



Fakultät Life Sciences

Bachelorarbeit

Einbindung von Spurmesswerten in die Lagedarstellung des radiologischen Lagezentrums (NLWKN) am Beispiel der CBRN Erkundungswagen

In Kooperation mit dem Niedersächsischen Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz

Eingereicht von: Kevin Thiessen

Matrikelnummer: [REDACTED]

Studiengang: Hazard Control/Gefahrenabwehr

HAW Hamburg

Betreut durch: Prof. Dr. Susanne Heise

HAW Hamburg

Dr. Kirsten Rupprecht

NLWKN

I. Abstract

Im Falle eines Störfalls in einer kerntechnischen Anlage wird das Radiologische Lagezentrum viele Messungen veranlassen, da Radioaktivität vom Menschen nicht wahrnehmbar ist. Die Spurmesswerte der CBRN (chemisch, biologisch, radiologisch und nuklear) Erkundungswagen liefern hierzu wertvolle Daten, können in Niedersachsen aber aktuell noch nicht optimal zur Bewertung eines möglichen Risikos für die Bevölkerung genutzt werden. Konkret ergeben sich dabei zurzeit drei Problemfelder: Die Vergabe des Messauftrags, die Datenübertragung und die Datenverarbeitung/Darstellung. Ziel der vorliegenden Bachelorarbeit ist es, ein Konzept zu erarbeiten, wie Spurmesswerte des CBRN Erkundungswagens in der Lageerfassung und Lagedarstellung des Radiologischen Lagezentrums optimal genutzt werden können. Das Konzept beinhaltet Lösungsansätze für alle drei Problemfelder einschließlich deren Validierung. Es wurde in ständiger Rücksprache mit den Fachberatern des Radiologischen Lagezentrums und dem Niedersächsischen Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz erstellt.

Um die Vergabe des Messauftrages zu verbessern, wurden die Erkenntnisse vergangener Übungen ausgewertet. Es zeigte sich, dass die Besatzungen der Erkundungswagen besser über ihren Auftrag informiert werden müssen und hierzu genauere Informationen über Messroute und Geschwindigkeit erhalten sollten.

Bezüglich der Datenübertragung aus den Erkundungswagen wurden drei mögliche Verfahren miteinander verglichen. Die Daten können entweder von festen Computern in anderen Behörden, von speziellen Übertragungswagen oder von Laptops in den Erkundungswagen versendet werden. Der Vergleich ergab kein grundsätzlich bestes Verfahren. Alle drei haben Vor- und Nachteile, die sich je nach Situation mehr oder weniger auswirken. Daher muss das beste Verfahren situationsbezogen gewählt werden.

Zur Verbesserung der Datenverarbeitung wurde für eine bestehende Software („Prosum“) eine konzeptionelle Erweiterung erarbeitet, die später vom der Firma Siemens als Betreuer der Software umgesetzt werden soll. Diese Erweiterung hat gegenüber der aktuell verwendeten Version den Vorteil, dass die Daten auch nach der Eingabe noch bearbeitet und ausgelesen werden können. Dadurch wird es möglich, die Spurmesswerte der CBRN Erkundungswagen, ebenso wie die Daten aus den Ortsdosisleistungsmessnetzen von Bund und Ländern, als essentielles Werkzeug für die Lagedarstellung zu nutzen.

Ein abschließender Test des Konzeptes wird nach Implementierung der erweiterten Software im Rahmen einer Übung mit mehreren CBRN Erkundungswagen erfolgen.

Inhalt

I.	Abstract.....	2
II.	Abkürzungsverzeichnis	4
III.	Abbildungsverzeichnis	5
1	Einleitung	6
2	Grundlagen.....	8
2.1	Radiologische Grundlagen.....	8
2.2	Radiologischer Vorfall	14
2.3	Datenerfassung.....	23
2.4	Methodische Vorgehensweise	26
3	Konzept zur Verwendung von Spurmesswerten	28
3.1	Messstrategie und Messauftrag	28
3.2	Datenübertagung	33
3.3	KFÜ Softwareerweiterung	36
3.4	Einbindung weiterer Spurmessfahrzeuge	44
4	Validierung.....	45
4.1	Vergleich mit anderen Bundesländern	45
4.2	Erfahrungen durch Verwendung von Prototypen	49
5	Ausblick	52
6	Zusammenfassung	54
7	Liste der Persönlichen Gespräche	55
8	Literaturverzeichnis.....	56

II. Abkürzungsverzeichnis

BBK	Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe
BfS	Bundesamt für Strahlenschutz
CBRN	Chemisch Biologisch Radiologisch Nuklear
DWD	Deutscher Wetterdienst
GIS	Geographisches Informationssystem
Gy	Grey
KFÜ	Kernreaktor-Fernüberwachung
LfU	Bayerisches Landesamt für Umwelt
LUBW	Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg
MLK	Messleitkomponente
NBR	Natural Background Reduction
NGA	Nuklearspezifische Gefahrenabwehr
NLWKN	Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz
ODL	Ortsdosisleistung
REI	Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen
RIMNET	Radioactive Incident Monitoring Network
RIVM	Vans des Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu
RODOS	Realtime Online Decision Support System
SSK	Strahlenschutzkommission
Sv	Sievert

III. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: *Zusammensetzung der durchschnittlichen Jahresdosis nach den Daten des BfS aus Strahlung und Strahlenschutz (Bundesamt für Strahlenschutz, 2017)*

Abbildung 2: *Schematische Darstellung der Emissionsüberwachung von https://www.nlwkn.niedersachsen.de/Strahlenschutz/ueberwachung_kerntechnischer_anlagen/kernreaktorfernueberwachung_kfue/emissionsueberwachung/emissionsueberwachung-114946.html Abgerufen am 24.8.2018*

Abbildung 3: *Zoneneinteilung nach Rahmenempfehlungen für den Katastrophenschutz in der Umgebung kerntechnischer Anlagen (Nicht Maßstabsgetreu) [Selbst angefertigt]*

Abbildung 4: *Messcontainer des CBRN Erkundungswagens des LK Hildesheim [Selbst angefertigt]*

Abbildung 5: *Prototyp der Spurensoftware aus dem KFÜ-System des NLWKN [Selbst angefertigt]*

Abbildung 6: *Messzentrale während der Übung vom 29.5.2018 [Selbst angefertigt]*

Abbildung 7: *Messspuren der Messübung 2015 [Selbst angefertigt]*

Abbildung 8: *Fiktive Messwerte einer möglichen Kontamination [Selbst angefertigt]*

Abbildung 9: *KFÜ-Software Kartenansicht der ODL Sonden [Selbst angefertigt]*

Abbildung 10: *Messcontainer des CBRN Erkundungswagen der FF Pfarrkirchen [Bearbeitet] von <http://www.feuerwehr-pfarrkirchen.de/jcms/fahrzeuge/abc-erkkw.html> abgerufen am 24.8.2018*

Abbildung 11: *Vergleichsbild, Überlagerung der hohen Messwerte [Selbst angefertigt]*

1 Einleitung

Radioaktivität, Die Unsichtbare Gefahr

So oder so ähnlich betiteln viele Autoren ihre Zeitungsartikel oder Blogeinträge, wenn sie sich mit Themen rund um kerntechnische Anlagen befassen. Damit wird vor allem die Angst der Leser vor einem Störfall angesprochen. Aus der Schule und aus den Medien wissen diese, dass Radioaktivität gefährlich sein kann. Sie wissen auch, dass sie sie mit keinem ihrer Sinnesorgane wahrnehmen kann. Daher stellt Radioaktivität für den Durchschnittsbürger tatsächlich eine unsichtbare Gefahr dar. Um die Bürger zu schützen gibt es speziell ausgerüstete Organisationen, welche in solch einer Situation Messgeräte einsetzen, um ionisierende Strahlung aufzuspüren.

Im Vereinigten Königreich wurde hierfür das Radioactive Incident Monitoring Network (RIMNET) aufgebaut. Dies ist ein Netzwerk, welches unter anderem mit Hilfe von Gammaortsdosisleistungssonden das Gebiet des Vereinigten Königreichs überwacht (HM Government, 2015, S. 39). Sollte sich eine Wolke mit radioaktiven Bestandteilen dem Gebiet nähern, wird diese entdeckt und es können weitere Einheiten alarmiert werden (Department for Business, Energy & Industrial Strategy, 2012).

In den Niederlanden wird auch ein nationales Überwachungsnetzwerk für ionisierende Strahlung verwendet. Bei einem Vorfall in einem Kernkraftwerk werden zusätzlich mobile Erkundungsfahrzeuge eingesetzt. Die Vans des Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM) können, neben Handmessungen und Probenahmen auch Spurmesswerte während der Fahrt aufnehmen. Dadurch wird es möglich, große Gebiete mit der Geschwindigkeit eines Fahrzeugs zu untersuchen (Persönliche Kommunikation mit Chris Twenhöfel, 2018).

In Deutschland gibt es ebenfalls ein System, das bei Störfällen in kerntechnischen Anlagen aktiviert wird. Auch hier werden Fahrzeuge eingesetzt, welche in der Lage sind, Spurmesswerte aufzunehmen; z.B. die CBRN Erkundungswagen der Katastrophenschutzbehörden (Strahlenschutzkommission, 2015, S. 23). Die Abkürzung CBRN bezeichnet das Feld der **chemischen**, **biologischen**, **radioaktiven** und **nuklearen** Gefahren. Der Erkundungswagen ist für alle diese Gefahren gerüstet. Im Falle eines nuklearen Notfalls werden die aufgenommenen Daten anschließend an das Radiologische Lagezentrum übermittelt. Hier werden alle Messergebnisse ausgewertet. Mit den so gewonnenen Erkenntnissen werden der zuständigen Katastrophenschutzleitung dann Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung empfohlen (Strahlenschutzkommission, 2015, S. 11).

Ziel dieser Arbeit ist es, ein Konzept aufzustellen, durch welches die Spurmesswerte des CBRN Erkundungswagens sinnvoll in die Lageerfassung und Lagedarstellung des Radiologischen Lagezentrums in Niedersachsen integriert werden können. Dadurch soll es möglich werden, die Lage schneller und umfangreicher zu erfassen.

In Niedersachsen wird bereits eine Software zur Auswertung der Spurdaten der Erkundungswagen verwendet. Dazu werden die Daten in eine Bilddatei umgewandelt und anschließend als Ebene („Layer“) in ein Geografisches Informationssystem (GIS) eingefügt. Da bei diesem Vorgehen die konkreten Messwerte verloren gehen, gibt es hier Verbesserungspotential. In dieser Bachelorarbeit soll u.a. ein Konzept für eine verbesserte Software erstellt werden.

Im Einzelnen sollen Im Rahmen dieser Bachelorarbeit Lösungen in drei Problemfeldern erarbeitet werden:

Ein Problem zu Beginn ist, dass die Besatzungen der Messfahrzeuge in der Regel nicht mit dem Vorgehen nach einem Störfall vertraut sind. Sie sind zwar in dieser Situation eingeplant, allerdings finden größere Übungen eher selten statt. Daher muss ihnen ein sehr detaillierter Messauftrag gegeben werden. Bisher existiert allerdings keine Vorgabe, in welcher erläutert wird, welche Informationen die Erkundungsfahrzeuge benötigen, um erfolgreich Messfahrten durchzuführen.

Das zweite Problem stellt die Übertragung der Messergebnisse aus den Fahrzeugen an das Radiologische Lagezentrum dar, das für die Auswertung der erhobenen Daten verantwortlich ist. Eine Datenfernübertragung ist mit dem CBRN Erkundungswagen aktuell nicht möglich. Daher müssen Alternativen gefunden werden, um die Daten ohne großen Zeitverzug zu übertragen.

Das dritte Problem besteht in der verwendeten Software zu Auswertung der Spurmessungen. Diese befindet sich noch in der Prototypenphase. Die Darstellungsebene im GIS lässt sich im Nachhinein nicht mehr bearbeiten oder auslesen. Dadurch ist es nur möglich, die Karte in einer einzigen Konfiguration zu betrachten, als wäre diese ausgedruckt. Da es aber erforderlich werden kann, die angezeigten Spuren zu filtern oder andere Datensätze anzuzeigen, ist es notwendig die Darstellung flexibler zu gestalten.

2 Grundlagen

2.1 Radiologische Grundlagen

Der Begriff Strahlung bezeichnet einen Transport von Materie oder Energie, welche nicht an ein Medium gebunden ist. Die Strahlung lässt sich in zwei unterschiedliche Arten aufteilen; Photonenstrahlung und Teilchenstrahlung. Die Photonenstrahlung besteht nur aus den namensgebenden Photonen, welche materielos sind. Teilchenstrahlung besteht aus Materieteilchen. Diese können zum Beispiel Protonen, Neutronen oder Elektronen sein. Weiterhin kann man Strahlung in ionisierende und nichtionisierende unterteilen, je nachdem, ob sie genug Energie hat, um Elektronen aus der Hülle eines Atoms zu entfernen oder nicht (Krieger, 2017, S. 17-18).

Ionisierende Strahlung entsteht z.B. als Ergebnis eines radioaktiven Zerfalls. Bei einem radioaktiven Zerfall wandelt sich ein Atom durch Abgabe eines Teilchens, also Masse mit kinetischer Energie, in ein anderes Element um. Die wichtigsten Strahlenarten sind die Alpha-, Beta (+) - und Beta (-) -Strahlung, die Gammastrahlung sowie die Neutronenstrahlung. Hierbei wird jeweils das namensgebende Teilchen mit einer hohen kinetischen Energie, also einer hohen Geschwindigkeit, aus dem Atomkern freigesetzt. Ein Alphateilchen ist ein Heliumkern, welcher aus zwei Protonen und zwei Neutronen besteht. Allgemein verändert sich der Atomkern um dasselbe Maß des abgegebenen Teilchens. Das heißt, wenn der Atomkern ein Proton abgibt, entsteht ein Atom mit einem Proton weniger. Neben der Teilchenstrahlung wird ein Teil der bei der Umwandlung abgegebenen Energie in Form von Gammastrahlung freigesetzt (Krieger, 2017, S. 95-97). Gammastrahlung besteht aus Photonen (Lichtquanten), welche beim Zerfall eines Atomkerns entstehen (Krieger, 2017, S. 33).

Die verschiedenen Strahlenarten haben unterschiedliche Eindringtiefen, sie lassen sich also vom gleichen Material unterschiedlich gut abschirmen. Alphastrahlung hat die geringste Eindringtiefe und kann selbst die oberen Hautschichten nicht durchdringen. Betastrahlung hat eine höhere Eindringtiefe, ist als Teilchenstrahlung allerdings ebenfalls gut abzuschirmen. Gammastrahlung durchdringt als Photonenstrahlung die meisten Materialien und lässt sich nur schwer abschirmen (Strahlenschutzkommission, 2014a, S. 16-17).

Ein Maß für die Strahlenwirkung auf Organismen erhält man durch die Angabe der Dosis. Sie beschreibt, wieviel Energie von einer bestimmten Masse an Materie aufgenommen wird. Durch die reine Betrachtung der Energie pro Masse erhält man die Energiedosis in der Einheit Grey [Gy] (Krieger, 2017, S. 318).

Die Energiedosis gibt noch keine passende Beschreibung der Strahlenwirkung auf den Menschen, da verschiedene Strahlenarten eine unterschiedliche Wirkung auf organisches Gewebe haben. Daher wird jeder Strahlenart ein Strahlungswichtungsfaktor zugeordnet. Durch die Multiplikation von Energiedosis und Strahlungswichtungsfaktor erhält man die Äquivalenzdosis in Sievert [Sv] (Krieger, 2017, S. 329).

Da die unterschiedlichen Organe des Menschen verschieden empfindlich auf Strahlung reagieren, wird unterschieden ob einzelne Organe besonders betroffen sind oder ob der ganze Körper bestrahlt wird. Dabei wird den unterschiedlichen Organen jeweils ein Gewebewichtungsfaktor zugeordnet. Multipliziert man die Organäquivalenzdosis jeweils mit den Gewebewichtungsfaktoren der betroffenen Organe und summiert anschließend über alle Organe, erhält man die effektive Dosis in Sievert. Die effektive Dosis ermöglicht eine qualitative Beschreibung der Strahlenwirkung auf den menschlichen Organismus (Krieger, 2017, S. 331-335).

Die Ortsdosisleistung (ODL) beschreibt eine Dosis in einem Zeitintervall an einem festen Ort (StrlSchV §3 Abs. 2 Nr. 9f). Meistens wird hierzu die effektive Dosis in einem Zeitintervall von einer Stunde angegeben. Die dazugehörige Einheit lautet dann Sievert pro Stunde [Sv/h].

Die Strahlenwirkung auf den menschlichen Körper wird in zwei Arten unterschieden; die stochastische (die Langzeitwirkung) und die deterministische (die akute Wirkung) Strahlenwirkung.

Die stochastische Wirkung kann auch schon bei geringen Dosen auftreten. Hierbei korreliert die Eintrittswahrscheinlichkeit mit der aufgenommenen Dosis. Die eintretenden Effekte sind, unabhängig von der aufgenommenen Dosis, immer gleich schwerwiegend. Für die stochastische Strahlenwirkung existiert kein Schwellenwert, so dass jede kleine Erhöhung der Dosis relevant ist. Zu den möglichen Effekten gehören die Bildung von Tumoren oder die Veränderung des Erbgutes (Krieger, 2017, S. 478). Stochastische Effekte treten dadurch auf, dass die DNS im Zellkern die eingestrahlte Energie absorbiert, was zur Bildung von Radikalen führen kann. Diese führen wiederum u.a. zu Einzelstrang- oder Doppelstrangbrüchen, die prinzipiell von der Zelle repariert werden können. Bleibt diese Reparatur jedoch aus oder ist fehlerhaft, sind Regulation und Zellteilung geschädigt (Krieger, 2017, S. 409). Selbst wenn nur eine einzelne Zelle betroffen ist, besteht die Möglichkeit, dass diese zu einem Tumor heranwächst. Daher kann es keine Schwellendosis für stochastische Strahlenschäden geben.

Die deterministische Strahlenwirkung tritt bei hohen Strahlendosen auf. Hierbei korreliert die Schwere der Schädigung mit der Dosis, nicht aber die Eintrittswahrscheinlichkeit. Für viele deterministische Effekte existieren Schwellenwerte, bei deren Überschreitung Symptome auftreten. In Tabelle 1 werden Schwellenwerte und die zugehörigen Effekte aufgelistet. Die Daten sind auf der Website des Bundesamtes für Strahlenschutz veröffentlicht.

Tabelle 1: *Wichtige Schwellenwerte für deterministische Strahlenwirkungen* von <https://www.bfs.de/DE/themen/ion/strahlenschutz/grenzwerte/grenzwerte.html>

Dosis	
100 mSv	Unterer Schätzwert des Schwellenwerts für Schädigungen des Ungeborenen
500 mSv	Bei akuter Exposition treten ab diesem Schwellenwert Hautrötungen auf
1000 mSv	Bei akuter Exposition treten ab diesem Schwellenwert akute Strahleneffekte auf (zum Beispiel Übelkeit, Erbrechen)
3000 – 4000 mSv	Ohne medizinisches Eingreifen sterben bei dieser Dosis 50 Prozent der exponierten Personen nach 3-6 Wochen, wenn es sich um eine in kurzer Zeit erfahrene Strahlenbelastung handelte (LD50)
> 8.000 mSv	Ohne entsprechende medizinische Behandlung bestehen nur geringe Überlebenschancen, wenn es sich um eine in kurzer Zeit erfahrene Strahlenbelastung handelte

Wenn eine bestimmte Körperstelle eine hohe Dosis an Strahlung aufnimmt, führt dies dazu, dass die Zellen ihre Reproduktions- oder Funktionsfähigkeit verlieren können. Wenn die körpereigenen Reparaturmechanismen die Vielzahl an Schäden nicht in kurzer Zeit bewältigen können, wird das Gleichgewicht zwischen Zellsterben und Zellbildung gestört. Dadurch verliert die betroffene Körperstelle insgesamt ihre Funktionsfähigkeit. Die Schäden können je nach Größe und Position der Einwirkung unterschiedlich ausfallen. Sollten die Schäden schwer genug sein, kann der Körper lebenswichtige Funktionen nicht mehr aufrechterhalten und der Tod tritt ein. Treten die Strahlenschäden zeitlich getrennt auf, kann der Körper die einzelnen Schäden eher reparieren und die beschädigten Zellen austauschen. Erst durch die Häufung der Schäden, also bei einer hohen Dosis in kurzer Zeit, kommt es zu deterministischen Schäden (Krieger, 2017, S. 484-497).

Der Mensch wird permanent mit Strahlung konfrontiert. Im Mittel erhält ein Bundesbürger eine effektive Dosis von etwa 4,5 mSv im Jahr. Der Hauptteil der künstlichen Strahlung resultiert aus medizinischen Anwendungen (ca. 2 mSv pro Jahr). Die kosmische Strahlung, die terrestrische Strahlung und die Strahlenbelastung durch Radon bilden die natürlichen Strahlenquellen (ca. 2,1 mSv pro Jahr) (Krieger, 2017, S. 571). Eine komplette Übersicht über die Zusammensetzung der durchschnittlichen Jahresdosis gibt Abbildung 1.

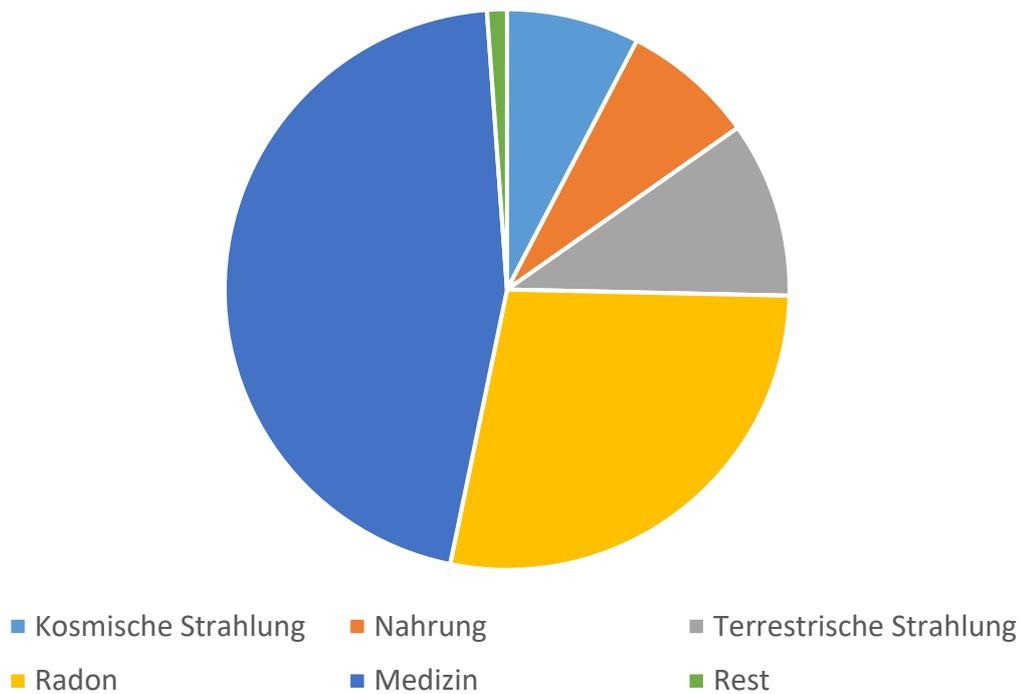


Abbildung 1: Zusammensetzung der durchschnittlichen Jahresdosis nach den Daten des BfS aus Strahlung und Strahlenschutz

Die terrestrische Strahlung wird hauptsächlich durch Elemente in der Erdkruste hervorgerufen, welche während der Erdentstehung gebildet wurden. Wegen ihrer extrem langen Halbwertszeiten sind immer noch viele von ihnen vorhanden und beeinflussen organische Systeme. Die meisten natürlichen Nuklide lassen sich einer der drei natürlichen Zerfallsreihen zuordnen. Diese Zerfallsreihen beginnen mit einem zerfallenden Mutternuklid. Das durch den Zerfall entstandene Tochternuklid ist instabil und zerfällt wiederum. So ergibt sich eine Kette, bei der die Teilchen über mehrere Stufen bis zu einem stabilen Nuklid zerfallen. In der Natur bilden diese „Stufen“ oder Tochternuklide ein Gleichgewicht, da oft so viele Nuklide neu entstehen, wie zerfallen (Krieger, 2017, S. 150-157).

In allen drei Zerfallsreihen kommt ein instabiles Radonnuklid vor, welches sich über den Alphazerfall umwandelt. Da es ein Edelgas ist, kann Radon sehr gut aus dem Erdboden aufsteigen und so Bestandteil der bodennahen Luft werden. Diese Luft wird von Organismen über die Atemwege aufgenommen. Mit etwa 1,2 mSv pro Jahr hat Radon einen vergleichsweise hohen Anteil an der gesamten mittleren effektiven Dosis, die ein Menschen über ein Jahr gesehen, erhält (Krieger, 2017, S. 155).

Der hohe Beitrag des Radons zur mittleren effektiven Dosis ist über den Expositionspfad in den menschlichen Körper zu erklären. Im Gegensatz zu den Nukliden, welche bei Umgebungstemperatur fest oder flüssig sind und damit im Boden verbleiben, tritt Radon als Edelgas aus dem Boden aus. Die Alphateilchen haben eine sehr geringe Reichweite, da sie ihre Energie sehr schnell abgeben (Krieger, 2017, S. 324). Daher kommen die Alphateilchen der im Boden verbleibenden Nuklide erst gar nicht mit menschlichen Gewebe in Kontakt. Das Radon hingegen zerfällt in der bodennahen Luft, seine Folgeprodukte lagern sich an kleinsten Partikeln ab die sich bei der Atmung in der Lunge festsetzen können. Das Radon selbst wird meist wieder ausgeatmet. Unter den Folgeprodukten sind auch Alphastrahler, welche das Lungengewebe nun ohne Abschirmung bestrahlen können (Bundesamt für Strahlenschutz, 2016). Mit einem Faktor von 20 hat die Alphastrahlung einen hohen Strahlungswichtungsfaktor und kann daher eine hohe Äquivalentdosis im Gewebe erzeugen (Krieger, 2017, S. 329). Daher ist der Einfluss des Radons und seiner Folgeprodukte höher, als der von anderen natürlichen Alphastrahlern.

Wie man am Beispiel des Radons sieht, gibt es mehrere Expositionspfade, über die ionisierende Strahlung den Menschen erreichen kann. Diese werden in äußere und innere Exposition unterschieden. Eine innere Exposition kann entweder durch eine Inhalation, oder eine Ingestion zustande kommen. Da der Mensch nicht in der Lage ist ionisierende Strahlung zu spüren, gibt es nichts, was ihn am Einatmen oder Konsumieren von radioaktiven Nukliden hindert. Eine innere Exposition ermöglicht es, dass Alpha- und Betastrahlung die Zellen erreichen. Aufgrund ihrer geringen Reichweite werden diese bei äußerer Exposition von Gegenständen oder der Luft abgeschirmt. Eine äußere Exposition erfolgt z.B. über eine Kontamination des Bodens oder über Gegenständen, mit denen der Mensch in Berührung kommt. Weiterhin könnte er durch eine Wolke aus radioaktiven Teilchen bestrahlt werden. Im schlimmsten Fall wird die Haut an sich kontaminiert. Eine äußere Exposition besteht meist aus Gammastrahlung, da diese eine wesentliche größerer Reichweite hat und auch Materieschichten wie z.B. die Haut durchdringen kann (Strahlenschutzkommission, 2014a, S. 14-15).

Im praktischen Umgang mit ionisierender Strahlung gibt es einige Grundprinzipien zu beachten, um die Exposition möglichst gering zu halten. Am wichtigsten ist es darauf zu achten, dass beim Umgang mit offenen radioaktiven Stoffen vermieden wird, dass diese in den Körper eindringen oder die Körperoberfläche, wie Haut, Haare oder die Kleidung kontaminiert werden. Daher sollte die Möglichkeit einer Inkorporation durch Ess- und Trinkverbote und der Inhalation sowie Kontamination, durch Schutzausrüstung verhindert werden. Durch diese Maßnahmen ist gewährleistet, dass beim Verlassen des betroffenen Bereichs auch das Strahlenfeld verlassen wird (Krieger, 2017, S. 591-595).

Offene radioaktive Stoffe sind nicht von einem inaktiven Material wie Stahl umschlossen. Sie können also auch in Form von Flüssigkeiten oder Staub vorliegen. Daher besteht ein hohes Risiko der Kontaminationsverschleppung. Das Gegenteil wird als umschlossener radioaktiver Stoff bezeichnet, welcher beispielsweise mit Stahl umhüllt ist und so eine Kontaminationsverschleppung ausschließt.

Bei umschlossenen radioaktiven Stoffen sollte zunächst die **AAA** Regel des Strahlenschutzes beachtet werden. Diese As stehen für Abstand, Abschirmung und Aufenthaltszeit.

Durch die **Erhöhung des Abstandes** nutzt man das Abstands-Quadrat-Gesetz. Durch die Geometrie wird vorgegeben, dass bei einer Verdoppelung des Abstandes die Ortsdosisleistung um den Faktor $2^2=4$ abnimmt. Dieses Gesetz gilt so nur bei einer Punktquelle, allerdings wird auch bei einem Flächenstrahler eine Abstandserhöhung die Ortsdosisleistung senken.

Durch die **Verwendung von Abschirmungen** wird die Ortsdosisleistung ebenfalls gesenkt. Ein Teil der Strahlung wird vom abschirmenden Material abgehalten. Je dichter dieses Material, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit, dass ein Atom die Strahlung absorbiert. Daher wird oft das vergleichsweise dichte Blei zur Abschirmung verwendet.

Durch die **Verringerung der Aufenthaltszeit** im Strahlenfeld wird dafür gesorgt, dass die herrschende ODL für eine geringere Zeit einwirkt. Dadurch wird der Körper weniger Strahlung ausgesetzt und die Dosis wird verringert (Bundesamt für Strahlenschutz, 2017, S. 38-39).

Die Einhaltung aller Strahlenschutzgrundlagen ist im Normalfall von hoher Bedeutung, um den Menschen vor einer zu großen Dosis zu bewahren. Wenn es aber zu einem Vorfall in einer kerntechnischen Anlage kommt, reichen diese Maßnahmen nicht mehr aus. Im folgenden Kapitel sollen der Ablauf eines radiologischen Vorfalls verdeutlicht, alle beteiligten Organisationen vorgestellt und die möglichen Maßnahmen verdeutlicht werden.

2.2 Radiologischer Vorfall

Nach dem Unglück von Fukushima entschied die deutsche Bundesregierung über einen beschleunigten Ausstieg aus der Kernenergie. Daher wurde den Betreibern der bereits existierenden Kraftwerke eine maximale Restlaufzeit vorgegeben, sodass in Deutschland bis 2022 alle Kernkraftwerke stillgelegt werden (AtG §7). Aber auch nach deren Stilllegung muss sichergestellt sein, dass der Katastrophenschutz einsatzbereit bleibt bis alle kerntechnischen Anlagen frei von Kernbrennstoff sind.

In Niedersachsen befinden sich derzeit noch zwei Kernkraftwerke im Leistungsbetrieb. Das heißt, dass diese Kernbrennstoffe im Reaktor spalten, um Energie für das Stromnetz zu produzieren. Es handelt sich dabei um das Kernkraftwerk Grohnde (KWG), im Landkreis Hameln-Pyrmont, und das Kernkraftwerk Emsland (KKE) im gleichnamigen Landkreis. Die Kraftwerke Unterweser, Lingen und Stade produzieren keinen Strom mehr und befinden sich in verschiedenen Phasen des Rückbaus. Am Standort Lingen wird weiterhin die Brennelementfabrik Advanced Nuclear Fuel betrieben (NLWKN, 2018).

Für die atomrechtliche Aufsicht dieser Anlagen ist das niedersächsische Ministerium für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz zuständig. Im Rahmen der Aufsicht über die kerntechnischen Anlagen ist der Niedersächsische Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN) für die Überwachung von Abluft und Abwasser auf radioaktive Rückstände zuständig. Hierzu betreibt dieser die Kernreaktor-Fernüberwachung (KFÜ) (NLWKN, 2018). Dieses System überwacht die Emissionen der Anlagen und die Immission in die Umwelt. Hierzu erhält es Messdaten über die Aktivität von radioaktiven Edelgasen, Iod und Aerosolen aus dem Fortluftkamin der Anlagen. Aerosole sind hauptsächlich Staub und Flüssigkeitspartikel an denen radioaktive Stoffe haften. In Abbildung 2 wird die Emissionsüberwachung schematisch dargestellt.

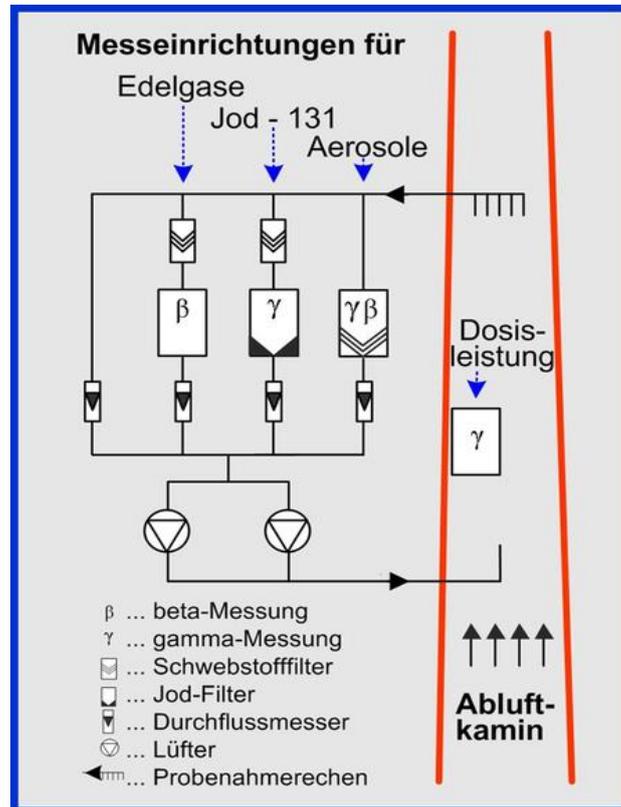


Abbildung 2: Schematische Darstellung der Emissionsüberwachung

Auch über die Ortsdosisleistung erhält das KFÜ Messwerte (ODL) von Sonden, welche um die Kraftwerke verteilt sind. Neben den Sonden des NLWKN, unterhält der Bund mit dem IMIS Messnetz bundesweit Messsonden, welche im 25 km Radius um kerntechnische Anlagen verdichtet aufgestellt sind. Grundsätzlich kann das Messnetz mit Hilfe von mobilen Sonden erweitert werden. Mobile Sonden sind zwar während der Messung stationär, werden aber erst in einem Störfall nach Bedarf platziert (BMU, 2005, S. 3).

Im Kamin der Kernkraftwerke ist zusätzlich eine Störfallinstrumentierung vorhanden, welche auch bei sehr hohen Aktivitäten, wie sie bei einem Unfall frei werden könnten, noch Daten über Edelgase, Iod und Aerosole messen. Weiterhin werden notwendige Parameter, über die Wettersituation und den Anlagenzustand, an die KFÜ-Zentrale übertragen (BMU, 2005, S. 3).

Dem NLWKN wurde auch die Aufgabe der Umgebungsüberwachung als unabhängige Messstelle nach der Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen (REI) übertragen (NLWKN, 2018). Hierbei wird die Umwelt in der Umgebung der Anlage überwacht, um festzustellen, ob sich radioaktive Stoffe langfristig in verschiedenen Umweltmedien anreichern oder ob es eine Anreicherung in der Nahrungskette gibt. Daher wird nicht nur die Ortsdosisleistung gemessen, sondern auch Umweltproben im radiochemischen Labor untersucht. Für jede Anlage, die an diese Richtlinie gebunden ist, werden zwei Messprogramme erstellt. Das Erste wird vom Betreiber selbst durchgeführt. Das Zweite Messprogramm wird von der unabhängigen Messstelle durchgeführt und ist komplementär zum ersten. Es dient hauptsächlich als Grundlage für ein Störfallmessprogramm, welches im Bedarfsfall durchgeführt wird (Länderausschuss für Atomkernenergie, 2006, S. 3).

Das KFÜ-System in Niedersachsen wird softwaretechnisch von der Firma Siemens betreut und erweitert (persönliche Kommunikation mit Nils Hottenbacher, 2018). Die KFÜ-Software sammelt Messergebnisse über Emissionen und Immissionen der überwachten Anlagen und stellt diese zum Abruf bereit. Die Emissionswerte der Kamininstrumentierung und die Messwerte der meteorologischen Instrumentierung können zum einen in tabellarischer Form, oder zum anderen als Verlaufskurve ausgegeben werden. Für die Darstellung der Immissionswerte ist die Software mit einem Geo-Informationssystem (GIS) verbunden, sodass sich alle Messwerte der ODL-Sonden schnell auf einer Karte ablesen lassen. Weiterhin ist die Software in der Lage Ausbreitungsberechnungen mit realen, gemessenen Werten oder mit hypothetischen Werten durchzuführen. Das heißt, es kann mit Hilfe von angenommenen oder bereits gemessenen Wetter- und Freisetzungsdaten eine Rechnung durchgeführt werden, welche die Ausbreitung der radioaktiven Stoffe nach Freisetzung aus der Anlage aufzeigt. Auch diese Ergebnisse können grafisch auf einer Karte angezeigt werden. (BMU, 2005, S. 4).

Diese Überwachungsaufgaben müssen im Normalbetrieb und insbesondere im Katastrophenfall sichergestellt werden. Sobald sich abzeichnet, dass es in einem Kernkraftwerk zu größeren Problemen kommt, gibt dieses Kraftwerk eine Meldung an die zuständige Katastrophenschutzbehörde, also den Landkreis in welchem sich die Anlage befindet. Diese Meldung enthält, neben einigen Informationen zur Lage und zum Zustand im Kraftwerk, eine Empfehlung zum Ausrufen eines Voralarms oder des Katastrophenalarms (Strahlenschutzkommission, 2015, S. 8).

Bei einem bestätigten Vorfall würde der/die Hauptverwaltungsbeamte/in den Katastrophenfall ausrufen (NKatSG § 20). Dies zieht die Einberufung des Katastrophenschutzstabes nach sich (NKatSG § 21). Dieser Stab besteht aus Personen, welche erweiterte Kenntnisse im Katastrophenschutz haben und hat die Aufgabe, die Leitung der Katastrophenschutzmaßnahmen zu unterstützen. Erweiterte Kenntnisse heißt dabei, dass sie Maßnahmen, wie z.B. eine Evakuierung vorbereiten und anordnen können. Allerdings haben diese Personen in der Regel keine Kenntnisse im Strahlenschutz. Darum werden sie von den Fachberatern des Radiologischen Lagezentrums unterstützt. Dieses Team berät den Katastrophenschutzstab in allen fachlichen Fragen und erstellt das radiologische Lagebild, sammelt alle Informationen über die radiologische Lage und bereitet diese verständlich auf. Anhand dieser Lagebeurteilung werden dem Stab die für diese Situation vorgesehenen Maßnahmen vorgestellt. Um allen Aspekten dieser Aufgaben gerecht zu werden, besteht das Radiologische Lagezentrum aus einer Verbindungsperson des Kraftwerks, einem Strahlenschutzsachverständigen, z.B. vom TÜV, einem Strahlenschutzarzt, Personal der Aufsichtsbehörde (in Niedersachsen der NLWKN) und einem Fachberater des Deutschen Wetterdienstes (DWD) (Strahlenschutzkommission, 2015, S. 11).

Auch das Radiologische Lagezentrum muss seine Aufgabe nicht komplett ohne Unterstützung bewältigen. Viele Abläufe, Zuständigkeiten und Empfehlungen existieren bereits, in Form von Empfehlungen oder Stellungnahmen der Deutschen Strahlenschutzkommission (SSK). Die SSK ist ein unabhängiges Beratungsgremium des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU). Die SSK übernimmt eine beratende Aufgabe im Bereich des Strahlenschutzes. Sie besteht aus einberufenen Experten, welche in ihrer Arbeit frei von Weisung sind. Die Ergebnisse der SSK werden als Empfehlung zusammengefasst (Strahlenschutzkommission, 2018). Diese Empfehlungen werden von den zuständigen Behörden oft als Handlungsgrundlage eingesetzt.

Das Erstellen eines einheitlichen Lagebildes über die Situation ist enorm wichtig. Sollte es zu einer Freisetzung von radioaktiven Stoffen kommen, geschieht dies wahrscheinlich durch Druckablass über den Fortluftkamin oder das Dach der Anlage. Auch eine Beschädigung des Reaktorgebäudes kann der Grund sein (Strahlenschutzkommission, 2014b, S. 18). In allen Fällen würde eine Wolke aus radioaktiven Stoffen freigesetzt, welche sich je nach Wetterlage in der Umgebung verteilt (Strahlenschutzkommission, 2014a, S. 12-13). Allerdings gäbe es nur bei einer Freisetzung aus dem Kamin Messwerte der festinstallierten Messeinrichtung. Da sich diese Wolke nicht an Länder- oder Staatsgrenzen hält, würden viele verschiedene Organisationen zusammenarbeiten müssen. Dadurch, dass die Lagebeurteilung an einer Stelle stattfindet, verhindert man, dass aneinander vorbei gearbeitet wird, oder dass Menschen in Grenznähe nur deshalb anders behandelt werden, weil sie z.B. einen Ort weiter wohnen und die Situation hier anders eingeschätzt wird.

In der Zeit vor der Freisetzung werden zunächst mit Hilfe des KFÜ-Systems und des RODOS Systems des Bundes Ausbreitungsberechnungen erstellt, um eine Prognose über die Ausbreitung einer radioaktiven Wolke abgeben zu können. Das RODOS ist ein vom Karlsruher Institut für Technologie erstelltes und vom BfS betriebenes online Entscheidungshilfe System, welches mit Hilfe von Daten der KFÜ-Systeme oder angenommener Quellterme und Wetterprognosen des DWD eine Ausbreitungsberechnung erstellen kann (Walter, et al., 2016). Im _Fall von Prognoserechnungen sind weder das Wetter, noch der Quellterm genau bekannt. Der Quellterm beschreibt die Abgabe der radioaktiven Stoffe. Er enthält Informationen über Menge, Zeitpunkt, Zusammensetzung und Verlauf der Abgabe (Strahlenschutzkommission, 2015, S. 21-22). Die berechneten Prognosen sind für den jeweils zuständigen Katastrophenschutzstab essentiell, da anhand dieser entschieden wird, ob eine Sofortmaßnahme eingeleitet wird oder nicht. Dazu wird für jeden Sektor eine potentielle Dosis berechnet. Diese potentielle Dosis wird mit den schlechtesten Bedingungen berechnet. Die Annahme ist, dass sich die betroffene Person sieben Tage am Stück ungeschützt im Freien befindet. Hierzu wird die effektive Dosis aus der äußeren Bestrahlung und der Folgedosis, der inhalierten Radionuklide, berechnet. Diese werden zwar nur in den sieben Tagen eingeatmet, verbleiben anschließend aber weiter im Körper. Die Eingreifrichtwerte wurden so festgelegt, dass der Nutzen der Maßnahme den jeweiligen Eingriff in das Leben der Personen rechtfertigt.

Sollte die effektive Dosis 10 mSv überschreiten, wird die Maßnahme **Aufenthalt im Gebäude** angeordnet. Die Personen in den betroffenen Sektoren werden aufgefordert in Gebäuden zu verbleiben und den Luftaustausch mit der Umwelt durch schließen aller Lüftungsmöglichkeiten wie Fenster und Klimaanlage zu minimieren. Hierdurch wird zum einen eine Kontamination oder Inhalation unwahrscheinlicher und gleichzeitig die äußere Bestrahlung durch die Abschirmung der Gebäudewände verringert. Diese Maßnahme lässt sich nur für wenige Stunden bis Tage aufrechterhalten, da die Menschen höchstwahrscheinlich nach dieser Zeit das betroffene Gebiet eigenständig verlassen würden.

Für die nächste Maßnahme gilt nicht die effektive Dosis, sondern die Organdosis der Schilddrüse. Bei einer Überschreitung von 50 mSv wird für Kinder zwischen 0 und 18 Jahren sowie bei Schwangeren und bei einem Wert über 250 mSv für Personen zwischen 18 und 45 die Maßnahme **Einnahme von Iodtabletten** angeordnet. Die Eingreifrichtwerte wurden so gewählt, dass der Nutzen gegenüber den Nebenwirkungen der gängigen Kaliumiodidtabletten überwiegt. Durch das Aufnehmen von großen Mengen Iod füllt die Schilddrüse ihre Vorräte. Dadurch wird die Aufnahme von weiterem Iod verhindert. Diese sogenannte Iodblockade hilft bei einem Kernkraftwerkunfall, da hier radioaktives Iod in relevanten Mengen freigesetzt wird. Bei Personen über 45 Jahren wird von dieser Maßnahme abgeraten, da die Nebenwirkungen gegenüber dem positiven Effekt überwiegen würden. Eine Nebenwirkung kann die Reizung der Magenschleimhaut sein. Bei Unverträglichkeit oder einer Überfunktion der Schilddrüse können auch schwerwiegendere Folgen auftreten.

Die dritte und schwerwiegendste Maßnahme ist die **Evakuierung**. Sie wird ab einer effektiven Dosis von 100 mSv umgesetzt. Evakuierung beschreibt das Entfernen aller Personen aus dem betroffenen Gebiet.

Eine Kombination von mehreren Maßnahmen ist vorstellbar. Es könnte z.B. vorkommen, dass sich Personen während des Wolkendurchzugs im Gebäude aufhalten und anschließend evakuiert werden. Weiterhin muss darauf geachtet werden, dass die Maßnahmen im Verhältnis zur verhinderbaren Dosis stehen (Strahlenschutzkommission, 2004, S. 59-60).

Um z.B. die Ergebnisse der Dosisberechnungen besser kommunizieren zu können, verwenden alle Beteiligten dieselbe Sektoreneinteilung. Dabei wird das Gebiet um ein Kernkraftwerk ringförmig in vier Bereiche unterteilt. Das Kraftwerk liegt im Zentrum. Von hier ausgehend folgen: die Zentralzone bis 5 km, die Mittelzone bis 20 km, die Außenzone bis 100 km und der „Rest des Bundesgebiets“. Die Mittel- und Außenzone werden in zwölf Stücke á 30° unterteilt und im Uhrzeigersinn nummeriert. Der erste Sektor wird symmetrisch um 000° Nord, wie in Abbildung 3 zu sehen, angelegt. Hierdurch kann jedem Beteiligten schnell mitgeteilt werden, um welchen Ort es sich handelt, auch wenn keine Ortskenntnisse vorhanden sind. An diesen Planungsgebieten ist ersichtlich, wie viele Menschen, Landkreise, Bundesländer und andere Staaten schon in der Außenzone liegen. Bis Februar 2014 wurden Planungsgebiete mit geringeren Radien verwendet. Die Erkenntnisse der Fukushima Katastrophe brachte die Strahlenschutzkommission allerdings zum Umdenken, sodass die oben beschriebenen Radien eingeführt wurden (Strahlenschutzkommission, 2014b, S. 3-5).

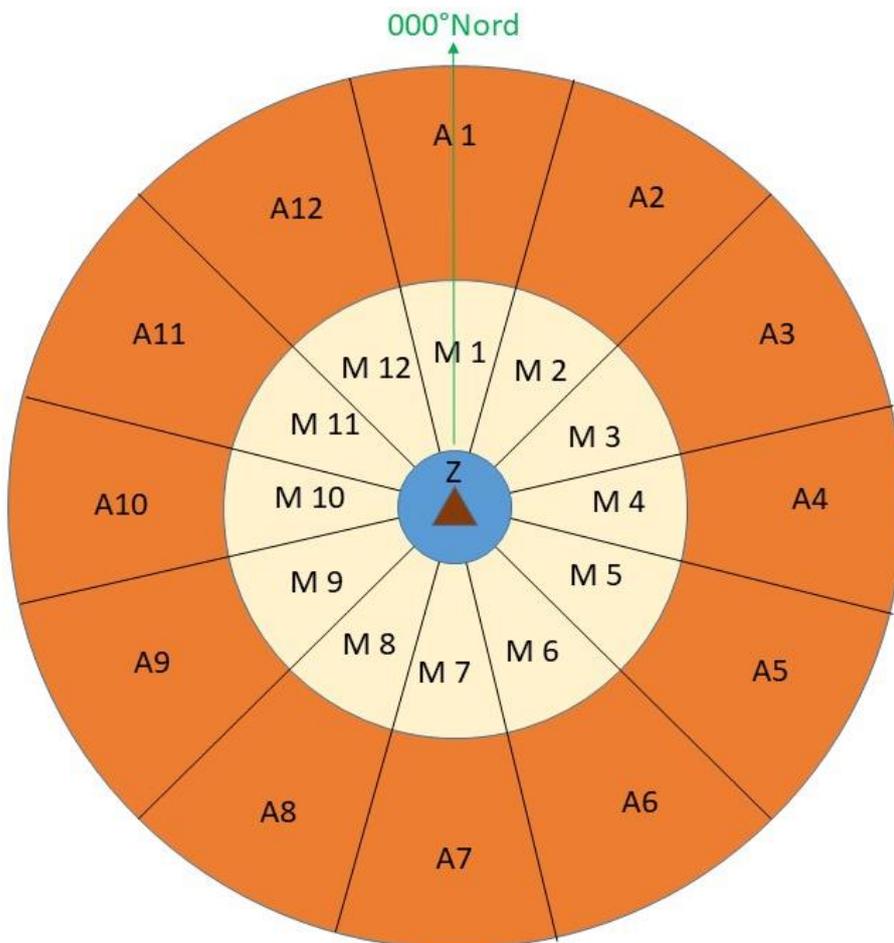


Abbildung 3: Zoneneinteilung nach Rahmenempfehlungen für den Katastrophenschutz in der Umgebung kerntechnischer Anlagen (Nicht Maßstabsgetreu)

An die durch Prognosen dominierte Vorfreisetzungsphase schließt sich die Freisetzungsphase an. In dieser gibt die betroffene Anlage eine Wolke ab, welche sich wieder aus den Bestandteilen Edelgase, Iod und Aerosol zusammensetzt (Strahlenschutzkommission, 2014a, S. 12). Es gibt verschiedene Szenarien, wie eine Freisetzung ablaufen könnte. Diese decken, von einer kleinen, gefilterten Abgabe über den Kamin, bis hin zur Explosion und Beschädigung des Reaktorgebäudes, alles ab (Strahlenschutzkommission, 2014b, S. 18). Hieran lässt sich erkennen, dass man auf eine große Spanne an Situationen vorbereitet sein muss.

Während der Freisetzungsphase finden kaum Arbeiten im betroffenen Gebiet statt, da die direkte Strahlung aus der Wolke sehr hoch sein kann. Außerdem ist die Gefahr einer Inhalation wesentlich erhöht. Bei ihrem Durchzug lagern sich Teilchen aus der radioaktiven Wolke auf dem Boden und auf anderen Oberflächen ab. Dieser Effekt ist nicht homogen, sondern kann durch lokale Wetterunterschiede und andere Faktoren sehr unterschiedlich ausfallen. Manche Gebiete können kaum betroffen sein, andere hingegen viel stärker als vorhergesagt (Strahlenschutzkommission, 2014a, S. 12-15).

Die nachfolgende Übergangsphase zeichnet sich durch den Übergang von Vorhersagen zur Messung aus. Viele Messungen starten in dieser Phase, da die Wolkenstrahlung nicht mehr vorhanden ist und man hauptsächlich die Strahlung der abgelagerten Teilchen misst; die Bodenstrahlung. Diese kann das Gebiet für eine längere Zeit gefährden. Außerdem kann nun mit den genauen Wetterdaten und den Abgabewerten eine diagnostische Ausbreitungsberechnung durchgeführt werden (Strahlenschutzkommission, 2014a, S. 12-15).

Zu Beginn dienen die ersten Messungen dazu, die Ausbreitungsberechnung zu bestätigen oder zu widerlegen. Dadurch erhält man schnell einen Überblick, ob die Situation überhaupt mit der Rechnung übereinstimmt. Im späteren Verlauf, wenn mehr Messwerte vorhanden sind, können diese genutzt werden, um das kontaminierte Gebiet abzugrenzen oder Stellen mit erhöhter Kontamination zu finden (Strahlenschutzkommission, 2015, S. 22-23).

Für die ODL-Messung stehen drei verschiedene Optionen zur Verfügung. Zunächst werden die Messnetze verwendet. Aufgrund der Anzahl und Immobilität geben die Sonden eher einen groben Überblick. (Strahlenschutzkommission, 2015, S. 22-23).

Ein genaueres Bild erhält man durch die Verwendung der Daten von den Messdiensten, also von qualifiziertem Personal mit geeigneten Messgeräten. Auf Grundlage der aktuellsten Ausbreitungsberechnung und eines ersten Abgleichs mit den Messnetzen werden die verschiedenen Messeinheiten vom Radiologischen Lagezentrum auf die Sektoren verteilt. Dabei wird darauf geachtet, dass das hauptbeaufschlagte Gebiet und die Zentralzone von den Messtrupps des Betreibers selbst gemessen werden, da diese am besten auf die zu erwartende Kontamination vorbereitet sind. In den angrenzenden Sektoren, in denen nach der Ausbreitungsrechnung eine geringe Kontamination erwartet wird, messen die Trupps der unabhängigen Messstelle. In den verbleibenden Sektoren messen die Strahlenspürtrupps der Katastrophenschutzeinheiten. Die Strahlenbelastung der Katastrophenschutzkräfte sollte möglichst gering gehalten werden (Strahlenschutzkommission, 2015, S. 22-23).

Als dritte Option stehen verschiedene Erkundungsfahrzeuge zur Verfügung. Diese zeichnen während der Fahrt regelmäßig die aktuelle ODL und die Koordinaten auf, um eine Messspur zu erstellen und das kontaminierte Gebiet einzugrenzen. Durch diese Spurmessung können sehr schnell Informationen über ein weitläufiges Gebiet erlangt werden. Diese Fähigkeiten haben z.B. der CBRN Erkundungswagen, ein Hubschrauber mit Messtechnik des BfS oder Spezialfahrzeuge der unabhängigen Messstelle (Strahlenschutzkommission, 2015, S. 23).

Der CBRN Erkundungswagen (früher ABC-Erkundungskraftwagen) wird vom Bund beschafft und den Ländern zur Ergänzung des Katastrophenschutzes zur Verfügung gestellt (BBK, 2006, S. 1). Diese geben die Fahrzeuge an die für den Katastrophenschutz zuständigen Stellen weiter, in Niedersachsen also an die Landkreise (NKatSG §2).

Der CBRN Erkundungswagen ist für das Betreiben von Messgeräten während der Fahrt ausgelegt. Diese Messgeräte ermöglichen die Messung von chemischen Stoffen und von ionisierender Strahlung. Dazu wurden sie in einem Messcontainer verbaut. Ebenfalls ist ein fester Messcomputer vorhanden, welcher die Ergebnisse verarbeitet und speichert. In Abbildung 4 ist der Messcontainer des Erkundungswagens aus dem Landkreis Hildesheim, Niedersachsen zu sehen. In der obersten Etage sind drei Messgeräte und der Messcomputer verbaut. Das Messgerät auf der linken Seite verwendet ein Proportionalzählrohr zur Messung von ionisierender Strahlung. Hinter der Rückwand ist ein zweites radiologisches Messgerät mit einem Plastiksintillator als Detektor verbaut. In den weiteren Etagen befinden sich ein Drucker und Stauraum für Dokumente oder Werkzeug (Bundesverwaltungsamt - Zentralstelle für Zivilschutz, 2003, S. 7-8). Der Messcontainer wurde im Grundaufbau nicht verändert und entspricht damit weitgehend dem Stand des Bundesamts für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK).



Abbildung 4: Messcontainer des CBRN Erkundungswagens des LK Hildesheim

Für das Eindringen in, oder Durchfahren von kontaminiertem Gebiet ist der CBRN Erkundungswagen nicht geeignet, da hierbei das Personal stark gefährdet wird. Außerdem würde eine Kontamination des Fahrzeuges von außen und besonders von innen, alle folgenden Messungen verfälschen. Er ist eher für die Grenzmessung ausgelegt. Dabei umfährt man ein kontaminiertes Gebiet und nähert sich dem Zentrum soweit, bis ein vorgegebener Umkehrwert erreicht ist. Dieses Vorgehen nennt sich Eintauchen. In einer radiologischen Lage funktioniert dieses Verfahren besonders gut, da eine Überschreitung der Umkehrdosisleistung schnell gemessen wird (BBK, 2006, S. 9).

2.3 Datenerfassung

Bisher gab es in Niedersachsen noch keinen radiologischen Vorfall, der das Zusammenkommen des Radiologischen Lagezentrums erforderte. Daher wurde das Verfahren zur Verwendung von Spurmesswerten bisher nur theoretisch oder in Übungen angewandt.

Der Weg der Messdaten beginnt zunächst mit der Erhebung vor Ort. Hierzu ist der CBRN Erkundungswagen mit zwei Messgeräten zur radiologischen Erkundung ausgestattet. Beide Geräte messen die aus Gammastrahlung resultierende Ortsdosisleistung. Alpha- und Betastrahlung erreichen die Messeinrichtung aufgrund ihrer zu geringen Reichweite meist nicht. Für den Messbereich von 10 nSv/h - 100 µSv/h wird als Detektor ein Plastikszintillator von zwei Litern verwendet. Dieser wird um ein Proportionalzählrohr ergänzt, welches Werte bis 1 Sv/h messen kann. Durch die Verwendung dieser beiden Detektoren kann das Natural Background Reduction (NBR) Verfahren angewandt werden. Dieses ermöglicht es bedingt, künstliche von natürlicher Strahlung zu unterscheiden. Zusammen mit dem verbauten GPS-Modul ist es möglich, die ODL und den Anteil an künstlicher Strahlung in einer Messspur zu hinterlegen. Damit lassen sich auch künstliche Strahler finden, welche relativ schwach strahlen, gut abgeschirmt, oder weit entfernt sind. Diese ließen sich bei der Verwendung von nur einem Messgerät nicht von der Hintergrundstrahlung unterscheiden. Mit der Ausrüstung ist es allerdings nicht möglich, Nuklide zu bestimmen (BBK, 2006, S. 3).

Die Messergebnisse werden von der Messsoftware des Erkundungswagens in Textdateien abgespeichert. Nach jeweils 240 Einträgen wird eine neue Datei angelegt und fortlaufend nummeriert. In der Datei mit der Nummer 000 sind die allgemeinen Informationen enthalten, welche von der Fahrzeugbesatzung vor Messbeginn eingetragen werden. Hierzu gehören unter anderem die Namen der Besatzung, der Messauftrag und ein Kommentar über besondere Vorkommnisse. Die darauffolgend aufgenommenen Messwerte werden in den Dateien 001-999 eingetragen. Diese sind als große Tabellen angelegt, in denen die Informationen nach einem bestimmten System abgespeichert werden. Jede Zeile enthält unter anderem Informationen über den jeweiligen Messwert beider Detektoren, die Koordinate, Fahrtrichtung, Geschwindigkeit, Uhrzeit und den Anteil künstlicher Strahlung für den niederenergetischen und mittelenergetischen Bereich. Die Messwerte werden sekundenweise aufgenommen. Dies ist notwendig, da sich der Erkundungswagen während der Fahrt schnell fortbewegt (Persönliche Kommunikation mit Holger Böttger, 2018).

Durch die geordnete und bekannte Struktur dieser Dateien ist es möglich, sie mit spezialisierter Software auszulesen. Die Daten wurden in den bisherigen Übungen immer erst nach Beendigung aller Messfahrten an das Radiologische Lagezentrum übergeben. Durch den späten Erhalt der Daten wurden die meisten Maßnahmen bereits ohne diese Informationen begonnen (Persönliche Kommunikation mit Holger Böttger, 2018).

Nachdem die Daten erhalten wurden, werden diese im KFÜ-System des NLWKN in den Prototyp einer Spurensoftware eingelesen. In Abbildung 5 ist die dazugehörige Eingabemaske zu sehen. Hier erkennt man in der linken oberen Ecke ein Feld, in das die Textdateien per Drag-and-Drop-Verfahren eingegeben werden können. Darunter ist ein Diagramm zu erkennen, welches eine Vorschau der eingelesenen Spuren ermöglicht. Es kann entweder „ODL 1“ oder „ODL 2“ ausgewählt werden. Diese bezeichnen die Messwerte des Proportionalzählrohres und die des Szintillators. Aufgrund der unterschiedlichen Messmethodik und der unterschiedlichen Messbereiche können die Ergebnisse stark auseinandergehen. Weiterhin können die Grenzwerte für den grünen, gelben und roten Farbbereich eingestellt werden. Dieses Farbschema wird im Hintergrund des Diagramms angezeigt und gibt ebenfalls vor, welche Farbe die in der Karte eingetragene Spur hat. Rechts oben ist eine Vorschau dieser Spuren vor schwarzem Hintergrund, zu sehen.

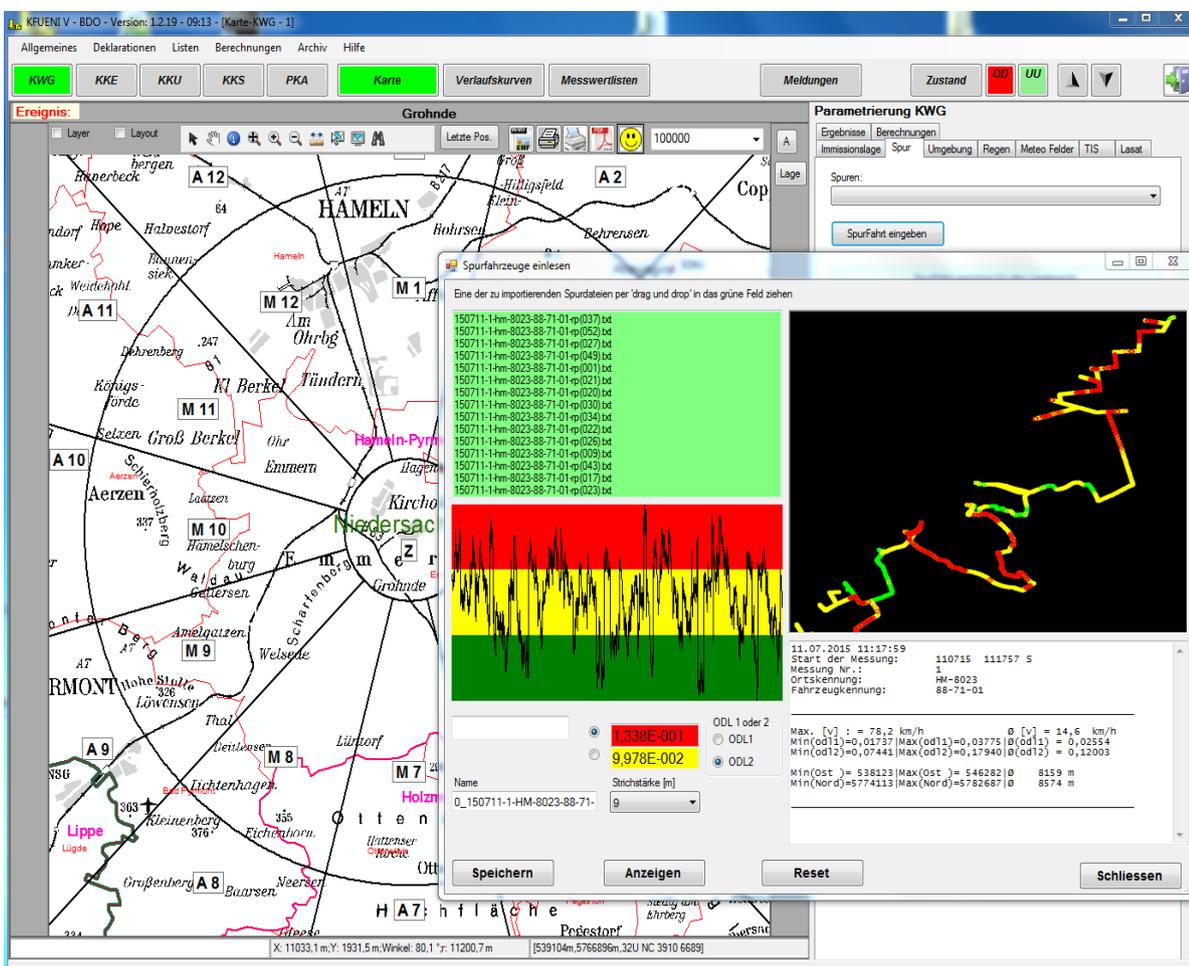


Abbildung 5: Prototyp der Spurensoftware aus dem KFÜ-System des NLWKN

Eine endgültige Lösung bietet dieser Prototyp allerdings nicht. Eines der Hauptprobleme ist die Art, wie die Spur erstellt wird. Die eingelesenen Daten werden einmalig zu einer Bilddatei zusammengefasst. Diese lässt sich danach nicht mehr bearbeiten oder auslesen. Dadurch ist es zwar möglich das Bild als Layer in ein GIS einzufügen und so die Spur darzustellen, es ist allerdings nicht möglich, weiter mit den Messwerten zu arbeiten. Die Strichstärke lässt sich nicht verändern. Dadurch wird die Spur bei Veränderung der Zoomstufe zu groß oder kaum sichtbar. Auch die Farbskalierung lässt sich im Nachhinein nicht mehr anpassen. Sollte es durch die ursprüngliche Einteilung nicht möglich sein einen genauen Überblick zu erhalten, muss der Prozess von neuem gestartet werden.

Auch eine genauere Auswahl, welche Spuren angezeigt werden sollen, ist nur möglich, wenn diese vor dem Einlesen von Hand ausgewählt wurden. Das manuelle Sortieren beansprucht viel Zeit oder zusätzliches Personal. Beides ist in einer Katastrophenlage nur begrenzt verfügbar. In manchen Situationen ist es aber notwendig, nur Spuren aus einem bestimmten Zeitraum oder von einem bestimmten Fahrzeug anzuzeigen.

Außerdem ist es nicht möglich, den Anteil an künstlicher Strahlung anzuzeigen. Durch diese Funktion wäre man in der Lage, Informationen schnell miteinander zu verknüpfen. Es ließe sich zum Beispiel zügig nachvollziehen, ob eine erhöhte ODL durch natürliche Hintergrundstrahlung oder durch künstliche Strahlung hervorgerufen wird.

Sollte es zu einem kerntechnischen Unfall kommen, ist es essentiell, dass alle diese und weitere Funktionen einfach und schnell zu bedienen sind. In dieser Situation kann man es sich nicht leisten vorhandene Informationen, wie die Spuren der Messfahrzeuge, nicht komplett auswerten zu können.

3 Methodische Vorgehensweise

Das Konzept zur Verwendung von Spurmesswerten welches im Kapitel 4 zu finden ist, orientiert sich an den drei Problemfeldern aus Kapitel 1 „Einleitung“.

Für alle drei werden Lösungen am Beispiel des CBRN Erkundungswagens erarbeitet, da dieser in großer Stückzahl verfügbar ist. Anschließend sollte es mit wenig Aufwand möglich sein, weitere Spurmessfahrzeuge auf ähnliche Art in das System einzubringen.

Zuerst wird eine Messstrategie ausgearbeitet, welche den Beteiligten der Strahlenschutzeinheiten und der Besatzung der Erkundungswagen übergeben wird. Ziel ist es, den Besatzungen der Erkundungswagen zu verdeutlichen, wie sich der Messauftrag zusammensetzt, wie die Messroute zustande kommt, warum eine Umkehrdosis benötigt wird und wie viel „Reserve“ diese noch bietet. Zusätzlich sollen sie die Lage des Auftraggebers besser verstehen, um die eigenen Entscheidungen besser anpassen zu können.

Im nächsten Schritt werden drei verschiedene Verfahren zur Datenkommunikation verglichen, da mit der Standardbeladung des CBRN Erkundungswagens keine Fernübertragung von Daten möglich ist. Im ersten Verfahren werden öffentliche Einrichtungen mit Internetverbindung angefahren. Im zweiten Verfahren werden die Erkundungswagen von Übertragungsfahrzeugen eingeholt, von denen aus eine mobile Internetverbindung besteht. Im dritten Verfahren werden alle Erkundungswagen mit einem gesonderten Laptop zur Datenübertragung ausgestattet. Für alle Methoden werden die Vor- und Nachteile aufgeführt. Zum Schluss werden verschiedene Situation verglichen, um die Eignung der Verfahren festzustellen.

Im letzten Schritt wird eine detaillierte Programmbeschreibung erstellt, auf deren Grundlage die Firma Siemens die Spurensoftware umsetzen wird. Die Firma Siemens betreut die KFÜ-Software in Niedersachsen und kann daher die Spurensoftware ohne große Einarbeitungszeit als Erweiterung hinzufügen. Die Spurensoftware soll in der Lage sein, die Spurdaten der Erkundungswagen einzulesen, zu sichten, zu komprimieren, in einer Datenbank zu speichern und anschließend ausgewählte Elemente anzuzeigen. Dabei sollen wahlweise die Messwerte des Szintillators, die Messwerte des Proportionalzählrohres und jeweils der Anteil an mittel- und niederenergetischer künstlicher Strahlung angezeigt werden können.

Die Programmbeschreibung orientiert sich an den Erfahrungen, die bei der Verwendung der bisherigen Prototypen-Software gewonnen wurden. Die Bedienung des Programms wird an die vorhandene KFÜ-Software angepasst, sodass alle KFÜ-Mitarbeiter das Programm problemlos bedienen können. Nach der Konzepterstellung werden in Kapitel 5 „Validierung“ zwei Methoden zur Validierung genutzt. Zunächst wird das Konzept mit der Vorgehensweise in den Ländern Baden-Württemberg und Bayern verglichen. Beide Bundesländer betreiben KFÜ-Systeme und würden im Störfall auch Spurmesswerte der CBRN Erkundungswagen nutzen. Die Lösungsansätze der jeweiligen Problemfelder werden miteinander verglichen, um herauszufinden, ob sie sich in Niedersachsen umsetzen lassen und besser als die vorgeschlagenen Lösungen sind.

Im zweiten Schritt werden zwei Prototypen verwendet, um herauszufinden, ob die erstellte Programmbeschreibung auch in der Realität funktioniert. Dazu werden zunächst die Erfahrungen mit der bereits bestehenden Spurensoftware genutzt. Anschließend wird im Programm ARC GIS, welches in die KFÜ-Software integriert ist, eine beispielhafte Darstellung der Spuren erzeugt.

In dieser Beispieldarstellung werden verschiedene Optionen miteinander verglichen, um herauszufinden, ob es eine übersichtlichere oder funktionalere Möglichkeit gibt, die Ergebnisse zu präsentieren.

4 Konzeptentwicklung zur Verwendung von Spurmesswerten

4.1 Messstrategie und Messauftrag

Bevor überhaupt Spurmesswerte vorliegen, muss den Fahrzeug Besatzungen mitgeteilt werden, an welchen Ort sie mit welcher Methode wann messen sollen. Dazu erhalten sie einen Messauftrag. Diese Aufträge werden grundsätzlich von dem Radiologischen Lagezentrum vergeben. Dieses hat allerdings nicht die Kapazität, alle Fahrzeuge einzeln zu koordinieren. Wie im vorhergehenden Kapitel bereits erwähnt, können sich die Auswirkungen eines kerntechnischen Unfalls über hunderte Kilometer erstrecken und dementsprechend müssen viele Messfahrzeuge eingesetzt werden. Daher wird das Radiologische Lagezentrum von einer oder mehreren Messzentrale unterstützt (Strahlenschutzkommission, 2015, S. 22).

Die Messzentrale steht im engen Austausch mit dem Radiologischen Lagezentrum und übersetzt die geforderten Messungen in entsprechende Messaufträge. Dazu werden zunächst die vorhandenen Messfahrzeuge in die Übersicht aller Fahrzeuge aufgenommen und in Bereitstellung gebracht. Die Übersicht der Fahrzeuge wird durch die Verwendung eines Whiteboards und einer großen Karte mit der Anlage im Zentrum gewährleistet. In Abbildung 6 ist die Messzentrale bei der Arbeit während einer Übung vom 29.05.2018 zu sehen.

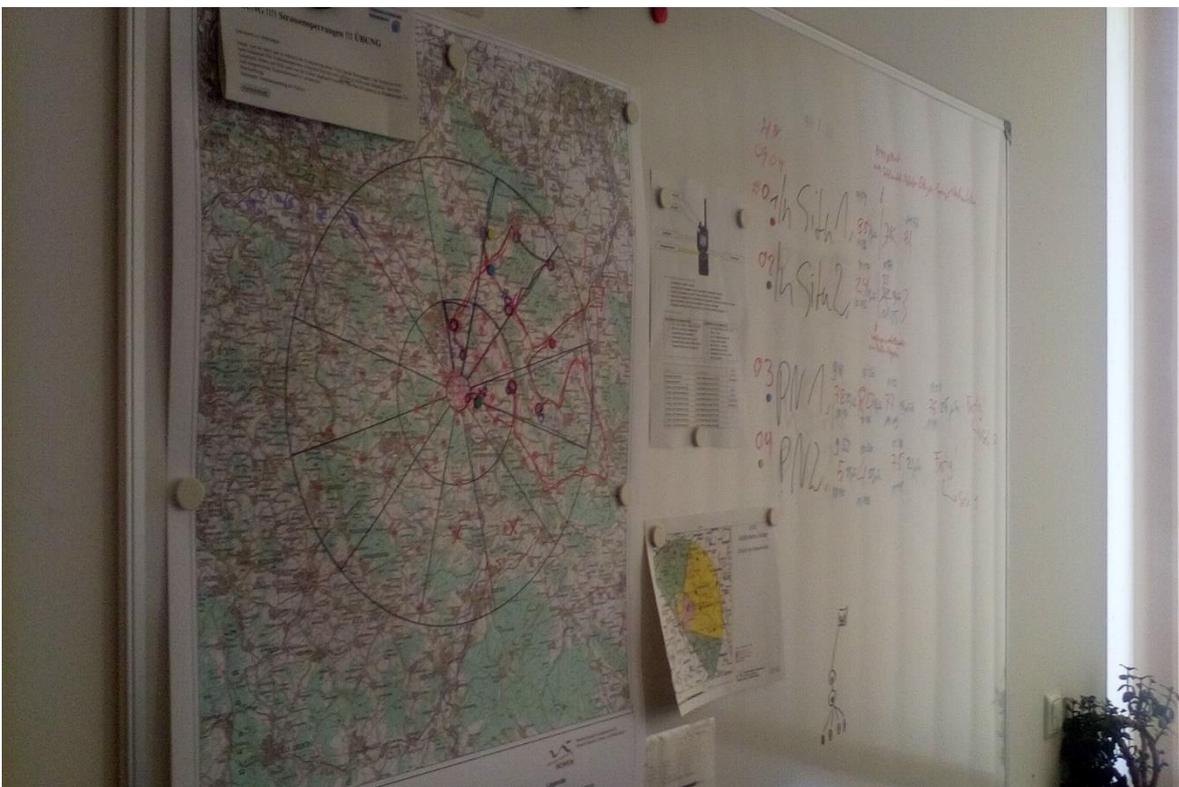


Abbildung 6: Messzentrale während der Übung vom 29.5.2018

Auch die Erkundungswagen werden in die Übersicht aufgenommen. Anschließend wird ihnen ihr Messauftrag übermittelt. Dieser enthält eine grobe Vorgabe der zu fahrenden Route. Mehrere Routen zusammengenommen umschließen ein Gebiet. Dieses wird dann gemeinsam im Verfahren der Grenzmessung abgefahren. Die Route orientiert sich meist an einer Zonengrenze. Diese sind, wie bereits beschrieben wurde, nicht an das vorhandene Straßennetz angepasst.

Einzelne Einheiten, wie z.B. der ABC-Zug Hameln-Pyrmont, haben bereits eigene Messleitkomponenten eingerichtet und nutzen diese in Übungen oder auch im Einsatzfall um ihre eigenen Fahrzeuge zu steuern. Dadurch kann die Messzentrale entlastet werden (Persönliche Kommunikation mit Uwe Emmrich, 2018).

Weiterhin wird mit dem Messauftrag eine Umkehrdosis und eine Umkehr-ODL vorgegeben. Diese beschreiben Messwerte, bei deren Erreichen umgekehrt werden soll. Die Umkehr-ODL (auch Umkehrgrenze) soll so gewählt werden, dass das Einfahren in stärker kontaminiertes Gebiete verhindert wird. So wird das Personal geschützt und ein Ausfall des Messfahrzeuges durch Kontamination verhindert (BBK, 2006, S. 7-9).

Die Umkehrdosis wird so gewählt, dass nach ihrem Erreichen noch genug Zeit besteht die aktuelle Messung in Ruhe zu Beenden und das betroffene Gebiet sicher zu verlassen. Dabei muss beachtet werden, dass der Rückweg durch verschiedene Umstände mehr Zeit in Anspruch nehmen kann, als der Hinweg. So kann es vorkommen, dass die geplante Straße blockiert oder unbefahrbar ist. Auch ein technisches Problem am Fahrzeug, z.B. ein platter Reifen oder ähnliches, kann die Rückzugzeit verlängern.

Die erhaltene Dosis sollte im Verhältnis zur Notwendigkeit der erhaltenen Messergebnisse stehen. Es ist nicht zu vertreten, dass Personen einer Strahlenbelastung ausgesetzt werden, um Messergebnisse einzuholen, wenn diese nicht zwingend benötigt werden (Strahlenschutzkommission, 2015, S. 24).

Bei der Grenzmessung wird von der Messzentrale genau vorgegeben, ob ein Eintauchen in das Gebiet bis zur Umkehrdosis gewollt ist, oder nicht. Beide Vorgehensweisen sind denkbar. Es kann vorkommen, dass nur die ODL entlang der abgefahrenen Route benötigt wird. Es kann aber auch vorkommen, dass die vorgegebene Route ein Gebiet nur grob umschließt und die genauen Grenzen der Kontamination durch das Eintauchen festgestellt werden sollen. Da die einzelnen Besatzungen der Fahrzeuge keinen Überblick über die gesamte Situation haben, sondern nur ihren eigenen Auftrag kennen, können sie nicht wissen, welches Vorgehen verlangt wird. Daher ist es unabdingbar, dass es ihnen mit dem Messauftrag mitgeteilt wird.

Da der Messauftrag nur eine grobe Routenbeschreibung enthält, müssen die Messleitkomponenten, oder sogar die Fahrzeugführer selber entscheiden, welcher genauen Strecke sie folgen. Grundlage des CBRN Erkundungswagens ist zwar ein Kastenwagen mit Allradantrieb (BBK, 2016), im Falle eines Kernkraftwerkunfalls sollten aber Fahrten auf befestigten Straßen bevorzugt werden. Unter befestigten Straßen sind geteerte Straßen mit festem Fahrbahnbelag zu verstehen (MuPnAnw Arbeitsgruppe, 2016, S. 24-25). Auch wenn sich die Messfahrzeuge durch Verwendung von Feld- und Waldwegen genauer an die vorgegebene Route halten können, ergibt sich hieraus kaum eine Verbesserung des Lagebildes. Die Spurmessungen sollen einen Überblick über die Lage geben und sind daher oft geringer aufgelöst. Es gibt daher relativ wenig Messwerte pro gefahrenem Kilometer. Eine Abweichung von der vorgegebenen Route, z.B. durch das Verwenden einer nahegelegenen Bundesstraße, beeinflusst das Lagebild nur gering, erhöht aber, durch eine höhere Geschwindigkeit, die zurückgelegte Strecke und damit das Gebiet, über welches Informationen bekannt sind.

Die Maximalgeschwindigkeit während einer Messfahrt sollte 50 km/h betragen (MuPnAnw Arbeitsgruppe, 2016, S. 25). Bei einem Messwert pro Sekunde ergibt das:

$$\frac{1 \text{ h}}{50 \text{ km} * \text{s}} = \frac{3600 \text{ s}}{50.000 \text{ m} * \text{s}} \approx \frac{1}{14 \text{ m}}$$

Es wird also mindestens ein Messwert alle 14 Meter aufgenommen. Da es sich um eine Flächenkontamination handelt und nicht um eine Punktquelle, ist nicht davon auszugehen, dass sich die ODL innerhalb von 14 m stark verändert.

Der Zusammenhang wird in Abbildung 7 gut deutlich.

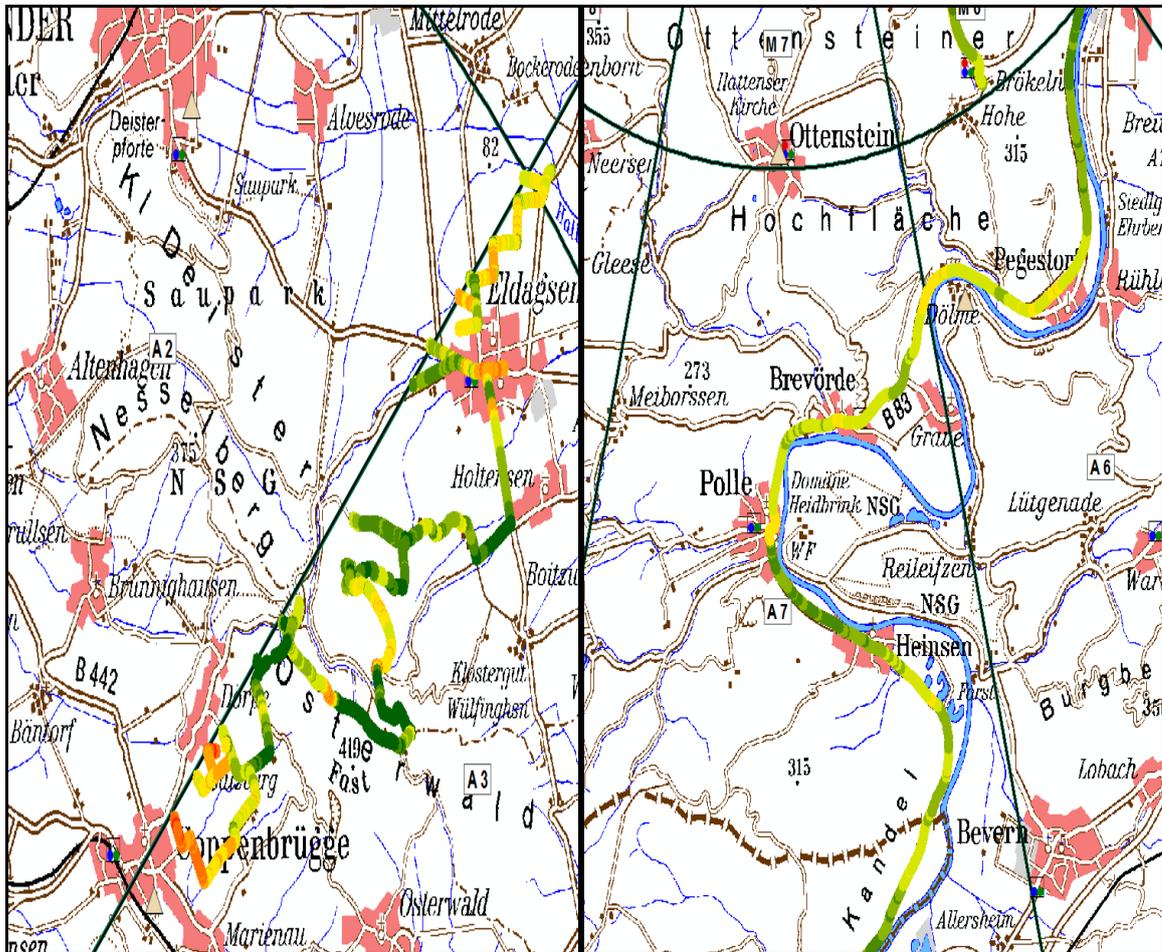


Abbildung 7: Messspuren der Messübung 2015

Die eingesetzte Besatzung im linken Bild hielt sich sehr genau an die vorgegebene Route. Um so wenig wie möglich abzuweichen, verfolgten sie jeden kleinen Feldweg. Dadurch konnten sie die vorgegebene Strecke nicht in der Zeit der Übung beenden. Die Besatzung im rechten Bild hielt sich an die oben beschriebenen Vorgaben. Sie konnten ihren Auftrag beenden. An den Bildern ist zu erkennen, dass das Ergebnis der rechten Besatzung wesentlich übersichtlicher ist und keine Einbußen in der Informationsdichte hat.

Nachdem eine Besatzung entweder ihre Umkehrdosis erreicht hat, oder aufgrund der Einsatzzeit zu erschöpft ist, muss diese ausgetauscht werden, um das Fahrzeug weiter nutzen zu können. Dieser Wechsel ist auf zwei Arten denkbar. Sollte das Fahrzeug wegen des Kraftstoffstandes oder einer Kontamination nicht mehr ohne weiteres einsetzbar sein, sollte die Übergabe an der Probensammelstelle stattfinden.

Als zentraler Anlaufpunkt für alle Einsatzkräfte wird die Probensammelstelle genutzt. Sie befindet sich in einem sicheren Bereich nahe des Einsatzgebietes. Meistens liegt sie entgegen der Hauptausbreitungsrichtung. Wenn das hauptbeaufschlagte Gebiet in Sektor 1 liegt, dann wird die Probensammelstelle in Sektor 7 eingerichtet. Zusätzlich wird ein Ort mit guter Verkehrsanbindung und genügend Infrastruktur gewählt (Strahlenschutzkommission, 2015, S. 25).

An der Probensammelstelle werden Proben gesammelt und an geeignete Labore versendet. Zusätzlich befinden sich hier auch das mobile Labor und Möglichkeiten zur Dekontamination von Fahrzeugen und von Personal. Außerdem kann die Probensammelstelle als zentraler Ort für die Personendosimetrie, das Lagern von Ersatzteilen und Betriebsstoffen und zur Kontaminationskontrolle dienen (Strahlenschutzkommission, 2015, S. 25).

Durch diese Kapazitäten ist es möglich, ein Messfahrzeug hier schnell wieder in einen einsatzfähigen Zustand zu bringen. Eine Übergabe an diesem Punkt ist daher der augenscheinlich beste Weg. Allerdings führt dies dazu, dass das Fahrzeug und damit auch die Messgeräte, erst vom Punkt des Messauftrages zur Probensammelstelle fahren müssen und anschließend denselben Weg wieder zurückfahren müssen, bis die Messungen fortgesetzt werden können. Aufgrund der langen Wege verringert sich dadurch die Verfügbarkeit der Messgeräte.

Sollte ein Erkundungswagen mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht kontaminiert sein, ist ein fliegender Wechsel die effizientere Lösung. Dabei nutzt die ablösende Besatzung ein beliebiges Fahrzeug und trifft die Besatzung des Erkundungswagens an einem zuvor verabredeten Treffpunkt. Hier findet eine Fahrzeugübergabe statt, bei der auch die Erkenntnisse und Erfahrungen der Besatzungen ausgetauscht werden. Der Kraftstoffstand des Erkundungswagens kann mit Hilfe von mitgebrachten Treibstoffkanistern wieder aufgefüllt werden. Anschließend werden die Fahrzeuge ausgetauscht.

4.2 Datenübertragung

Eine große Herausforderung stellt die Übertragung der Messdaten von den Messfahrzeugen zum Radiologischen Lagezentrum dar. Der CBRN Erkundungswagen besitzt keine Möglichkeit, Daten per Fernübertragung zu senden. Eine Anbindung an das Internet, z.B. per UMTS Internet Stick, ist auch nicht möglich, da der eingebaute Messcomputer das Betriebssystem Windows XP nutzt (BBK, 2018). Dieses wird seit April 2014 von der Firma Microsoft nicht mehr mit Updates unterstützt. Ohne die Sicherheitsupdates gibt es keine Möglichkeit, neu entdeckte Sicherheitslücken zu schließen. Daher würde eine Internetanbindung ein Sicherheitsrisiko darstellen (Microsoft, 2016). Zur Übertragung stehen daher nur physische Datenträger zur Verfügung. Eine gute Wahl hierfür ist der USB Stick, da viele Computer über einen USB Anschluss verfügen. Dabei müsste aber durch technische Mittel sichergestellt werden, dass dieser USB Stick nicht als Sicherheitslücke genutzt werden kann.

Die Daten müssen vom Messcomputer auf den USB-Stick kopiert werden und anschließend zum Radiologischen Lagezentrum gelangen. Eine schnelle Übertragung der Messdaten ist dabei von entscheidender Bedeutung. Sie fließen in die Erstellung des Lagebildes mit ein, anhand dessen die Ausbreitungsberechnungen bestätigt oder verworfen werden. Außerdem werden auf Grundlage dieser Messungen Entscheidungen getroffen, welche die Bevölkerung vor einer zu hohen Strahlenbelastung bewahren sollen. Beide Vorgänge sind zeitkritisch, da eine Verzögerung negative Auswirkungen auf die Bevölkerung hat. Das grundlegende Verfahren wäre eine Übertragung nach Beendigung der Messfahrt von der Probensammelstelle aus. Hierdurch entsteht aber ein erheblicher Zeitverzug. Daher sollen nachfolgend die Vor- und Nachteile von drei möglichen Übertragungswegen verglichen werden.

Die erste Option besteht in der Nutzung bereits existierender Einrichtungen. Die Messfahrt wird regelmäßig unterbrochen, um einen vorgegebenen Ort anzufahren. Dieser Ort besitzt mindestens einen Computer mit Internetzugang. Die Messdaten werden per USB Stick vom Messcomputer auf den Internetcomputer übertragen. Anschließend werden sie per Email an die KFÜ-Zentrale geschickt. Von dessen Postfach aus können die Daten in das KFÜ-System und somit in die Spurmessoftware eingelesen werden. Als Übertragungsorte sollten möglichst öffentliche Einrichtungen, wie Polizeistationen oder Rathäuser, gewählt werden, die in einem Katastrophenfall mit den Einsatzkräften und dem Radiologischen Lagezentrum kooperieren. Ein weiterer Faktor ist, dass durch die Verwendung von behördlichen Email-Adressen die Absender in der KFÜ-Zentrale als vertrauliche erkannt werden.

Der große Vorteil dieser Methode sind die geringen Kosten. Nur vergleichsweise günstige USB Sticks müssten angeschafft werden. Auch der Aufwand bei der Unterhaltung entfällt, da die Systeme der Absenderorte bereits durch den dortigen IT-Service gewartet werden. Da in Gebäuden meist ein fester Anschluss (Kabel, DSL, Glasfaser, etc.) verwendet wird, ist dieser auch beim Ausfall des Mobilfunknetzes noch verfügbar. Als Nachteil lässt sich nennen, dass die Messfahrzeuge ihre Messung unterbrechen müssen, um die Daten zu verschicken. Ein Nutzen ergibt sich nur wenn das Anfahren dieser Orte schneller ist, als das Anfahren der Probensammelstelle. Um das zu erreichen, müssen mehrere dieser Orte zur Verfügung stehen und diese auch noch gut verteilt sein. Je mehr Orte verwendet werden, desto höher ist jedoch der organisatorische Aufwand. Es muss mit jeder Organisation der Kontakt gehalten werden und an jedem Ort muss eine Verbindungsperson bereitstehen, welche Türen öffnet, den benötigten Computer entsperrt und eine Emailverbindung zur Verfügung stellt. Dieses ist nur möglich, wenn ein permanenter Austausch besteht. Außerdem muss der Eigenschutz der Person vor Ort gesichert sein.

Die zweite Option besteht darin, eines oder mehrere Fahrzeuge zu nutzen, welche die Erkundungswagen nacheinander regelmäßig anfahren. An Bord dieser Fahrzeuge befindet sich ein extra Computer mit einer mobilen Internetverbindung. Dadurch wird es möglich, die Daten regelmäßig zu übertragen, ohne längere Verzögerungen der Erkundungswagen herbeizuführen. Für diese Methode müssen nicht nur mehrere Laptops bereitgestellt werden, sondern auch Möglichkeiten geschaffen werden, diese wieder aufzuladen. Dies wäre über einen Generator oder über einen Anschluss an den Bordstrom des Fahrzeuges möglich. Zusätzlich müssten Fahrzeuge und Funkgeräte in der entsprechenden Anzahl zu Verfügung stehen. Die einzige Anforderung die die Übertragungsfahrzeuge erfüllen müssen ist, dass sie schneller als 50 km/h fahren. Dadurch ist sichergestellt, dass sie die Erkundungsfahrzeuge einholen können. Es müssen keine Spezialfahrzeuge für diesen Zweck beschafft und unterhalten werden. Fast jeder PKW kann genutzt werden.

Die dritte Option ist, jeden Erkundungswagen selbst mit einem Laptop und einem UMTS Stick auszustatten, sodass die Daten während der Fahrt übertragen werden können, ohne die Sicherheit des Messsystems zu gefährden. Die Daten würden per USB Stick vom Messcomputer auf den Laptop übertragen und anschließend per Email an das Radiologische Lagezentrum weitergesendet werden. Der Nachteil dieser Methode liegt in den hohen Anschaffungs- und Unterhaltungskosten der Laptops. Es genügt nicht diese einmal an die CBRN Erkundungswagen auszugeben. Aufgrund ihrer Internetverbindung muss sichergestellt sein, dass sich die notwendigen Programme immer auf dem aktuellen Stand befinden. Außerdem müssen die Fahrzeugbesatzungen im Umgang mit dem neuen Material geschult werden.

Es bestehen Möglichkeiten, die Kosten dieses Verfahrens zu reduzieren. Die Menge der benötigten Laptops könnte dadurch verringert werden, dass bereits vorher festgelegt wird, welche Erkundungswagen bei einem kerntechnischen Unfall zum Einsatz kämen und welche nicht. Die Anschaffungskosten könnten durch die Wiederverwendung bereits existierender Hardware gesenkt werden. Das Versenden einer Email benötigt wenig Rechenleistung, sodass auch ältere Computermodelle für diese Aufgabe geeignet sind, solange ihr Betriebssystem regelmäßig aktualisiert wird. Es könnten zum Beispiel Laptops verwendet werden, die von anderen Behörden, mit höheren Anforderungen, aussortiert wurden.

Insgesamt lässt sich kein eindeutig bestes Verfahren festlegen. Die dritte Option bietet die schnellste Übertragung und benötigt keine Unterbrechung der Messfahrt, ist aber auch das teuerste und aufwendigste Verfahren. Die erste Option ist sehr günstig und kann ohne größere Ausgaben umgesetzt werden, verzögert aber die Messfahrt und benötigt viel Verwaltungsaufwand. Die zweite Option bietet einen Kompromiss zwischen den anderen beiden. Es ist weder die schnellste noch die günstigste Variante, hat dafür aber auch keine großen Nachteile.

Sollte das Mobilfunknetz ausfallen, ist nur noch die erste Option umsetzbar. Der Ausfall ist in jeder Katastrophensituation ein mögliches Szenario. Bei einem kerntechnischen Unfall besteht aber kein erhöhtes Risiko eines Mobilfunknetzausfalls durch Stromausfälle. Selbst wenn ein Kernkraftwerk ohne Vorwarnung sehr schnell abschaltet, sollten das deutsche und europäische Stromnetz den Ausfall auffangen können (Forschungszentrum Jülich, 2018).

4.3 KFÜ Softwareerweiterung

Nachdem die Dateien der Messfahrzeuge in der KFÜ-Zentrale angekommen sind, sollen diese mit Hilfe der Spurensoftware in das System eingebracht werden. Diese Software wird von der Firma Siemens als Erweiterung der KFÜ-Software unter Berücksichtigung der in dieser Arbeit erarbeiteten Aspekte erstellt. So wurde im folgenden Kapitel eine Programmbeschreibung erstellt, die verdeutlicht, welche Eingaben und Ausgaben benötigt werden und falls nötig auch andere Vorgaben macht. Die technische Umsetzung wird durch die Firma Siemens nach dem aktuellen Stand der Technik erfolgen.

Die neue Spurensoftware soll in der KFÜ-Software am selben Platz zu finden sein wie der bisherige Prototyp. In Abbildung 5 ist in der rechten Hälfte zu erkennen, dass dieser in einem eigenen Reiter namens „Spur“ zu finden ist. Weiterhin soll die Struktur der Eingabemaske des Prototyps grundsätzlich beibehalten werden. Allerdings sollen mehrere Funktionen verändert oder ergänzt werden.

Das Einlesen per Drag-and-Drop-Verfahren hat sich als funktional erwiesen und soll beibehalten werden. Allerdings sollten in der TextBox nicht die Namen aller Textdateien angezeigt werden. Es genügt einmal den Namen der Messfahrt anzuzeigen und dahinter einen Vermerk zu schreiben, wie viele Dateien zu dieser Fahrt gehören. So wird die Übersichtlichkeit verbessert, ohne Informationen zu verlieren. Die so eingelesenen Spuren sollen beim Schließen des Fensters nicht wieder vergessen werden, sondern in einer Warteschlange verbleiben. Dadurch ist es möglich, das Einlesen der Spuren zu unterbrechen, um einer anderen Aufgabe nachzugehen, welche vielleicht dringender ansteht, ohne dabei den Arbeitsfortschritt zu verlieren.

Dadurch, dass die Messfahrzeuge mehrmals am Tag eine große Anzahl an Dateien zum Radiologischen Lagezentrum schicken, kann es vorkommen, dass die Besatzungen den Überblick verlieren, was bereits gesendet wurde und was noch nicht. In diesem Fall werden Daten oft doppelt versendet. Um sich doppelte Arbeit zu sparen und Überschneidungen zu vermeiden, sollte die Einlesesoftware in einem ersten Schritt überprüfen, ob bereits Informationen vom selben Fahrzeug zur selben Zeit vorliegen. Sollte dies der Fall sein, wird die Datei nicht nochmal eingelesen.

Sobald alle aktuellen Daten zur Verarbeitung eingelesen sind, folgt die Sichtung. Hierbei soll der Bediener überprüfen, ob die erhaltenen Daten plausibel und verwertbar sind. Es ist dabei nicht immer möglich, kleine Abweichungen oder Fehler festzustellen. Wenn die Messwerte allerdings offensichtlich fehlerhaft sind, sie zum Beispiel konstant auf einem Wert bleiben, kann diese Spur ausgesondert werden. Es können, in einem gewissen Rahmen auch Rückschlüsse auf eine Kontamination des Fahrzeuges getroffen werden. Der Messwertverlauf aus Abbildung 8 soll dies verdeutlichen: Zu Beginn bewegen sich die Werte in einem engen Bereich. Nach einiger Zeit steigen sie stark an. Anschließend sinken die Werte wieder und bleiben danach ebenfalls wieder relativ konstant. Sie liegen aber deutlich oberhalb der Anfangswerte. Eine mögliche Erklärung wäre, dass das Fahrzeug ein kleines Gebiet mit Kontamination durchfahren hat. Dabei wurde das Fahrzeug kontaminiert. Durch die nun mitgeführten Radionuklide, sind alle folgenden Messwerte deutlich erhöht.

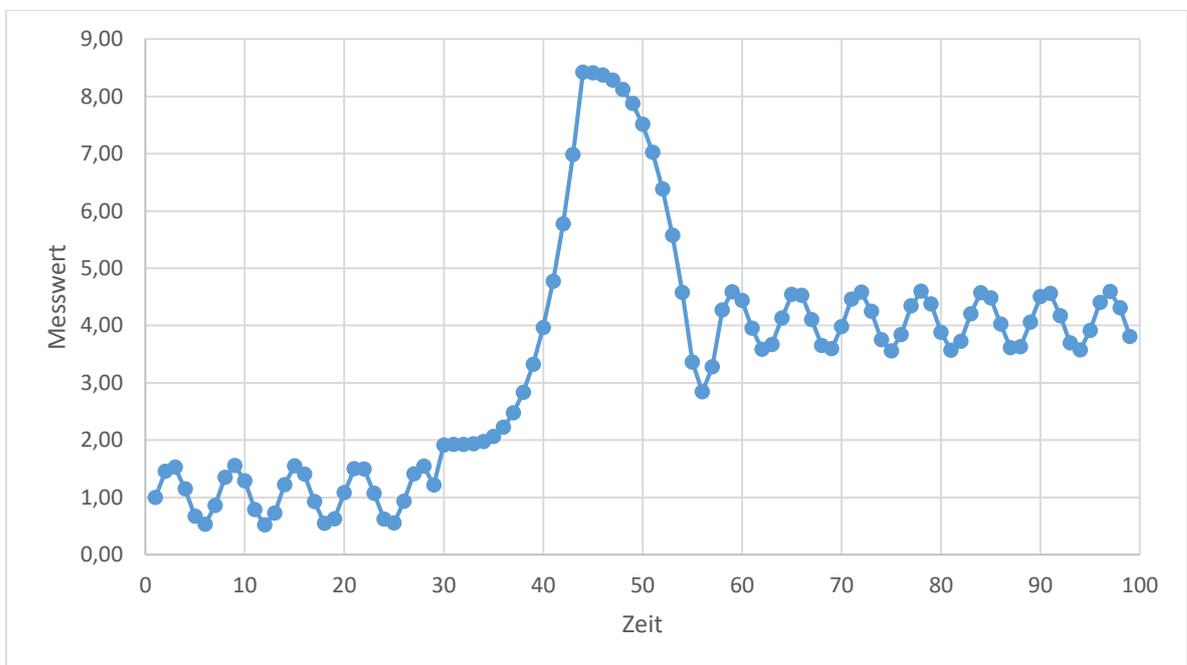


Abbildung 8: *Fiktive Messwerte einer möglichen Kontamination*

Es kann zwar nicht direkt davon ausgegangen werden, dass die Schlussfolgerungen zutreffen, allerdings gibt es einen Verdacht. Dieser kann an die Besatzung des Messfahrzeuges weitergeleitet werden, sodass diese eine einfache Probe auf Kontamination durchführen kann.

Bei der Sichtung werden die Spuren aus der Warteschlange ausgewählt. Danach werden Informationen über die gesamte Messspur angezeigt. Nach dem Sichten werden diese entweder angenommen oder abgelehnt. Anschließend werden sie aus der Warteschlange entfernt.

Die Sichtung erfolgt mit Hilfe eines Diagramms und einer Vorschau der Spur. Das Diagramm zeigt ein Koordinatensystem, auf dessen Abszisse die Uhrzeit des Messwertes abgetragen ist. Auf der Ordinate ist die Höhe des Messwertes ablesbar. Hierzu wird am linken Rand eine Skala für die ODL Werte in $\mu\text{Sv/h}$ angezeigt. Am rechten Rand gibt es eine Skala für den Anteil an künstlicher Strahlung in Prozent. Es soll möglich sein, das Maximum beider Skalen manuell einzustellen. Entweder per Eingabe in zwei Textfelder, oder per Plus und Minus Taste. Eine dynamische Anpassung der Skalierung könnte dazu führen, dass die einzelnen Spuren schwerer miteinander zu vergleichen sind, da der gleiche Ausschlag unterschiedlichen Werten entspräche. Daher sollte keine dynamische Skalierung verwendet werden.

In das Diagramm werden bis zu vier Messwertkurven eingezeichnet. Eine für den Messwert des Szintillators, eine für den Messwert des Proportionalzählrohres und jeweils eine für den Anteil an mittel- und niederenergetischer künstlicher Strahlung. Es soll möglich sein, mittels Checkbox, jede Kurve separat anzuzeigen oder auszublenden. Um die Kurven unterscheiden zu können, werden diese einmal mit einer durchgehenden Linie, einmal mit einer gestrichelten Linie, einmal in einer mit Dreiecken markierten Linie und einmal in einer mit Quadraten markierten Linie dargestellt. Alle Linien sind schwarz.

Der Hintergrund dieses Diagramms ist, wie schon im Prototypen, in unterschiedlich farbige Abschnitte unterteilt. Die Einteilung dieser Farbabschnitte ist frei wählbar und orientiert sich an den ODL-Messwerten, welche angezeigt werden. Es soll acht Abschnitte geben, deren Einteilung standardmäßig der der ODL-Sonden folgt. Die Symbole der ODL-Sonden auf der Karte des KFÜ-Systems, verändern ihre Farbe abhängig vom Messwert. Da vor einem Ereignis nicht genau bekannt ist, welche Bereiche sinnvoll zu wählen sind, können die Standardeinstellungen frei gewählt werden. Die Bereiche sind in der Abbildung 9 in der rechten oberen Ecke zu sehen. Der Einheitlichkeit halber werden für die Anzeige der Spuren deshalb die bereits vorhandenen Bereiche der ODL Sonden gewählt. Eine freie Einteilung, durch acht Eingabefelder, soll aber auch möglich sein. Die acht Felder sind untereinander aufgereiht. Neben dem jeweiligen Feld, in welches der Wert eingegeben wird, wird ein Dropdown Menü angezeigt, in dem zwischen nSv/h , $\mu\text{Sv/h}$, mSv/h und Sv/h die passende Einheit ausgewählt werden kann. Sollten weniger als acht Bereiche benötigt werden, kann der Grenzwert für die überschüssigen Bereiche einfach auf einen extrem hohen Wert, wie beispielsweise 1000 Sv/h , gestellt werden. Die Eingabe ist im Reiter „Spur“ zu finden.

Zu beachten ist, dass zwar die Wertebereiche, nicht aber die angezeigten Farben, mit denen der ODL Sonden übereinstimmen. Durch die Verwendung gleicher Farben würde eine Vergleichbarkeit suggeriert werden. Die Messaufbauten sind allerdings sehr verschieden, wodurch keine Vergleichbarkeit gegeben ist. Sie nutzen nicht nur verschiedene Detektoren, sondern befinden sich auch an verschiedenen Stellen. Ein Detektor steht erhöht auf freier Fläche und der andere ist auf Brusthöhe in einem Fahrzeug angebracht. In Abbildung 9 ist zu sehen, wie die Messwerte der ODL Sonden angezeigt werden.

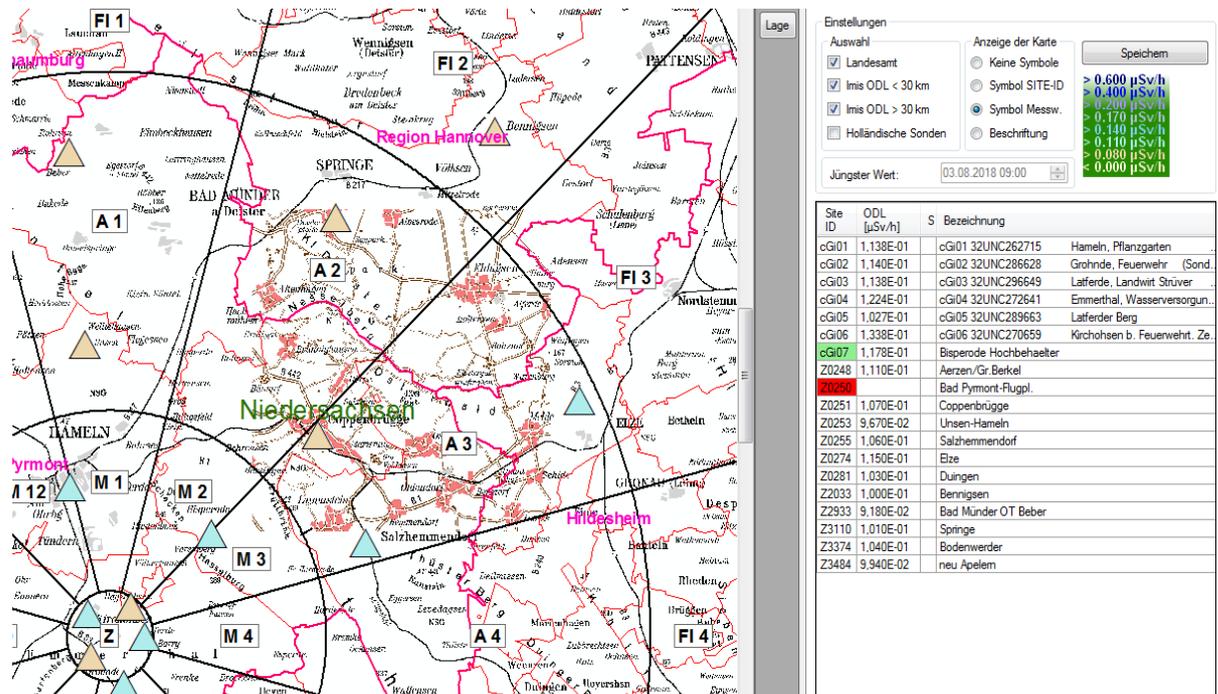


Abbildung 9: KFÜ-Software Kartenansicht der ODL Sonden

Für den Verlauf der Spurmesswerte kann ein Übergang von Grün über Gelb und Orange, bis hin zu Rot gewählt werden. Dieser ist weit verbreitet und würde, durch die Verwendung der Signalfarbe Rot, hohe Werte deutlich hervorheben.

In dem Vorschaubild wird die Spur vor dem zugehörigen Kartenausschnitt gezeigt. Dadurch wird es möglich abzuschätzen, ob die räumlichen Zusammenhänge logisch verlaufen. Die Angezeigte „Spur“ besteht dabei eigentlich aus vielen Kreisen, die einander überlappen, wie auch in Abbildung 7 zu erkennen.

Es ist nur möglich einen Messwerttyp gleichzeitig zu betrachten. Bei einer Mehrfachauswahl, z.B. von den Werten des Szintillator und denen des Proportionalzählrohres, würden sich die Anzeigen auf der Karte überlagern, da die Messwerte immer am gleichen Punkt aufgenommen wurden. Hierdurch würde die Anzeige jegliche Übersicht verlieren und sich nicht mehr zu Sichtung eignen. Die Auswahl erfolgt deshalb per Radio Button. Dieser lässt nur eine Auswahl gleichzeitig zu.

Nach der Sichtung entscheidet sich der Bediener die Spur zuzulassen, wenn ihm alles plausibel erscheint. Sollte es Ungereimtheiten geben, kann die Spur entweder abgelehnt werden, oder in der Warteschlange verbleiben, bis weitere Informationen eingeholt wurden. Nachdem eine Spur die Warteschleife verlassen hat wird automatisch die nächste Spur im Sichtungsfenster angezeigt. Dadurch wird es möglich, die Spuren relativ schnell nacheinander abzuarbeiten. Sollte eine Spur plausibel sein, aber eine Auffälligkeit vorweisen, wird diese vom Bediener notiert und weiteres Personal informiert. Auffälligkeiten können zum Beispiel hohe Werte sein, oder schon leicht erhöhte Werte in Bereichen, in denen diese nicht erwartet wurden.

Nachdem eine Spur zugelassen wurde, wird diese in eine Datenbank übernommen. Dabei werden alle Informationen der Spur übernommen, außer den eingestellten Alarmschwellen. Diese bilden die Spalten 21-27 (Persönliche Kommunikation Holger Böttger, 2018) und sind für eine weitere Betrachtung nicht notwendig.

Beim Einspeichern der Daten kommt es nun zu einer Komprimierung. Wie in den vorherigen Kapiteln verdeutlicht wurde, sind in der Messspur mehr als genug Messwerte vorhanden, um einen ausreichenden Überblick über die Situation zu erhalten. Zur Komprimierung werden immer zehn Messwerte auf einmal betrachtet. Wenn keiner der betrachteten Werte des Szintillators größer als 200 nSv/h ist **und** der Anteil der künstlichen Strahlung, für beide Energiebereiche, geringer als 25 % ist, wird nur jeder fünfte Wert eingespeichert. Hierzu werden der fünfte und zehnte Wert der betrachteten Reihe eingespeichert. Die restlichen Werte werden verworfen.

Wenn auch nur einer der betrachteten Werte des Szintillators größer als 200 nSv/h und kleiner als 1µSv/h ist **und** der Anteil der künstlichen Strahlung jeweils geringer als 25 % ist, wird jeder zweite Wert eingespeichert. Hierzu werden alle geraden oder alle ungeraden Werte der betrachteten Reihe eingespeichert. Es soll so gewählt werden, dass der größte Wert der Reihe mit eingespeichert wird. Die restlichen Werte werden wieder verworfen.

Sobald eine der zehn Messungen einen Wert größer als 1µSv/h aufweist, oder der Anteil der künstlichen Strahlung größer als 25% ist, werden alle zehn Werte in die Datenbank übernommen.

Die Grenze von 200 nSv/h wurde gewählt, da dieser Wert dem höchsten in der Bundesrepublik auftauchenden Wert der natürlichen Hintergrundstrahlung entspricht, welcher vom Messnetz des BfS aufgenommen wird. Ein Blick auf die Karte der Webseite ODL-Info zeigt, dass die meisten hohen Werte eher im Süden Deutschlands auftauchen. In Niedersachsen sind die Werte meist geringer. Keine der Messstationen überschreitet den Wert von 140 nSv/h (Bundesamt für Strahlenschutz, 2018).

Eine Komprimierung scheint auf den ersten Blick nicht notwendig, da eine Datei, welche 240 Werte enthält, nur ungefähr 53 Kilobyte groß ist. Dieses ist im Vergleich zu der Rechenleistung und Speicherkapazität moderner Computer zwar sehr gering, allerdings sollte nicht vergessen werden, dass jeder der eingespeicherten Werte als Punkt im GIS dargestellt werden muss. Eine einfache Rechnung zeigt, dass bei der Verwendung von fünf CBRN Erkundungswagen und einer effektiven Messdauer von jeweils acht Stunden, bereits 144.000 Messwerte entstehen, welche alle angezeigt werden müssten. Im Ereignisfall können wesentlich mehr Fahrzeuge über mehrere Tage eingesetzt werden, wodurch sich diese Zahl der darzustellenden Punkte nochmals erheblich vergrößern würde. Für die Darstellung würde das verwendete GIS wahrscheinlich eine Ladezeit von mehreren Minuten benötigen (Persönliche Kommunikation mit Holger Böttger, 2018). Dadurch wird die Verwendung fast unmöglich. Ein schnelles Umschalten zwischen verschiedenen Ansichten und Daten ist unabdingbar, um sich einen Überblick über die Gesamtsituation verschaffen zu können. Somit ist es zwingend nötig die erhaltenen Daten vor dem Einspeichern zu komprimieren.

Sollte es zu einer Situation kommen, bei der die vollständigen Daten benötigt werden, können diese weiterhin aus dem Postfach, oder dem ausgewählten Ordner, bezogen werden, da die Originaldaten nicht verändert werden. Außerdem sind diese auch noch auf den Messcomputern der Erkundungswagen verfügbar.

Die Datenbank kann nun genutzt werden, um alle erforderlichen Messergebnisse anzuzeigen. Da die Daten in einer Datenbank liegen, ist es möglich, sehr genau auszuwählen, was angezeigt werden soll und was nicht benötigt wird. Dieses war im Prototypen nicht möglich, da die Bilddatei einmal erstellt und dann in das GIS eingelesen wurde. Mit Hilfe einer Datenbank ist es möglich, genau auszugrenzen, welche Daten relevant sind und dann ein GIS Layer zu erzeugen. Als Layer werden die einzelnen Informationsebenen im GIS bezeichnet. Die Grundkarte bildet einen Layer. Darüber können Straßen, Gewässer oder Höhenlinien gelegt werden. In weiteren Layern werden dann die interessanten Informationen, wie z.B. die Messspuren, die Sektoreneinteilung, oder die Ausbreitungsberechnungen gelegt (Persönliche Kommunikation mit Jessica Bauer, 2018).

Zur Auswahl der benötigten Spuren gibt es mehrere Möglichkeiten. Zunächst kann ein Zeitraum festgelegt werden. Dazu werden ein Startpunkt und ein Endpunkt festgelegt. Anschließend wählt die Software alle Spuren aus, die in dem vorgegebenen Zeitraum gestartet wurden. Hierdurch ist es z.B. möglich, das Tagesergebnis zu betrachten, oder Spuren, welche durch Abklingvorgänge nicht mehr aktuell sind, auszublenden.

Weiterhin lassen sich Spuren eines bestimmten Fahrzeuges auswählen. Damit lässt sich feststellen, welche Route dieses zurückgelegt hat und ob es besondere Vorkommnisse gab. Außerdem lässt sich nachvollziehen, ob die Ergebnisse verwertbar sind. Wenn erkennbar ist, dass die Messwerte mit der Zeit zunehmen, obwohl andere Messungen das Gegenteil vermuten lassen, lassen sich Rückschlüsse über eine etwaig stetig stattfindende Kontamination des Fahrzeugs ziehen. Mit solchen Informationen können die Spuren in dem richtigen Kontext betrachtet werden.

Zuletzt soll es auch möglich sein, Spuren anzuzeigen, in deren Verlauf ein gewisser Messwert überschritten wird. Hierzu ist es möglich, einen Wert für den Szintillator, das Proportionalzählrohr und die Anteile an künstlicher Strahlung festzulegen. Die Eingabe der ODL-Werte erfolgt, wie bereits beschrieben, wieder mit einem Zusatzfeld mit der Möglichkeit, die Einheiten auszuwählen. Hiermit ist es möglich die Spuren auszublenden, welche keine Werte aufweisen, die den vorgegebenen Wert überschreiten. Da nun weniger angezeigt wird, ist es einfacher sich auf die stärker betroffenen Gebiete zu konzentrieren.

Die Auswahl der Spuren erfolgt immer im Reiter „Spur“. Hier werden alle Filtereinstellungen eingegeben. Anschließend werden alle Spuren, die den vorgegebenen Kriterien entsprechen, zu einer Liste hinzugefügt. Diese Liste wird im selben Reiter angezeigt und ist ähnlich aufgebaut wie die Liste der noch zu sichtenden Spuren. Es ist möglich, einzelne Elemente aus der Liste zu entfernen.

Folgendes fiktives Beispiel soll die Bedienung verdeutlichen. Der Bediener möchte eine aktuelle Messung mit den Werten vor einem Monat vergleichen. Dazu wählt er den Zeitraum so aus, dass das Ende 30 Tage zurückliegt. Zusätzlich wählt er die passende Einheit bzw. das passende Fahrzeug aus. Nun werden mehrere Spuren in der Liste angezeigt. Von diesen entfernt der Bediener zwei uninteressante Spuren. Als nächstes wird die aktuelle Messung, durch Begrenzen des Zeitraumes auf den aktuellen Tag, eingelesen.

Aus der Liste der ausgewählten Spuren werden nun die Layer für das GIS erzeugt. Dieses ähnelt dem beim Einlesen angezeigtem Vorschaubild. Für jeden Messpunkt wird ein Kreis auf den Ort gesetzt, der den gespeicherten Koordinaten entspricht. Dies ist der Ort, an dem die jeweiligen Messungen stattgefunden haben. Jeder dieser Kreise hat die Farbe des Bereiches in den der zugehörige Messwert fällt. Dadurch wird es schnell möglich zu erkennen, in welchem Bereich sich die angezeigten Messwerte befinden. Die Messwerte eines höheren Bereiches liegen jeweils ein Layer höher, als die des niedrigeren Bereichs. Dadurch wird verhindert, dass hohe Messwerte von unbedenklichen Messwerten überdeckt würden. Bei einer rausgezoozten Betrachtung führt die Überlagerung dazu, dass die einzelnen Punkte wie eine Spur aussehen. Bei einer sehr geringen Zoomstufe sind die einzelnen Punkte wieder zu erkennen. Die Farbebereiche lassen sich, wie bereits beschrieben, im Reiter „Spur“ einstellen. Die hier eingestellten Bereiche gelten für das Diagramm und die Vorschau im Einlesefenster, sowie für die Darstellung im GIS.

Die Spuren können nun angezeigt werden. Hierzu wird im GIS System der jeweilige Layer zur Anzeige aktiviert. Es gibt vier verschiedene Layer, welche die Messwerte des Szintillators, die des Proportionalzählrohres, den Anteil niederenergetischer künstlicher Strahlung und den Anteil mittlereenergetischer künstlicher Strahlung der ausgewählten Spuren, repräsentieren.

Nachdem die Spuren auf der Karte angezeigt werden, ist es, im Gegensatz zum Prototypen, möglich mit den Daten zu interagieren. Durch das Auswählen des Infotools können genauere Informationen über ein Element angezeigt werden. Nachdem das Element, in diesem Fall also ein Punkt der Messspur, angeklickt wurde, öffnet sich ein Informationsfenster. In diesem werden alle eingespeicherten Eigenschaften angezeigt. Für einen Punkt der Messspur sind das also alle Werte aus der Datenbank, wie zum Beispiel die Koordinaten und Messwerte.

Durch diese Funktion wird es möglich, sich grafisch einen Überblick zu verschaffen, ohne sich mit genauen Werten befassen zu müssen. Dadurch wird der Prozess sehr intuitiv und schnell. Anschließend kann wegen des Infotools trotzdem mit den genauen Werten gearbeitet werden.

Nach der Erstellung des beschriebenen Programms ist es möglich, die Spurmesswerte ebenso wie die Messwerte anderer Messsysteme zu verwenden. Sie können genutzt werden, um die Ausbreitungsberechnungen zu überprüfen, sich einen Überblick über die Situation zu verschaffen oder dem Katastrophenstab die Lage zu präsentieren.

4.4 Einbindung weiterer Spurmessfahrzeuge

Nachdem alle Maßnahmen umgesetzt wurden, um eine Nutzung der Spurmesswerte des CBRN Erkundungswagens zu ermöglichen, ist die Verwendung weiterer Spurmessfahrzeuge oder ähnlicher Systeme der nächste logische Schritt. Als bereits existierende Fahrzeuge kommen das Fahrzeug der Nuklearspezifischen Gefahrenabwehr (NGA) des NLWKN und die Hubschraubermesseinrichtung des BfS in Frage.

Das Bundesamt für Strahlenschutz besitzt an den Standorten Berlin und München jeweils vier Messvorrichtungen, die bei Installation in einen Hubschrauber eine Aero-Gammaspektrometrie ermöglichen. Die Hubschrauber und Hubschrauberpiloten werden von der Bundespolizei zur Verfügung gestellt. Da dieses Messverfahren regelmäßig geübt wird und die Mitarbeiter des BfS sehr gute Kenntnisse im Strahlenschutz und Katastrophenschutz haben, ist es möglich, den Messauftrag weniger detailliert zu vergeben und trotzdem qualifizierte Ergebnisse zu erhalten. Es kann auf die Fähigkeiten der eingesetzten Besatzung vertraut werden. Eine Datenübertragung ist erst nach dem Landen sinnvoll, da hier keine Spuren, sondern Gebiete abgeflogen werden (Bundesamt für Strahlenschutz, 2018).

Eine Einbindung in die Datenbank sollte sich weniger problematisch darstellen, da hier ebenfalls ortsbezogene Messdaten erhoben werden. Die Messdaten der Aero-Gammaspektrometrie müssen in das bereits vorhandene Format überführt werden. Anschließend kann die weitere Bearbeitung ohne größere Anpassungen erfolgen.

Die NGA des NLWKN unterstützt, mit ihrem Messfahrzeug, die zuständigen Gewerbeaufsichtsämter bei Situationen, in welchen eine Gefahr von radioaktiven Stoffen ausgeht. Das Fahrzeug ist mit einem NaJ-(TI)-Szintillationsdetektor ausgestattet, welcher mit Hilfe eines GPS Moduls in der Lage ist Spurmesswerte aufzunehmen. Die Vorgehensweise, welche in den vorherigen Kapiteln beschrieben wurde, kann wegen der großen Ähnlichkeit beider Fahrzeuge (PKW, Detektor System, etc.), großenteils übernommen werden. Zusätzlich ist dieses Fahrzeug mit einem internetfähigen Laptop ausgestattet, wodurch eine Datenübertragung aus dem Einsatzgebiet bei vorhandenem Mobilfunknetz möglich ist. Dadurch würde dieses Fahrzeug seine Informationen schneller übertragen können als andere und könnte daher eingesetzt werden, um die kritischsten Gebiete anzufahren. Die Mitarbeiter der NGA besitzen außerdem erweiterte Kenntnisse im Umgang mit Radioaktivität und im Themenfeld des Strahlenschutzes, da die NGA im NLWKN der Sachverständigenstelle Strahlenschutz angehört. Diese Kenntnisse erleichtern ihnen diese schwierige Aufgabe, im Gegensatz zu den freiwilligen Kräften. Wichtig ist zu erwähnen, dass die Mitarbeiter trotzdem nicht im hauptbeaufschlagten Gebiet eingesetzt würden. In diesem Bereich wird von den Einheiten des Betreibers gemessen (Persönliche Kommunikation mit Gesa Bergmann, 2018).

5 Validierung

Zur Validierung des in Kapitel 4 beschriebenen Konzepts wurden zwei unterschiedliche Ansätze gewählt. Der erste besteht in einem Vergleich mit der Vorgehensweise in anderen Bundesländern. Dadurch soll überprüft werden, ob es für die selbe Problemstellung möglicherweise bessere Herangehensweisen gibt. Hierzu werden die Systeme aus Baden-Württemberg und aus Bayern für den Vergleich herangezogen, da beide Bundesländer noch aktive Kernkraftwerke besitzen (International Atomic Energy Agency, 2016). Der zweite Ansatz besteht im Sammeln von Erfahrungen mit Hilfe von Prototypen. Hierzu wird der bereits vorhandene Prototyp genutzt. Zusätzlich wurde im GIS eine potentielle Darstellung der Spuren erstellt. Hierdurch soll die Funktionalität des Konzeptes getestet werden. Eine abschließende Bewertung ist allerdings erst möglich nachdem die Software umgesetzt wurde. Dann ließe sich im Rahmen einer größeren Übung mit mehreren Erkundungswagen herausfinden, ob die Verfahren verbessert werden müssen.

5.1 Vergleich mit anderen Bundesländern

Die Informationen, über das Vorgehen in den Bundesländern stammen von den jeweiligen Landesämtern. Hierzu wurden zwei Telefoninterviews, mit den zuständigen Mitarbeitern, geführt. In Baden-Württemberg war dies Herr Neff von der Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (LUBW). Dieser beantwortete nicht nur alle Fragen ausgiebig, sondern stellte zusätzlich noch das Paper „*ERMITTLUNG UND BEWERTUNG DER RADIOLOGISCHEN LAGE DURCH MOBILE MESSUNGEN IN DER BODENPHASE*“ zur Verfügung, in welchem das Vorgehen näher beschrieben wird.

Das Grundsätzliche Vorgehen in BW bei der Verwendung von Spurmesswerten ähnelt dem Konzept aus Kapitel 4. Dies ist darauf zurückzuführen, dass unter anderem die Rahmenempfehlungen von der SSK in den meisten Fällen eingehalten werden. Durch die Einheitlichkeit der Vorgaben, entsteht ein sehr ähnliches Vorgehen. In Baden-Württemberg vergibt das Radiologische Lagezentrum ebenfalls zuerst die Messaufträge an die einzelnen Einheiten, welche anschließend von den einzelnen CBRN-Erkundungswagen abgearbeitet werden.

Auch in Baden-Württemberg nutzen alle CBRN-Erkundungswagen die Beladung des Bundes. Daher ist keine Fernübertragung von Daten möglich. Deshalb werden die Daten mit physischen Datenträgern weitergereicht und an der Probensammelstelle in das Internetportal des LUBW hochgeladen (Obrecht, et al., 2009). Bei der Implementierung in das KFÜ-System zeigen sich kleinere Unterschiede. Im baden-württembergischen KFÜ-System durchlaufen alle Daten eine automatisierte Plausibilitätsprüfung und werden anschließend direkt in eine Datenbank gespeichert. Eingaben des Personals werden dabei nicht benötigt. Dadurch wird der Ablauf zwar beschleunigt, es ist allerdings nicht sicher ob ein Algorithmus alle möglichen Abweichungen finden würde. Dies ist allerdings auch nicht sichergestellt, wenn ein Mensch die Sichtung übernimmt. Daher lässt sich nicht sagen, dass ein System besser ist als das andere.

Beim Einlesen erfolgt keine Komprimierung. Dieses stellt laut Herrn Neff kein Problem dar. Alle Systeme sollen mit der Menge an Daten bisher gut umgehen können. Sollte eine ungeeignete Spur vom System nicht erkannt werden, können zugelassene Benutzer diese nachträglich manuell löschen. Bei der Auswahl der anzuzeigenden Spuren gibt es viele verschiedene Filterkriterien, um eine genaue Einschränkung zu ermöglichen. Als Zusatzfunktion ist es möglich, die von der Besatzung während des Einsatzes aufgenommene Dosis anzuzeigen (persönliche Kommunikation mit Ulrich Neff, 2018). Die Darstellung im GIS erfolgt ebenfalls durch das Verwenden von farblich markierten Formen, welche durch Überlagerung wie eine Spur aussehen. Dies ist im Bild Nr. 3 des Papers zu erkennen. Außerdem ist es möglich, eine Isoflächendarstellung zu erzeugen, welche zusätzlich die nicht befahrenen Bereiche einfärbt. Hierbei wird aus den gegebenen Spurdaten eine Fläche interpoliert (Obrecht et al., 2009). Hier ist neben der Verwendung von Isoflächen kein neuer Ansatz zu finden. Diese Darstellung basiert allerdings auf interpolierten Daten. Es könnte der Eindruck entstehen, dass Informationen über ein Gebiet vorhanden sind, welche nicht existieren. Daher sollte diese Funktion nicht übernommen werden.

In Bayern fand das Interview mit Herrn Pfau vom Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU) statt. Dieser beschrieb das dort verwendete System im Detail. Zusätzlich konnte er schon mitteilen, wie das System in Zukunft angepasst werden soll, um die Datenübertragung zu vereinfachen.

Dieses System weist, im Vergleich zu dem in Kapitel 4 beschriebenen Konzept, einige Unterschiede auf. Als eines der wohlhabendsten Bundesländer (Statista, 2018), hat sich der Freistaat Bayern dazu entschieden alle CBRN Erkundungswagen, auf Kosten des Landes, mit internetfähigen Laptops auszustatten. Dies ermöglicht, durch Spezialsoftware und die Verwendung der richtigen Anschlüsse, diese Laptops als eigentlichen Messcomputer zu verwenden. Da das Betriebssystem dieser Laptops aktuell gehalten wird, sind die bayerischen Erkundungswagen in der Lage, eine Datenfernübertragung über das UMTS Netz zu nutzen. Dies ist am Beispiel des CBRN Erkundungswagens der Freiwilligen Feuerwehr Pfarrkirchen, Bayern in Abbildung 10 zu erkennen. Hier ist der extra Laptop markiert, welcher im CBRN Erkundungswagen des Landkreises Hildesheim, Niedersachsen aus Abbildung 4 fehlt.



Abbildung 10: Messcontainer des CBRN Erkundungswagen der Freiwilligen Feuerwehr Pfarrkirchen

Auch der Messauftrag kann dadurch anders übermittelt werden. Er erfolgt nicht durch eine Beschreibung der Route, sondern wird vom Auftraggeber in einem Spezialprogramm in eine Karte eingezeichnet. Anschließend wird diese Karte an den jeweiligen Erkundungswagen geschickt. Durch die Verwendung der Spezialsoftware können diese den Messauftrag öffnen und direkt umsetzen.

Die Datenübertragung erfolgt über das Internet. Hierzu werden die Messspuren von der Besatzung aus dem Speicherverzeichnis per Drag-and-Drop-Verfahren in das sogenannte ETS-System hochgeladen. Von hier aus kann die KFÜ-Software auf die Spurdaten zugreifen. Dieses Vorgehen ist im Vergleich zu den Methoden ohne mobile Internetverbindung schon arbeits- und zeitsparend. In Zukunft soll dies allerdings noch einfacher gestaltet werden. Hierzu soll ein Cloudspeicherdienst genutzt werden. Dabei wird das Speicherverzeichnis des Messcomputers automatisch in die Cloud gespiegelt. Anschließend wird dieses Cloudverzeichnis für das KFÜ-System zugänglich gemacht. Hierdurch wird jede neu erstellte Datei sofort hochgeladen, sobald eine Internetverbindung zu Verfügung steht. Das führt dazu, dass die neu erstellten Dateien, noch während der Messfahrt, bereits für das KFÜ-System zugänglich sind. Dieser Vorgang soll nach einmaliger Einrichtung völlig automatisch ablaufen und eliminiert damit menschliche Fehlerquellen.

Die Spurdaten werden hier, wie schon in Baden-Württemberg, automatisch in die Datenbank eingelesen. Eine Sichtung erfolgt in der anschließenden Kartendarstellung. Zusätzlich können berechnete Benutzer die unplausiblen Einträge löschen. Es kann also vorkommen, dass die Daten vor der Sichtung bereits als Entscheidungsgrundlage verwendet werden. Daher sollte dieses Vorgehen nicht übernommen werden. Die Speicherung der Spurdaten erfolgt wie in BW unkomprimiert.

Die Anzeige im GIS unterscheidet sich kaum. Auch in Bayern werden die Messergebnisse als farblich markierte Spuren angezeigt. Ebenfalls wird jeweils ein eigener Layer für die Darstellung der Spuren verwendet. Es wird deutlich, dass die Verwendung eines neuen Messcomputers Einiges vereinfacht und eine nahezu sofortige Übertragung ermöglicht. Allerdings müssen für dieses Vorgehen auch alle Erkundungswagen aufgerüstet werden. Solange dies nicht geschieht, können die Verfahren nicht übernommen werden (Persönliche Kommunikation mit Herr Pfau, 2018).

5.2 Erfahrungen durch Verwendung von Prototypen

Der erste Prototyp ist die Spursoftware, welche bereits im KFÜ-System existiert und in Kapitel 2.3 „Datenerfassung“ beschrieben wurde. Diese Software wurde bereits seit mehreren Monaten verwendet. Daher konnten viele Erfahrungen damit gesammelt werden. Neben den in früheren Kapiteln erwähnten Limitationen, stellten sich einige Funktionen auch als hilfreich heraus.

Grundsätzlich funktioniert eine Sichtung mit Hilfe eines Diagramms und einer Vorschau ziemlich gut, da sowohl der zeitliche, wie auch der räumliche Verlauf, schnell nachvollzogen werden können. Allerdings mussten die Funktionen weiter ausgebaut werden. Die Stellen, an denen die Erfahrungen dieses Prototypens genutzt wurden, wurden im Kapitel 4.3 „KFÜ Softwareerweiterung“ erwähnt.

Zusätzlich wurde ein weiterer Prototyp zur Verbesserung der Darstellung entwickelt. Dieser ermöglicht es, die Spurdaten über mehrere Schritte in das Programm ARC GIS einzulesen. Im Programm können verschiedene Darstellungsformen verglichen werden. Dieses Programm wird auch im KFÜ-System in Niedersachsen verwendet (Persönliche Kommunikation mit Holger Böttger, 2018).

Zunächst werden alle Dateien, die der CBRN Erkundungswagen erstellt, zu einer Datei zusammengefasst. Anschließend wurde das Textverarbeitungsprogramm Notepad++ verwendet, um die Struktur der Datei anzupassen. Zunächst wurden die Einträge der jeweiligen Warnschwellen entfernt und die Koordinaten in ein für ARC GIS bekanntes Format umgewandelt. Die angepasste Textdatei kann anschließend in eine Excel-Tabelle eingefügt werden. Hier werden den verwendeten Spalten Überschriften hinzugefügt. Den Koordinaten wurden die Überschriften X und Y gegeben. Diese werden von ARC GIS als Marker verwendet. Dabei fiel zunächst auf, dass die Werte der beiden verwendeten Detektoren nicht übereinstimmten. Die Messwerte des Proportionalzählrohrs sind grundsätzlich höher als die des Szintillators. Da der Szintillator, wie in 2.3 beschrieben, eher für den Messbereich der Umweltradioaktivität geeignet ist, wurden dessen Messwerte beim weiteren Vorgehen verwendet.

Die erstellte Excel-Tabelle kann in ARC GIS eingelesen werden, um verschiedene Formen der Darstellung zu vergleichen. Hierzu wurden Spurdaten verwendet, welche bei einer Messübung im Jahr 2015 erhoben wurden. Dabei ergaben sich einige Erkenntnisse.

Zunächst musste die Anzahl der verwendeten Farbbereiche und deren Grenzen ausgewählt werden. Hierzu wurden acht Bereiche mit denselben Grenzwerten und Farben wie bei den Werten des ODL-Messnetzes gewählt, da diese in der neuen Spurensoftware als Standardeinstellung verwendet werden sollten.

Bei der anschließenden Betrachtung mehrerer Spuren, mit diesen Einstellungen, kam es zu einer besonderen Feststellung. An mehreren Punkten verliefen Spuren in der Nähe einer ODL-Sonde. Dabei fiel schnell auf, dass zwei unterschiedliche Farben angezeigt wurden und damit einhergehend auch die Werte unterschiedlich waren.

Beide Messverfahren sind zu unterschiedlich, um die Ergebnisse direkt zu vergleichen. Die ODL-Sonden stehen auf einer freien Fläche, in einer bestimmten Höhe. Die Spurmesswerte hingegen werden in einem Fahrzeug aufgenommen, welches dem Straßenverlauf folgt und daher oft von Gebäuden oder anderen Hindernissen umgeben ist. Außerdem werden unterschiedliche Detektoren verwendet. Daher müssen auch zwei verschiedene Farbskalen zur Darstellung der Ergebnisse verwendet werden. Für die Bereiche der Spurmesswerte wurde deshalb ein Farbverlauf von Grün, über Gelb und Orange, bis nach Rot erstellt.

Nach dieser Anpassung offenbarte sich das zweite Problem. Ein zeitlich später aufgenommener Messwert überlagerte immer den früheren Messwert. Dadurch kam es an manchen Stellen, bei entsprechend hoher Zoomstufe dazu, dass ein erhöhter Wert komplett von niedrigeren Werten überdeckt wurde. Wenn die Spur im Ganzen betrachtet wurde, konnte es also vorkommen, dass die stärker betroffenen Gebiete übersehen werden. Um dies zu verhindern, wurde die Anzeige so eingestellt, dass die höheren Messwerte immer über den niedrigeren Messwerten liegen. Der Unterschied wird in Abbildung 11 deutlich. Im linken Bild sind die höheren Messwerte nicht zu sehen. Im rechten Bild hingegen fallen sie sofort auf.

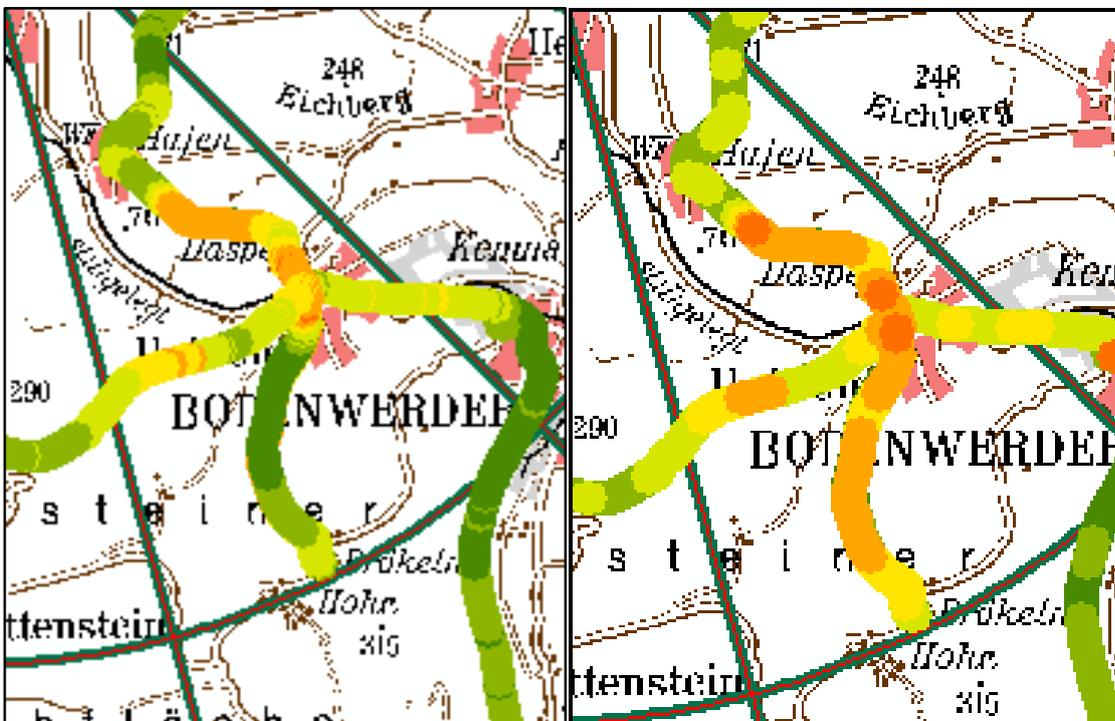


Abbildung 11: Vergleichsbild, Überlagerung der hohen Messwerte

Bei einer festen Bereichseinteilung konnte es vorkommen, dass alle Werte der Spur in den unteren zwei Farbbereichen lagen. Daher war es nicht mehr möglich zu erkennen, an welcher Stelle die höchsten Messwerte vorkamen. Um das zu verhindern wurde die Funktion getestet, die Messwertbereiche dynamisch anzupassen. Diese Einstellung konnte sich aber nicht bewähren, da die Vergleichbarkeit der Spuren zu stark beeinträchtigt wird, wenn sich z.B. zwei Spuren an einer Stelle kreuzen. Die Messwerte unterschieden sich hier kaum. Allerdings waren die Spuren verschieden eingefärbt. Die jeweils höchsten gemessene Werte waren unterschiedlich und führten damit zur Verschiebung der Farbbereiche.

Die Erkenntnisse, die durch die Prototypen gewonnen werden konnten, flossen in die Erstellung des Konzeptes mit ein. Durch die Verwendung der einzelnen Elemente konnten diese bereits getestet und mit möglichen Alternativen verglichen werden.

6 Ausblick

In Zukunft könnten einige Veränderungen auf die CBRN Erkundungswagen zukommen. Die Versuche in Bayern und in anderen Landkreisen zeigen, dass die Ausrüstung der Fahrzeuge mit Zusatzcomputern und einer mobilen Internetverbindung für eine schnellere und unkompliziertere Übermittlung der Messspuren sorgt. Daher wäre es sinnvoll alle Erkundungswagen in Deutschland mit einer Möglichkeit zur Fernübertragung von Daten auszustatten.

Das wurde auch schon 2006 erkannt, als die „Einsatztaktik ABC“ vom Bund und den Ländern gemeinsam ausgearbeitet wurde. In den Einsatzgrundsätzen wird eine Messleitkomponente (MLK) beschrieben. Die MLK ist ein Fahrzeug oder ein Raum, welche in der Lage sind bis zu fünf Erkundungswagen zu koordinieren. Außerdem sollen in der MLK die Messergebnisse der Erkundungswagen zusammengefasst, vorläufig ausgewertet und aufbereitet werden. Um diese Aufgabe effektiv wahrnehmen zu können, werden einige Mindeststandards an die MLK gestellt. Neben einer ausreichend ausgebildeten Besatzung, wird auch eine gewisse technische Ausrüstung gefordert. Unter anderem werden eine Einrichtung zur Datenfernübertragung und eine Anbindung an Informationsnetze, wie das Internet, benötigt. Mit Hilfe dieser Ausstattung soll es möglich sein, kontinuierlich Messdaten von den Erkundungswagen zu empfangen. Diese können dann weitergegeben werden, oder sie werden genutzt, um weitere Aufträge zu vergeben. Zum Beispiel kann so ein auffälliger Abschnitt genauer untersucht werden, bevor der Erkundungswagen weitergefahren ist. (BBK, 2006, S. 12-20).

Sollten die Vorschläge von 2006 umgesetzt werden, dann wäre die Problematik der Datenübertragung bundesweit einheitlich geregelt. Da die CBRN Erkundungswagen vom Bund beschafft, weiterentwickelt und unterhalten werden, liegt es an ihm dieses umzusetzen. Konkret ist das Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK) hierfür zuständig.

Das BBK müsste alle Erkundungswagen mit einer Einrichtung zur Übertragung aufrüsten. Eine ähnliche Weiterentwicklung gab es schon im Jahr 2009. Damals wurden alle Erkundungswagen mit einem modernisierten Messrechner ausgestattet, da die alte Technik nicht mehr zeitgemäß war (BBK, 2018). Das selbe ist auch aktuell der Fall. Außerdem müssten flächendeckend MLK eingerichtet werden, um die Daten der Fernübertragung empfangen zu können. Da die MLK fester Teil der Einsatztaktik ist, müssten diese in Form eines Fahrzeuges vom Bund ausgegeben werden.

Als möglicher Kanal für die Übertragung kommt nur ein System in Frage, welches die Daten von mindestens fünf Erkundungswagen gleichzeitig handhaben kann. Außerdem muss ein bundesweit vorhandenes Übertragungsnetz genutzt werden, da die MLK potentiell hunderte Kilometer entfernt liegt.

Die erste Möglichkeit wäre das Verwenden eines Mobilfunknetzes, wie es in Bayern bereits umgesetzt wurde. Dagegen spricht allerdings, dass der Erkundungswagen auch im Zivilschutz eingesetzt werden soll. Zivilschutz beschreibt allgemein den Schutz der Bevölkerung im Falle eines Krieges (ZSKG §1). Im Verteidigungsfall sollte nicht davon ausgegangen werden, dass die zivilen Netze bestehen bleiben. Daher ist der wahrscheinlichere Fall, dass eine satellitengestützte Verbindung genutzt werden muss, um MLK und Erkundungswagen zu verbinden. Diese würde auch bei Stromausfällen oder Störungen der öffentlichen Informationsnetze funktionieren. Nachdem die Daten empfangen und verarbeitet wurden, kann die MLK das Radiologische Lagezentrum oder andere Führungsstäbe per Internet mit Messdaten versorgen. Ein zusätzlicher Vorteil der MLK besteht in der Möglichkeit, ganze Führungsstrukturen bis auf Einsatzabschnittsgröße aufzubauen. Dadurch wird die Messzentrale und damit auch das radiologische Lagezentrum entlastet (BBK, 2006, S. 12-20).

Ein Prototyp der CBRN MLK wurde bereits 2011 beim 7. Verbandstag des Deutschen Feuerwehrverbandes in Kirkel-Neuhäusel vorgestellt (BBK, 2018). Daher kann gehofft werden, dass dieser bald flächendeckend etabliert wird.

7 Zusammenfassung

Auch wenn das Ende der Laufzeit deutscher Kernkraftwerke immer näher rückt, ist es dennoch wichtig auf einen Störfall in einer kerntechnischen Anlage vorbereitet zu sein. Selbst nach Abschaltung des letzten Reaktors, gibt es immer noch Zwischenlager und andere Anlagen, in denen es zu einem Unfall kommen kann oder die Ziele eines terroristischen Anschlags werden können. Daher ist es wichtig im Katastrophenschutz alle Möglichkeiten zu beachten. Mit dem aufgestellten Konzept zur Verwendung von Spurmesswerten wird es möglich Spurmesswerte als integralen Teil der Lageerfassung und Lagebewertung im Störfall zu nutzen. Im Vergleich zum bisherigen Vorgehen, werden die Besatzungen der Erkunder umfangreicher über ihren Auftrag und die Hintergründe der Vorgaben informiert. Außerdem werden für die Problematik der Datenübertragung drei verschiedene Lösungswege vorgeschlagen, sodass je nach Situation die beste Möglichkeit gewählt werden kann. Nachdem die Messwerte beim Radiologischen Lagezentrum angekommen sind, können sie ohne viel Aufwand in die KFÜ-Software eingelesen werden. Durch die Sichtung werden auffällige Spuren bereits notiert und das Einlesen von unplausiblen Spuren verhindert. Anschließend ist es möglich an Hand mehrerer Auswahlkriterien die benötigten Spuren zusammen mit allen anderen Messergebnissen des KFÜ-Systems im GIS darzustellen. Durch den Vergleich mit der Vorgehensweise in Baden-Württemberg und in Bayern, sowie der Verwendung von zwei Prototypensoftwares, soll sichergestellt werden, dass das Konzept funktioniert. Auch wenn eine abschließende Bewertung erst nach Fertigstellung der Software im Rahmen einer gemeinsamen Übung mit mehreren CBRN Erkundungswagen möglich ist.

8 Liste der persönlichen Gespräche

Person	Position	Zeitpunkt
██████████ [Telefonat, Email]	██████████ off-site nuclear emergency management im RIVM	Tel: 11.07.2018 Email: 20.07.2018
██████████	██████████ im NLWKN, Systemadministrator des KFÜ	5.2.2018-22.6.2018
██████████	██████████ im NLWKN, Systemadministrator für Prosum (KFÜ-Software)	5.2.2018-22.6.2018
██████████	██████████ im NLWKN, Co- Leiter der Messzentrale	5.2.2018-22.6.2018
██████████	██████████ im NLWKN, Zuständig für GIS- Angelegenheiten	5.2.2018-22.6.2018
██████████	██████████ im NLWKN, Teil des NGA Teams	5.2.2018-22.6.2018
██████████ [Telefonat]	██████████ im LUBW, Teil des KFÜ Teams Baden- Württemberg	29.06.2018
██████████ [Telefonat]	██████████ im LfU, Teil des KFÜ Teams Bayern	29.06.2018

Die Gespräche mit den Mitarbeitern des NLWKN fanden unter anderem im Rahmen eines 20-wöchigen Praktikums statt und lassen sich daher nicht auf einen genauen Zeitpunkt festlegen.

9 Literaturverzeichnis

- Bundesamt für Strahlenschutz. (2016). Radon – ein kaum wahrgenommenes Risiko. *Strahlenschutz Konkret*(48). Salzgitter: Bundesamt für Strahlenschutz.
- BBK. (2006). *Einsatztaktik ABC - Taktische Einsatzgrundsätze für den Bereich der ABC-Erkundung*. [PDF]. Von https://www.bbk.bund.de/SharedDocs/Downloads/BBK/DE/Publikationen/CBRN-Schutz/Einsatztaktik_ABC_Version_1_Feb_2006.html
- BBK. (2016). *CBRN-Erkundungswagen, Faltblatt*. [PDF]. Von https://www.bbk.bund.de/SharedDocs/Downloads/BBK/DE/Publikationen/Broschueren_Flyer/Flyer_CBRN_Erkundungswagen.html
- BBK. (2018). *BBK beim DFV-Verbandstag in Kirkel*. [Online]. Abgerufen am 14. 08. 2018 von https://www.bbk.bund.de/SharedDocs/Kurzmeldungen/BBK/DE/2011/02111700_Verbandstag-DLV.html
- BBK. (2018). *Neuerungen des ABC-Erkunders - Umfang der Erweiterungen*. [Online]. Abgerufen am 13. 08. 2018 von https://www.bbk.bund.de/DE/AufgabenundAusstattung/CBRNschutz/CBRN-Erk/UmfangMod/umfangmod_node.html
- BMU. (2005). Rahmenempfehlung für die Fernüberwachung von Kernkraftwerken. *GMBI. 2005(51)*, S. 1049. Berlin: BMI.
- Bundesamt für Strahlenschutz. (2017). Strahlung und Strahlenschutz. Salzgitter: Bundesamt für Strahlenschutz.
- Bundesamt für Strahlenschutz. (2018). *Hubschraubergestützte Messungen*. [Online]. Abgerufen am 07. 08. 2018 von <https://www.bfs.de/DE/themen/ion/notfallschutz/ueben/luft/hubschraubermessungen/ueben/aerogamma-uebung.html>
- Bundesamt für Strahlenschutz. (2018). *odlinfo*. [Online]. Abgerufen am 02. 08. 2018 von <https://odlinfo.bfs.de/DE/aktuelles/messstellenstatistik.html>
- Bundesverwaltungsamt - Zentralstelle für Zivilschutz. (2003). Ausstattungssatz, Beladeplan und Typenblatt für ABC-Erkundungskraftwagen. Bonn: Bundesverwaltungsamt.
- Department for Business, Energy & Industrial Strategy. (2012). *UK response plan and Radioactive Incident Monitoring Network (RIMNET) 3*. [PDF]. Von <https://www.gov.uk/government/publications/rimnet-frequently-asked-questions>

- Forschungszentrum Jülich. (2018). *Kraftwerksausfall*. [Online]. Abgerufen am 13. 08. 2018 von https://www.enargus.de/pub/bscw.cgi/d3453698-2/*/*Kraftwerksausfall.html?op=Wiki.getwiki&search=Meeresenergie&scope=all
- HM Government. (2015). Nuclear Emergency Planning and Response Annex. London: HM Government.
- International Atomic Energy Agency. (2016). *Country Nuclear Power Profiles: Germany*. [Online]. Abgerufen am 08. 08. 2018 von <https://cnpp.iaea.org/countryprofiles/Germany/Germany.htm>
- Krieger, H. (2017). *Grundlagen der Strahlungsphysik und des Strahlenschutzes* (5. Ausg.). Berlin: Springer Spektrum.
- Länderausschuss für Atomkernenergie. (2006). Richtlinie zur Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen (REI). *GMBI(14-17)*, S. 254. Berlin: BMI.
- Microsoft. (2016). *Der Support für Windows XP wurde eingestellt*. [Online]. Abgerufen am 02. 08. 2018 von <https://support.microsoft.com/de-de/help/14223/windows-xp-end-of-support>
- MuPnAnw Arbeitsgruppe. (2016). Mess- und Probenahmeanweisung (MuPnAnw) für Ereignisse mit erheblichen Freisetzungen Radioaktiver Stoffe aus Kernkraftwerken für Hameln Pyrmont. Hameln Pyrmont: Interne Anweisung.
- NLWKN. (2018). *Überwachung kerntechnischer Anlagen*. [Online]. Abgerufen am 17. 07 2018 von https://www.nlwkn.niedersachsen.de/Strahlenschutz/ueberwachung_kerntechnischer_anlagen/ueberwachung-kerntechnischer-anlagen-112838.html
- Obrecht, R; Pohl, H; Schneider, S; Grimm, Ch; Neff, U; Coutinho, P; Müller, U; Mandl, C; Wilbois, T; Ren, Y; Chaves, F. (2009). Ermittlung und Bewertung der Radiologischen Lage durch mobile Messungen in der Bodenphase. *Kerntechnik*, 74(4), S. 220–225.
- Satista. (2018). *Bruttoinlandsprodukt (BIP) je Einwohner nach Bundesländern im Jahr 2017*. [Online]. Abgerufen am 08. 08. 2018 von <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/73061/umfrage/bundeslaender-im-vergleich---bruttoinlandsprodukt/>
- Strahlenschutzkommission. (2018). *Die Strahlenschutzkommission - Ein Beratungsgremium des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit*. [Online]. Abgerufen am 27. 07 2018 von https://www.ssk.de/DE/UeberSSK/ueber_ssk_node.html

- Strahlenschutzkommission. (2004). Leitfaden für den Fachberater Strahlenschutz der Katastrophenschutzleitung bei kerntechnischen Notfällen. *Berichte der Strahlenschutzkommission (SSK) des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit*(37). Bonn: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit.
- Strahlenschutzkommission. (2014a). Radiologische Grundlagen für Entscheidungen über Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung bei Ereignissen mit Freisetzungen von Radionukliden. [PDF]. Von https://www.ssk.de/SharedDocs/Beratungsergebnisse_PDF/2014/RadiologischeGrundlagen.html?nn=2041716
- Strahlenschutzkommission. (2014b). Planungsgebiete für den Notfallschutz in der Umgebung von Kernkraftwerken. [PDF]. Von <https://www.ssk.de/SharedDocs/Beratungsergebnisse/2014/Planungsgebiete.html>
- Strahlenschutzkommission. (2015). Rahmenempfehlungen für den Katastrophenschutz in der Umgebung kerntechnischer Anlagen. [PDF]. Von https://www.ssk.de/SharedDocs/Beratungsergebnisse/2015/Rahmenempfehlungen_Katastrophenschutz.html
- Walter, H., Gering, F., Gerich, B., Heinrich, G., Welte, U., & Arnold, K. (2016). RODOS-based Simulation of Potential Accident Scenarios for Emergency Response Management in the Vicinity of Nuclear Power Plants. Salzgitter: Bundesamt für Strahlenschutz.