

BIA-Report 9/95

Gefahrstoffe
beim Funkenerodieren
(Senkerodieren)

Messungen, Beurteilungen,
Schutzmaßnahmen



HVBG

Hauptverband der
gewerblichen
Berufsgenossenschaften

Verfasser: W. Pfeiffer, C. Schenk, R. Stockmann, G. Willert

Berufsgenossenschaftliches Institut für
Arbeitssicherheit – BIA des HVBG

Herausgeber: Hauptverband der gewerblichen

Berufsgenossenschaften (HVBG)

Alte Heerstraße 111

53754 Sankt Augustin

Telefon: 0 22 41 / 2 31 - 01

Telefax: 0 22 41 / 2 31 - 3 33

— Oktober 1995 —

Gesamtherstellung: Druckerei Plump KG, Rheinbreitbach

ISBN: 3-88383-383-5

ISSN: 0173-0387

Das funkenerosive Senken ermöglicht räumlich komplizierte Formgebung und die Bearbeitung schwer zerspanbarer Materialien; es gehört zu den elektrothermischen Abtragsverfahren.

Beim Senkerodieren können Gefahrstoffe in die Luft am Arbeitsplatz gelangen, die aus dem Werkstück, dem Werkzeug sowie aus den Inhaltsstoffen und Reaktionsprodukten des Dielektrikums stammen können.

In einer Untersuchungsreihe wurden vom Berufsgenossenschaftlichen Institut für Arbeitssicherheit – BIA Gefahrstoffmessungen an Senkerodieranlagen durchgeführt. Dieser Report stellt die Ergebnisse der Messungen vor und gibt Empfehlungen zur Beurteilung der Exposition an Senkerosionsarbeitsplätzen sowie Hinweise zu Schutzmaßnahmen.

Cavity sinking by electrical discharge, an electrothermal cutting process, enables sophisticated, three-dimensional shaping and the machining of materials which are not otherwise easily cut.

Cavity sinking by EDM can however cause hazardous substances from the machined part, the tool or from the substances or reaction products contained in the insulator to be discharged into the atmosphere of the workstation.

During a series of experiments the BIA (Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitssicherheit) carried out measurements of the hazardous substances in cavity sinking equipment. This report presents the results of these measurements and provides recommendations for assessing exposure at work stations used for cavity sinking. It also contains advice on safety measures.

Résumé

Leamage par électro-érosion permet de réaliser des formes compliquées et de traiter des matériaux difficilement usinables; il fait partie des procédés d'enlèvement électrothermiques.

Lors duamage par électro-érosion, des substances dangereuses provenant de la pièce usinée, de l'outil, ainsi que des substances et des produits réactionnels contenus dans le diélectrique peuvent parvenir dans l'air du poste de travail.

Dans le cadre d'une série d'exams, l'institut pour la sécurité du travail des Berufsgenossenschaften (BIA) a effectué des mesures de substances dangereuses sur des installations deamage par électro-érosion. Ce rapport présente les résultats des mesures et donne des recommandations pour l'évaluation de l'exposition aux postes de travail deamage par électro-érosion, ainsi que des indications concernant les mesures de protection.

Resumen

El avellanado por electroerosión permite la realización de conformaciones difíciles y la elaboración de materiales difíciles de mecanizar por desprendimiento de viruta; es uno de los procedimientos electro-térmicos de erosión.

Por medio del procedimiento de avellanado por electroerosión pueden liberarse sustancias peligrosas en los respectivos puestos de trabajo, provenientes tanto de las piezas de trabajo como de las herramientas y también de las sustancias o de los productos de reacción del dieléctrico, intoxicando el aire en el respectivo puesto de trabajo.

En una serie de análisis, el instituto BIA – el instituto de las Berufsgenossenschaften para la seguridad laboral – procedió a la medición de sustancias peligrosas en las instalaciones de avellanado por electro-erosión. El presente informe presenta los resultados de las mediciones y brinda recomendaciones para la evaluación de las exposiciones en los puestos de trabajo relacionados con el avellanado por electro-erosión, indicando también correspondientes medidas de protección.

Inhaltsverzeichnis

1	Allgemeines	7
2	Verfahrensbeschreibung	9
2.1	Funktionsprinzip des Funkenerodierens	9
2.2	Funktionen des Dielektrikums	11
3	Gefahrstoffe beim Funkenerodieren	13
3.1	Gefahrstoffe aus dem Werkzeugmaterial	13
3.2	Gefahrstoffe aus dem Werkstückmaterial	13
3.3	Gefahrstoffe aus dem Dielektrikum	13
4	Beurteilung der Exposition	15
4.1	Emissionen anorganischer Stoffe	15
4.2	Emissionen organischer Stoffe	16
4.3	Kohlenstoff	18
4.4	Empfehlungen	18
5	Betriebliche Messungen	21
5.1	Probenahmeorte	21
5.2	Meßergebnisse	22
6	Schutzmaßnahmen, Maßnahmen zur Expositions-minderung	27
6.1	Auswahl der Materialien	27
6.2	Lufttechnische Maßnahmen	27
6.3	Umgangsvorschriften, weitere Maßnahmen	30
7	Literaturverzeichnis	31
	Anhang: Tabellen	33

1 Allgemeines

Das funkenerosive Senken zählt zu den elektroerosiven Bearbeitungsverfahren, mit denen räumlich komplizierte Formgebung auch bei schwer zerspanbaren Materialien ermöglicht wird. Die Bearbeitung findet in einem Flüssigkeitsbad statt, das als Dielektrikum dient. Beim Senkerodieren basieren die Dielektrikumsflüssigkeiten im allgemeinen auf Mineralölen und synthetischen Kohlenwasserstoffen.

Aufgrund der hohen Temperaturen beim Funkenerodieren können Gefahrstoffe in die Luft am Arbeitsplatz gelangen, die aus dem Werkstück, dem Werkzeug sowie aus den Inhaltsstoffen und Reaktions-

produkten des Dielektrikums stammen können.

Im Rahmen einer Untersuchungsreihe zur Beurteilung der freigesetzten Gefahrstoffe beim Funkenerodieren wurden vom Berufsgenossenschaftlichen Institut für Arbeitssicherheit – BIA in mehreren Betrieben Gefahrstoffmessungen durchgeführt. Der vorliegende Report stellt die Ergebnisse der Untersuchungen vor und gibt Hinweise auf Schutzmaßnahmen.

Darüber hinaus können ergänzende Hinweise und Angaben zu den Schutzmaßnahmen auch aus dem BIA-Report 6/95 „Kühlschmierstoffe“ [1] entnommen werden.

2 Verfahrensbeschreibung

Die funkenerosive Abtragung wird bei der Formgebung schwer zu bearbeitender Werkzeugstähle und bei Hartmetallen ebenso eingesetzt wie bei der Fertigung von komplizierten Raumformen, die durch eine spanende Bearbeitung nicht herzustellen sind.

2.1 Funktionsprinzip des Funkenerodierens

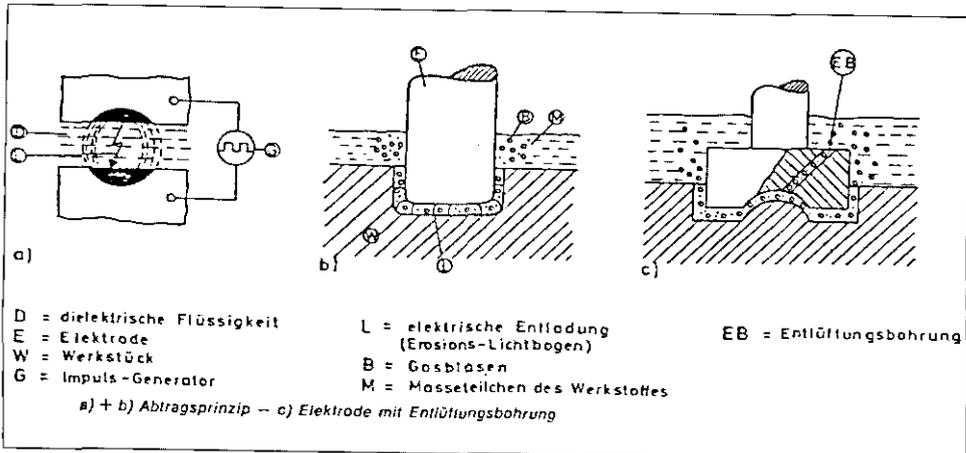
Das Prinzip der Funkenerosion beruht auf dem physikalischen Phänomen, daß bei der Entstehung eines Funkens zwischen zwei Elektroden Teile des Elektrodenmaterials schmelzen und verdampfen. Bei Erosionsanlagen bildet das Werkstück die eine, das Werkzeug die andere Elektrode.

Die Werkzeugelektrode (meist nur als Elektrode bezeichnet) entspricht geometrisch dem gewünschten Abtrag (Negativmodell des Werkstückes).

Die Bearbeitung des Werkstückes findet in einem Flüssigkeitsbad, dem Dielektrikum statt (siehe Abschnitt 2.2). Werkstück und Werkzeug werden in der Erodiermaschine so angebracht, daß zwischen ihnen ein geringer Abstand (ca. 0,005 bis 0,5 mm) verbleibt. Dieser sogenannte Funkenspalt ist mit der isolierenden Dielektrikumsflüssigkeit gefüllt.

Beim Anlegen einer ausreichend hohen Spannung bildet sich aufgrund der dann entstehenden Funkenentladung ein energie-

Abbildung 1:
Funktionsprinzip der funkenerosiven Bearbeitung [2]



2 Verfahrensbeschreibung

reicher Entladekanal (Plasmakanal) zwischen Werkzeug- und Werkstückelektrode. Aufgrund der hohen thermischen Energie wird je nach Einwirkdauer und Größe dieses Entladekanals ein bestimmtes Werkstoffvolumen geschmolzen, und zwar auf dem Werkstück deutlich mehr als auf dem Werkzeug.

Durch Abschalten der Spannung bricht der Entladungskanal zusammen, und der

größte Teil des abgeschmolzenen Materials wird in den Spalt geschleudert, von wo es durch das strömende Dielektrikum abtransportiert wird.

Während der Bearbeitung liegt an den Elektroden eine pulsierende Gleichspannung an. Die Werkzeugelektrode wird dem Abtrag entsprechend nachgeführt, so daß der Erodierspalt immer eine optimale Größe hat.

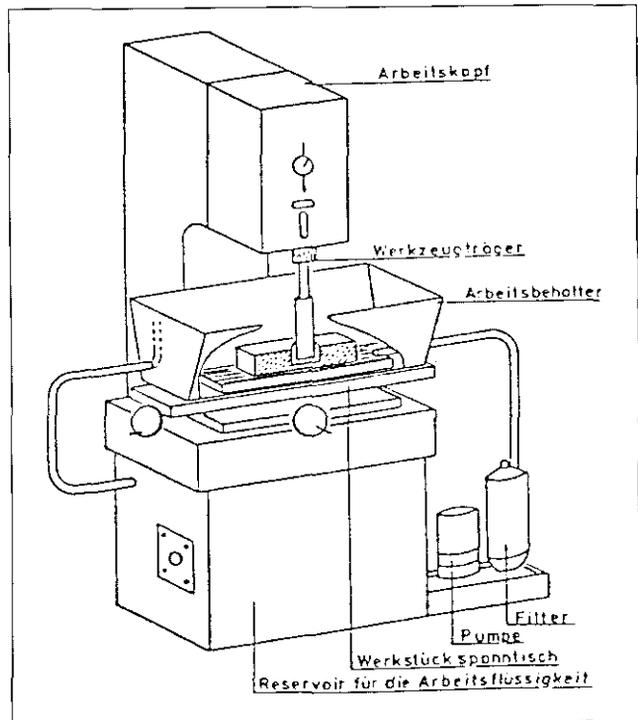


Abbildung 2:
Ohne Absaugung dargestellter
mechanischer Teil einer Funken-
erosionsmaschine [2]

Je nach Einstellungsparametern (Stromstärke, Impulsdauer etc.) erzielt man unterschiedliche Abtragsraten und Oberflächenrauheiten, so daß man im allgemeinen zwischen den Arbeitsverfahren Schruppen, Schlichten und Feinschlichten/Polieren differenziert (Tabelle 1).

Auf die verschiedenen Fertigungsparameter, die beim Funkenerodieren in der betrieblichen Praxis eine Rolle spielen (z. B. Polarität, Entladestrom, Impulsdauer und -abstand) wird hier nicht näher eingegangen.

2.2 Funktionen des Dielektrikums

Wesentliche Aufgabe des Dielektrikums ist es, die Elektroden so gegeneinander zu isolieren, daß der Durchschlag nur bei geringem Elektrodenabstand ohne Sauerstoffzutritt stattfindet. Daneben muß das Dielektrikum den Entladekanal einschnüren, damit eine hohe Energiedichte erreicht wird und die Verlustwärme durch Wärmeleitung in

Werkstück und Werkzeug verringert wird. Hieraus resultiert ein hoher Wirkungsgrad der Entladung und somit eine erhöhte Abtragsleistung.

Außerdem muß das Dielektrikum leicht ionisierbar sein, da über ein gut ionisierbares Medium durch geringe Zündverzögerung eine hohe Funkenausbeute, d. h. ein hoher Wirkungsgrad ermöglicht wird. Nach dem Abschalten der Spannung muß eine schnelle Entionisation erfolgen, damit sich hohe Abtragsraten und ein geringer relativer Verschleiß ergeben.

Eine weitere wichtige Aufgabe des Dielektrikums ist die Kühlung der Werkzeugelektrode und des Werkstückes, um eine thermische Überlastung und daraus resultierende Gefügeschäden zu vermeiden. Da die elektrische Energie während der Entladung in Wärme umgesetzt wird, muß diese durch ausreichende Spülung aus dem Arbeitspalt abgeführt werden. Zu geringe Spülmengen würden eine zu starke Erhitzung

Tabelle 1:
Spezifische Abtragsrate und relativer Elektrodenverschleiß beim Schruppen, Schlichten und Feinschlichten/Polieren

	spezifische Abtragsrate [mm ³ /(A · min)]	relativer Elektrodenverschleiß [%]
Schruppen	4,5 - 9,0	0,2 - 0,01
Schlichten	0,3 - 4,5	2,4 - 0,2
Feinschlichten/ Polieren	< 0,1 - 0,3	> 15 - 2,4

2 Verfahrensbeschreibung

des Dielektrikums verursachen und somit einer verstärkten Dampf- und Gasbildung Vorschub leisten.

Das im Umlauf geführte Dielektrikum muß den Abtransport der Erosionspartikeln gewährleisten. Die Partikeln werden anschlie-

ßend über eine Filteranlage aus der Dielektrikumsflüssigkeit herausgefiltert.

Als Dielektrikumsflüssigkeiten können je nach Anwendungsfall entionisiertes Wasser, Mineralölprodukte oder synthetische Produkte eingesetzt werden.

3 Gefahrstoffe beim Funkenerodieren

Gefahrstoffquellen im Arbeitsbereich Funkenerodieren können das Werkstückmaterial, das Elektrodenmaterial und das Dielektrikum sein.

3.1 Gefahrstoffe aus dem Werkzeugmaterial

Um einen wirtschaftlichen Einsatz zu gewährleisten, muß das Werkzeugmaterial gute thermische und elektrische Leitfähigkeit und einen hohen Schmelzpunkt haben, so daß der Verschleiß der Elektrode möglichst gering ist.

In der Praxis beschränkt sich daher das Elektrodenmaterial im wesentlichen auf Elektrolytkupfer und Graphit. Graphit wird vorwiegend für große Werkzeugelektroden verwendet. Mit Kupferelektroden können dagegen hohe Oberflächengüten erreicht werden.

Durch Verdampfen von Elektrodenmaterial sind somit Kupferrauch sowie Kohlenstoffemissionen denkbar.

3.2 Gefahrstoffe aus dem Werkstückmaterial

Alle elektrisch leitenden Werkstoffe sind funkenerosiv bearbeitbar. Für einzelne Inhaltsstoffe dieser Werkstoffe existieren Grenzwerte für die Konzentration in der

Luft am Arbeitsplatz. Deren Einhaltung muß in jedem Einzelfall gewährleistet sein.

3.3 Gefahrstoffe aus dem Dielektrikum

Beim Senkerodieren werden nur Kohlenwasserstoffverbindungen eingesetzt.

Ausgangsprodukt ist zum einen Rohöl. Die Grundbausteine sind Kohlenstoffverbindungen, deren unterschiedliche Mengenverhältnisse die Eigenschaften des Dielektrikums bestimmen. Gute Erodierflüssigkeiten zeichnen sich durch einen hohen Reinheitsgrad mit sehr niedrigem Aromatengehalt aus.

Zum anderen können Dielektrika synthetisch aus Gasen im Syntheseofen unter Anwendung eines Katalysators hergestellt werden. Synthetische Dielektrikumsflüssigkeiten sind den Mineralölprodukten in der Regel überlegen, da sie einen sehr hohen Reinheitsgrad aufweisen und genau aus den Kohlenwasserstoffketten aufgebaut werden können, die ein optimales Abtrags- und Verschleißverhalten ergeben.

Der überwiegende Teil der Dielektrikumsöle hat einen Flammpunkt von 90 bis 115 °C. Daneben werden vor allen Dingen für sehr feine Arbeiten auch Dielektrikumsöle eingesetzt, deren Flammpunkt unter 90 °C liegt. Dann sind allerdings besondere Schutzmaßnahmen hinsichtlich des Brandschutzes erforderlich.

3 Gefahrstoffe beim Funkenerodieren

Emissionen können vorwiegend durch Verdampfen von Dielektrikumsölen auftreten. Aufgrund der örtlich sehr hohen Temperatur (der Funke kann mit einigen tausend Grad Celsius auf das Werkstück auftreffen) können die Kohlenwasserstoffverbindungen thermisch zersetzt werden, so daß mit der

Emission thermischer Zersetzungsprodukte gerechnet werden kann.

Daneben sind auch noch Reaktionsprodukte denkbar, die sich im Laufe der Bearbeitung gebildet haben und die sich im Dielektrikum anreichern können.

4 Beurteilung der Exposition

Die Beurteilung der Exposition gegenüber Emissionen beim Funkenerodieren ist bei Anwendung der geltenden technischen Regeln angesichts des breiten Stoffspektrums schwierig. Hier besteht Bedarf an gesundheitsschutzorientierten und praxisgerechten Konventionen.

Die Emissionen beim Funkenerodieren können folgendermaßen eingeteilt werden:

- Emissionen anorganischer Stoffe (z. B. Metallrauche)
- Emissionen organischer Stoffe (z. B. Kohlenwasserstoffdämpfe sowie Aerosole)
- Kohlenstoff (z. B. Graphit, Ruß)

Hieraus ergibt sich folgender Ansatz für die Möglichkeiten der Beurteilungen der Exposition:

1. Für die Beurteilungen der Exposition anorganischer Stoffe werden die gültigen Grenzwerte [3] herangezogen.
2. Für Dielektrikumsflüssigkeiten existieren bisher keine Expositionsgrenzwerte, so daß eine einheitliche Beurteilungsbasis nicht gegeben ist.

Da es sich bei Dielektrikumsflüssigkeiten, ähnlich wie bei Kühlschmierstoffen, um Kohlenwasserstoffgemische handelt, könnte zur Beurteilung der Arbeitsplatzkonzentrationen ggf. das Beurteilungsverfahren für Kühlschmierstoffe berücksichtigt werden [4]. Je nach Dielektrikum ist ggf. auch eine Beurteilung nach TRGS 404 möglich [5].

Neben den Stoffen aus den Dielektrikumsflüssigkeiten können thermische Zersetzungsprodukte auftreten, die zusätzlich bei der Beurteilung der Exposition zu berücksichtigen sind.

3. Bei der Messung der Kohlenstoffexposition könnte das Meßverfahren für Dieselmotoremissionen (DME) [6], differenziert nach Gesamtkohlenstoff und organischem Kohlenstoff, angewendet werden.

Für eine praktikable Arbeitsplatzüberwachung scheint es unseres Erachtens nicht sinnvoll zu sein, die Expositionsbeurteilung nach Einzelstoffen durchzuführen, sondern es ist ebenso wie beim Umgang mit Gemischen aus Kohlenwasserstoffverbindungen eine Summenbetrachtung vorzunehmen.

4.1 Emissionen anorganischer Stoffe

Die Emissionen anorganischer Stoffe entstehen, wenn durch die hohe Temperatur bei der Funkenentladung die Metalle (Werkzeug, Werkstück) verdampfen. Bei der Rückkondensation dieser Metalle liegen diese dann in einer Partikelfraktion vor, die wie auch bei analogen Prozessen (z. B. thermisches Schneiden, Schweißen) sehr kleine Partikeldurchmesser aufweist. Zumindest teilweise findet auch eine Oxidation zu Metalloxiden statt, wenn nicht im Dielektrikum selbst, dann unmittelbar beim

4 Beurteilung der Exposition

Austritt aus dem Dielektrikum. Somit sind die Grenzwerte für Metallrauche sowie Metalloxidrauche zur Beurteilung heranzuziehen.

4.2 Emissionen organischer Stoffe

Die Emissionen organischer Stoffe entstehen zum größten Teil durch Verdampfen der Dielektrikumsflüssigkeit. Daneben können auch noch mit den aufsteigenden Rauchen organische Stoffkomponenten in flüssiger Form mitgerissen werden. Eine Beurteilung dieser Stoffe bereitet in den Fällen Probleme, bei denen keine exakt definierten Stoffe wie Benzol, Benzo[a]pyren etc. vorliegen, für die in der TRGS 900 [3] Grenzwerte festgelegt sind. Bei den Emissionen organischer Stoffe handelt es sich aber im wesentlichen um Gemische von Kohlenwasserstoffen.

Zur Beurteilung von Kohlenwasserstoffen existieren zum einen die TRGS 404 „Bewertung von Kohlenwasserstoffdämpfen in der Luft am Arbeitsplatz (nur kohlenstoff- und wasserstoffhaltig)“ [5] und zum anderen die BIA-Empfehlungen (vgl. BIA-Information Nr. 3/82 „Die Beurteilung von Mineralölkonzentrationen in der Luft am Arbeitsplatz“) [4].

Die TRGS 404 gilt für Dampfgemische von Kohlenwasserstoffen (in der Regel Lösemittel), die nebeneinander oder nacheinander während einer Schicht in der Luft am

Arbeitsplatz auftreten. Als Schichtmittelwerte sollen, in Abhängigkeit vom Gehalt an Aromaten und n-Hexan in den flüssigen Kohlenwasserstoffen, folgende Grenzwerte nicht überschritten werden:

Gruppe 1: 350 ml/m³
(entspricht 1658 mg/m³)*
entaromatisierte Kohlenwasserstoffgemische mit einem Gehalt an

aromatischen Kohlenwasserstoffen < 1 %

n-Hexan < 5 %

Gruppe 2: 200 ml/m³
(entspricht 948 mg/m³)*
aromatenarme Kohlenwasserstoffgemische mit einem Gehalt an

aromatischen Kohlenwasserstoffen 1 – 25 %

n-Hexan < 5 %

Gruppe 3: 50 ml/m³
(entspricht 237 mg/m³)*
aromatenreiche Kohlenwasserstoffgemische mit einem Gehalt an

aromatischen Kohlenwasserstoffen > 25 %

Gruppe 4: 50 ml/m³
(entspricht 237 mg/m³)*
sonstige Kohlenwasserstoffgemische mit einem Gehalt an

n-Hexan > 5 %

*) berechnet mit n-Octan als Bezugssubstanz

Anmerkung: Die auf Seite 16 genannten Werte gemäß TRGS 404 werden derzeit überarbeitet.

Zur Beurteilung von aliphatischen Kohlenwasserstoffen (Kühlschmierstoffe und ähnliche) werden derzeit noch die BIA-Empfehlungswerte [4] herangezogen:

aliphatische Kohlenwasserstoffe,
Aerosol 5 mg/m^3
(alte Bezeichnung: Mineralölaerosol)

aliphatische Kohlenwasserstoffe,
unspezifisch 20 mg/m^3
(alte Bezeichnung: Mineralöldampf und -aerosol)

Zur Beurteilung von Kohlenwasserstoffdämpfen und -aerosolen sind Grenzwerte in Vorbereitung. Die dazugehörigen Grenzwertbegründungspapiere werden Hinweise zur Anwendung der Grenzwerte enthalten. Dies gilt insbesondere für die Übergänge zu den Anwendungsfällen der TRGS 404, den Kühlschmierstoffen und den sonstigen Kohlenwasserstoffverbindungen.

Nach derzeitigem Diskussionsstand ist vorgesehen, daß bei den zukünftigen Regelungen eine Differenzierung nach dem Flammpunkt vorgenommen werden soll.

Bei der Anwendung dieser Regelung auf Dielektrikumsflüssigkeiten ergibt sich folgendes Problem:

Da es sich bei den Dielektrikumsflüssigkeiten im Ursprungszustand zumeist um entaromatisierte Kohlenwasserstoffgemische

mit einem n-Hexangehalt von $< 5 \%$ handelt, liegt zwischen der Bewertung nach der BIA-Empfehlung von 20 mg/m^3 Aerosol und Dampf und dem Grenzwert nach TRGS 404 von 350 ml/m^3 (entspricht 1658 mg/m^3 bezogen auf Octan) ein erheblicher Unterschied. Wenn zukünftig nur der Flammpunkt des eingesetzten Dielektrikums für die Konzentrationsbeurteilung (Grenzwert) entscheidend ist, bestehen in der Praxis Unsicherheiten, wenn Kohlenwasserstoffgemische mit Inhaltsstoffen unterschiedlicher Flammpunkttemperaturen vorliegen bzw. im Grenzbereich von 100°C liegen. Es sollten daher bei zukünftigen Regelungen klare Abgrenzungen vorgegeben werden.

Bedingt durch die hohe Temperatur im Entladungskanal und unter Beachtung der Standzeiten ist es nicht auszuschließen, daß aromatische oder andere Verbindungen gebildet werden könnten. Daher wäre auch die Anwendung des niedrigeren Grenzwertes nach TRGS 404 von 50 ml/m^3 (entspricht 237 mg/m^3 bezogen auf Octan) beim Funkenerodieren zu empfehlen, so daß für die Praxis folgender Vorschlag gemacht werden kann:

1. Bei Verwendung von Dielektrikumsölen mit einem Flammpunkt über oder gleich 100°C :

Anwendung des BIA-Empfehlungswertes von 20 mg/m^3 (Summenwert aus Aerosol und Dampfkonzentration) bzw. des Grenz-

4 Beurteilung der Exposition

wertes nach TRGS 900, falls ein solcher vorliegt.

2. Bei Verwendung von Dielektrikumsölen mit einem Flammpunkt unter 100 °C:

Anwendung des niedrigsten Grenzwertes nach TRGS 404 von 50 ml/m³ bzw. der Grenzwert nach der TRGS 900, falls ein solcher vorliegt.

4.3 Kohlenstoff

Neben den anorganischen Partikeln können unter Umständen auch Graphit oder Rußpartikeln emittiert werden. An diesen Partikeln sind organische Bestandteile unterschiedlicher Art und Menge adsorbiert. Es kann somit wie folgt differenziert werden:

1. Gesamtkohlenstoff (Total Carbon):

Graphit oder Rußpartikeln mit adsorbierten organischen Bestandteilen

2. Restkohlenstoff (Elemental Carbon):

Graphit oder Rußpartikeln ohne adsorbierte organische Bestandteile

Sowohl für Gesamtkohlenstoff wie auch für Restkohlenstoff existieren keine für den Arbeitsbereich „Funkenerodieren“ definierten Grenzwerte. Eine Anwendung des Grenzwertes für Dieselmotoremissionen (Gesamtkohlenstoff) ist nicht ohne weiteres möglich, da diese Emissionen aus motorischen Verbrennungsprozessen stammen

und nur für letztere der Nachweis der krebs-erzeugenden Wirkung geführt worden ist.

4.4 Empfehlungen

Aus den bisherigen Kenntnissen über Gefahrstoffkonzentrationen beim Funkenerodieren lassen sich folgende Empfehlungen für die

- meßtechnische Überwachung und die
- Beurteilung der Meßergebnisse abgeben.

Die meßtechnischen Untersuchungen haben gezeigt, daß in bestimmten Fällen die Emissionen beim Funkenerodieren gering sind und somit nicht mit erhöhten Expositionen zu rechnen ist. Es bietet sich daher an, für diese Fälle „verfahrens- und stoffspezifische Kriterien“ zu beschreiben, bei deren Vorliegen eine dauerhaft sichere Einhaltung der Grenzwerte unterstellt werden kann. Dabei ist sicherzustellen, daß auch für Stoffe, für die kein Grenzwert festgelegt ist, die Emission entsprechend dem Stand der Technik begrenzt bleibt. Eine Pflicht der meßtechnischen Überwachung könnte gegebenenfalls unter bestimmten Umständen entfallen (erfassungs- und lüftungstechnische Kriterien, verfahrensabhängig). Eine Festlegung dieser Kriterien hat noch zu erfolgen.

In allen anderen Fällen ist eine meßtechnische Überwachung notwendig. Für die Beurteilungen der Meßergebnisse werden folgende Vorschläge gemacht:

1. Liegt der Flammpunkt der Dielektrikumsflüssigkeit unter 100 °C, so ist der in der TRGS 404 genannte Grenzwert von

50 ml/m³ (237 mg/m³ berechnet mit n-Octan als Bezugssubstanz) heranzuziehen.

2. Liegt der Flammpunkt über oder gleich 100 °C, erfolgt die Beurteilung gemäß der BIA-Empfehlung [5] und später im Sinne der zukünftigen Regelungen.

5 Betriebliche Messungen

Das Berufsgenossenschaftliche Institut für Arbeitssicherheit – BIA hat in mehreren Betrieben Messungen beim Funkenrodieren durchgeführt. Die dabei berücksichtigten Gefahrstoffe wurden nach Literaturswertung [2, 7, 8] und unter Berücksichtigung der BIA-Datendokumentation MEGA ausgewählt (siehe auch BIA-Report 6/95).

Die verwendeten Probenahmeverfahren, Analysenverfahren und die derzeit gültigen Grenzwerte sind in Tabelle I im Anhang aufgeführt.

Zu jeder Meßserie wurden Materialproben des in Gebrauch befindlichen Dielektrikums gewonnen. Die Materialproben dienten zur Einstufung gemäß TRGS 404 und zur Kalibrierung für die Bestimmung der Konzentration der aliphatischen Kohlenwasserstoffe in den Luftproben. Außerdem wurden sie in einzelnen Fällen auf Benzol- und Benzo[*a*]pyren-Gehalt untersucht (vgl. Tabelle II im Anhang).

Da das Dielektrikum altern kann und je nach Werkstück- und Werkzeugmaterial diverse Verunreinigungen enthält, wurde bei mehreren Maschinen im Arbeitsbereich von jeder einzelnen eine gesonderte Materialprobe entnommen.

5.1 Probenahmeorte

Es wurde personengetragen (Expositionsermittlung), am Emissionsort, d. h. über der Badoberfläche (Abschätzung der Emis-

sion), und in der Raumluft (Grundbelastung) gemessen.

Personengetragene Probenahme

Zur Ermittlung der Exposition beim Funkenrodieren wurden personengetragene Probenahmesysteme eingesetzt. (siehe Abbildung 3 auf S. 22) Das Probenahmesystem wurde hierzu an einem Gurt befestigt, den die Person während der gesamten Meßzeit trägt. Mußte die Person den Arbeitsbereich verlassen, so wurde die Probenahme unterbrochen.

Aus Gründen des Meßverfahrens können bei einer personengetragenen Messung nur wenige Komponenten ermittelt werden. Die personengetragenen Messungen dieser Untersuchungsreihe beschränken sich daher auf aliphatische Kohlenwasserstoffe, Benzol und Kohlenwasserstoffgemische nach TRGS 404.

Emissionsmessungen (Messungen über der Badoberfläche)

Um eine Abschätzung der frei werdenden Gefahrstoffe vornehmen zu können, wurden Messungen am Emissionsort durchgeführt. Dazu wurde der Probenahmekopf über der Badoberfläche möglichst nahe am Bearbeitungszentrum positioniert (siehe Abbildung 4 auf S. 23). Bei den im Rahmen dieser Meßreihe durchgeführten Untersuchungen befand sich der Probenahmekopf ca. 15 bis 25 cm über der Badoberfläche.

5 Betriebliche Messungen

Raumluftmessungen

Nicht immer ist eine personengetragene Probenahme möglich. Deshalb wurde bei allen Meßreihen die Gefahrstoffkonzentration in der Raumluft (in ca. 2 bis 4 m Entfernung zu den Funkerosionsanlagen) ermittelt. Es ist davon auszugehen, daß die so ermittelten Werte unterhalb der Expositionskonzentrationen liegen und als Grundbelastung gesehen werden können.

5.2 Meßergebnisse

Insgesamt wurden bei dieser Untersuchungsreihe 315 Meßwerte gewonnen, davon 61 personengetragen, 151 über der Bodenoberfläche und 103 in der Raumluft. Die Verteilung der Messungen ist aus Tabelle 2 zu ersehen.

Eine detaillierte Auflistung der Ergebnisse findet sich in Tabelle III im Anhang.

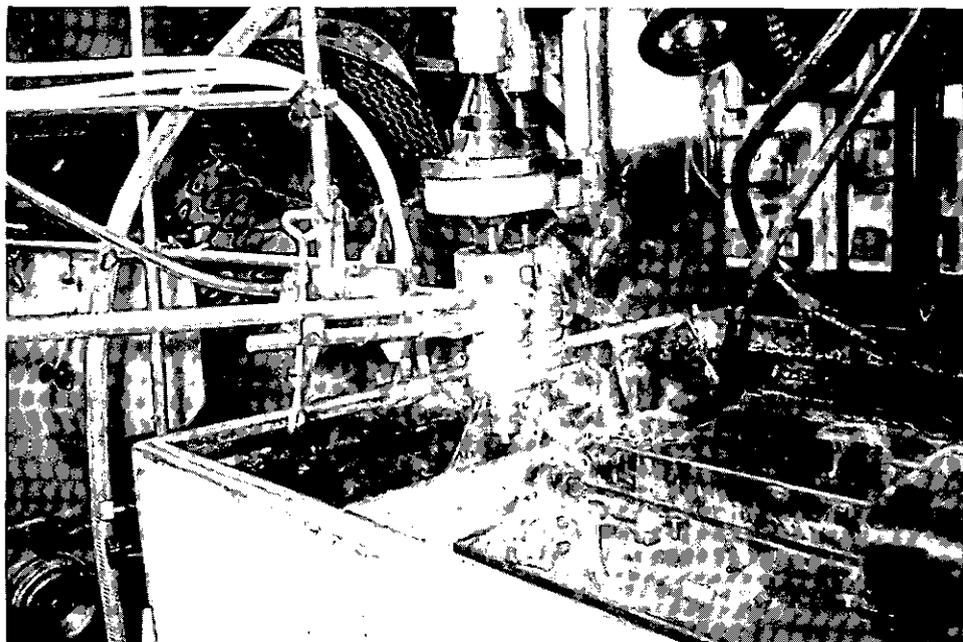


Abbildung 3:
Personengetragenes Probenahmesystem

Tabelle 2:
Zusammenstellung der Messungen

Stoff	Probenahmeort		
	personengetragen	Emission	Raumluft
aliphatische Kohlenwasserstoffe, Aerosol	20	30	29
aliphatische Kohlenwasserstoffe, unspezifisch	20	31	29
KW-Gemisch	16	24	12
Benzol	5	19	10
Feinstaub		18	8
Gesamtkohlenstoff		18	8
organischer Kohlenstoff		10	7
Benzo[a]pyren		1	

Abbildung 4:
Probenahme über der Badoberfläche (Feinstaub, Gesamtkohlenstoff, organischer Kohlenstoff)



5 Betriebliche Messungen

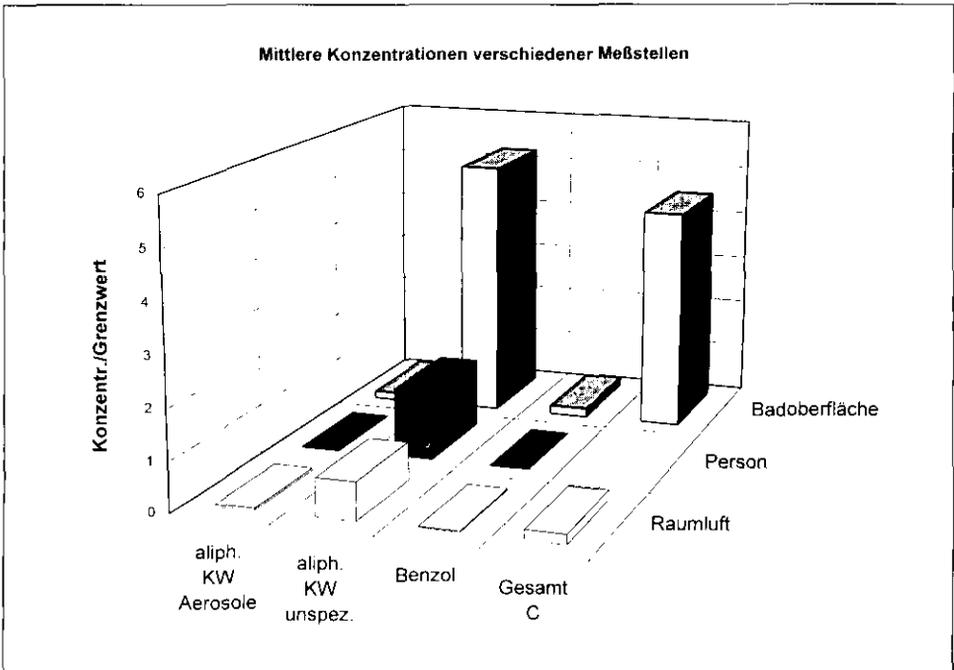
Erwartungsgemäß wurden nahe dem Emis-sionsort die höchsten Konzentrationen ge-messen. Die meisten personengetragen er-mittelten Werte lagen zwischen den Emis-sions- und den Raumluftwerten, näher an den Raumlufkonzentrationen.

Abbildung 5 zeigt sehr deutlich die Konzentrationsabnahme mit zunehmender Entfernung von der Badoberfläche. Die

Abbildung zeigt zugleich auch, daß an der Badoberfläche mit erhöhten Konzentra-tionen zu rechnen ist und es daher notwen-dig ist, diese Emissionen zu erfassen und abzuführen (vgl. Abschnitt 7.2).

Grenzwerte für Gefahrstoffe beziehen sich auf die Konzentration des Stoffes in der Luft am Arbeitsplatz. Ein direkter Vergleich mit den Grenzwerten ist bei den im Rahmen

Abbildung 5: Darstellung der Meßergebnisse aus den verschiedenen Probenahmeorten



dieses Meßprogrammes ermittelten Konzentrationen nur für die personengetragen ermittelten Meßwerte gegeben.

Bei den Meßwerten über der Badoberfläche handelt es sich nicht um Expositionskonzentrationen; ein direkter Vergleich mit den Grenzwerten ist daher im Prinzip nicht zulässig. Um einen Anhaltspunkt für die frei werdenden Konzentrationen zu haben, wurden in dieser Auswertung die Meßwerte dennoch den Grenzwerten gegenübergestellt. Sind die an der Badoberfläche gemessenen Konzentrationen unterhalb des Grenzwertes, so ist in der Regel nicht mit einer erhöhten Expositionskonzentration zu rechnen.

Auch die ermittelten Raumlufkonzentrationen sind nicht generell mit den Grenzwerten zu vergleichen. Um eine Einschätzung der gemessenen Raumlufkonzentrationen vornehmen zu können, wurden die Meßwerte dennoch den Grenzwerten gegenübergestellt.

Aliphatische Kohlenwasserstoffe, Aerosol

Der BIA-Empfehlungswert von 5 mg/m^3 wird in keinem der Fälle überschritten.

Bei der personengetragenen Messung lagen bis auf eine Ausnahme (Meßwert $0,27 \text{ mg/m}^3$) alle Konzentrationen unterhalb der Bestimmungsgrenze von $0,25$ bzw. $0,27 \text{ mg/m}^3$.

Die Konzentrationen über der Badoberfläche waren bei 20 von 30 Proben (67 %) unterhalb der Bestimmungsgrenze von $0,25 \text{ mg/m}^3$. Der vom BIA empfohlene Richtwert wurde bei keiner Probe überschritten.

In der Raumluf lag die Konzentration bei 18 von 29 Proben (62 %) unterhalb der Bestimmungsgrenze von $0,25 \text{ mg/m}^3$. Die übrigen Werte waren mit maximal $0,68 \text{ mg/m}^3$ weit unterhalb des BIA-Empfehlungswertes von 5 mg/m^3 .

Aliphatische Kohlenwasserstoffe, unspezifisch (Summe Aerosol + Dampf)

Bei allen Proben waren nachweisbare Konzentrationen vorhanden.

Personengetragen wurden Konzentrationen von 2 bis 90 mg/m^3 gemessen. Elf der 20 Meßwerte (55 %) überschritten die vom BIA empfohlene Richtkonzentration von 20 mg/m^3 .

Die ermittelten Konzentrationen über der Badoberfläche überschritten in 25 von 31 Fällen (81 %) den Wert von 20 mg/m^3 . Die kleinste gemessene Konzentration betrug $9,8 \text{ mg/m}^3$, die höchste 458 mg/m^3 .

In der Raumluf wurden Konzentrationen zwischen $3,0$ und 84 mg/m^3 gemessen. Von 29 Meßwerten betrug sieben mehr als 20 mg/m^3 (24 %).

5 Betriebliche Messungen

Kohlenwasserstoffgemische nach TRGS 404

Von den 16 Werten der personenge-tragenen Messungen lagen acht unterhalb der Bestimmungsgrenze von $1,1 \text{ ml/m}^3$. Der niedrigste Grenzwert der TRGS 404 (für die Gruppen 3 und 4) von 50 mg/m^3 wurde bei keiner der Proben überschritten. Die höchste gemessene Konzentration lag bei 9 ml/m^3 .

Die Konzentration über der Badoberfläche lag bei neun von 24 Proben (37,5 %) unterhalb der Bestimmungsgrenze von $1,1$ bis 2 ml/m^3 . Zwei Meßwerte waren größer als 50 ml/m^3 , aber kleiner als 200 ml/m^3 (Grenzwert Gruppe 2 nach TRGS 404).

Von den zwölf Raumlufkonzentrationen waren acht unterhalb der Bestimmungsgrenze. Die nachweisbaren Konzentrationen lagen zwischen $1,3$ und $9,1 \text{ ml/m}^3$.

Benzol

Benzol konnte nur bei den Messungen oberhalb der Badoberfläche nachgewiesen werden. Dies war bei sieben von 19 Proben möglich; die Konzentrationen lagen mit $0,2$ bis $2,3 \text{ mg/m}^3$ unterhalb des TRK-Wertes von $3,2 \text{ mg/m}^3$.

Feinstaub, Gesamtkohlenstoff, organischer Kohlenstoff

Feinstaub, Gesamtkohlenstoff und organischer Kohlenstoff wurden nur stationär (über der Badoberfläche und in der Raumluf) gemessen.

Die ermittelten Feinstaubkonzentrationen über der Badoberfläche reichten von $0,03$ bis $20,75 \text{ mg/m}^3$. Vier von 18 Meßwerten lagen über 6 mg/m^3 (MAK-Wert). Die zugehörigen Gesamtkohlenstoffkonzentrationen lagen zwischen $0,04$ und $8,72 \text{ mg/m}^3$.

Die Feinstaubkonzentrationen in der Raumluf betragen zwischen $0,05$ und $0,13 \text{ mg/m}^3$, die Gesamtkohlenstoffkonzentrationen zwischen $0,02$ und $0,06 \text{ mg/m}^3$.

Bei allen Raumlufproben und bei zehn der Emissionsproben wurde zusätzlich der organische Kohlenstoffanteil bestimmt. Er betrug zwischen 20 und 50 % der Gesamtkohlenstoffkonzentration.

Benzo[a]pyren

Benzo[a]pyren wurde in einem Fall gemessen. Die Konzentration über der Badoberfläche lag mit $0,00051 \text{ mg/m}^3$ weit unter dem TRK-Wert von $0,002 \text{ mg/m}^3$.

6 Schutzmaßnahmen, Maßnahmen zur Expositionsminde- rung

Bezüglich der Schutzmaßnahmen wird ergänzend zu den nachfolgenden Angaben auf den BIA-Report 6/95: „Kühlschmier- stoffe“ [1] verwiesen, da eine Vielzahl der zu treffenden Schutzmaßnahmen auch für den Umgang mit Dielektrika gilt. Diese be- treffen im wesentlichen:

- Vermeiden der Entstehung von Gefahr- stoffen (Stoffauswahl, Stoffsubstitution usw.)
- Erfassung (Absaugung) der Emissionen
- Hautpflege und Hautschutz
- Pflege der Dielektrika und der Umlaufsysteme
- Reinigung der Arbeitsbereiche und Anlagen.

6.1 Auswahl der Materialien

Da Werkzeug und Werkstück in den mei- sten Fällen nur in vergleichsweise geringem Maße zur Gefahrstoffbelastung in der Luft am Arbeitsplatz beitragen und ihre Aus- wahl technologischen und fertigungstech- nischen Kriterien unterliegt, ist hier die Möglichkeit der Gefahrstoffvermeidung durch Einsatz von Ersatzstoffen mit geringe- rem Gefahrenpotential sehr eingeschränkt. Da dies so ist, muß man versuchen, die Emissionen so gering wie möglich zu halten. Dies wird erreicht, indem man den Elektrodenverschleiß auf niedrigstem Niveau hält, was ohnehin aus produktions- technischen und wirtschaftlichen Gründen angestrebt wird.

Maßnahmen zur Gefahrstoff-Emissions- minderung müssen also insbesondere beim Dielektrikum als Emissionsquelle ansetzen.

Auswahl des Dielektrikums

Bei der Auswahl von Dielektrika auf Kohlen- wasserstoffbasis ist, soweit es die tech- nischen Belange (Leistungsverhalten, Ge- brauchsdauer bzw. Verbrauch, Filtrier- barkeit) zulassen, besonderes Augenmerk auf die die Arbeitssicherheit betreffenden Eigenschaften zu richten.

Es ist darauf zu achten, hoch ausraffinierte aromatenfreie Dielektrikumsöle zu verwen- den, da hier kaum mit der Emission aroma- tischer Kohlenwasserstoffe zu rechnen ist. Aromatische Kohlenwasserstoffe sind auch aus Gründen der Hautverträglichkeit zu meiden.

Der Einsatz von Flüssigkeiten der Gefahren- klasse A1 als Dielektrikum ist nicht zu- lässig. Es sollten möglichst Dielektrika mit einem Flammpunkt über 100 °C verwendet werden.

6.2 Lufttechnische Maßnahmen

Gemäß der VDI-Richtlinie 3402 Blatt 3: „Elektroerosive Bearbeitung, Gestaltung, Be- trieb und Sicherheit von Anlagen“ [9] sind die Arbeitsräume so zu belüften, daß sich keine gesundheitsschädlichen oder leicht entzündlichen Gemische oder Nebel ansammeln können; erforderlichenfalls ist

6 Schutzmaßnahmen, Maßnahmen zur Expositionsminde- rung

ihre Absaugung, möglichst an der Entstehungsstelle, vorzusehen.

Bei geringen Emissionen, wie sie beim Feinschlichten bzw. Polieren auftreten, oder bei geringem Fertigungsumfang (gelegentliche Inbetriebnahme der Anlagen), kann eine Begrenzung der Gefahrstoffkonzentration durch eine Raumlüftung erreicht werden. In allen anderen Fällen ist jedoch eine Absaugung der Emissionen über den Badoberflächen durch Erfassungseinrichtungen vorzusehen.

Die Gestaltung der Erfassungseinrichtungen richtet sich nach der Anordnung der Werkzeugmaschinen bzw. nach den zur Verfügung stehenden Platzverhältnissen und sollte individuell in Abhängigkeit von der Maschinengröße angepaßt werden.

Entsprechend der VDI-Richtlinie 3929 „Erfassen luftfremder Stoffe“ [10] lassen sich Erfassungseinrichtungen je nach Art und Anordnung in drei Gruppen einteilen:

- geschlossene Bauart
- halboffene Bauart
- offene Bauart

Erfassungseinrichtungen geschlossener Bauart gewährleisten eine vollständige Absaugung der Emissionen. Hierbei ist auf die Einhaltung der Explosionskenngrößen des jeweiligen Dielektrikums zu achten, um eine Überschreitung der unteren Explosionsgrenze, die zur Explosion führen kann, zu

vermeiden. Bei halboffenen Bauarten ist darauf zu achten, daß der Öffnungsbe- reich auf ein Minimum begrenzt bleibt und daß im gesamten Öffnungsquerschnitt stän- dig eine nach innen gerichtete Luftströmung vorliegt. Offene Systeme sind weniger geeignet.

Die abgesaugten Emissionen sind über Abscheider abzuführen und gefahrlos zu beseitigen.

Bei der Auslegung der Abscheidesysteme ist zu berücksichtigen, daß neben den Fest- stoffpartikeln und Aerosolen auch Gase und Dämpfe auftreten.

Eine Abscheidung von Feststoffpartikeln und Aerosolen in Verbindung mit der Ab- scheidung von Gasen und Dämpfen ist in der Regel nur in Anlagen mit mehrstufigen Abscheidesystemen möglich. Für die Abscheidung von Gasen und Dämpfen eignen sich beispielsweise Systeme mit adsorptiven Abscheide-techniken.

Bei einer Abführung der gereinigten Luft in die Außenluft sind aus Gründen des Um- welt-schutzes die gestellten Anforderungen für die Emissionen entsprechend der Tech- nischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft des Bundes-Immissionsschutz-Gesetzes (BImSchG) [11] zu beachten.

Bei Abscheideanlagen im ständigen Um- luftbetrieb (Reinluftückführung) sollen die Gefahrstoffkonzentrationen im Reinluftstrom hinter der Abscheideanlage möglichst weit

unter den jeweils geltenden Grenzwerten gemäß TRGS 900 [3] liegen.

Eine Rückführung der abgesaugten Luft in den Arbeitsbereich ist gemäß § 36 (7) der Gefahrstoffverordnung [12] bei krebserzeugenden Gefahrstoffen nicht zulässig. Ausnahmebedingungen sind in der TRGS 560 [13] genannt.

Als Alternative zur Reinlufrückführung eignen sich Wärmerückgewinnungssysteme. Das Wärmerückgewinnungssystem begrenzt die Wärmeverluste deutlich, die benötigte Restwärme, um die Raumluft zu erwärmen, muß über nachgeschaltete Heizsysteme gedeckt werden.

Die Wirksamkeit der technischen Maßnahmen zur Gefahrstoff Erfassung wird durch Lüftungstechnische Maßnahmen mit gezielten Luftführungssystemen unterstützt.

Eine den Erfordernissen angepaßte stabile Luftführung kann nur mit Hilfe einer maschinellen Lüftung und mit speziellen Luftdurchlässen erreicht werden. Die Auswahl der Luftdurchlässe richtet sich nach den gestellten Anforderungen der Luftzustände. Hinweise zur Auswahl von Luftdurchlässen gibt die VDI-Richtlinie 2262 Blatt 3 [14].

Sind in einem Arbeitsraum mehrere Absaugstellen vorhanden, sind Zuluft einrichtungen vorzusehen, die die Zuluft im gesamten Bereich der Absaugstellen gezielt verteilen. Hierdurch wird verhindert, daß im Raum Querströmungen entstehen oder luftfremde

Stoffe aus angrenzenden Betriebsbereichen eingeschleppt werden.

Die Auswahl richtet sich auch nach den räumlichen und baulichen Gegebenheiten der zu belüftenden Fertigungsbereiche.

Zuluftdurchlässe in großen Ausblashöhen (z. B. von der Hallendecke) erfordern Luftstrahlen mit hohen Eindringtiefen und führen zu erheblichen Induktionswirkungen bzw. Turbulenzen, wodurch im Deckenbereich angesammelte Gefahrstoffe in den Arbeitsbereich zurückgeführt werden können. Solche Lüftungssysteme sind daher für Fertigungshallen mit Gefahrstoffbelastung bzw. luftfremden Stoffen nicht geeignet.

Die Gefahrstoffe sollen sich nach Möglichkeit nicht mit der Raumluft vermischen (Verdrängungslüftung) und sich somit im gesamten Raum verteilen können.

Vorteilhaft sind turbulenzarme Luftdurchlässe, die möglichst nahe an den Arbeitsbereichen angeordnet sind. Es ist dabei zu beachten, daß die Zuluft möglichst gleichmäßig und zugfrei in alle zu belüftenden Arbeitsbereiche eingebracht wird. Je näher die Zuluftdurchlässe an die Arbeitsbereiche herangeführt werden können, um so geringer ist gleichzeitig die erforderliche Zuluftmenge. Hierdurch werden gleichzeitig auch Energiekosten eingespart.

Bei der Durchführung von Lüftungstechnischen Maßnahmen sind die Anforderungen der DIN 1946 zu beachten [15].

6 Schutzmaßnahmen, Maßnahmen zur Expositionsminderung

6.3 Umgangsvorschriften, weitere Maßnahmen

Unterweisung der Beschäftigten

Bei der Einweisung von Personen, die Funkerosionsanlagen bedienen, ist besonderer Wert auf die Belehrung bezüglich der Gefahren und Sicherheitsmaßnahmen zu legen. Dies ist mindestens einmal jährlich zu wiederholen.

Dielektrikumsüberstand

Ein möglichst hoher Überstand der Dielektrikumsflüssigkeit über dem Werkstück ist vorteilhaft, da neben dem geringeren Entflammbarkeitsrisiko mehr schädliche Dämpfe kondensieren können.

Wartung und Pflege

Abluftanlagen und Sicherheitseinrichtungen an Erodieranlagen können ihren Zweck nur

dann erfüllen, wenn sie regelmäßig überprüft, gepflegt und gewartet werden. Gleiches gilt für das Umlaufsystem der Dielektrikumsflüssigkeiten.

Dielektrika können mit der Gebrauchsdauer altern, was zu einer Zunahme der Geruchsbelästigung und einem Anstieg der sauren Bestandteile führen kann. In solchen Fällen ist das Dielektrikum zu erneuern.

Arbeitshygiene und Schutzausrüstungen

Hautkontakt mit dem Dielektrikum ist zu vermeiden. Persönliche Schutzausrüstungen können den Kontakt zwischen dem Dielektrikum und der Haut verhindern. Sie stellen aber keine Alternative zu technischen Schutzmaßnahmen dar.

Auf sachgerechten Hautschutz und Hautpflege ist Wert zu legen. Auf die Sauberkeit und die Hygiene am Arbeitsplatz und dessen Umgebung ist zu achten. Dazu gehört auch, daß am Funkenerodierarbeitsplatz keine Nahrungsmittel eingenommen oder aufbewahrt werden.

7 Literaturverzeichnis

- [1] BIA-Report 6/95: Kühlschmierstoffe. 3., geänderte Auflage, Hrsg.: Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG)
- [2] Pletz, Dietmar: Gefahrenschutz beim Betrieb von Funkerosionsmaschinen. In: sicher ist sicher (1981) Nr. 7/8, S. 391 – 395
- [3] Technische Regeln für Gefahrstoffe: Grenzwerte (TRGS 900). Carl Heymanns Verlag Köln, 1993
- [4] BIA-Information 3/82: Die Beurteilungen von Mineralölkonzentrationen in der Luft am Arbeitsplatz. Hrsg.: Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitssicherheit – BIA, Sankt Augustin
- [5] Technische Regeln für Gefahrstoffe: Bewertung von Kohlenwasserstoffdämpfen in der Luft am Arbeitsplatz (nur kohlenstoff- und wasserstoffhaltig) (TRGS 404). Bundesarbeitsblatt (1992) Nr. 9
- [6] Meßverfahren für Gefahrstoffe (Analyseverfahren). In: BIA-Arbeitsmappe „Messung von Gefahrstoffen“. Loseblatt-Ausgabe, Erich Schmidt Verlag, Bielefeld 1989
- [7] Bommeli, B.: Study of the harmful emanations resulting from the machining by electroerosion. In: Berichtsband der ISEM, Birmingham, Juli 1983, S. 469 – 478
- [8] Simon, Harald: Zusammensetzung von Funkenerodierrauch. In: Werkstatt und Betrieb (1977) Nr. 6, S. 363 – 367
- [9] VDI-Richtlinie 3402 Blatt 3: Elektroerosive Bearbeitung; Gestaltung, Betrieb und Sicherheit von Anlagen. Beuth Verlag Berlin, Ausg. 1990
- [10] VDI-Richtlinie 3929: Erfassen luftfremder Stoffe. Beuth Verlag Berlin, Ausg. 1992
- [11] Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift der Bundesregierung zum Bundes-Immissionsschutz-Gesetz – TA Luft (aktuelle Fassung)
- [12] Verordnung zum Schutz vor gefährlichen Stoffen (Gefahrstoffverordnung – GefStoffV) vom 26. Oktober 1993 in der Fassung der 2. Änderungsverordnung vom 19. September 1994, Bundesgesetzblatt I, S. 2557
- [13] Technische Regeln für Gefahrstoffe: Luftrückführung beim Umgang mit krebs-erzeugenden Gefahrstoffen (TRGS 560). Bundesarbeitsblatt (1991) Nr. 7/8
- [14] VDI-Richtlinie 2262 Blatt 3: Luftbeschaffenheit am Arbeitsplatz, Minderung der Exposition durch luftfremde Stoffe – Lufttechnische Maßnahmen. Beuth Verlag Berlin, Mai 1994
- [15] DIN 1946, Blatt 2: Raumlufttechnik „Gesundheitstechnische Anforderungen“. Beuth Verlag Berlin

Anhang

Tabelle 1:
Übersicht über Meßverfahren und Grenzwerte (Grenzwerte Stand 8/94)

Gefahrstoff	Grenzwert [mg/m ³]	Art	Probenahmesystem
aliphatische Kohlenwasserstoff-Anteile, Aerosol (Mineralölaerosol)	5	BIA	PAS-Pumpe, BIA-PGP-System, Gesamstaub/Gas GGP
aliphatische Kohlenwasserstoff-Anteile, unspezifisch (Mineralöldampf- und -aerosol)	20	BIA	PAS-Pumpe, BIA-PGP-System, Gesamstaub/Gas GGP
Kohlenwasserstoffgemisch (TRGS 404):			PAS-Pumpe, Röhren
Gruppe 1 enaromatisierte Kohlenwasserstoff-Gemische mit einem Gehalt an - aromatischen KW < 1 % - n-Hexan < 5 %	350 ml/m ³	MAK	
Gruppe 2 aromatenarme Kohlenwasserstoff-Gemische mit einem Gehalt an - aromatischen KW 1-25 % - n-Hexan < 5 %	200 ml/m ³	MAK	
Gruppe 3 aromatenreiche Kohlenwasserstoff-Gemische mit einem Gehalt an - aromatischen KW > 25 %	50 ml/m ³	MAK	
Gruppe 4 sonstige Kohlenwasserstoff-Gemische mit einem Gehalt an - n-Hexan > 5 %	50 ml/m ³	MAK	
Benzol			PAS-Pumpe, Röhren
Kokereien (Dichtleerscheider, Kondensation, Gassaugerhaus); Tankfeld in der Mineralölindustrie, Reparatur und Wartung von Ottokraftstoff bzw benzolführenden Teilen	8	TRK	
im übrigen	3,2	TRK	
Benzo(a)pyren			PAS-Pumpe, BIA-PGP-System, Gesamstaubkopf GSP
Strangpechherstellung und -verladung, Ofenbereich von Kokereien	0,005	TRK	
im übrigen	0,002	TRK	
Feinstaub	0	MAK	PM4 F
Gesamtkohlenstoff, organischer Kohlenstoff	-		PM4 F

BIA = BIA-Empfehlung [4], TRK = Technische Richtkonzentration [3],
MAK = Maximale Arbeitsplatzkonzentration [3]

Probenträgerart	Volumenstrom [l/min]		Analytische Bestimmung
	2 h	8 h	
1. Glasfaserfilter, 2. XAD (Polymerharz)	3,5		Infrarotspektroskopie
1. Glasfaserfilter, 2. XAD (Polymerharz)	3,5		Infrarotspektroskopie
Aktivkohle TYP B	0,333	0,066	Gaschromatographie/Flammenionisationsdetektor
Aktivkohle TYP B	0,333	0,066	Gaschromatographie/Flammenionisationsdetektor
Glasfaserfilter	3,5	3,5	Gaschromatographie/Flammenionisationsdetektor
Glasfaserfilter gewogen	66,67		Wägung
Glasfaserfilter gewogen, geglüht	66,67		Coulometrie

Tabelle II:
Übersicht der bei den Messungen vorgefundenen Dielektrika

Dielektrikum	IME 110	CMT Cool 7-18	CMT Cool 7-04 -chlorfrei-
Angaben aus dem Sicherheitsdatenblatt			
Chemische Charakterisierung	synthetisch hergestellte Kohlenwasserstoffe	Metallbearbeitungsl., bestehend aus paraffinischen Mineralölen und Oxidationsinhibitoren	Metallbearbeitungsl., bestehend aus paraffinbasierten Mineralölen
Flammpunkt	106 °C	84 °C	115 °C
thermische Zersetzung	CO, CO ₂	siedet unzersetzt bei Normaldruck	ab 360 °C ist mit Kackerscheinungen zu rechnen
gefährliche Zersetzungsprodukte des Grundöls	keine	keine	keine
gefährliche Reaktionen	keine	bei bestimmungsgemäßem Umgang keine	bei bestimmungsgemäßem Umgang keine
weitere Angaben	verdampft rückstandslos Aromatengehalt 0,3 Gew-%		
Analyse des gebrauchten Dielektrikums			
TRGS-Gruppe		1	
C-Bereich		12 – 15	12 – 21
Benzol [Gew-%]		Spuren; < 0,1	< 0,01
Benzo[<i>a</i>]pyren [$\mu\text{g/g}$]		< 1	< 1

unbekannt	Hunold MP 2-07	IME 82	BP Dielectric 250	BP 200T
	<p>hochausraffiniertes, unlegiertes Mineralölraffinat</p> <p>92 °C bei Normaldruck unzersetzt destillierbar</p> <p>CO₂, CO bei Sauerstoffzutritt und Cracken</p> <p>keine</p> <p>keine</p>	<p>synthetisch hergestellter Kohlenwasserstoff</p> <p>82 °C CO, CO₂</p> <p>keine bei bestimmungsgemäßer Verwendung</p> <p>mit starken Oxidationsmitteln</p> <p>verdampft rückstandslos Aromatengehalt 0,01 Gew.-%</p>	<p>solvetraffiniertes Mineralölprodukt vom paraffinischen Typ</p> <p>125 °C bei Normaldruck unzersetzt destillierbar</p> <p>keine (bei sachgemäßer Lagerung und Handhabung)</p> <p>keine (bei sachgemäßer Lagerung und Handhabung)</p>	<p>hochausraffiniertes, unlegiertes Mineralölraffinat</p> <p>106 °C bei Normaldruck unzersetzt destillierbar</p> <p>CO, CO₂ bei Sauerstoffzutritt und Cracken</p> <p>keine</p>
<p>< 0,006</p> <p>< 1</p>	<p>1</p> <p>10 - 13</p> <p>Spuren; < 0,1</p> <p>< 1</p>	<p>3 - 4 (mehrfach ungesättigt); 10 - 13</p> <p>nicht nachweisbar</p> <p>< 1</p>	<p>geringe Mengen ungesättigter Aliphaten (Propen-)</p> <p>nicht nachweisbar</p> <p>< 1</p>	<p>11 - 14</p> <p>nicht nachweisbar</p> <p>< 1</p>

Tabelle III:
Untersuchungsergebnisse

Messung Nr.	1	2	3
Dielektrikum	nicht bekannt	nicht bekannt	nicht bekannt
Elektrodenmaterial	Graphit	Graphit	Graphit
Werkstoff	Stahl	Stahl	Stahl
Schuppen (SP)/Schichten (Schl.)	SP	Schl.	SP
Absaugung vorhanden (Ja/Nein)	Ja	Ja	Ja
<i>Emission (Badoberfläche)</i>			
aliph. KW, Aerosol [mg/m ³]	1,5	0,29	1,5
aliph. KW, unspezifisch [mg/m ³]	74	36	144
KW-Gemisch (TRGS 404) [ml/m ³]	3,4	5,3	9,3
Benzol [mg/m ³]	1,6	1,8	2,3
Feinstaub [mg/m ³]	2,26 3,14	0,47	12,79 11,36 14,66 4,51 3,79 20,75
Gesamt-Kohlenstoff [mg/m ³]	1,05 1,46	0,7	5,62 4,98 6,11 2,04 1,65 8,72
organischer Kohlenstoff [mg/m ³]	0,21		1,84 0,33 2,6
Benzo(a)pyren [mg/m ³]	< 0,00051		
<i>Raumluft (stationär)</i>			
aliph. KW, Aerosol [mg/m ³]	0,4 0,43	< 0,25 0,55	
aliph. KW, unspezifisch [mg/m ³]	8,5 8,3	3 11	
KW-Gemisch (TRGS 404) [ml/m ³]		< 1,7	
Benzol [mg/m ³]	< 0,1		
Feinstaub [mg/m ³]	0,08	0,13	
Gesamt-Kohlenstoff [mg/m ³]	0,05	0,04	
organischer Kohlenstoff [mg/m ³]	0,02	0,01	
<i>personengetragen</i>			
aliph. KW, Aerosol [mg/m ³]			
aliph. KW, unspezifisch [mg/m ³]			
KW-Gemisch (TRGS 404) [ml/m ³]			
Benzol [mg/m ³]			

Messung Nr.	4	5	6
Dielektrikum	IME 110	IME 110	CMT Cool 7-18
Elektrodenmaterial	Graphit CSI 15	Graphit CSI 15	Elektrolyt-Kupfer
Werkstoff	St 1.2714	St 1.2714	nicht bekannt
Schuppen (SP)/Schichten (Schl.)	SP/Schl.	SP/Schl.	SP/Schl.
Absaugung vorhanden (Ja-Nein)	Ja	Ja	Ja
Emission (Badoberfläche)			
aliph. KW, Aerosol [mg/m ³]	0,37	< 0,25	< 0,25 < 0,25
aliph. KW, unspezifisch [mg/m ³]	12	9,8	20 18
KW-Gemisch (TRGS 404) [ml/m ³]	< 1,055	< 1,055	< 1,5 < 1,4
Benzol [mg/m ³]	< 0,1	< 0,1	<0,2
Feinstaub [mg/m ³]	0,09	0,12	
Gesamt-Kohlenstoff [mg/m ³]	0,05	0,04	
organischer Kohlenstoff [mg/m ³]	0,02	0,02	
Benzo[a]pyren [mg/m ³]			
Raumluft (stationär)			
aliph. KW, Aerosol [mg/m ³]	0,43 < 0,25	0,25 0,29	< 0,25 < 0,25 < 0,25 < 0,25
aliph. KW, unspezifisch [mg/m ³]	8,5 8,7	8,6 9,8	13 5,8 4,3 8,8
KW-Gemisch (TRGS 404) [ml/m ³]	< 1,055		< 1,2 < 1,2
Benzol [mg/m ³]		< 0,1	< 0,2
Feinstaub [mg/m ³]	0,1 i	0,11	
Gesamt-Kohlenstoff [mg/m ³]	0,06	0,05	
organischer Kohlenstoff [mg/m ³]	0,03	0,02	
personengetragen			
aliph. KW, Aerosol [mg/m ³]			< 0,25 < 0,25 < 0,25 < 0,25
aliph. KW, unspezifisch [mg/m ³]			11,5 2 11,5 10
KW-Gemisch (TRGS 404) [ml/m ³]			< 1,1 < 1,1 < 1,1 < 1,1
Benzol [mg/m ³]			

Tabelle III (Fortsetzung):

Messung Nr.	7	8	9
Dielektrikum	CMT Cool 4-04	CMT Cool 4-04	CMT Cool 4-04
Elektrodenmaterial	Graphit EK 82	Graphit EK 82	Graphit EK 82
Werkstoff	Stahl mit Auftragschweißung		
Schuppen (SP)/Schlischen (Schl.)	SP/Schl.	SP/Schl.	SP/Schl.
Absaugung vorhanden (Ja-Nein)	Ja	Ja	Ja
Emission (Badoberfläche)			
aliph. KW, Aerosol [mg/m ³]	3,9	0,41	0,52
aliph. KW, unspezifisch [mg/m ³]	24	14	11
KW-Gemisch (TRGS 404) [ml/m ³]	2,5	< 1,1	< 1,1
Benzol [mg/m ³]	2	0,6	0,4
Feinstaub [mg/m ³]	0,1 0,16	3,17 3,11	0,54 2,42 3,14
Gesamt-Kohlenstoff [mg/m ³]	0,04 0,04	1,86 1,71	0,23 1,27 1,64
organischer Kohlenstoff [mg/m ³]	0,02	0,8	0,08 0,85
Benzo[a]pyren [mg/m ³]			
Raumluft (stationär)			
aliph. KW, Aerosol [mg/m ³]	< 0,25 0,25	0,36	< 0,25 0,69
aliph. KW, unspezifisch [mg/m ³]	6,8 7,8	7,5	7,6 7,3
KW-Gemisch (TRGS 404) [ml/m ³]	< 1,1		
Benzol [mg/m ³]	< 0,1		
Feinstaub [mg/m ³]	0,13	0,1	0,16
Gesamt-Kohlenstoff [mg/m ³]	0,04	0,02	0,05
organischer Kohlenstoff [mg/m ³]	0,02	0,01	0,02
personengetragen			
aliph. KW, Aerosol [mg/m ³]			0,27
aliph. KW, unspezifisch [mg/m ³]			7,5
KW-Gemisch (TRGS 404) [ml/m ³]			
Benzol [mg/m ³]			< 0,1

Messung Nr.	10	11
Dielektrikum	IME 82 (Gruppe I)	Hinold MP 2-07 (Gruppe I)
Elektrodenmaterial	Elektrolyt-Kupfer	Graphit EDM 1, Elektrolyt-Kupfer
Werkstoff	geh. Stahl 13343 CPM9; Hartmetall G4	Warmarbeitsstahl 1.2367 und 1.2379
Schuppen (SP)/Schichten (Schl.)	SP/Schl.	SP
Absaugung vorhanden (Ja-Nein)	Ja-Nein	Nein
Emission (Bodoberfläche)		
aliph. KW, Aerosol [mg/m ³]	< 0,25 < 0,25 < 0,25 < 0,25	0,87 < 0,25 2,1 1,7 < 0,25 0,99
aliph. KW, unspezifisch [mg/m ³]	23 102 201 356	139 140 307 458 86 322
KW-Gemisch (TRGS 404) [ml/m ³]	< 2 7,4	31,4 28,9 96,2 63,5 22,8 30,6
Benzol [mg/m ³]	< 0,2 < 0,1	0,7 < 0,5
Feinstaub [mg/m ³]		
Gesamt-Kohlenstoff [mg/m ³]		
organischer Kohlenstoff [mg/m ³]		
Benzo[a]pyren [mg/m ³]		
Raumluft (stationär)		
aliph. KW, Aerosol [mg/m ³]	< 0,25	< 0,25 < 0,25
aliph. KW, unspezifisch [mg/m ³]	16	21 30
KW-Gemisch (TRGS 404) [ml/m ³]	< 1,5	4,6
Benzol [mg/m ³]	< 0,2	
Feinstaub [mg/m ³]		
Gesamt-Kohlenstoff [mg/m ³]		
organischer Kohlenstoff [mg/m ³]		
personengetragen		
aliph. KW, Aerosol [mg/m ³]	< 0,25 < 0,25 < 0,25	< 0,25 < 0,25 < 0,25 < 0,25 < 0,25 < 0,25
aliph. KW, unspezifisch [mg/m ³]	9,3 14 20	22 90 57 47 32 21
KW-Gemisch (TRGS 404) [ml/m ³]	< 1,1 < 1,1	7 6,1 6,1 7 8 7,4
Benzol [mg/m ³]	< 0,1	

Tabelle III (Fortsetzung):

Messung Nr.	12	13	14
Dielektrikum	IME 82	IME 82	IME 82
Elektrodenmaterial	Elektrolyt-Kupfer	Elektrolyt-Kupfer	Elektrolyt-Kupfer
Werkstoff	Werkzeugstahl HRC 58	Werkzeugstahl Crane	Stahl 1.2510
Schruppen (SP)/Schlichten (Schl.)	SP/Schl.	SP/Schl.	SP/Schl.
Absaugung vorhanden (Ja/Nein)	Ja	Ja	Ja
Emission (Badoberfläche)			
aliph. KW, Aerosol [mg/m ³]	< 0,25	< 0,25 < 0,25 < 0,25 < 0,25	< 0,25
aliph. KW, unspezifisch [mg/m ³]	90	58 100 78 66	86
KW-Gemisch (TRGS 404) [ml/m ³]	< 1,1	< 1,1 < 1,1	
Benzol [mg/m ³]		< 0,1 < 0,1	< 0,1
Feinstaub [mg/m ³]			
Gesamt-Kohlenstoff [mg/m ³]			
organischer Kohlenstoff [mg/m ³]			
Benzo[c]pyren [mg/m ³]			
Raumluft (stationär)			
aliph. KW, Aerosol [mg/m ³]	< 0,25	< 0,25	< 0,25
aliph. KW, unspezifisch [mg/m ³]	84	36	39
KW-Gemisch (TRGS 404) [ml/m ³]	< 1,1	< 2,6	
Benzol [mg/m ³]		< 0,2	< 0,1
Feinstaub [mg/m ³]		0,05	
Gesamt-Kohlenstoff [mg/m ³]		0,02	
organischer Kohlenstoff [mg/m ³]			
personengetragen			
aliph. KW, Aerosol [mg/m ³]	< 0,25	< 0,25 < 0,25	< 0,25
aliph. KW, unspezifisch [mg/m ³]	75	34 37	34
KW-Gemisch (TRGS 404) [ml/m ³]	< 1,1	< 1,1	1,5
Benzol [mg/m ³]		< 0,1	

Messung Nr.	15	16	17
Dielektikum	BP Dielectric 250	BP Dielectric 200 T	BP Dielectric 200 T
Elektrodenmaterial	Elektrolyt-Kupfer	Elektrolyt-Kupfer	Elektrolyt-Kupfer
Werkstoff	Si 50	210 EV 4; 34 CrAlNi 7	210 EV 4; 34 CrAlNi 7
Schruppen (SPI/Schlichten (Schl.)	SP	SP/Schl.	
Absaugung vorhanden (Ja-Nein)	Ja (geringe Wirkung)	Ja	Ja
Emission (Badoberfläche)			
aliph. KW, Aerosol [mg/m ³]	4,7	< 0,25	0,61 0,47
aliph. KW, unspezifisch [mg/m ³]	26	38 84	67 91
KW-Gemisch (TRGS 404) [ml/m ³]	3,8	7,2 22,6	
Benzol [mg/m ³]	0,2		< 0,1 < 0,1
Feinstaub [mg/m ³]			
Gesamt-Kohlenstoff [mg/m ³]			
organischer Kohlenstoff [mg/m ³]			
Benzo[a]pyren [mg/m ³]			
Raumluft (stationär)			
aliph. KW, Aerosol [mg/m ³]	0,25 < 0,25	< 0,25 < 0,25	< 0,25 0,25
aliph. KW, unspezifisch [mg/m ³]	3,3 3	25 23	14 12
KW-Gemisch (TRGS 404) [ml/m ³]	9,1	1,3	1,5
Benzol [mg/m ³]	< 0,4	< 0,1	< 0,1
Feinstaub [mg/m ³]			
Gesamt-Kohlenstoff [mg/m ³]			
organischer Kohlenstoff [mg/m ³]			
personengetragen			
aliph. KW, Aerosol [mg/m ³]	< 0,25	< 0,27	
aliph. KW, unspezifisch [mg/m ³]	3,4	29	
KW-Gemisch (TRGS 404) [ml/m ³]	1,5	5,7	
Benzol [mg/m ³]			