



LOSEBLATTSAMMLUNG FS-78-15-AKU
EMPFEHLUNGEN ZUR ÜBERWACHUNG
DER UMWELTRADIOAKTIVITÄT

Blatt: 3.4.1

Seite: 1 von 12

Stand: Mai 2018

**Verfahren zur Bestimmung von Nettowerten bei Dosis- und Dosisleistungsmessungen
an festen Standorten**

Bearbeiter: B. Bucher, Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI, Brugg/Schweiz
F. Cartier, ehemals Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI, Brugg/Schweiz
H. Völkle, ehemals Bundesamt für Gesundheit, Bern/Schweiz

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Zweck des Verfahrens	1
3	Messgröße, Maßeinheit und zu fordernde Nachweisgrenze	2
4	Anforderungen an Datenaufnahme und Qualitätssicherung	2
5	Auswerteverfahren zur Bestimmung von Nettowerten bei Dosis- und Dosisleistungsmessungen	2
5.1	Allgemeines Verfahren zur Bestimmung der Nettowerte	3
5.2	Unsicherheiten, Erkennungsgrenze und Nachweisgrenze	4
5.3	Optimierungen und Ausreissertests	4
5.3.1	TLD	4
5.3.2	Automatische Messnetze	4
5.4	Möglichkeiten der Plausibilisierung bei automatischen Messnetzen	5
6	Beispiele aus der Umgebungsüberwachung	5
6.1	TLD in der Umgebung des Kernkraftwerkes Gösgen	5
6.2	Automatische Ortsdosisleistungsmessungen mit MADUK	6
6.3	Beispiele aus Deutschland	8
7	Bewertung des Verfahrens	9
8	Literaturhinweise	9
9	Anhang: Definitionen der Größen und Rechenvorschriften	10
9.1	Messdaten TLD	10
9.2	Automatische Dosisleistungsmessnetze	11

1 Einleitung

Thermolumineszenzdosimeter (TLD) und automatische Dosisleistungsmessnetze werden in der Umgebung kerntechnischer Anlagen zur Überwachung der Umgebungsäquivalentdosis/-Leistung, im Folgenden Dosis/-leistung genannt, eingesetzt (s. FS-AKU-LB 3.1.2). Rund ein Drittel der gemessenen Dosisleistung steuert die kosmische Strahlung bei. Die restlichen zwei Drittel trägt die terrestrische Strahlung bei, die durch die natürliche Radioaktivität des Bodens verursacht wird. Da die natürliche Radioaktivität über die Zeit praktisch konstant bleibt und die kosmische Strahlung nur geringen Schwankungen unterworfen ist, erwartet man bei den gemessenen Größen keine großen Variationen. Die registrierten Unterschiede der gemessenen Werte sind jedoch größer als sie aufgrund dieser messtechnischen Randbedingungen zu erwarten sind.

2 Zweck des Verfahrens

Der Zweck des Verfahrens besteht darin, eventuelle Dosisbeiträge einer kerntechnischen Anlage, verursacht durch Emissionen radioaktiver Stoffe über die Abluft, quantitativ zu erfassen. Die gemäß Betriebsreglement zugelassenen Abgaben (in erster Linie die radioaktiven Edelgase) führen bei Normalbetrieb an der ungünstigsten Einwirkstelle einer Anlage zu einer Jahresdosis von höchstens wenigen Prozenten eines Millisieverts. Die gemessenen Strahlendosen bzw. Dosisleistungen weisen hingegen aufgrund von systembedingten Faktoren wie Witterung, Transport, Lagerung, etc. bedeutend größere Schwankungen auf. Mit einem geeigneten Auswerteverfahren sollen die systembedingten Schwankungen eliminiert und ortsbedingte Unterschiede ermittelt und berücksichtigt werden. Die Nachweisgrenzen sollen unter der höchstzulässigen Dosiszunahme von



LOSEBLATTSAMMLUNG FS-78-15-AKU
EMPFEHLUNGEN ZUR ÜBERWACHUNG
DER UMWELTRADIOAKTIVITÄT

Blatt: 3.4.1

Seite: 2 von 12

Stand: Mai 2018

1 mSv/a in der Umgebung kerntechnischer Anlagen oder unterhalb der höchstzulässigen Dosiserhöhung durch Ausschöpfen bewilligter Kurzzeitabgaben liegen.

3 Messgröße, Maßeinheit und zu fordernde Nachweisgrenze

Messgröße ist bei TLD die integrierte Umgebungs-Äquivalentdosis $H^*(10)$, z. B. Quartals- oder Jahresdosis, Maßeinheit das mSv/Quartal bzw. mSv/Jahr. Bei den automatischen Messnetzen ist die Messgröße die Umgebungs-Äquivalentdosisleistung $\dot{H}^*(10)$, Maßeinheit das nSv/h.

Als gewünschte Nachweisgrenze wird ein Bruchteil der höchstzulässigen zusätzlichen Dosis in der Umgebung kerntechnischer Anlagen von 0,3 mSv/Jahr (Deutschland) bzw. 0,2 mSv/Jahr (Schweiz) empfohlen. Dabei ist eine natürlich vorhandene Direktstrahlung von 0,3 mSv/Jahr zu berücksichtigen. Die Erfahrung (s. Beispiel in Kapitel 5) zeigt jedoch, dass sowohl für TLD wie auch für Dosisleistungsmessnetze, bedingt durch die verwendeten Geräte und die Messstatistik, im besten Fall eine Nachweisgrenze für die Nettodosis von knapp unter 0,2 mSv pro Jahr erreicht werden kann. Anzustreben als Nachweisgrenze wäre jedoch der Wert einer Dosiserhöhung in der Umgebung, der dem Ausschöpfen der bewilligten Kurzzeitabgabelimite (z. B. Stunden- oder Tageslimite) entspricht.

4 Anforderungen an Datenaufnahme und Qualitätssicherung

In der Schweiz sind die Anforderungen in der Verordnung über Messmittel für ionisierende Strahlung (StMmV) geregelt. In Deutschland gelten die Richtlinie für Emissions- und Immissionsüberwachung (REI) sowie die in der DIN 25483 [1] definierten Mindestanforderungen und maximalen Gesamtstandardunsicherheiten. Im Folgenden wird Bezug auf die StMmV genommen.

Strahlenschutzmessmittel für externe Strahlung insbesondere zur Überwachung der Ortsdosis und Ortsdosisleistung in der Umwelt müssen gemäss StMmV geeicht werden. Messgrößen sind die Umgebungs-Äquivalentdosis $H^*(10)$ und die Umgebungs-Äquivalentdosisleistung $\dot{H}^*(10)$. Die Gültigkeitsdauer der Eichung beträgt 3 Jahre. Die Messmittel sind zwischen den Eichungen periodisch hinsichtlich ihrer Funktionsfähigkeit und Konstanz zu überprüfen.

Für die korrekte Auswertung der Messdaten sind bei TLDs zusammen mit dem Messwert der Messort (Koordinaten), Datum und Zeit der Ausbringung sowie Datum und Zeit des Einsammelns, Rohdaten, Fadingkorrektur und das Auswerteverfahren aufzunehmen. Die Daten sind über die vom Gesetzgeber vorgegebene Zeitdauer aufzubewahren.

Bei den automatischen Dosisleistungsmessnetzen sind neben den Koordinaten des Sondenstandortes Datum und Zeit der Messung, Sondenrienummer sowie die gemessene Dosisleistung für das vorgegebene Messzeitintervall zu erfassen. Die Daten sind über die vom Gesetzgeber vorgegebene Zeitdauer aufzubewahren.

Für die Auswertung ist es nötig, dass die Zeit innerhalb des Messnetzes synchron läuft. Zudem ist für die automatischen Messnetze ein Qualitätssicherungsprogramm durchzuführen, das neben der Überprüfung der eigentlichen Messsonden auch den ganzen Pfad von der Messsonde bis zum Datenverarbeitungs- und - falls vorhanden - bis zum Alarmierungssystem beinhaltet.

5 Auswerteverfahren zur Bestimmung von Nettowerten bei Dosis- und Dosisleistungsmessungen

Mit dem im Folgenden beschriebenen mathematischen Verfahren können durch radioaktive Ableitungen verursachte zusätzliche Strahlendosen oder Dosisleistungen hinreichend genau bestimmt werden.

Die im Folgenden verwendeten Größen und Rechnvorschriften sind im Anhang (Abschnitt 9) im Detail definiert.



LOSEBLATTSAMMLUNG FS-78-15-AKU
EMPFEHLUNGEN ZUR ÜBERWACHUNG
DER UMWELTRADIOAKTIVITÄT

Blatt: 3.4.1

Seite: 3 von 12

Stand: Mai 2018

5.1 Allgemeines Verfahren zur Bestimmung der Nettowerte

Der Bestimmung von Nettodosen und Nettodosisleistungen liegt die Aufspaltung der Messwerte in einen orts- und einen zeitspezifischen Anteil zugrunde.

Der ortsspezifische Parameter (OSP) wird über die Beweissicherungsdaten oder Daten eines Zeitraumes ohne Beeinflussung durch die Kernanlage bestimmt. Er entspricht gemäß Gleichung (1) der Differenz zwischen dem Stationsmittelwert über die Beweissicherungsperiode und dem Mittelwert über alle Messpunkte und die gesamte Beweissicherungsperiode (Gleichung (2)). Somit spiegelt er die örtlichen Strahlungsverhältnisse wieder. Die zeitliche Variation des OSP ist im Mittel gleich Null.

$$OSP(x) = D(x) - D \quad (1)$$

$$D(x) = \frac{1}{n} \cdot \sum_z D(x, z) \quad (2)$$

n: Anzahl Zeitintervalle

z: Zeitintervall

x: Messpunkt/Station

Der zeitspezifische Anteil der Dosis wird gemäß Gleichung (3) durch den Intervallmittelwert über alle Messpunkte ermittelt, wobei z dem Zeitintervall, x dem Messpunkt und m der Anzahl Messpunkte entspricht.

$$D(z) = \frac{1}{m} \cdot \sum_x D(x, z) \quad (3)$$

m: Anzahl Messpunkte

Die Summe aus ortsspezifischem Parameter $OSP(x)$ und Intervallmittelwert $D(z)$ ergibt den Erwartungswert E für einen bestimmten Messpunkt x und ein bestimmtes Zeitintervall z . Nach Gleichung (4) ergibt sich der entsprechende Nettowert des Messpunktes x im Zeitintervall z aus der Differenz von Messwert und Erwartungswert.

$$N(x, z) = D(x, z) - E(x, z) = D(x, z) - D(z) - OSP(x) \quad (4)$$

Für die Beweissicherungsdaten und die Messdaten einer ungestörten Zeitperiode ist der Mittelwert der Nettowerte gleich Null. Die Verwendung des Intervallmittelwertes führt dazu, dass bei Einflüssen auf alle Messpunkte (z.B. Witterungsverhältnisse) die Nettowerte nicht wesentlich beeinflusst werden, d.h. die Nettowerte sind im Mittel gleich Null. Um eine „schleichende“ Kontamination in einem Messgebiet zu erkennen, muss deshalb auch die Veränderung des Intervallmittelwertes über die Zeit verfolgt werden. Die Differenz zwischen Intervallmittelwert und Mittelwert über die gesamte Beweissicherungsperiode sollte gemittelt über mehrere Zeitintervalle Null sein. Der statistische Schwankungsbereich der Nettowerte entspricht dem Unsicherheitsbereich und fließt damit direkt in die erreichbare statistische Nachweisgrenze ein (siehe unten).

Für die Betriebszeit einer kerntechnischen Anlage werden zur Bestimmung der Erwartungswerte die mit Hilfe der Beweissicherungsdaten und der Messdaten einer ungestörten Zeitperiode bestimmten OSP und der aktuelle Intervallmittelwert verwendet. Zusammen mit dem aktuellen Messwert eines Messpunktes lässt sich damit der entsprechende Nettowert bestimmen.



5.2 Unsicherheiten, Erkennungsgrenze und Nachweisgrenze

Da für die Beweissicherungsperiode oder eine ungestörte Zeitperiode der Mittelwert der Nettowerte gleich Null ist, lassen sich die Unsicherheiten der Nettowerte nach Gleichung (5) auch direkt aus dem Streubereich der Nettowerte selbst ableiten.

$$\Delta N = \sqrt{\frac{1}{(m-1) \cdot (n-1)} \cdot \sum_{x,z} (D(x,z) - E(x,z))^2} \quad (5)$$

Die Erkennungsgrenze EG, welche die Schranke zur Erkennung einer Abweichung vom „Nullwert“ darstellt, lässt sich unter Annahme einer Normalverteilung der Nettowerte mit Hilfe der Unsicherheit der Nettodosen ΔN bestimmen:

$$EG = k_{1-\alpha} \cdot \Delta N \quad (6)$$

Dafür ist jedoch die prozentuale Wahrscheinlichkeit α festzulegen, mit welcher eine vermeintliche Überschreitung der Erkennungsgrenze in Kauf genommen wird. Für $\alpha = 5\%$ und somit einem $k_{1-\alpha} = 1,645$ ergibt sich die Erkennungsgrenze zu $1,645 \Delta N$.

Die Nachweisgrenze NWG hingegen entspricht dem kleinsten wahren Wert des Nettowertes, der mit dem Verfahren detektiert werden kann, wobei eine Wahrscheinlichkeit β angenommen werden muss, mit der eine Falschaussage in Kauf genommen wird:

$$NWG = EG + k_{1-\beta} \cdot \sigma(NWG) \quad (7)$$

Die Nachweisgrenze ist wesentlich grösser als die Erkennungsgrenze. Unter der Annahme, dass die Unsicherheit und die Streuung von Nettowerten in der Grösse der Nachweisgrenze in etwa gleich gross sind wie die Streuung der Nettowerte aus der Nullmessung, und der Festsetzung von $\alpha = \beta$ entspricht die Nachweisgrenze mit $k_{1-\beta} = 1,645$ nach Gleichung (7) der doppelten Erkennungsgrenze.

5.3 Optimierungen und Ausreissertests

5.3.1 TLD

Bei der Auswertung der TLD-Dosen kann zur Optimierung ein iteratives Verfahren angewandt werden. Das Ziel dieses Verfahrens liegt darin, den Einfluss der Stationen mit erhöhten Dosismesswerten auf den Quartalsmittelwert zu eliminieren. Dabei wird aufgrund der Unsicherheit der Nettodosen eine Schranke gebildet. Stationen mit Nettodosen grösser als diese Schranke werden aus dem Quartalsmittelwert entfernt. Mit Hilfe des neuen Quartalsmittelwerts werden erneut die Nettodosen für alle Stationen bestimmt. Dieses Verfahren wird solange wiederholt, bis die prozentuale Änderung des Quartalsmittelwerts unter einen bestimmten Wert fällt oder eine minimale Anzahl von noch gültigen Stationen erreicht wird.

5.3.2 Automatische Messnetze

Wie bei den TLD kommt auch bei den automatischen Messnetzen ein iteratives Verfahren zum Zuge. In einem ersten Schritt werden Messwerte entfernt, die unterhalb eines plausiblen Minimalwertes liegen, da diese Stationen als gestört betrachtet werden müssen. Anschließend werden der Mittelwert eines Messrings und die Nettodosisleistungen der Stationen bestimmt. Weiter wird nun die Sonde mit der höchsten Ortsdosisleistung und absolutem Nettodosisleistungswert grösser als ein Schwellenwert (z.B. Nachweisgrenze) von den weiteren Berechnungen ausgeschlossen. Falls die Anzahl verbleibender Stationen grösser als eine Minimalanzahl ist, wird das Verfahren mit der Bildung des Ringmittelwertes für die verbleibenden Stationen wiederholt.

5.4 Möglichkeiten der Plausibilisierung bei automatischen Messnetzen

Um bei einer über die Nettodosisleistungen gesteuerten, automatischen Alarmierung Fehlalarme möglichst zu vermeiden, sollte eine Plausibilisierung von erhöhten Nettodosisleistungen vorgesehen werden. Je nach Ausgestaltung des Messrings, Verfügbarkeit von meteorologischen Daten und Emissionsdaten lässt sich eine Plausibilisierung aufgrund der Nettodosisleistungen der benachbarten Messstationen, der herrschenden Windverhältnisse oder der aktuellen Emissionen durchführen. Eine Kombination dieser Plausibilisierungsmethoden ist anzustreben.

6 Beispiele aus der Umgebungsüberwachung

6.1 TLD in der Umgebung des Kernkraftwerkes Gösgen

Die Abbildung 1 zeigt den Verlauf der mit Hilfe der TLD bestimmten Nettodosen in der Umgebung des Kernkraftwerkes Gösgen (KKG) für alle Quartale der Jahre 1997 bis 2005. Praktisch alle Nettodosen liegen innerhalb eines Bandes von rund $\pm 20 \mu\text{Sv}$. Ein Messpunkt, der im vierten Quartal des Jahres 2002 versetzt wurde, zeigt seit diesem Zeitpunkt deutlich erhöhte Nettodosen an.

Für die TLD in der Umgebung des Kernkraftwerkes Gösgen (KKG) ergibt sich aus den oben aufgeführten Daten und für $\alpha = \beta = 5 \%$ eine Nachweisgrenze von rund $35 \mu\text{Sv}$ pro Quartal, entsprechend etwa $0,14 \text{ mSv}$ pro Jahr.

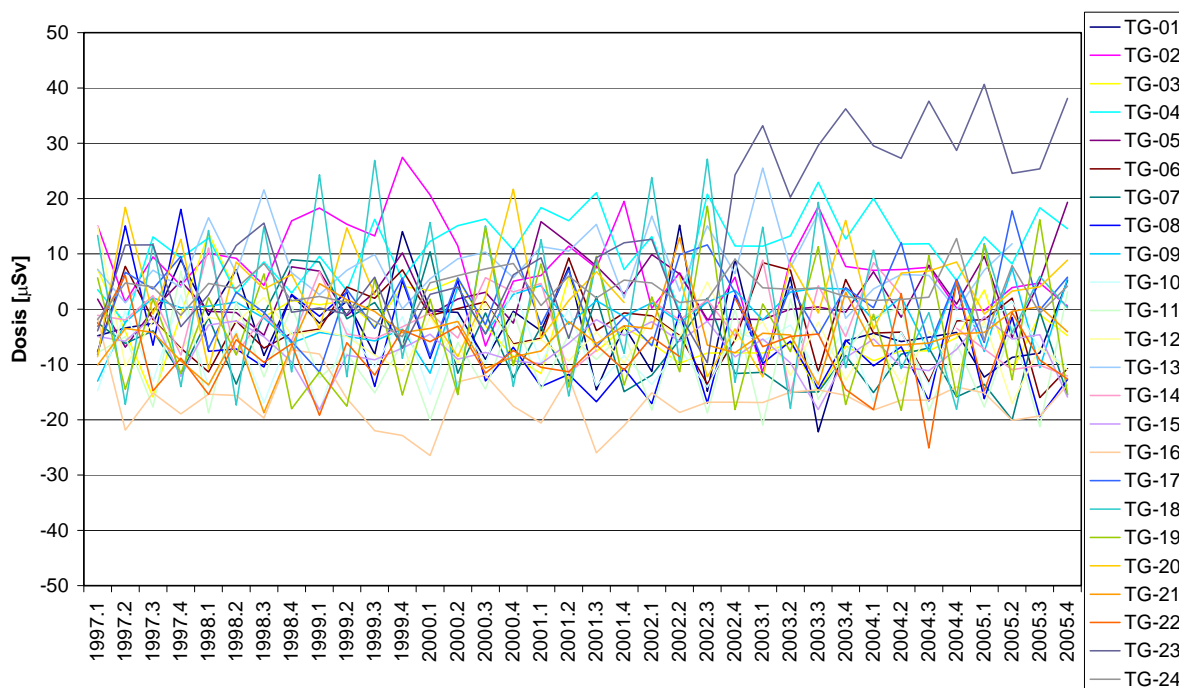


Abb. 1: Nettodosen in der Umgebung des KKG über die Jahre 1997 bis 2005.

Die in Abbildung 2 dargestellten Quartalsmittel der TLD in den Umgebungen der Kernkraftwerke Gösgen (KKG), Beznau (KKB), Leibstadt (KKL) und Mühleberg (KKM) sowie der Forschungsanstalt Paul Scherrer Institut (PSI) zeigen einen horizontalen Verlauf. Einzig bei KKL ist ein Absinken des Quartalsmittels Mitte 2004 zu erkennen. Dieser ist auf einen Wechsel des verwendeten Dosimetertyps und damit einhergehende Veränderungen bei den Messpunkten zurückzuführen.

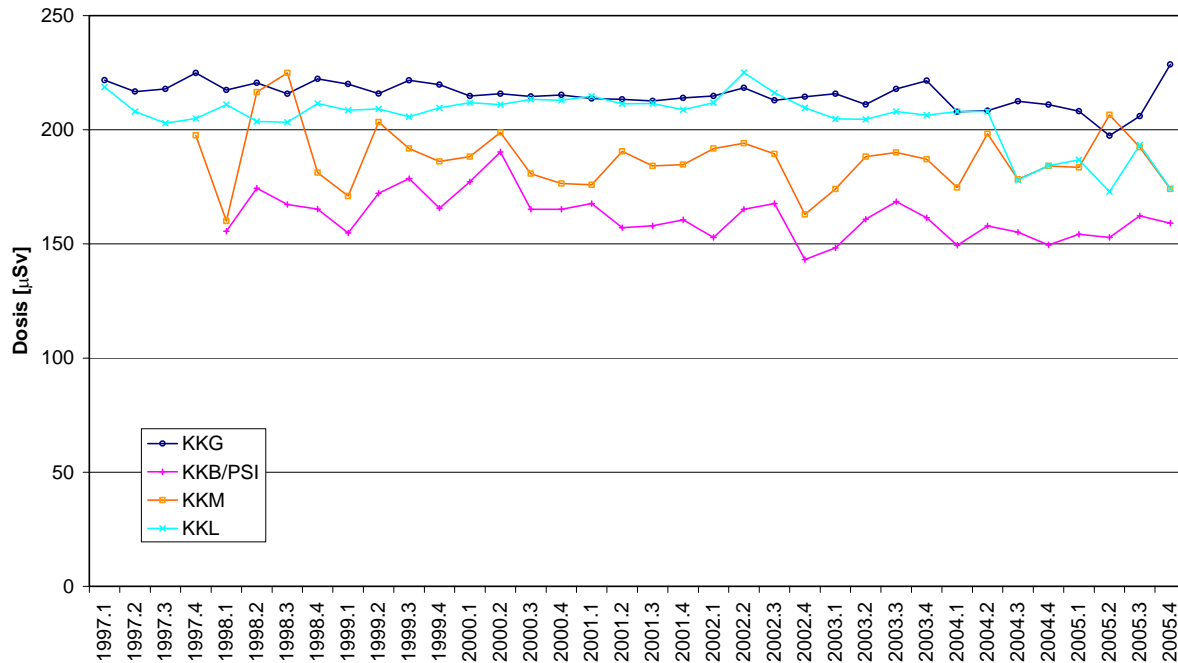


Abb. 2: Quartalsmittelwerte aus den TLD-Dosen in den Umgebungen der Schweizer Kernanlagen.

6.2 Automatische Ortsdosisleistungsmessungen mit MADUK¹

In der Abbildung 3 ist ein typischer Verlauf der Ortsdosisleistungen und der Einfluss von Regen am Beispiel des Messringes um das Kernkraftwerk Gösgen (KKG) zu sehen. Die gemessene Dosisleistung kann aufgrund von meteorologischen Effekten problemlos um ± 20 nSv/h schwanken.

Mit dem oben beschriebenen Verfahren können Effekte, die gleichzeitig auf alle Stationen eines Messringes wirken, eliminiert werden. Die Bandbreite der Nettodosisleistungen in Abbildung 4 ist deutlich geringer als die der Ortsdosisleistungen, womit auch eine tiefere Nachweisgrenze erreicht werden kann. Um bei der großen Anzahl Messwerte die Fehlalarme zu minimieren, ist für die Bestimmung der Erkennungs- oder Nachweisgrenze für α und β höchstens 1 % zu wählen. Mit $\alpha = \beta = 1$ % liegt die Erkennungsgrenze beim Messring KKG bei rund 8 nSv/h und die Nachweisgrenze bei rund 16 nSv/h; eine solche Erhöhung der Dosisleistung während eines Jahres ergäbe eine zusätzliche Jahresdosis von 0,14 mSv.

¹ Messnetz zur automatischen Dosisleistungsüberwachung in der Umgebung der Kernkraftwerke in der Schweiz

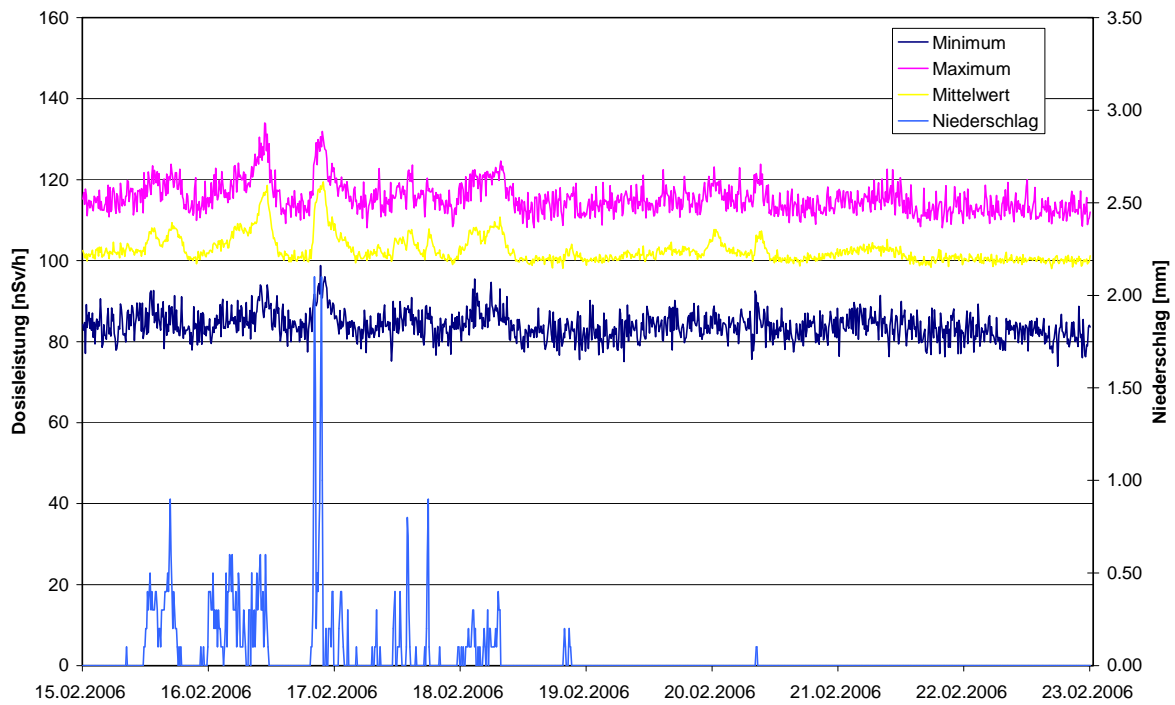


Abb. 3: Bandbreite der Ortsdosisleistungen und Niederschlag im Messring KKG vom 15.-23.02.2006.

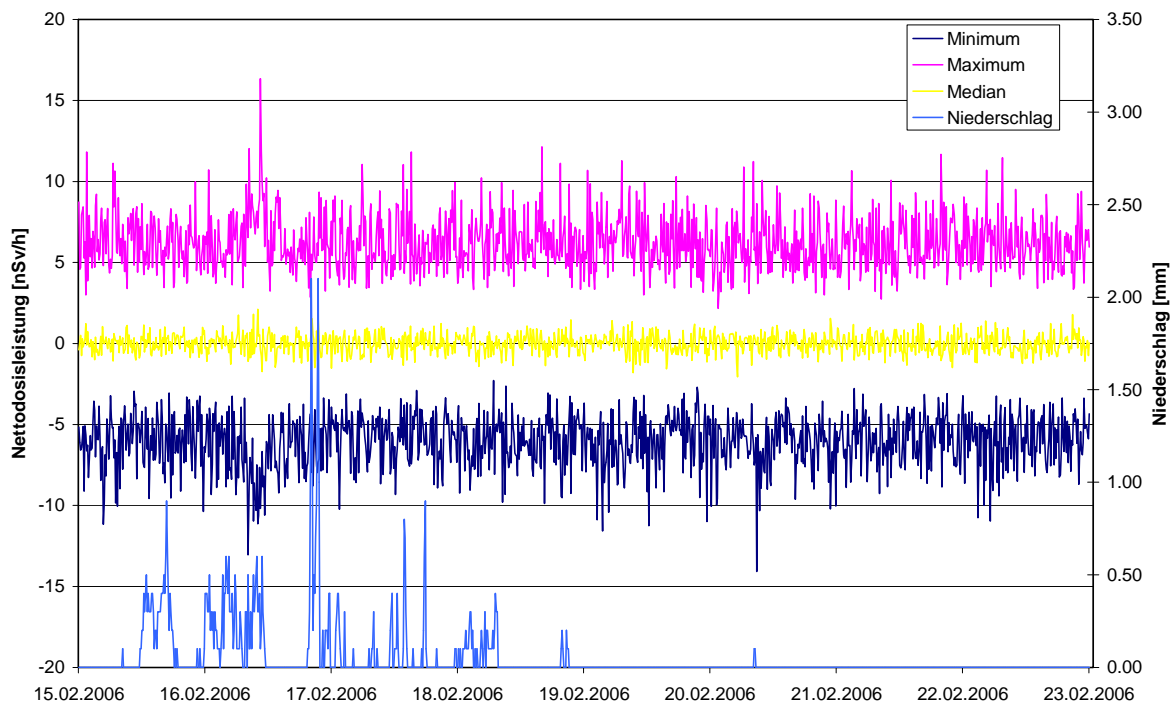


Abb. 4: Bandbreite der Nettodosisleistung im Messring KKG für die Zeitspanne vom 15. bis 23.02.2006.

6.3 Beispiele aus Deutschland

Abbildung 5 (Brutto-Werte) und Abbildung 6 (Netto-Werte) zeigen als Beispiele die Anwendung dieser Methode auf TLD-Messwerte aus der Umgebung des Forschungszentrums Karlsruhe (FZK) von 1980 bis 2006. Aus diesen Daten ergibt sich für einen Vertrauensbereich von 95% (2σ) eine Nachweisgrenze von rund $28 \mu\text{Sv}$ pro Quartal, entsprechend etwa $0,11 \text{ mSv}$ pro Jahr.

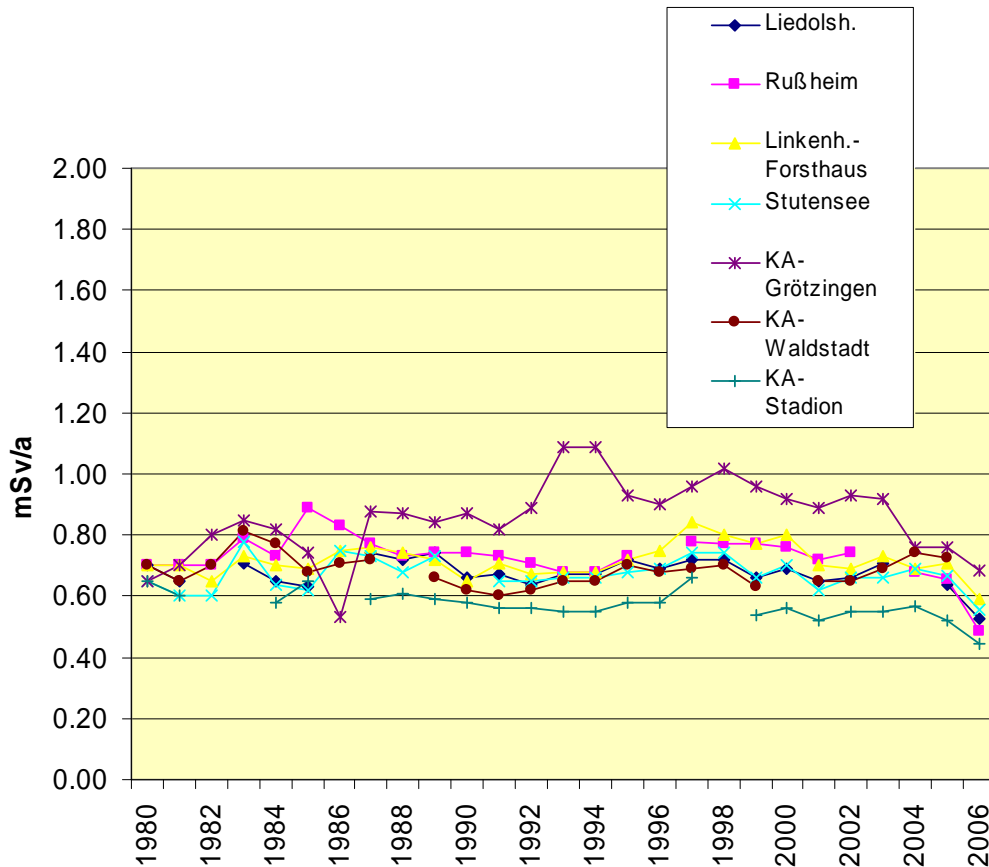


Abb. 5: Brutto-Dosiswerte ausgewählter TLD-Standorte in der Umgebung des KIT Campus- Nord (ehemals Forschungszentrum Karlsruhe)

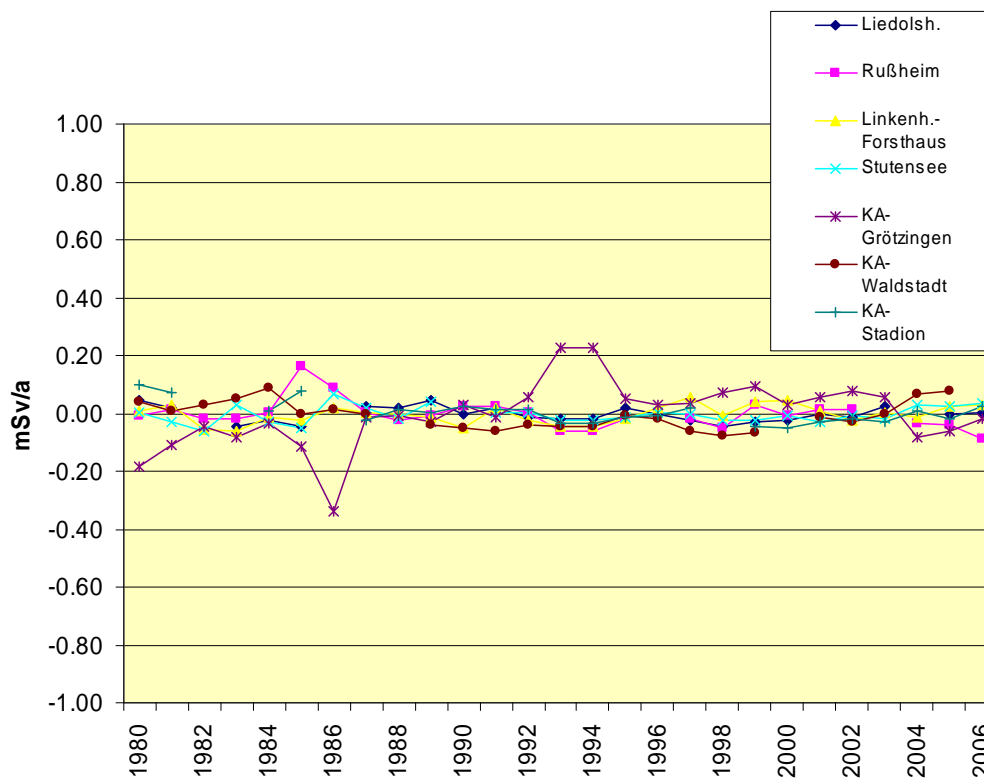


Abb. 6: Netto-Dosiswerte ausgewählter TLD-Standorte in der Umgebung des KIT Campus- Nord (ehemals Forschungszentrums Karlsruhe)

7 Bewertung des Verfahrens

Mit dem hier beschriebenen Verfahren lassen sich standortabhängige und meteorologische Effekte aus den Messresultaten von TLDs und automatischen Dosisleistungsmessstationen eliminieren. Zeitlich und örtlich beschränkte Einflüsse auf die Messungen können gut erkannt werden. So werden die Nachweisgrenzen mehrmals jährlich bei sehr lokalen Niederschlägen bei den entsprechenden MADUK-Messsonden deutlich übertroffen. Solche kurzzeitige Effekte spielen bei den TLD-Messungen jedoch keine Rolle. Die in der Richtlinie für Emissions- und Immissionsüberwachung (REI) geforderten Nachweisgrenzen von 0,1 mSv/a für Dosismessungen mittels TLD und 50 nSv/h für Dosisleistungsmessungen lassen sich mit Hilfe dieses Verfahrens größtenteils erreichen.

8 Literaturhinweise

- [1] DIN 25483 Verfahren zur Umgebungsüberwachung mit integrierenden Festkörperdosimetern, September 2000

Bitte beachten Sie den Hinweis im Losen Blatt 1.3 „Erläuterungen zur Loseblattsammlung“.



9 Anhang: Definitionen der Größen und Rechenvorschriften

Beweissicherungsdaten (BSD): $D(x, z)$; x = Messpunkt; z = Zeitintervall

Messpunktmittel: $D(x) = \frac{1}{n} \cdot \sum_z D(x, z)$ n : Anzahl Zeitintervalle

Zeitintervallmittel: $D(z) = \frac{1}{m} \cdot \sum_x D(x, z)$ m : Anzahl Messpunkte

Gesamtmittel: $D = \frac{1}{n} \cdot \sum_z D(z) = \frac{1}{m} \cdot \sum_x D(x) = \frac{1}{m \cdot n} \cdot \sum_{x,z} D(x, z)$

Ortsparameter: $OSP(x) = D(x) - D$

Erwartungswert: $E(x, z) = OSP(x) + D(z)$

Nettowert: $N(x, z) = D(x, z) - E(x, z) = D(x, z) - D(z) - OSP(x)$

Streuung Nettowerte: $\Delta N = \sqrt{\frac{1}{(m-1) \cdot (n-1)} \cdot \sum_{x,z} (D(x, z) - E(x, z))^2}$

Erkennungsgrenze: $EG = k_{1-\alpha} \cdot \Delta N$
mit $k_{1-\alpha}$ als $1-\alpha$ -Quantil der Standardnormalverteilung mit der Wahrscheinlichkeit α

Nachweisgrenze: $NWG = EG + k_{1-\beta} \cdot \sigma(NWG) = 2 \cdot EG$
mit $k_{1-\beta}$ als $1-\beta$ -Quantil der Standardnormalverteilung mit der Wahrscheinlichkeit β , $\alpha=\beta$ und gleicher Streubereich für Nettowerte bei NWG

9.1 Messdaten TLD

Messwerte $D(x, z)$: x = Messpunkt; z = Zeitintervall während Betriebszeit KKW

Auf Zeitintervallslänge normierte Messsignale des Messpunktes x im Zeitintervall z :

$$D_{norm}(x, z) = \frac{normql}{rql(x)} \cdot D(x, z)$$

normql: normierte Zeitintervallslänge in Tagen

rql(x): reale Zeitintervallslänge (Messpunkt x) in Tagen

Zeitintervallsmittel: $D_M(z) = \frac{1}{m} \cdot \sum_x (D_{norm}(x, z))$

Erwartungswert: $E_M(x, z) = OSP(x) + D_M(z)$



LOSEBLATTSAMMLUNG FS-78-15-AKU
EMPFEHLUNGEN ZUR ÜBERWACHUNG
DER UMWELTRADIOAKTIVITÄT

Blatt: 3.4.1

Seite: 11 von 12

Stand: Mai 2018

Nettowert :
$$N_M(x, z) = D_{norm}(x, z) - E_M(x, z)$$

Optimierung/Ausreissertest für jedes Zeitintervall z:

1
$$SD_M(z) = \sum_{x,z} N_M(x, z) \text{ mit } |N_M(x, z)| > \text{Signifikanzgrenze} = s \cdot \Delta N$$

Für die Signifikanzgrenze wird üblicherweise die dreifache (s=3) Standardabweichung der Beweissicherungsdaten verwendet (99,73 % Vertrauensintervall).

2
$$D_M^{neu}(z) = D_M(z) - \frac{SD_M(z)}{k} \quad k : \text{Anzahl Messpunkte mit } |N_M(x, z)| > \text{Signifikanzgrenze}$$

3
$$E_M^{neu}(x, z) = OSP(x) + D_M^{neu}(z)$$

4
$$N_M^{neu}(x, z) = D_{norm}(x, z) - E_M^{neu}(x, z)$$

5 Falls
$$\left| \frac{D_M^{neu}(z) - D_M(z)}{D_M^{neu}(z)} \right| > 0.01$$
 neuer Durchlauf mit $D_M(z) = D_M^{neu}(z)$ und $N_M(x, z) = N_M^{neu}(x, z)$ bei Schritt 1 starten

9.2 Automatische Dosisleistungsmessnetze

Normalbetrieb:

Messpunktmittelwert:
$$\dot{D}(x) = \frac{1}{n} \cdot \sum_z \dot{D}(x, z)$$

n: Anzahl Zeitintervalle im Auswertungszeitraum

$$\dot{D}(x, z)$$
: Ortsdosisleistung des Messpunktes x für das Zeitintervall z

Messringmittelwert:
$$\dot{D}(z) = \frac{1}{m} \cdot \sum_x \dot{D}(x, z)$$

m: Anzahl Stationen

Gesamtmittelwert:
$$\dot{D} = \frac{1}{m \cdot n} \cdot \sum_{x,z} \dot{D}(x, z)$$

Ortspezifischer Parameter:
$$OSP(x) = \frac{1}{n} \cdot \sum_z (\dot{D}(x, z) - \dot{D}(z)) = \dot{D}(x) - \dot{D}$$

Erwartungswert:
$$\dot{E}(x, z) = \dot{D}(z) + OSP(x)$$

Nettodosisleistung:
$$\dot{N}(x, z) = \dot{D}(x, z) - \dot{E}(x, z) = \dot{D}(x, z) - \dot{D}(z) - OSP(x)$$

Streuung Nettodosisleistung:
$$\Delta \dot{N} = \sqrt{\frac{1}{(m-1) \cdot (n-1)} \cdot \sum_{x,z} (\dot{N}(x, z))^2}$$



Erkennungsgrenze: $EG = k_{1-\alpha} \cdot \Delta \dot{N}$
mit $k_{1-\alpha}$ als $1-\alpha$ -Quantil der Standardnormalverteilung mit der Wahrscheinlichkeit α

Nachweisgrenze: $NWG = EG + k_{1-\beta} \cdot \sigma(NWG) = 2 \cdot EG$
mit $k_{1-\beta}$ als $1-\beta$ -Quantil der Standardnormalverteilung mit der Wahrscheinlichkeit β , $\alpha=\beta$ und gleicher Streubereich für Nettowerte bei NWG