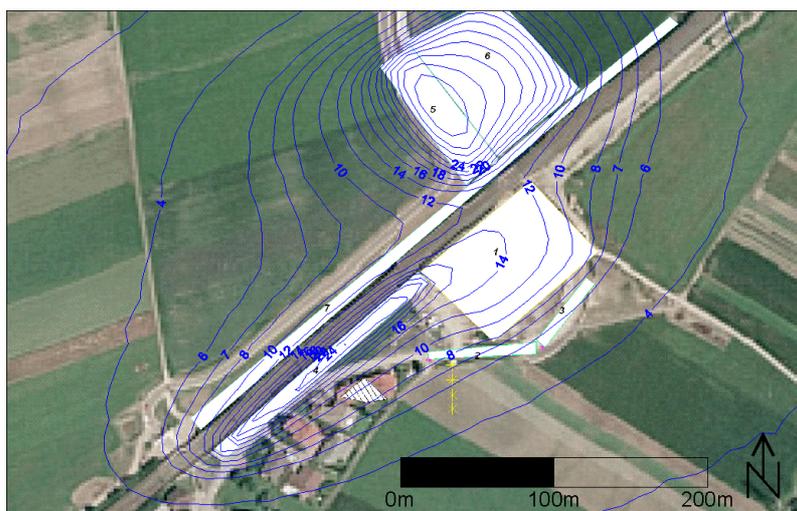


Bild 7a: Baumkirchen 2006: mit GRAL prognostizierte durchschnittliche PM10 Zusatzimmission



Bild 7b: Baumkirchen 2006: mit AUSTAL2000 prognostizierte durchschnittliche PM10 Zusatzimmission

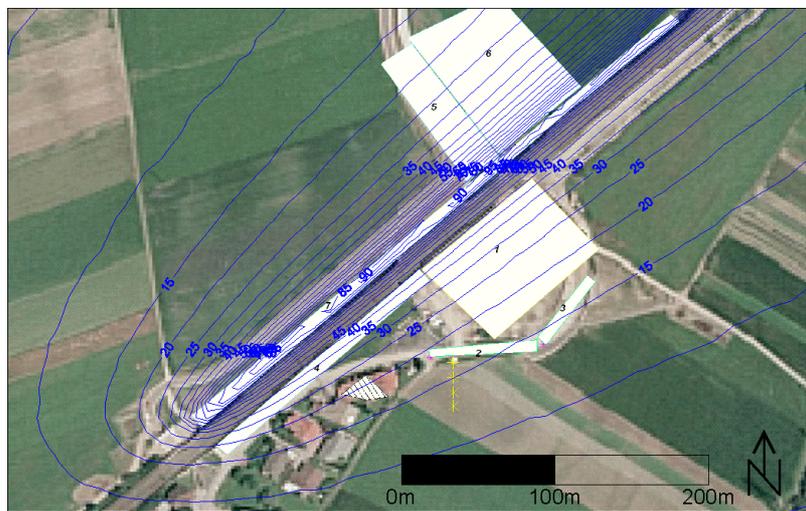


Bild 8a: Baumkirchen 2007: mit GRAL prognostizierte durchschn. PM10 Zusatzimmission ohne Lärmschutzwand

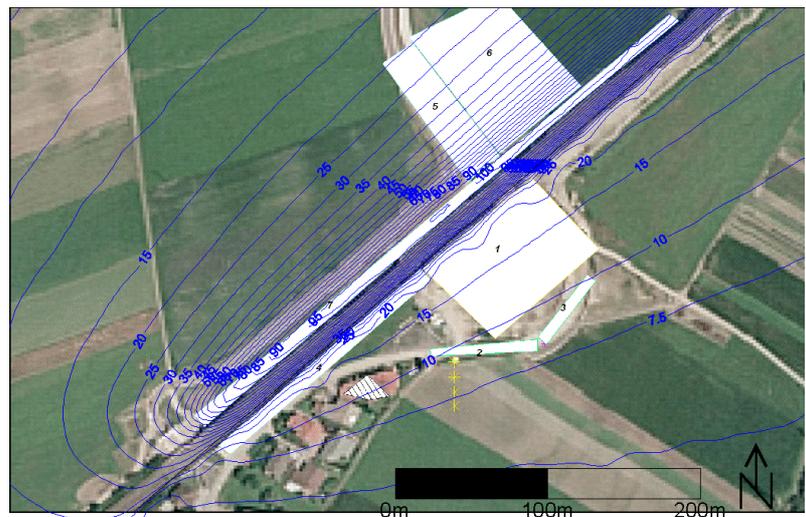


Bild 8b: Baumkirchen 2007: mit GRAL prognostizierte durchschn. PM10 Zusatzimmission mit Lärmschutzwand



Bild 8c: Baumkirchen 2007: mit AUSTAL prognostizierte PM10 Zusatzimmission mit Lärmschutzwand



Bild 8d: Baumkirchen 2007: mit AUSTAL berechnete Differenz der Immissionen ohne und jener mit Lärmschutzwand

	Zeitraum	umgeschlagene Masse	Emission nach Tabelle 3 Spalte 2 „TG Max“	Immissionsprognosen		
				GRAL	AUSTAL PM10	AUSTAL „Gas“
				[µg/m³]	[µg/m³]	[µg/m³]
		[t/Jahr]	[kg/Jahr]			
Fritzens	2005-2007	ca. 500.000	rückgerechnet: 2180	10,5	5,2	7,3
Baumkirchen	2005 (06-09)	18.000	850	25,0	46,1	51,1
Baumkirchen	2006	39.600	1590	7,2	5,4	6,9
Baumkirchen	2007	123.000	11.250	8,5	7,6	10,5

Tabelle 5: berechnete Emissionen und Zusatzbelastungen für PM10

Auffallend ist die gute Übereinstimmung der Immissionsprognosen der Modelle GRAL und AUSTAL 2000, insbesondere dann, wenn die Abstände zwischen den Quellen und dem Messpunkt zumindest 25 m oder mehr betragen (Baumkirchen in den Jahren 2006 und 2007). Bei geringeren Abständen zwischen den Quellen und den Immissionspunkten steigen die Abweichungen, wie in den Fällen Baumkirchen 2005 und Fritzens erkennbar. Dies kann zum Teil mit unterschiedlichen meteorologischen Eingangsdaten aber auch mit dem starken Gradienten der Immissionsprognose im Nahbereich der Quellen in Zusammenhang gebracht werden.

Für die Immissionsprognose des Jahres 2007 musste eine rund 5 m hohe Lärmschutzwand, die sich zwischen der Quelle (Fahrweg unmittelbar am nordöstlichen Bahndamm) und der Immissionsmessstelle (südwestlich der Bahntrasse) befindet, berücksichtigt werden. Die Bahntrasse und die Lärmschutzwand befinden sich in Tallängsachse und damit in der Hauptwindrichtung. Im Ausbreitungsmodell GRAL konnte ein deutlicher Einfluss der Lärmschutzwand festgestellt werden, der, bezogen auf die Messstelle, eine Immissionsreduktion um rund 50% bewirkt. Im Modell AUSTAL 2000 ist der Einfluss der Lärmschutzwand an der Messstelle geringer und bewirkt eine Reduktion der prognostizierten Immission um rund 12 %. Lediglich im Nahbereich der Lärmschutzwand wurde quelseitig eine deutliche Erhöhung, immissionsseitig eine deutliche Verringerung der prognostizierten Immissionen festgestellt.

In Tabelle 6 werden für den Bauabschnitt Baumkirchen, für den Emissionsprognosen durchgeführt wurden, die Immissionsprognosen den gemessenen Zusatzbelastungen gegenüber gestellt.

	Zeitraum	Immissionsprognosen mit dem Emissionsansatz „TG Max“			gemessene Zusatzbelastung	
		GRAL	AUSTAL PM10	AUSTAL „Gas“	MW	MW – GB
		[µg/m³]	[µg/m³]	[µg/m³]	[µg/m³]	[µg/m³]
Baumkirchen	2005 (06-09)	25,0	46,1	51,1	10,5	10,4
Baumkirchen	2006	7,2	5,4	6,9	7,8	5,8
Baumkirchen	2007	8,5	7,6	10,5	2,2	0,7

Tabelle 6: Vergleich Immissionsprognose und Immissionsmessung für PM10

Mit den Emissionsansätzen nach Tabelle 3 Spalte 2 „TG Max“ wurden, mit Ausnahme der Prognose AUSTAL PM10 für das Jahr 2006, die gemessenen Immissionen in sämtlichen Berechnung überschätzt. In der Folge wurden anhand der Emissionsansätze „TG Mean“ und „US EPA (11/06)“ nach Tabelle 3 die Immissionen über das Verhältnis der Emissionsansätze neu abgeschätzt und in Tabelle 7 zusammengefasst. Hier wird deutlich, dass der konservative Ansatz der Emissionsprognose „TG Max“ zu deutlichen Überschätzungen führt und bei Anwendung der aktuellen Emissionsansätze der US-EPA für die Fahrwege und durchschnittlicher Emissionsfaktoren für den Schüttgutumschlag eine deutlich bessere Übereinstimmung zwischen Prognoserechnung und Messung erzielt werden kann.

	Zeitraum	Immissionsprognosen				Zusatz- belastung
		GRAL „TG Mean“	GRAL “US EPA 11/06“	AUSTAL PM10 „TG Mean“	AUSTAL PM10 “US EPA (11/06)“	MW – GB
		[µg/m³]	[µg/m³]	[µg/m³]	[µg/m³]	[µg/m³]
Baumkirchen	2005 (06-09)	16,0	11,0	29,0	20,0	10,4
Baumkirchen	2006	4,5	3,0	3,4	2,2	5,8
Baumkirchen	2007	5,4	3,0	4,8	2,7	0,7

Tabelle 7: Immissionsprognosen für die Emissionsansätze nach Tabelle 3 Spalten 3 und 4

Mit den modifizierten Emissionsansätzen fällt auf, dass alle Prognosemodelle für das Jahr 2006 eine Unterschätzung der Ist-Situation liefern, wobei dieser Umstand noch zu diskutieren ist und dann klarer wird, wenn anhand der prognostizierten und der gemessenen Immissionen auf die Gesamtemission und in der Folge eine spezifische Emission, bezogen auf die bewegte Masse an Bodenaushub, zurückgerechnet wird. Dies wird in Tabelle 8 dargestellt.

	Zeitraum	umge- schlagene Masse	Aus der Messung und der Immissionprognose zurückgerechnete PM10 Emission		spezifische PM10 E- mission, bezogen auf die umgeschlagene Masse	
			GRAL	AUSTAL PM10	GRAL	AUSTAL PM10
		[t/Jahr]	[kg/Jahr]	[kg/Jahr]	[g/t]	[g/t]
Fritzens	2005-2007	ca. 500.000	2180	4400	4	9
Baumkirchen	2005 (06-09)	18.000	300	160	17	9
Baumkirchen	2006	39.600	1270	1700	32	43
Baumkirchen	2007	123.000	930	1040	8	8

Tabelle 8: Spezifische durchschnittliche PM 10 Emissionen

Berücksichtigt man die Abweichungen aufgrund des geringen Abstands zwischen Quellen und Immissionspunkt in den Bauphasen „Fritzens“ und „Baumkirchen 2005“, zeichnet sich eine spezifische Emission von rund 9 g/t ab, wobei aufgrund dieser Untersuchung eine Schwankungsbreite zwischen 5 und 20 g/t verbleibt. Eine größere Abweichung ergab sich für die Bauphase „Baumkirchen 2006“, wobei sich die hohe gemessene PM10 Immission, bezogen auf die berücksichtigten bewegten Massen an Bodenaushub, durch in der Emissionsprognose nicht berücksichtigte Tätigkeiten, wie den Betrieb von Aufbereitungsanlagen am nahe zur Messstelle gelegenen ZW2 oder die Herstellung des Schotterbetts für das Gleisprovisorium begründen lässt. Diese Tätigkeiten konnten nachträglich nicht quantifiziert und zeitlich zugeordnet werden. Damit könnte sich erklären, warum ausschließlich in diesem Jahr keine Überschätzung der Immissionsprognose erfolgte (Tabelle 7) und im Gegenzug höhere spezifische Emissionen ermittelt wurden (Tabelle 8).

6. Diskussion der Ergebnisse

Anhand der vorliegenden Arbeit kann eine Grobabschätzung der PM₁₀ Emission einer Baustelle anhand der umgeschlagenen Masse an Bodenaushub abgegeben werden. Trotz erheblicher Schwankungen aufgrund Unsicherheiten in der Emissions- und Immissionsabschätzung konnte für die Erd-aushubtätigkeiten samt Zwischenlagern und Verfüllen, jedoch ohne Aufbereitung des Materials, ein Emissionsfaktor von durchschnittlich 9 g/t ermittelt werden. Durch die Streubreite der Messdaten, auch in Bezug auf die Vorgangsweise, die Staubaufwirbelung des nicht baustellenbedingten Verkehrs auf öffentlichen Straßen aus den Immissionsmessdaten herauszurechnen, und der Angaben zur Bauabwicklung verbleibt für den Emissionsfaktor eine Schwankungsbreite zwischen 8 und 20 g/t.

Die Untersuchung von Braun et al (2007) ergaben für eine Bauschutttaufbereitung bei einem Jahresdurchsatz von 400.000 t eine PM₁₀ Emission von 4600 kg/a und somit eine spezifische Emission von rund 11 g/t. Jockel (1992, zitiert in der TG des BMwA 1999) gibt für ein Baustofflager einen Wert von 9 g/t und für einen Lagerplatz für Baustoffe 20 g/t an.

Sowohl in dieser Arbeit als auch in der Arbeit von Braun wurde die Emissionsprognose durch einen Vergleich mit Immissionsmessdaten kalibriert, sodass diese Emissionsfaktoren Jahresdurchschnittswerte unter Einbeziehung sämtlicher meteorologischer Bedingungen, insbesondere der Bodenfeuchte im Jahresgang und des Niederschlags, darstellen.

Mit der vorliegenden Arbeit war es nicht möglich, einzelne Emittentengruppen der Immission zuzuordnen. Detaillierte Rückschlüsse auf Emissionsprognosemodelle können damit nicht gezogen werden.

Die Auswertung der Immissionsdaten hat zudem gezeigt, dass auch außerhalb der Arbeitszeiten der Baustelle Emissionen durch die Staubaufwirbelung auf öffentlichen Straßen stattfinden und im Nahbereich zu erheblichen Immissionen führen können. In diesem Zusammenhang ist in der Baudurchführung dem Einsatz von Reifenwaschanlagen und der Reinigung öffentlicher Straßen besonderes Augenmerk zu schenken.

Grundsätzlich zeigte sich, dass die Immissionsprognosen zumindest in der gleichen Größenordnung, wie die Immissionsmessungen lagen. Bei der Verwendung empirischer Parameter der TG Diffuse Staubemissionen (BMwA, 1999) für Durchschnittsemissionen auf unbefestigten Straßen konnten bereits tendenziell „günstige“ Werte, also Werte, welche zu geringeren Emissionen führen, gewählt werden, um zu realistischen Immissionsprognosen zu gelangen. Unter Anwendung der aktuellen Emissionsgleichungen nach US-EPA – AP42 (11/06) konnte eine weitere Steigerung der Prognosegenauigkeit beobachtet werden. Im Fall von Manipulation von staubenden Gütern erscheint ein Wert für den empirischen Parameter $A=\sqrt{100}$ und ein Feinstaubanteil von 20 % sinnvoll zu sein. Diesbezüglich wird auch auf das UVP-Verfahren Steinbruch Klöch in der Steiermark (Öttl, 2004) verwiesen, wo mit diesen Parametern eine plausible Immissionsprognose im Vergleich zu lokal gemessenen Staubkonzentrationen durchgeführt werden konnte.

Für die Ermittlung von diffusen Staubemissionen von Fahrwegen ohne staubfreien Belag erscheinen die in der TG Diffuse Staubemissionen angegebenen Durchschnittswerte von 1 % für den Feuchtegehalt und von knapp 5 % für den Staubgehalt sinnvolle Größenordnungen zu sein.

Es obliegt jedoch selbstverständlich dem Sachverständigen im Einzelfall zu entscheiden, welche Parameter zu wählen sind. Die hier angegebenen Empfehlungen werden naturgemäß nicht in allen Situationen zutreffend sein.

Weiterführende Untersuchungen speziell im Hinblick auf Emissionen aus Einzeltätigkeiten wären sinnvoll und wünschenswert. Da die in der TG Diffuse Staubemissionen (BMwA, 1999) angegebenen empirischen Parameter praktisch nicht erhoben oder prognostiziert werden können, wäre eine Vereinfachung der Berechnungsformeln anzustreben.

7. Referenzen

[ÖTTL 2005]: ÖTTL, D., GOULART A., DEGRAZIA G., ANFOSSI D. (2005): A new hypothesis on meandering atmospheric flows in low wind speed conditions. Atmos. Environ., 39, 1739 - 1748.

[ÖTTL und UHRNER 2008]: Documentation of the Lagrangian Particle Model GRAL (Graz Lagrangian Model Vs. 6.8. Amt d. Stmk. Landesregierung, FA17C, Technische Umweltkontrolle, Bericht: Lu-10-08, 87 S

[ÖTTL 2004]: Erweiterung Basaltbruch Klösch. UVE Fachbeitrag Luftschadstoffe. Bericht Nr. FVT-78/04/Öt V&U 02/47/6300 vom 2.12.2004.

[Braun F.J., Richter C.-J., van der Pütten N. 2007]: Ermittlung der Staubemissionen und – immissionen in der Umgebung einer Anlage zur Lagerung, zum Umschlag und zur Aufbereitung von staubenden Gütern; Gefahrstoffe-Reinhaltung der Luft 67 (2007) Nr. 7/8, 327-329

[Bundesministerium für wirtschaftliche Angelegenheiten 1999]: Ermittlung von diffusen Staubemissionen und Beurteilung der Staubimmissionen

[VDI 1999]: VDI 3790 Blatt 3: Emissionen von Gasen, Gerüchen und Stäuben aus diffusen Quellen. Lagerung, Umschlag und Transport von Schüttgütern; Berlin: Beuth

[US-EPA]: AP42 (11/06): Compilation of Air Pollutant Emission Factors AP-42; Environmental Protection Agency

8. Anhang: Bilddokumentation der Baustellenbereiche (Quelle BEG)



Herstellung Unterführung L224 Süd, 2005



Baumkirchen, Blick Richtung Fritzens, Juni 2006



Gleisverlegearbeiten, November 2006



Baumkirchen, April 2007



Baumkirchen, Juli 2007



Wanne Baumkirchen, Winter 2007