



Bundesamt für Strahlenschutz

Deckblatt

GZ: SW 1.7 - 9A 65131200

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd.Nr.	Rev.	Seite: I
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	65131200	LQ	RB	0005	00	Stand: 05.07.2013

Titel der Unterlage:

BESTIMMUNG DES GESAMTVERLUSTFAKTORS FÜR DIE BILANZIERUNG VON AN SCHWEBSTOFFEN GEBUNDENEN RADIONUKLIDEN IM ABWETTER DER SCHACHTANLAGE ASSE II

Ersteller:

SW 1.4

Stempelfeld:

Freigabe durch bergrechtlich verantwortliche Person:

h/l
19/2/13

Datum und Unterschrift

Freigabe durch atomrechtlich verantwortliche Person:

h/l
19/2/13

Datum und Unterschrift

Freigabe im Projekt/Betrieb:

h/l
19/2/13

Datum und Unterschrift

Diese Unterlage unterliegt samt Inhalt dem Schutz des Urheberrechts sowie der Pflicht zur vertraulichen Behandlung auch bei Beförderung und Vernichtung und darf vom Empfänger nur auftragsbezogen genutzt, vervielfältigt und Dritten zugänglich gemacht werden. Eine andere Verwendung und Weitergabe bedarf der ausdrücklichen Zustimmung des BfS.




Bundesamt für Strahlenschutz

Revisionsblatt


Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: II
NAAN	NNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	65131200	LQ	RB	0005	00	Stand: 05.07.2013

Titel der Unterlage:

BESTIMMUNG DES GESAMTVERLUSTFAKTORS FÜR DIE BILANZIERUNG VON AN SCHWEBSTOFFEN GEBUNDENEN RADIONUKLIDEN IM ABWETTER DER SCHACHTANLAGE ASSE II

Rev.	Rev.-Stand Datum	UVST	Prüfer (Zeichn.)	Rev. Seite	Kat. *)	Erläuterung der Revision
00	05.07.2013	SW1.7		-	-	Erstellung der Unterlage.

*) Kategorie R = redaktionelle Korrektur
Kategorie V = verdeutlichende Verbesserung
Kategorie S = substantielle Revision
mindestens bei der Kategorie S müssen Erläuterungen angegeben werden


 Bundesamt für Strahlenschutz				Bestimmung des Gesamtverlustfaktors für die Bilanzierung von an Schwebstoffen gebundenen Radionukliden im Abwetter der Schachtanlage Asse II			
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 1 von 26 Stand: 2013-07-05	
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	65131200	LQ	RB	0005	00		

Bestimmung des Gesamtverlustfaktors für die Bilanzierung von an Schwebstoffen gebundenen Radionukliden im Abwetter der Schachtanlage Asse II

BfS, Fachgebiet SW 1.4



München, 05.07.2013

 Bundesamt für Strahlenschutz				Bestimmung des Gesamtverlustfaktors für die Bilanzierung von an Schwebstoffen gebundenen Radionukliden im Abwetter der Schachtanlage Asse II			
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 2 von 26	
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	65131200	LQ	RB	0005	00	Stand: 2013-07-05	

KURZFASSUNG

Bestimmung des Gesamtverlustfaktors für die Bilanzierung von an Schwebstoffen gebundenen Radionukliden im Abwetter der Schachtanlage Asse II

München, 05.07.2013

Zur Bestimmung des Gesamtverlustfaktors für die Schachtanlage Asse II wurden am 11. und 12.12.2012 im Abwetterkanal der Schachtanlage definierte Massen an Aerosolpartikeln aufgegeben. Das verwendete Partikelkollektiv umfasste dabei die Verbindungen TiO_2 , SrTiO_3 und Mo_2C mit mittleren aerodynamischen Durchmessern von 0,8 μm , 3,3 μm und 8,5 μm .

Die während der Partikelaufgaben beaufschlagten Schwebstofffilter der Bilanzierungsmessstelle **QM-S2** wurden in den Labors des Fachgebietes SW 1.4 mittels Röntgenfluoreszenzanalyse (Ti) bzw. Atomabsorptionsspektrometrie (Sr, Mo) untersucht. Aus dem Verhältnis von aufgegebenen Massen und den auf den Schwebstofffiltern der Bilanzierungsmessstelle **QM-S2** abgelagerten Massen wurden unter Berücksichtigung des beprobten Anteils am Abwetter die folgenden Gesamtverlustfaktoren für Masse bestimmt:

TiO_2 : 1,2 ± 0,2

SrTiO_3 : 2,0 ± 0,3


Mo_2C : 26 ± 13

Unter Berücksichtigung der im Abwetter real vorhandenen Größenverteilung von Partikeln und unter der Modellannahme einer vom aerodynamischen Durchmesser unabhängigen spezifischen Aktivität der Partikel ergibt sich hieraus ein **Gesamtverlustfaktor für Aktivität** von

2,3 ± 0,3

Da jedoch die **Radontochternuklide der natürlichen Zerfallsreihen** ganz überwiegend an sehr kleine Partikel angelagert sind, beträgt der Gesamtverlustfaktor für Aktivität für diese Gruppe von Nukliden


1,3 ± 0,2

 Bundesamt für Strahlenschutz				Bestimmung des Gesamtverlustfaktors für die Bilanzierung von an Schwebstoffen gebundenen Radionukliden im Abwetter der Schachtanlage Asse II			
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 3 von 26	
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	65131200	LQ	RB	0005	00		Stand: 2013-07-05

INHALTSVERZEICHNIS

KURZFASSUNG	2
INHALTSVERZEICHNIS	3
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	5
TABELLENVERZEICHNIS	5
LITERATUR	5
1 EINLEITUNG	6
2 VERFAHREN UND VORGEHENSWEISE	7
3 AUFGABE UND SAMMLUNG VON AEROSOLPARTIKELKOLLEKTIVEN	8
4 BESTIMMUNG DER GESAMTVERLUSTFAKTOREN FÜR MASSE $GVM_{P,A}$	11
5 BERECHNUNG DER GESAMTVERLUSTFAKTOREN FÜR MASSE GVM_A	15
6 BERECHNUNG DES GESAMTVERLUSTFAKTORS FÜR AKTIVITÄT GVA	17


ANLAGEN

 Bundesamt für Strahlenschutz				Bestimmung des Gesamtverlustfaktors für die Bilanzierung von an Schwebstoffen gebundenen Radionukliden im Abwetter der Schachanlage Asse II			
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 4 von 26	
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	65131200	LQ	RB	0005	00	Stand: 2013-07-05	

Gesamtseitenzahl: 26

Stichworte:

Asse, Aerosolpartikel, Bilanzierungsmessstelle, Probeentnahmeeinrichtungen, Gesamtverlustfaktor

 Bundesamt für Strahlenschutz				Bestimmung des Gesamtverlustfaktors für die Bilanzierung von an Schwebstoffen gebundenen Radionukliden im Abwetter der Schachanlage Asse II			
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 5 von 26	
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	65131200	LQ	RB	0005	00		Stand: 2013-07-05

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1:	Schematischer Querschnitt der Bewetterung und der Probeentnahmestelle. Eingezeichnet ist auch die Aufgabebene für die Aerosolpartikelkollektive.	8
Abbildung 2:	Positionen der Aufgabeborte der Aerosolpartikelkollektive und Reihenfolge der Aufgaben....	9
Abbildung 3:	Von der Asse GmbH am 11.12.2012 ermittelte Strömungsgeschwindigkeit im Diffusor (WG-Wk) und dem Volumenstrom im Sammler (QM-S2).....	13
Abbildung 4:	Von der Asse GmbH am 12.12.2012 ermittelte Strömungsgeschwindigkeit im Diffusor (WG-Wk) und dem Volumenstrom im Sammler (QM-S2).....	13
Abbildung 5:	Ermittelte Strömungsgeschwindigkeiten in der Aufgabebene der Aerosolpartikel; Sicht entgegen der Strömungsrichtung.	15

TABELLENVERZEICHNIS


Tabelle 1:	Charakteristische Kenndaten der aufgegebenen Aerosolpartikel.....	10
Tabelle 2:	Ermittelte Gesamtverlustfaktoren für Masse für die einzelnen Aufgabepositionen.	14
Tabelle 3:	Strömungsgeschwindigkeiten und Anteile an der Gesamtströmung in der Aufgabebene	16
Tabelle 4:	Massebezogene Gesamtverlustfaktoren GVM_a	16
Tabelle 5:	Prozentuale Massenanteile von Aerosolpartikeln als Funktion des aerodynamischen Durchmessers im Abwetterschacht Asse II vom November 2010.....	17

LITERATUR

[KTA02] Sicherheitstechnische Regel des Kerntechnischen Ausschusses KTA 1503.1 Überwachung der Ableitung gasförmiger und an Schwebstoffen gebundener radioaktiver Stoffe; Teil 1: Überwachung der Ableitung radioaktiver Stoffe mit der Kaminfortluft bei bestimmungsgemäßem Betrieb; Köln: Carl Heymanns Verlag, 06.2002.

[REI06] Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen (REI)

[STA10] Bericht zur „Bestimmung der Anzahl- und Massenverteilung der Aerosolpartikel im Abwetter der Schachanlage Asse II im November 2010“, S. Stanglmaier, C. Brummer, C. Strobl, September 2011; BfS Bericht.

 Bundesamt für Strahlenschutz				Bestimmung des Gesamtverlustfaktors für die Bilanzierung von an Schwebstoffen gebundenen Radionukliden im Abwetter der Schachanlage Asse II			
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 6 von 26 Stand: 2013-07-05	
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	65131200	LQ	RB	0005	00		

1 EINLEITUNG


Die Überwachung und Bilanzierung der Aktivitätsableitungen von an Aerosolpartikeln gebundenen radioaktiven Stoffen mit der Fortluft bzw. dem Abwetter erfolgt bei der Asse gemäß der **Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen** (REI) [REI06] sowie **der Sicherheitstechnischen Regel des Kerntechnischen Ausschusses KTA 1503.1** [KTA02]. Für die Bilanzierung der Aktivitätsableitungen wird im Fortluft- bzw. Abwetterkanal mittels einer oder mehrerer Probeentnahmesonden ein Teilluftstrom der Fortluft möglichst repräsentativ und vorzugsweise isokinetisch entnommen und über Probeentnahmeleitungen von meist einigen Zentimetern Durchmesser und Längen von etlichen Metern zu einem Sammelmedium (z. B. Schwebstofffilter) geleitet (Probeentnahme auf der Asse siehe **Anlage 1**). Auf diesem werden die Aerosolpartikel und die daran gebundenen radioaktiven Stoffe abgeschieden. Die aus der Messung der auf dem Sammelmedium abgeschiedenen Aktivitäten ermittelten Aktivitätskonzentrationen und die daraus berechneten Aktivitätsableitungen unterschätzen jedoch im Allgemeinen die tatsächlichen Emissionen. Diese Diskrepanz kann durch die folgenden Effekte bedingt sein:

1. Nichtrepräsentative Probeentnahme durch Inhomogenität der Aktivitätskonzentration in der Fortluft;
2. Nichtrepräsentative Probeentnahme aufgrund von Inhomogenitäten der Strömungsgeschwindigkeit über den Querschnitt des Fortluftkanals;
3. Nichtrepräsentative Beprobung von Aerosolpartikeln durch nichtisokinetische Probeentnahme;
4. Abscheideverluste von Aerosolpartikeln an den Probeentnahmesonden und an den Wänden der Probeentnahmeleitungen;
5. Abscheideverluste von Aerosolpartikeln in den Sammel- oder Überwachungseinrichtungen.

Für die Bestimmung der tatsächlichen Aktivitätsableitung von an Schwebstoffen gebundenen Radionukliden mit der Fortluft bzw. dem Abwetter ist es deshalb erforderlich, die durch Bilanzierungsmessungen ermittelten Aktivitätsableitungen zu korrigieren. Der hierzu benötigte Korrekturfaktor wird als **Gesamtverlustfaktor für Aktivität (GVA)** bezeichnet. Er ist definiert als das Verhältnis der tatsächlichen Aktivitätsableitung eines Radionuklids und der anhand von Messungen bestimmten Aktivitätsableitung.

Auf der Schachanlage Asse II wird der Gesamtverlustfaktor der Bilanzierungsmessstelle für Aerosolpartikel (Messstelle **QM-S2**) in regelmäßigen Abständen bestimmt, letztmalig am 04. – 05.07.2007.

Der vorliegende Bericht beschreibt die Durchführung, die Auswertung und die Ergebnisse der am 11. und 12.12.2012 durchgeführten Untersuchungen.

 Bundesamt für Strahlenschutz				Bestimmung des Gesamtverlustfaktors für die Bilanzierung von an Schwebstoffen gebundenen Radionukliden im Abwetter der Schachanlage Asse II			
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 7 von 26 Stand: 2013-07-05	
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	65131200	LQ	RB	0005	00		

2 VERFAHREN UND VORGEHENSWEISE

Die Bestimmung des Gesamtverlustfaktors (**GVA**) für Aktivität für die Bilanzierungsmessstelle **QM-S2** im Abwetterschacht 2 auf der Asse erfolgte in mehreren Schritten und wird zum besseren Verständnis im Folgenden kurz skizziert:


- Am 11. und 12.12.2012 wurden im Abwetterkanal des Schachtes 2 definierte Massen eines Aerosolpartikelkollektivs aufgegeben. Die Aufgabe des Partikelkollektivs, welches aus drei unterschiedlichen Arten von Partikeln bestand, erfolgte mittels eines Bürstendispergierers. Die drei verwendeten Arten von Partikeln unterscheiden sich in ihrer chemischen Zusammensetzung und ihrem mittleren aerodynamischen Durchmesser.

Da die Ebene der Probeaufgabe nur etwa zwölf Meter von der Ebene der Probeentnahme entfernt lag, bestanden Zweifel, ob bei einer einmaligen Partikelauflage in der Mitte des Abwetterkanals eine ausreichend homogene Verteilung der Partikel in der Probeentnahmeebene sichergestellt sein würde. Daher erfolgten nacheinander – über den Querschnitt des Abwetterkanals verteilt - insgesamt neun Aufgaben des Partikelkollektivs. Zu jeder Partikelauflage wurde in der Sammeleinrichtung der Bilanzierungsmessstelle **QM-S2** jeweils ein Schwebstofffilter bestaubt.

- Auf den neun beaufschlagten Schwebstofffiltern wurden mittels Röntgenfluoreszenzanalyse bzw. Atomabsorptionsspektrometrie die jeweils abgeschiedenen Massen der drei aufgegebenen Arten von Partikeln bestimmt.

Der Gesamtverlustfaktor für die Masse $GVM_{p,a}$ für die Aufgabeposition **p** und die Partikelart **a** kann dann – unter Kenntnis des der Sammeleinrichtung zugeleiteten Anteils des Gesamtabwetters – berechnet werden. Somit ergeben sich für die neun Aufgabepunkte und die drei unterschiedlichen Arten von Partikeln insgesamt 27 Gesamtverlustfaktoren für Masse $GVM_{p,a}$.

- In einem weiteren Schritt wurde für jede der drei unterschiedlichen Arten von Partikeln aus den neun vorliegenden Gesamtverlustfaktoren $GVM_{p,a}$ ein Mittelwert GVM_a gebildet. Da die Strömungsgeschwindigkeit an den neun Aufgabepunkten zum Teil stark unterschiedliche Werte aufweist, wurden bei der Berechnung von GVM_a die entsprechenden Strömungsanteile berücksichtigt.
- Die für die drei unterschiedlichen Arten von Partikeln bzw. Partikelgrößen erhaltenen Gesamtverlustfaktoren für Masse GVM_a wurden anschließend zu einem Gesamtverlustfaktor für Aktivität **GVA** zusammengeführt. In die Berechnung von **GVA** geht die Massenverteilung der Partikel im Abwetter (ermittelt durch das BfS im Jahre 2010) sowie eine nuklidbezogene Modellannahme zur Aktivitätsverteilung als Funktion der Partikelgröße ein.

 Bundesamt für Strahlenschutz				Bestimmung des Gesamtverlustfaktors für die Bilanzierung von an Schwebstoffen gebundenen Radionukliden im Abwetter der Schachthanlage Asse II			
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 8 von 26	
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	65131200	LQ	RB	0005	00		Stand: 2013-07-05

3 AUFGABE UND SAMMLUNG VON AEROSOLPARTIKEL-KOLLEKTIVEN

Am 11. und 12.12.2012 wurden in der in **Abbildung 1** dargestellten Aufgabebene an neun Positionen definierte Massen des in **Tabelle 1** dokumentierten Aerosolpartikelkollektivs in den Abwetterkanal eingebracht. Erforderlich waren die neun über den Abwetterkanalquerschnitt verteilten Aufgaben, da Aufgabe- und Beprobungsebene aufgrund der baulichen Gegebenheiten nur eine Entfernung von etwa zwölf Meter aufwies. Es bestanden daher Zweifel, ob sich bei einmaliger Aufgabe die aufgegebenen Partikel auf dieser Strecke ausreichend homogen über den Kanalquerschnitt verteilen. Die Versuchsdruchführung ist in **Anlage 2** dokumentiert, die Positionen der neun Aufgabeorte sind in **Abbildung 2** dargestellt. Für alle neun Aufgabepositionen wurde jeweils ein separates Sammelmedium (Schwebstofffilter vom Typ QMA) in die Messstelle **QM-S2** eingelegt und beaufschlagt.

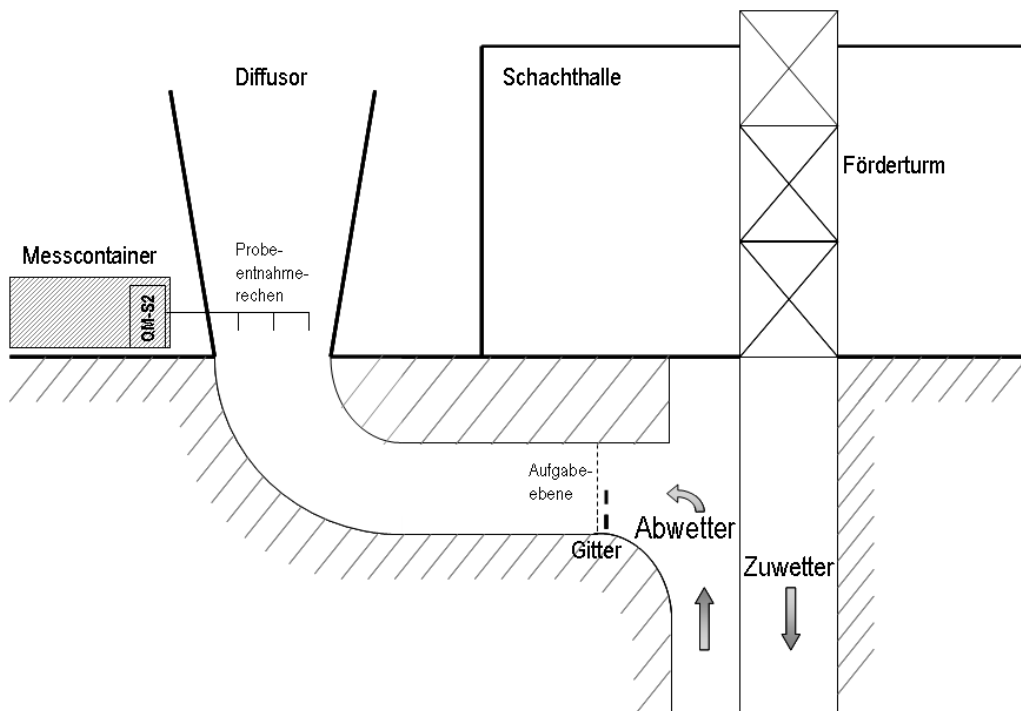



Abbildung 1: Schematischer Querschnitt der Bewetterung und der Probeentnahmestelle. Eingezeichnet ist auch die Aufgabebene für die Aerosolpartikelkollektive.

 Bundesamt für Strahlenschutz				Bestimmung des Gesamtverlustfaktors für die Bilanzierung von an Schwebstoffen gebundenen Radionukliden im Abwetter der Schachtanlage Asse II			
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 9 von 26	
NAAN	NNNNNNNNNN	AAA	AA	NNNN	NN		
9A	65131200	LQ	RB	0005	00	Stand: 2013-07-05	

Aufgabebene – Sicht entgegen der Luftströmung

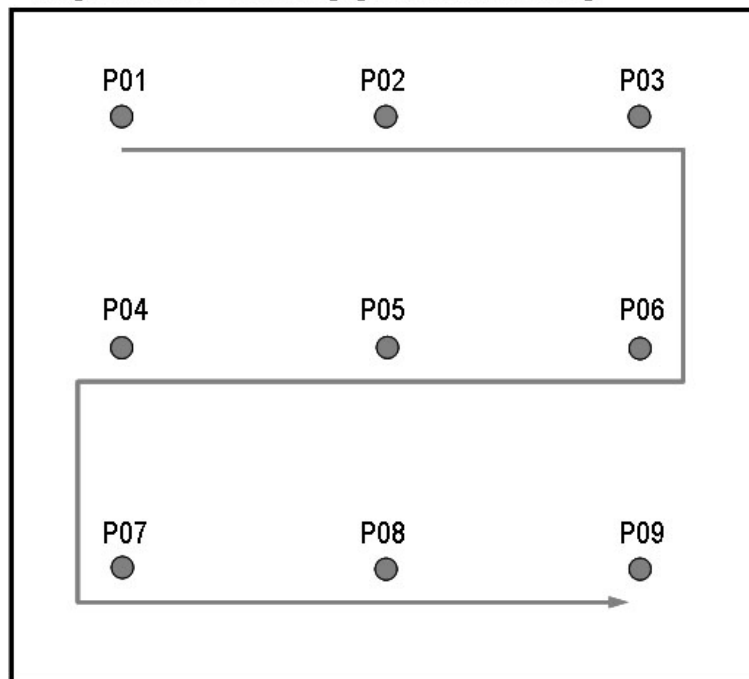


Abbildung 2: Positionen der Aufgabeorte der Aerosolpartikelkollektive und Reihenfolge der Aufgaben.

Als Aerosolpartikelkollektiv wurde eine Pulvermischung mit den in **Anlage 2** dokumentierten Massen mit einem Bürstendispergierer (RBG 1000) in den Abwetterstrom aufgegeben. Der Bürstendispergierer wurde mit einem Vordruck von 0,1 MPa, einer Bürstenrotationsgeschwindigkeit von etwa 1000 Umdrehungen pro Minute und einem Vorschub von $0,028 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$ betrieben. Die Aerosolpartikelkollektive wurden über einen 0,3 m langen elektrisch leitenden Schlauch (Innendurchmesser 6 mm, Außendurchmesser 8 mm) und eine 1 m lange Aufgabelanze aus Edelstahl (Innendurchmesser 8 mm, Außendurchmesser 10 mm), die an einer Stativklemme befestigt war, an den in **Abbildung 2** gekennzeichneten Aufgabeorten im Abwetterstrom freigesetzt. Die verwendete Pulvermischung wies ein Massenverhältnis von TiO_2 zu SrTiO_3 und Mo_2C von **10:1:1** auf. Die relativen Standardunsicherheiten der Aufgabemassen betragen etwa 0,02.



 Bundesamt für Strahlenschutz				Bestimmung des Gesamtverlustfaktors für die Bilanzierung von an Schwebstoffen gebundenen Radionukliden im Abwetter der Schachanlage Asse II			
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 10 von 26	
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	65131200	LQ	RB	0005	00		Stand: 2013-07-05

Tabelle 1: Charakteristische Kenndaten der aufgegebenen Aerosolpartikel

Aerosolpartikel		Geometrischer Aerosolpartikel- durchmesser geometrischer Mittelwert d_{geom} in μm	Aerodynamischer Aerosolpartikel- durchmesser geometrischer Mittelwert d_{ae} in μm	Geometrische Standard- abweichung s_g
Titandioxid	TiO₂	0,4	0,8	3,3
Strontiumtitanat	SrTiO₃	1,5	3,3	2,5
Molybdäncarbid	Mo₂C	2,8	8,5	2,1

 Bundesamt für Strahlenschutz				Bestimmung des Gesamtverlustfaktors für die Bilanzierung von an Schwebstoffen gebundenen Radionukliden im Abwetter der Schachanlage Asse II			
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 11 von 26 Stand: 2013-07-05	
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	65131200	LQ	RB	0005	00		


4 BESTIMMUNG DER GESAMTVERLUSTFAKTOREN FÜR MASSE $GVM_{p,a}$

Der Gesamtverlustfaktor für Masse $GVM_{p,a}$ für die Aufgabebezeichnung p und die Partikelart a berechnet sich gemäß folgender Gleichung:

$$GVM_{p,a} = \frac{m_{A,p,a} \cdot \dot{V}_S}{m_{S,p,a} \cdot \dot{V}_A} \quad \text{Gleichung 1}$$

mit

$GVM_{p,a}$	Gesamtverlustfaktor für Masse für die Partikelart a und den Aufgabeort p ;
\dot{V}_A	mittlerer Volumenstrom des Abwetters in $m^3 \cdot s^{-1}$;
\dot{V}_S	mittlerer Volumenstrom durch das Schwebstofffilter in $m^3 \cdot s^{-1}$.
$m_{A,p,a}$	am Aufgabeort p aufgegebene Masse an Aerosolpartikeln der Art a in g;
$m_{S,p,a}$	auf dem Schwebstofffilter der Sammeleinrichtung abgeschiedene Masse an Aerosolpartikeln der Art a in g;

 Bundesamt für Strahlenschutz				Bestimmung des Gesamtverlustfaktors für die Bilanzierung von an Schwebstoffen gebundenen Radionukliden im Abwetter der Schachanlage Asse II			
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 12 von 26 Stand: 2013-07-05	
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	65131200	LQ	RB	0005	00		

Die vier in die Berechnung von **Gleichung 1** eingehenden Parameter wurden wie folgt bestimmt:

Mittlerer Volumenstrom des Abwetters V_A

In den **Abbildungen 3** und **4** sind die von der Asse GmbH für den Zeitraum vom 11. – 12.12.2012 ermittelten Strömungsgeschwindigkeiten im Bereich des Probeentnahmerechens (**WG-Wk**) dargestellt. Diese wurden mit einem Flügelradanemometer bestimmt, welches in der Mitte des Probeentnahmerechens im Diffusor positioniert ist. Die mittleren Strömungsgeschwindigkeiten betragen für den 11.12.2012 $11,8 \pm 0,2$ m/s und für den 12.12.2012 $11,7 \pm 0,2$ m/s. Unter Berücksichtigung des Querschnitts des Diffusors von $6,6 \text{ m}^2$ entspricht dies Volumenströmen von $278.230 \text{ m}^3/\text{h}$ für den 11.12.2012 bzw. $276.900 \text{ m}^3/\text{h}$ für den 12.12.2012.

Mittlerer Volumenstrom durch das Sammelmedium der Bilanzierungsmessstelle QM-S2

Der Volumenstrom am Sammler QM-S2 (Bilanzierungssammler für an Schwebstoffe gebundene radioaktive Stoffe) wurde von der Asse GmbH kontinuierlich aufgezeichnet. Für die Zeiträume der Aerosolpartikelauflage bzw. –sammlung sind die entsprechenden Werte in den **Abbildungen 3** und **4** dargestellt und in **Anlage 2** dokumentiert.

Auf dem Schwebstofffilter abgeschiedene Masse der Aerosolpartikel $m_{S,p,a}$

Die Bestimmung der abgeschiedenen Massen erfolgte in den Labors des Fachgebietes SW 1.4 des Bundesamtes für Strahlenschutz. Das Element Titan wurde dabei über Röntgenfluoreszenzanalyse bestimmt, bei Strontium und Molybdän erfolgte die Massenbestimmung über die Atomabsorptionsspektrometrie. Blindwerte des Filtermaterials bzw. Beiträge aus von im Abwetter permanent vorhandenen Elementen wurden berücksichtigt.

Aufgegebene Masse der Aerosolpartikel $m_{A,p,a}$

Die aufgegebene Masse an Aerosolpartikeln wurde als Produkt aus aufgebener Masse des Partikelkollektives und dem Massenanteil der betrachteten Partikelart berechnet.



Bundesamt für Strahlenschutz

Bestimmung des Gesamtverlustfaktors für die Bilanzierung von an Schwebstoffen gebundenen Radionukliden im Abwetter der Schachanlage Asse II

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 13 von 26
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN	
9A	65131200	LQ	RB	0005	00	Stand: 2013-07-05

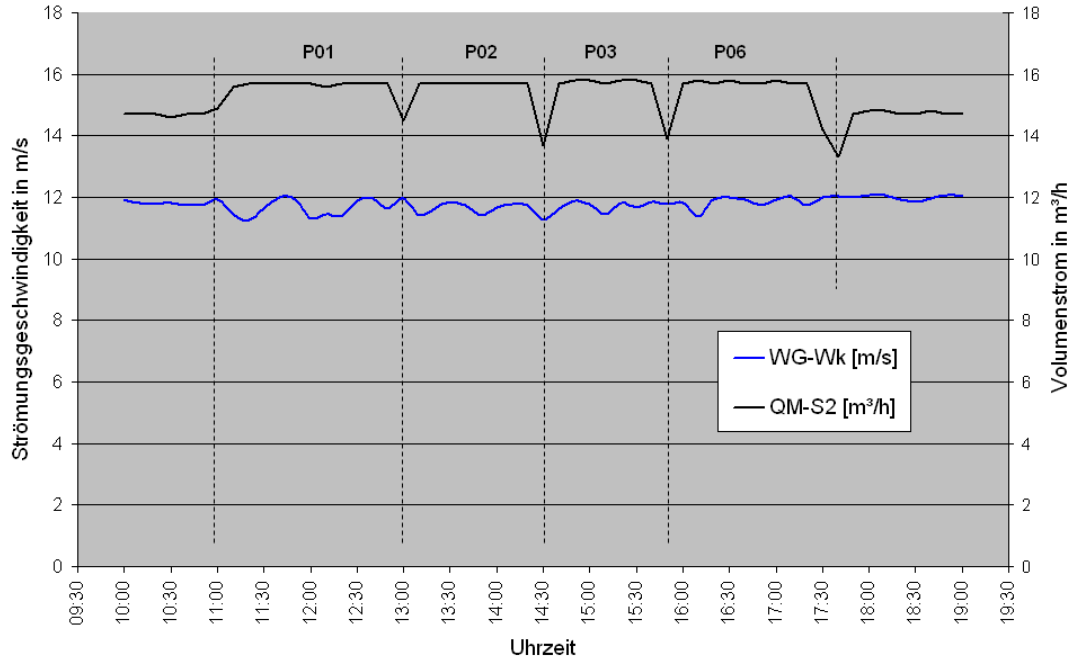


Abbildung 3: Von der Asse GmbH am 11.12.2012 ermittelte Strömungsgeschwindigkeit im Diffusor (**WG-Wk**) und dem Volumenstrom im Sammler (**QM-S2**).

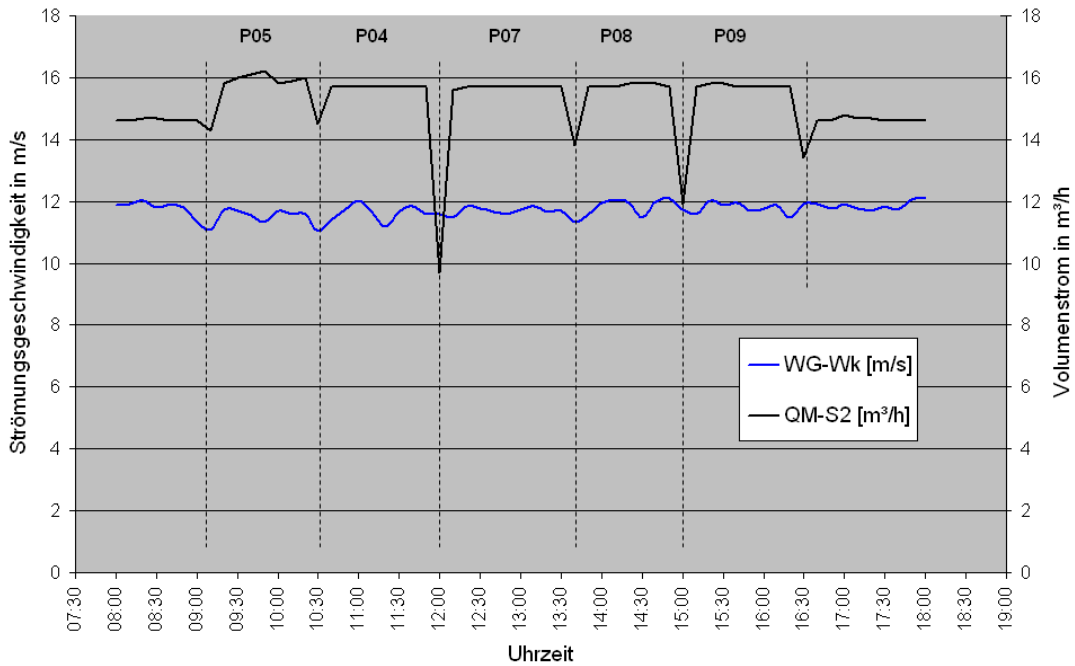



Abbildung 4: Von der Asse GmbH am 12.12.2012 ermittelte Strömungsgeschwindigkeit im Diffusor (**WG-Wk**) und dem Volumenstrom im Sammler (**QM-S2**).


 Bundesamt für Strahlenschutz				Bestimmung des Gesamtverlustfaktors für die Bilanzierung von an Schwebstoffen gebundenen Radionukliden im Abwetter der Schachanlage Asse II			
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 14 von 26 Stand: 2013-07-05	
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	65131200	LQ	RB	0005	00		

Für die neun durchgeführten Versuche ergeben sich gemäß **Gleichung 1** die in **Tabelle 2** dargestellten Gesamtverlustfaktoren für Masse ($GVM_{p,a}$).

Tabelle 2: Ermittelte Gesamtverlustfaktoren für Masse für die einzelnen Aufgabepositionen.

Gesamtverlustfaktor für Masse									
Aerosol	Aufgabeposition der Aerosolpartikel								
	P01	P02	P03	P04	P05	P06	P07	P08	P09
TiO₂	1,6	1,1	1,1	1,1	1,2	1,2	1,1	1,0	1,1
SrTiO₃	3,6	1,8	2,1	2,1	1,2	1,6	2,0	2,8	1,8
Mo₂C	31	*	40	16	8	39	31	*	7

*: Molybdän-carbid konnte auf dem Schwebstofffilter nicht nachgewiesen werden

 Bundesamt für Strahlenschutz				Bestimmung des Gesamtverlustfaktors für die Bilanzierung von an Schwebstoffen gebundenen Radionukliden im Abwetter der Schachanlage Asse II			
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 15 von 26	
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	65131200	LQ	RB	0005	00		Stand: 2013-07-05

5 BERECHNUNG DER GESAMTVERLUSTFAKTOREN FÜR MASSE GVM_A

Da aufgrund der Luftführung im Abwetterkanal im Bereich der Aufgabebene unterschiedliche Strömungsgeschwindigkeiten zu erwarten waren, wurde das entsprechende Profil am 11.12.2012 mit einem thermischen Handanemometer der Firma TSI charakterisiert. Die Ergebnisse dieser Messungen sind in Abbildung 5 dargestellt sowie in **Tabelle 3** dokumentiert. Es zeigt sich eine ungleiche Verteilung der Strömungsgeschwindigkeiten über den Kanalquerschnitt mit einem maximalen Wert von $12,1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ auf der entgegen der Strömungsrichtung gesehenen linken Seite und einem minimalen Wert von $1,6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

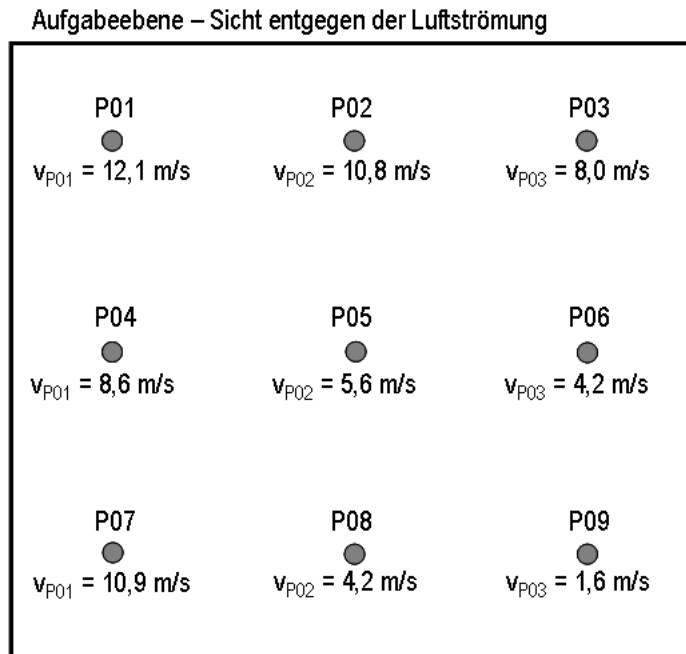


Abbildung 5: Ermittelte Strömungsgeschwindigkeiten in der Aufgabebene der Aerosolpartikel; Sicht entgegen der Strömungsrichtung.


 Bundesamt für Strahlenschutz				Bestimmung des Gesamtverlustfaktors für die Bilanzierung von an Schwebstoffen gebundenen Radionukliden im Abwetter der Schachanlage Asse II					
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.				Seite: 16 von 26
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN				
9A	65131200	LQ	RB	0005	00				Stand: 2013-07-05

Tabelle 3: Strömungsgeschwindigkeiten und Anteile an der Gesamtströmung in der Aufgabebene.

	P01	P02	P03	P04	P05	P06	P07	P08	P09
Strömungs- geschwindig- keit in m/s	12,1	10,8	8,0	8,6	5,6	4,2	10,9	4,2	1,6
Strömungs- anteil	0,183	0,164	0,121	0,130	0,085	0,064	0,165	0,064	0,024

Unter Berücksichtigung aller neun Aufgabepositionen **p** sowie der in **Tabelle 3** angegebenen Strömungsanteile ergeben sich gemäß **Gleichung 2** die in **Tabelle 4** angegebenen Gesamtverlustfaktoren für Masse **GVM_a**. Die in **Tabelle 4** dokumentierten Unsicherheiten sind mit einem Vertrauensniveau von 95 Prozent angegeben.

$$GVM_a = \frac{1}{\sum S_p \cdot \frac{1}{GVM_{p,a}}} \quad \text{Gleichung 2}$$

mit


GVM_a Gesamtverlustfaktor für die Partikelart **a**

S_p Strömungsanteil am Aufgabepunkt **p**

GVM_{p,a} Gesamtverlustfaktor für den Aufgabepunkt **p** und die Partikelart **a**

Tabelle 4: Massebezogene Gesamtverlustfaktoren GVM_a.

Aerosolpartikel	GVM _a
TiO ₂	1,2 ± 0,2
SrTiO ₃	2,0 ± 0,3
Mo ₂ C	26 ± 13

 Bundesamt für Strahlenschutz				Bestimmung des Gesamtverlustfaktors für die Bilanzierung von an Schwebstoffen gebundenen Radionukliden im Abwetter der Schachtanlage Asse II			
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 17 von 26	
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	65131200	LQ	RB	0005	00	Stand: 2013-07-05	

6 BERECHNUNG DES GESAMTVERLUSTFAKTORS FÜR AKTIVITÄT GVA

In die Berechnung des Gesamtverlustfaktors für Aktivität (**GVA**) gehen neben den drei in **Abschnitt 5** dargestellten Gesamtverlustfaktoren für Masse **GVM_a** zwei weitere Einflussgrößen ein:

- die reale Größenverteilung von Schwebstoffen im Abwetter
- die Abhängigkeit der Aktivitätskonzentration von der Partikelgröße

Die reale Größenverteilung der Schwebstoffe im Abwetter der Asse wurde im November 2010 mittels Impaktormessungen vom Bundesamt für Strahlenschutz charakterisiert [STA10]. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in **Tabelle 5** zusammengestellt und werden im Folgenden der Berechnung des Gesamtverlustfaktors für Aktivität zu Grunde gelegt.


Tabelle 5: Prozentuale Massenanteile von Aerosolpartikeln als Funktion des aerodynamischen Durchmessers im Abweterschacht Asse II vom November 2010.

aerodynamischer Durchmesser in µm	Anteil in %
< 2,05	27,3
2,05 - 5,90	37,4
> 5,90	35,3

Die spezifische Aktivität wurde als unabhängig von der Partikelgröße angenommen. Dieses Szenario erscheint den Verfassern vor dem Hintergrund möglicher Emissionsszenarien für die in der Asse eingelagerten Radionuklide realitätsnah und liefert einen Gesamtverlustfaktor für Aktivität von

$$GVA = \frac{1}{(0,273 \cdot \frac{1}{1,2}) + (0,374 \cdot \frac{1}{2,0}) + (0,353 \cdot \frac{1}{25,9})} = 2,3 \pm 0,3$$


Gleichung 3

 Bundesamt für Strahlenschutz				Bestimmung des Gesamtverlustfaktors für die Bilanzierung von an Schwebstoffen gebundenen Radionukliden im Abwetter der Schachanlage Asse II			
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 18 von 26	
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	65131200	LQ	RB	0005	00	Stand: 2013-07-05	

Die angegebenen Unsicherheiten sind mit einem Vertrauensniveau von 95 Prozent angegeben. Unsicherheiten der gemäß **Tabelle 5** in die Berechnung eingeflossenen Massenanteile – wie sie beispielsweise durch unterschiedliche Tätigkeiten in der Anlage bedingt sein können – konnten quantitativ nicht abgeschätzt werden und wurden daher bei der Ermittlung der Gesamtunsicherheit nicht berücksichtigt.

Für Tochternuklide des Elements Radon (Rn-222, Rn-220) sollte nach Ansicht der Verfasser nicht der oben angegebene Gesamtverlustfaktor von 2,3 verwendet werden. Eine Untersuchung des Bundesamtes für Strahlenschutz aus dem Jahr 2010 [STA10] hat gezeigt, dass sich die Radontochternuklide (wie z.B. Pb-214, Bi-214, Pb-210, Po-210) nahezu ausschließlich auf sehr kleinen Partikeln anlagern. Basierend auf der im Jahr 2010 ermittelten Aktivitätsverteilung von Radontochternukliden auf Schwebstoffen ergibt sich ein Gesamtverlustfaktor von

$$GVA = \frac{1}{(0,858 \cdot \frac{1}{1,2}) + (0,122 \cdot \frac{1}{2,0}) + (0,020 \cdot \frac{1}{25,9})} = 1,3 \pm 0,2 \quad \text{Gleichung 4}$$

 Bundesamt für Strahlenschutz				Bestimmung des Gesamtverlustfaktors für die Bilanzierung von an Schwebstoffen gebundenen Radionukliden im Abwetter der Schachtanlage Asse II			
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 19 von 26 Stand: 2013-07-05	
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	65131200	LQ	RB	0005	00		

Anlage 1

PROBEENTNAHMESYSTEM AUF DER ASSE

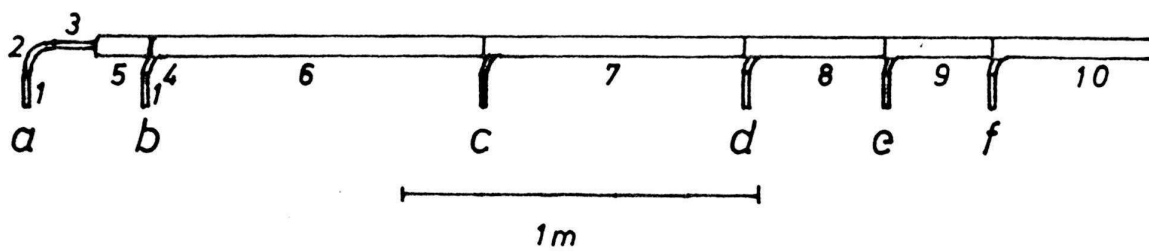


Abbildung A1: Schematische Darstellung des Probeentnahmerechens

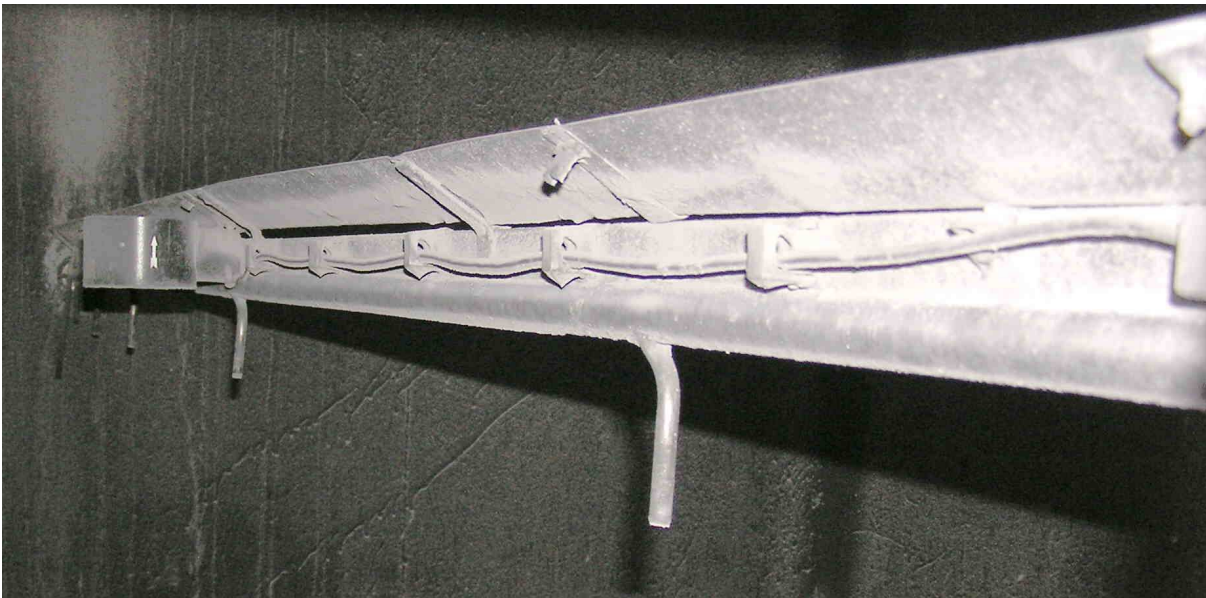


Abbildung A2: Ansicht des Probeentnahmerechens im Abwetterkamin



 Bundesamt für Strahlenschutz				Bestimmung des Gesamtverlustfaktors für die Bilanzierung von an Schwebstoffen gebundenen Radionukliden im Abwetter der Schachanlage Asse II			
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 20 von 26	
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	65131200	LQ	RB	0005	00	Stand: 2013-07-05	



Abbildung A3: Ansicht der Verbindung zwischen dem Probeentnahmerechen im Diffusor und der Aerosol-Sammeleinrichtung **QM-S2** im Messcontainer



Abbildung A4: Ansicht der Aerosol-Sammeleinrichtung **QM-S2** (links im Bild)

 Bundesamt für Strahlenschutz				Bestimmung des Gesamtverlustfaktors für die Bilanzierung von an Schwebstoffen gebundenen Radionukliden im Abwetter der Schachtanlage Asse II			
Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.	Seite: 21 von 26	
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	65131200	LQ	RB	0005	00		Stand: 2013-07-05

Anlage 2

Versuch GV 1	11. Dezember 2012	Aufgabe A: 10:52 Uhr
Position P01		Aufgabe B: 12:20 Uhr
Volumenstrom Kanal in $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ (Aufzeichnung Asse GmbH)		278.230
Volumenstrom Probenentnahme auf Schwebstofffilter in $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$		15,7
Pulvergemisch		TiO₂ / SrTiO₃ / Mo₂C Mischungsverhältnis: 10:1:1
	aufgegebene Masse in g	Rückwaage in g
Aufgabe A	46,2	2,2
Aufgabe B	42,9	2,3
Reste aus der Lanze		0,6

Versuch GV 2	11. Dezember 2012	Aufgabe A: 12:54 Uhr
Position P02		Aufgabe B: 14:22 Uhr
Volumenstrom Kanal in $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ (Aufzeichnung Asse GmbH)		278.230
Volumenstrom Probenentnahme auf Schwebstofffilter in $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$		15,7
Pulvergemisch		TiO₂ / SrTiO₃ / Mo₂C Mischungsverhältnis: 10:1:1
	aufgegebene Masse in g	Rückwaage in g
Aufgabe A	40,8	2,4
Aufgabe B	35,7	2,6
Reste aus der Lanze		1,3



Bundesamt für Strahlenschutz

**Bestimmung des Gesamtverlustfaktors
für die Bilanzierung von an Schwebstoffen
gebundenen Radionukliden im Abwetter der
Schachanlage Asse II**

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 22 von 26
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	65131200	LQ	RB	0005	00		Stand: 2013-07-05

Versuch GV 3	11. Dezember 2012	Aufgabe A: 14:35 Uhr
Position P03		Aufgabe B: 15:40 Uhr
Volumenstrom Kanal in $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ (Aufzeichnung Asse GmbH)		278.230
Volumenstrom Probenentnahme auf Schwebstofffilter in $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$		15,8
Pulvergemisch		TiO₂ / SrTiO₃ / Mo₂C Mischungsverhältnis: 10:1:1
	aufgegebene Masse in g	Rückwaage in g
Aufgabe A	43,0	2,3
Aufgabe B	42,2	2,6
Reste aus der Lanze		0,7

Versuch GV 4	11. Dezember 2012	Aufgabe A: 16:05 Uhr
Position P06		Aufgabe B: 17:10 Uhr
Volumenstrom Kanal in $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ (Aufzeichnung Asse GmbH)		278.230
Volumenstrom Probenentnahme auf Schwebstofffilter in $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$		15,7
Pulvergemisch		TiO₂ / SrTiO₃ / Mo₂C Mischungsverhältnis: 10:1:1
	aufgegebene Masse in g	Rückwaage in g
Aufgabe A	46,0	2,5
Aufgabe B	38,2	2,4
Reste aus der Lanze		1,5



Bundesamt für Strahlenschutz

**Bestimmung des Gesamtverlustfaktors
für die Bilanzierung von an Schwebstoffen
gebundenen Radionukliden im Abwetter der
Schachanlage Asse II**

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 23 von 26
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	65131200	LQ	RB	0005	00		Stand: 2013-07-05

Versuch GV 5	12. Dezember 2012	Aufgabe A: 09:12 Uhr
Position P05		Aufgabe B: 10:20 Uhr
Volumenstrom Kanal in $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ (Aufzeichnung Asse GmbH)		276.900
Volumenstrom Probenentnahme auf Schwebstofffilter in $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$		16,0
Pulvergemisch		TiO₂ / SrTiO₃ / Mo₂C Mischungsverhältnis: 10:1:1
	aufgegebene Masse in g	Rückwaage in g
Aufgabe A	38,5	1,6
Aufgabe B	44,4	1,7
Reste aus der Lanze		0,8

Versuch GV 6	12. Dezember 2012	Aufgabe A: 10:30 Uhr
Position P04		Aufgabe B: 11:50 Uhr
Volumenstrom Kanal in $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ (Aufzeichnung Asse GmbH)		276.900
Volumenstrom Probenentnahme auf Schwebstofffilter in $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$		15,7
Pulvergemisch		TiO₂ / SrTiO₃ / Mo₂C Mischungsverhältnis: 10:1:1
	aufgegebene Masse in g	Rückwaage in g
Aufgabe A	44,2	2,4
Aufgabe B	42,3	2,4
Reste aus der Lanze		1,4



Bundesamt für Strahlenschutz

**Bestimmung des Gesamtverlustfaktors
für die Bilanzierung von an Schwebstoffen
gebundenen Radionukliden im Abwetter der
Schachanlage Asse II**

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 24 von 26
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 2013-07-05
9A	65131200	LQ	RB	0005	00		

Versuch GV 7	12. Dezember 2012	Aufgabe A: 12:05 Uhr
Position P07		Aufgabe B: 13:13 Uhr
Volumenstrom Kanal in $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ (Aufzeichnung Asse GmbH)		276.900
Volumenstrom Probenentnahme auf Schwebstofffilter in $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$		15,7
Pulvergemisch		TiO₂ / SrTiO₃ / Mo₂C Mischungsverhältnis: 10:1:1
	aufgegebene Masse in g	Rückwaage in g
Aufgabe A	45	2,2
Aufgabe B	41	2,3
Reste aus der Lanze		6,7

Versuch GV 8	12. Dezember 2012	Aufgabe A: 13:44 Uhr
Position P08		Aufgabe B: 14:50 Uhr
Volumenstrom Kanal in $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ (Aufzeichnung Asse GmbH)		276.900
Volumenstrom Probenentnahme auf Schwebstofffilter in $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$		15,7
Pulvergemisch		TiO₂ / SrTiO₃ / Mo₂C Mischungsverhältnis: 10:1:1
	aufgegebene Masse in g	Rückwaage in g
Aufgabe A	42,8	2,2
Aufgabe B	42,9	2,3
Reste aus der Lanze		9,2



Bundesamt für Strahlenschutz

**Bestimmung des Gesamtverlustfaktors
für die Bilanzierung von an Schwebstoffen
gebundenen Radionukliden im Abwetter der
Schachtanlage Asse II**

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 25 von 26
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		
9A	65131200	LQ	RB	0005	00		Stand: 2013-07-05

Versuch GV 9	12. Dezember 2012	Aufgabe A: 15:08 Uhr
Position P09		Aufgabe B: 16:12 Uhr
Volumenstrom Kanal in $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ (Aufzeichnung Asse GmbH)		276.900
Volumenstrom Probenentnahme auf Schwebstofffilter in $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$		15,7
Pulvergemisch		TiO₂ / SrTiO₃ / Mo₂C Mischungsverhältnis: 10:1:1
	aufgegebene Masse in g	Rückwaage in g
Aufgabe A	45,5	2,3
Aufgabe B	40,5	2,4
Reste aus der Lanze		6,3



Bundesamt für Strahlenschutz

**Bestimmung des Gesamtverlustfaktors
für die Bilanzierung von an Schwebstoffen
gebundenen Radionukliden im Abwetter der
Schachtanlage Asse II**

Projekt	PSP-Element	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.		Seite: 26 von 26
NAAN	NNNNNNNNNN	AAAA	AA	NNNN	NN		Stand: 2013-07-05
9A	65131200	LQ	RB	0005	00		

Versuch GV 0	13. Dezember 2012	Aufgabe A: 08:13 Uhr
Blindfilter		Aufgabe B: 09:30 Uhr
Volumenstrom Kanal in $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ (Aufzeichnung Asse GmbH)		271.000
Volumenstrom Probenentnahme auf Schwebstofffilter in $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$		15,8
Pulvergemisch		-
	aufgegebene Masse in g	Rückwaage in g
Aufgabe A	-	-
Aufgabe B	-	-
Reste aus der Lanze		-