

# Wiederaufarbeitung - Wertstoffgewinnung oder Ursache von Krankheit und Tod?

## Inhalt

1.	<b>Abstract</b> .....	2
2.	<b>Vorbemerkung zur Bewertung niedriger Strahlendosen</b> .....	2
3.	<b>Wertstoffgewinnung</b> .....	4
3.1	Was ist Wiederaufarbeitung? .....	4
3.2	Keine Verwendung für Uran aus Wiederaufarbeitung.....	7
4.	<b>Gefahren der Wiederaufarbeitung</b> .....	8
4.1	Rezyklierung erhöht Gefahr durch Alphanradioaktivität.....	8
4.2	Rezyklierung erhöht lokale, regionale und globale Kollektivdosis.....	12
5.	<b>Strahlenbelastung der europäischen Bevölkerung durch die Wiederaufarbeitungsanlagen und Schadenserwartung</b> .....	18
6.	<b>Kinder als biologische Dosimeter: Nachweis gesundheitlicher Schäden in der Umgebung atomarer Anlagen, insbesondere der Wiederaufarbeitungsanlagen</b> .....	22
7.	<b>Ausblick: Wohin mit dem Plutonium?</b> .....	27
8.	<b>Literatur</b> .....	28

Nach einem Vortrag am 5.11.2001

im [Interdisziplinären Seminar der Philipps-Universität Marburg WS 01/02](http://www.uni-marburg.de/isem/WS01_02/index.html)

([http://www.uni-marburg.de/isem/WS01\\_02/index.html](http://www.uni-marburg.de/isem/WS01_02/index.html))

"Bedrohung von Mensch und Natur - übertrieben oder verharmlost?"

von Prof. Dr. Horst Kuni

Klinische Nuklearmedizin, Klinikum der Philipps-Universität Marburg, D 35033 Marburg,

<http://staff-www.uni-marburg.de/~kuni/h/>, [horst@kuni.org](mailto:horst@kuni.org)

## 1. Abstract

Die in Wangershausen bei Frankenberg geplante Wiederaufarbeitung von Brennelementen aus deutschen Atomreaktoren veranlasste die Begründung dieses interdisziplinären Seminars. Die Verlegung der Wiederaufarbeitung nach Frankreich und England hat nun auch dazu geführt, dass Abfangjäger und Boden-Luft-Raketen bei La Hague und nicht in Nordhessen stationiert werden müssen, um deutschen Atommüll zu sichern. Sind damit alle Gefahren gebannt?

Die Verwendbarkeit des erarbeiteten Urans und Plutoniums und die Bilanz des Atommülls werden kurz besprochen. Der Weg der freigesetzten radioaktiven Schadstoffe in und durch die Umwelt bis zu uns wird nachgezeichnet. Die bereits beobachteten und noch zu erwartenden Gesundheitsschäden werden geschildert und der Stellenwert in der gesamten Schadensbilanz der Anwendung von Atomenergie gezeigt.

## 2. Vorbemerkung zur Bewertung niedriger Strahlendosen

Aus der sehr umfangreichen Kontroverse konnten nur wenige, aber markante Themen herausgegriffen werden. Der Profession des Autors entsprechend werden sie aus der medizinischen Perspektive abgehandelt. Sie fußt vor allem auf der aus molekularbiologischem und mikrodosimetrischem Wissen gesicherten Erkenntnis, dass es auf dem Niveau der Wechselwirkung ionisierender Strahlen mit der Erbsubstanz im Zellkern keine unschädliche Dosis gibt, sondern grundsätzlich jedes Strahlenquant oder Strahlenteilchen die Potenz besitzt, eine Mutation auszulösen, aus der Krebs, genetische Krankheiten und andere gesundheitliche Schäden resultieren können.

Die Unsichtbarkeit des molekulargenetischen Eingriffs, die Latenzzeit zwischen der Strahleneinwirkung und der Manifestation dadurch ausgelöster Gesundheitsschäden sowie das Fehlen strahlenspezifischer Merkmale der hervorgerufenen Krankheiten haben es erleichtert, niedrige Dosen als harmlos zu deklarieren und Grenzwerte zu setzen, die scheinbar zwischen schädlich und unschädlich diskriminieren.

Für die ethische und juristische Bewertung erscheint das Prinzip der stochastischen<sup>1</sup> Strahlenwirkung qualitativ noch bedeutsamer zu sein als quantitative Betrachtungen. So scheint die Auffassung, dass die Einwirkung ionisierender Strahlung auch in kleinen Dosen, z.B. bei der medizinischen Diagnostik, eine Körperverletzung darstellt, in der deutschen Rechtsprechung Platz zu greifen. Immerhin hat der Bundesgerichtshof der Bundesrepublik Deutschland es als Körperverletzung angesehen, dass ein Arzt ohne Indikation Röntgenuntersuchungen durchgeführt hatte [BGH 1997]. Das sollte allen, die Strahlendosen durch die Atomtechnik mit Röntgenaufnahmen vergleichen, zu denken geben.

Aus diesem Grund spielt auch in dieser Bewertung die Kollektivdosis eine zentrale Rolle. Auch kleinste individuelle Strahlendosen können bei einer umfassenden Exposition der Bevölkerung sich so kumulieren, dass mit Gewissheit gesundheitliche Schäden die Folge sind. Dem stochastischen Prinzip ist es zuzuschreiben, dass im Ungewissen bleibt, wen der Schaden treffen und wann er sich manifestieren wird.

Bei niedrigen Dosen wird häufig ein Vergleich mit anderen, z.T. höheren Dosen aus Expositionen gezogen, die unvermeidlich sind, wie meist die natürliche Strahlenbelastung, oder die eine von den Betroffenen als vorteilhaft angesehene Maßnahme begleiten, wie z.B. eine medizinische Untersuchung mit Röntgenstrahlen. Auch hierbei müssen für die Bewertung Kriterien wie Vermeidbarkeit, Dissoziation von Nutznießer der Anwender und Träger des Schadens etc. mehr zählen als die Höhe der Strahlendosis, so wie ein Todesfall durch einen böseartig und hinterhältig geführten Hieb eine andere ethische und juristische Bewertung erfährt als eine wesentlich größere Anzahl von Todesfällen durch eine unvermeidbare Naturkatastrophe.

---

<sup>1</sup> Nach einem Vorschlag der ICRP können die Strahlenwirkungen in stochastische und deterministische eingeteilt werden. Bei stochastischen Wirkungen (von stochos, griechisch,  $\sigma\tau\omicron\chi\omicron\varsigma$ , der Treffer) kann im Prinzip schon ein einziger Strahlentreffer eine Zelle so verändern, dass die Entwicklung einer Krebserkrankung eingeleitet oder in den Keimzellen eine Mutation ausgelöst wird, die an die Folgegenerationen vererbt werden kann. Die Schwere der nach z.T. langer Latenzzeit auftretenden Folgeerkrankung ist von der Strahlendosis unabhängig, lediglich die Wahrscheinlichkeit der Auslösung wird von der Dosis bestimmt.

### 3. Wertstoffgewinnung

#### 3.1 Was ist Wiederaufarbeitung?

Eine Einführung in die Wiederaufarbeitung kann den Websites der Wiederaufarbeitungsanlagen (WAA) entnommen werden, die hier abgehandelt werden, z.B. der Wiederaufarbeitungsanlage La Hague auf Cotentin, einer Halbinsel der Normandie.

Im Lageplan des [Cotentin](http://www.cotentin.com/) (<http://www.cotentin.com/>) findet sich die Anlage, die an der Nordwestecke der Halbinsel liegt, allerdings nicht.

Die zahlreichen Webcams, die in La Hague und benachbarten Einrichtungen, wie dem Umladebahnhof Valogne, installiert worden waren, sind nach dem 11. September 2001 auf Weisung der Sicherheitsbehörden und in Folge des "Plan Vigipirate renforcé" abgeschaltet worden. Nicht weniger ungewöhnlich ist der Umgang mit der Website. Sogar Links auf die Site sollen genehmigungspflichtig sein! So muss dem Leser zugemutet werden, die folgenden URL selbst in das Adressfeld einzutippen oder aus der [Protokollseite dieses Vortrags](#) zu kopieren

Startseite der WAA La Hague:

[http://www.cogemalahague.com/LaHague/HomeUK.nsf/\(DSMLookupHTML\)/HomePage1?OpenDocument](http://www.cogemalahague.com/LaHague/HomeUK.nsf/(DSMLookupHTML)/HomePage1?OpenDocument)

Startseite des Betreibers COGEMA:

<http://www.cogema.com/>

Überblick über den Massenfluss bei der WAA:

<http://www.cogema.com/cogema/fr/savoir/decouvrez/cycle/q7.htm>

Blick in ein Lagerbecken für Brennelemente:

<http://www.cogemalahague.com/LaHague/InstitutionUK.nsf/Institutionnel/CycleDuCombustible?OpenDocument>

Noch knapper sind die Erläuterungen der Betreiber der britischen [WAA in Sellafield](#) (<http://www.bfnl.co.uk/website.nsf/startpages/B228DE8617CE091580256955006FE0C6>).

Bei der Information in der britischen WAA in Sellafield selbst scheint verstärkt auf den Spaßfaktor gesetzt zu werden, wie ein Link für den [Fremdenverkehr der Region](#) (<http://www.visitcumbria.com/wc/svc.htm>) zeigt. Konsequenterweise findet sich auch zum Sellafield Visitor Centre ein Link im [Fun Guide](#) (<http://216.71.152.46/FunGuide/sciencecentres.htm>).

Obwohl die inzwischen stillgelegte WAA Karlsruhe (WAK) hier nicht abgehandelt wird, wird zur Information über die Technik auf deren [Website](#) (<http://www.wak-karlsruhe.de/index.html>) verwiesen,

auf der ein wesentlich freierer und konkreterer Umgang mit Information betrieben wird. Wenn deshalb aus didaktischen Gründen hier Informationen aus dieser mit erheblichen deutschen Steuermitteln geförderten Anlage herangezogen werden, muss betont werden, dass sich der Umgang mit den Gefahren der Wiederaufarbeitung, bei allen Problemen, die es auch beim Betrieb der WAK gegeben hat, in der Handhabung und der Größenordnung in keiner Weise vergleichbar mit den britischen und französischen Anlagen ist. Dies gilt insbesondere auch für die Belastung der Vorfluter mit radioaktiven Abwässern.

Ein knapper Überblick über das Verfahren der Wiederaufarbeitung (s. auch Abb. 1 li., S. 6) zeigt die charakteristischen Etappen des Prozesses:

- Anlieferung der abgebrannten Brennelemente (BE) aus den Atomreaktoren:  
Teilweise mussten die BE zunächst in den Transportbehältern trocken gelagert werden, bis sie in die Nasslager kamen.
- Aus dem Nasslager kommen die BE in eine Schere. Die kurzen Abschnitte fallen in einen großen Behälter mit Salpetersäure zur Auflösung ihres Inhaltes. Die hochaktiven Metallhülsen bleiben als Müll auf dem Grund des Behälters liegen. Bei einem Besuch des Autors in La Hague Mitte der 80er Jahre war ein mit diesem Müll gefüllter Behälter abgedeckt und die ganze Schneideanlage über einen neuen Behälter verschoben worden.
- Die dabei freigesetzten radioaktiven Aerosole und Gase werden teilweise abgefiltert, bevor sie über einen Kamin an die Umgebung abgegeben werden.
- In einem chemischen Verfahren werden Unterschiede in der Löslichkeit verwendet, um Uran und Plutonium vom den übrigen Spalt- und Brutprodukten abzutrennen und die restliche Verunreinigung zu reduzieren.
- Die Spalt- und Brutprodukte werden teilweise konzentriert und verfestigt, teilweise in den Vorfluter abgeben.

Bis in La Hague die Verarbeitung im geplanten Umfang in Gang gekommen war, hatte sich eine erhebliche Menge Atom Mülls angesammelt, der hauptsächlich in einem Nasslager aufbewahrt wird. Ein solches Lager ähnelt einem kleinen Hallenbad, in dem die aus den Transportbehältern entladenen Brennelemente aufrecht nebeneinander im Kühlwasser stehen (s. auch Abb. 1 re., S. 6). Diese Hallen sind relativ leicht gebaut und fassen jeweils 2000 Mg (Tonnen). Zum Vergleich: Ein Reaktor vom Biblis-Typ enthält etwa 100 Mg Brennelemente. Insgesamt existieren vier solcher Lager, die fast komplett gefüllt sind. Das Betonbecken des ersten Lagers steht unmittelbar auf dem Erdboden. Da später die Erdbebengefährdung berücksichtigt worden ist, sind die weiteren Becken sehr aufwändig auf Stoßdämpfern gelagert worden. Angesichts des hier lauernden Gefahrenpotentials wird die

militärischen Abschirmung der Anlage nach dem 11. September 2001 verständlich, denn der Aufbau des Gebäudes kann eine Flugzeuglandung im Lagerbecken nicht verhindern.

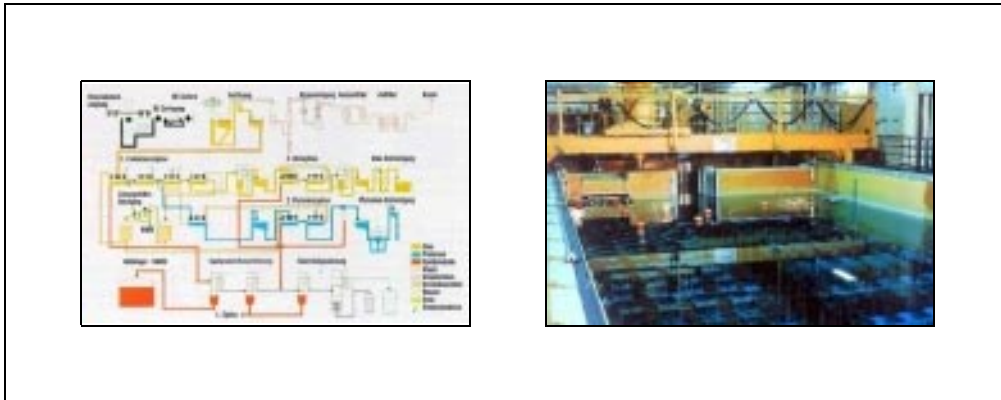


Abb. 1: Vorschau auf Bilder zum Verfahren der Wiederaufarbeitung (Vergrößerung: Bild anklicken, dort auch Quellenangabe)  
 Links: Verfahrensschema  
 Rechts: Blick in ein Nasslager für abgebrannte Brennelemente

Die britischen und französischen WAA liegt nicht zufällig an der Küste großer Gewässer: Aus La Hague fließen täglich 1,4 Millionen Liter radioaktiver Abwässer in den Ärmelkanal.

Das aktuelle Inventar der WAA La Hague und die in Zukunft vorgesehene Inanspruchnahme aus Deutschland zeigt Tab. 1 (s. S. 6)

Tab. 1: Planung für künftige Lieferungen von Brennelementen aus Deutschland zur Wiederaufarbeitung in La Hague und Sellafield sowie Inventar der WAA La Hague  
 Quelle: Greenpeace 2001

La Hague:	Bis 2005 1.100 Mg Atommüll aus deutschen AKW
	Status quo:
	7.500 Mg BE im Lager
	55 Mg Pu in Pulverform
	10.000 m <sup>3</sup> radioaktive Flüssigkeiten und Schlämme
	1,4 Millionen Liter radioaktives Abwasser pro Tag ins Meer
Sellafield:	In 4 Jahren 640 Mg Atommüll aus deutschen AKW

Über die WAA gibt es allerdings auch kritische Betrachtungen, so z.B.:

- zur WAA Sellafield: [The Alternative Sellafield Tour](http://www.lakestay.co.uk/ast.htm) (<http://www.lakestay.co.uk/ast.htm>), in der sich viele historische Informationen und eine Karte zur radioaktiven Belastung der Umgebung findet, sondern auch zahlreiche weiterführende Links.
- Greenpeace mit zahlreichen Beiträgen, vor allem:  
[Ein Hintergrundpapier zur WAA](http://www.greenpeace.de/GP_DOK_3P/HINTERGR/C02HI57.HTM) insgesamt  
([http://www.greenpeace.de/GP\\_DOK\\_3P/HINTERGR/C02HI57.HTM](http://www.greenpeace.de/GP_DOK_3P/HINTERGR/C02HI57.HTM) - 3)  
Zur [Wiederaufarbeitung in La Hague](http://www.greenpeace.de/GP_DOK_3P/HINTERGR/C02HI99.HTM): Schleichende radioaktive Verseuchung und illegale Einleitungen ([http://www.greenpeace.de/GP\\_DOK\\_3P/HINTERGR/C02HI99.HTM](http://www.greenpeace.de/GP_DOK_3P/HINTERGR/C02HI99.HTM))  
Zur [Wiederaufarbeitung in Sellafield](http://www.greenpeace.de/GP_DOK_3P/HINTERGR/C02HI100.HTM): systematische radioaktive Verseuchung der Umwelt ([http://www.greenpeace.de/GP\\_DOK\\_3P/HINTERGR/C02HI100.HTM](http://www.greenpeace.de/GP_DOK_3P/HINTERGR/C02HI100.HTM))  
["Im Strahlenmeer" Wie Greenpeace die radioaktive Verstrahlung um Sellafield nachwies:](http://www.greenpeace.de/GP_DOK_3P/GPM/GPM985A.HTM)  
([http://www.greenpeace.de/GP\\_DOK\\_3P/GPM/GPM985A.HTM](http://www.greenpeace.de/GP_DOK_3P/GPM/GPM985A.HTM))

Von Befürwortern der Wiederaufarbeitung wird behauptet, mehr als 95% des ursprünglich in den Brennelementen eingesetzten Brennstoffs würden rezykliert, was die Uranvorräte schonen (es müssten 30% weniger Uran abgebaut werden). Da der Verzicht auf Wiederaufarbeitung zu deutlich erhöhtem Uranabbau führe, stünden den Emissionen aus den WAA ein Einsparung größerer Emissionen aus dem Uranbergbau gegenüber. Ein radiologischer Vergleich ergebe deshalb keine markanten Unterschiede der ohnehin äußerst geringen Strahlendosen aus den zwei Pfaden.

### 3.2 Keine Verwendung für Uran aus Wiederaufarbeitung

Tatsächlich ist aber bislang rezykliertes Uran nicht für die Herstellung von Brennelementen zum Einsatz in Leichtwasserreaktoren verwendet worden. Das bedeutet, dass neben den radioaktiven Spaltprodukten, die ca. 3-5% der Schwermetallmasse im abgebrannten Brennelement ausmachen, auch die ca. 95% Masse des Urans nach der Wiederaufarbeitung radioaktiven Müll darstellen.

Der Autor hat als Arzt nicht die Kompetenz, die physikalischen und technischen Gründe für den Verzicht auf den Einsatz rezyklierten Urans zu erläutern. Aus der Beschäftigung mit den Problemen im betrieblichen Strahlenschutz bei der Herstellung von MOX-Brennelementen<sup>2</sup> aus rezykliertem Plutonium kann er jedoch nachvollziehen, dass die erhöhte Strahlenbelastung des Personals ein schwer wiegendes Problem darstellt.

---

<sup>2</sup> MOX: Misch-Oxid-Brennelemente, Brennelemente, die neben Uranoxid bei der Herstellung eine Beimischung von Plutonium aus Wiederaufarbeitung erhalten. (Eine kritische Auseinandersetzung mit der Geschichte und Anwendung der MOX-Technologie findet sich bei Wise [1997] (Link im Literaturverzeichnis)

Dabei stellen die Neutronen die überwiegende und bislang unterschätzte Gefahrenquelle dar. Sie entstehen durch Spontanspaltung, durch eine Reaktion der Alphateilchen mit den Sauerstoffatomen ( $(\alpha,n)$ -Reaktion) und durch unterkritische Multiplikation. Die biologische Wirksamkeit der Neutronen wird in den Berechnungsvorschriften des Strahlenschutzes erheblich unterschätzt. Bei einer angemessenen Bewertung musste für fast alle charakteristischen Arbeitsplätze in einem deutschen Betrieb zur Herstellung von MOX-Brennelementen<sup>3</sup> allein aus rezykliertem Plutonium eine z.T. massive Überschreitung der zulässigen Strahlendosen festgestellt werden [Kuni 1994].

## **4. Gefahren der Wiederaufarbeitung**

### **4.1 Rezyklierung erhöht Gefahr durch Alphanradioaktivität**

Aus ärztlicher Sicht stellt der Verzicht auf den Einsatz rezyklierten Urans auch für die Sicherheit der Bevölkerung einen Gewinn dar. Denn dadurch gerät weniger Alphanradioaktivität in Bereiche mit einer höheren Gefahr der Freisetzung (s. Tab. 3, S. 9, wobei die Definition der dort verwendeten Gefahrenklassen in Tab. 2, S. 9 begründet wird). Durch die Rezyklierung wird zwar ein nennenswerter Teil des Plutoniums verbraucht, die Alphanradioaktivität nimmt jedoch nicht in gleichem Verhältnis ab, sondern vermindert sich lediglich um ca. 20%, vorausgesetzt, es wird nur Plutonium und kein Uran rezykliert. Werden beide Elemente rezykliert, nimmt die Alphanradioaktivität gegenüber dem Konzept der Einbahnstraße sogar um ca. 10% zu. In beiden Fällen kommt es zu einer deutlichen Verschiebung des Inventars in Bereiche höherer Gefahrenklassen.<sup>4</sup>

---

<sup>3</sup> Die Herstellung von MOX-Brennelementen ist inzwischen aufgegeben worden.

<sup>4</sup> Dieser Vergleich ist einer Expertise entnommen, die der Autor 1987 für die Landesregierung Nordrhein-Westfalen angefertigt hat [Kuni 1987]. Die darin belegte Feststellung, dass die industrielle Verwendung von Plutonium unvermeidbar Menschenopfer in Kauf nimmt, war eine der Grundlagen für die Klage der Bundestagsfraktion einer großen deutschen Partei gegen die Plutoniumwirtschaft vor dem Bundesverfassungsgericht in Karlsruhe [Vogel et al. 1988]. Die Klage hat sich inzwischen durch die Aufgabe der Schlüsselprojekte schneller Brüter, Wiederaufarbeitungsanlage in Wackersdorf und Fertigung von Brennelementen aus Plutonium in Deutschland erledigt.








Tab. 2: Definition der in Tab. 3 angewendeten Gefahrenklassen

BE: Brennelement

Pu: Plutonium

WAA: Wiederaufarbeitungsanlage

Symbol	zugeordnet	Begründung
	Lager für Plutonium WAA Fertigung von MOX-BE	Krimineller Zugriff attraktiv, da Pu rein und in hoher Konzentration krimineller Zugriff attraktiv Emission während der Produktion wie WAA
	MOX-BE kalt	Pu relativ konzentriert, Extraktion relativ einfach
	MOX-BE abgebrannt	hoher Gehalt an Pu, jedoch Freisetzung nur bei Unfall, Gewinnung nur mit spezieller Technik
	Atomreaktor	Freisetzung bei GAU
	"Endlager" <sup>5</sup>	Freisetzung stark behindert






Tab. 3: Inventar an Plutonium in Bereichen unterschiedlicher Gefahrenklasse nach 48 Betriebsjahren jeweils in Tonnen Schwermetallmasse und Alphanradioaktivität. Definition der Gefahrenklassen s. Tab. 2.

U: Uran

t: Tonnen (Megagramm)

PBq: Petabecquerel = 1.000.000.000.000.000 Becquerel

Daten nach Thomas et al. [1985]

Gefahrenklasse	Einbahn		Rezyklierung von U		Rezyklierung von U + Pu
	t	PBq	t	PBq	PBq
	0	0	30,1	435,9	478
	0	0	2,9	71,9	114
	22,3	379	39,9	992	1572
	6,4	109	24,8	615	796
	146,9	2287	3,8	62,1	91
Summe	175,6	2775	101,5	2176,9	3051

<sup>5</sup> Das sog. Endlager wird einer Gefahrenklasse zugeordnet, weil die Freisetzung radioaktiver Schadstoffe nicht ausgeschlossen, sondern durch technische und geologische Barrieren lediglich stark behindert wird. Im Atommüll befinden sich Radionuklide mit so langen Halbwertszeiten, dass die Menschheit den Wettlauf gegen die Durchdringung der Barrieren zwangsläufig verlieren muss. Der Begriff Endlager täuscht auch darüber hinweg, dass sehr viel Radioaktivität bereits in das tatsächliche Endlager eingetreten ist: Unsere gemeinsame Ökosphäre [Kuni 1995].

Die Bilanz der Alphanradioaktivität allein kann eine weitere relevante Veränderung in der Zusammensetzung des Atommülls im "Endlager" durch die Rezyklierung nicht beschreiben: Die Alphanradioaktivität nimmt durch den Zerfall zunächst ab, im Atommüll aus MOX-Brennelementen aber durch die Bildung relativ kurzlebiger radioaktiver Tochterprodukte nach etwa 4.000 Jahren wieder so zu, dass das Ausgangsniveau der Alphanradioaktivität wieder erreicht wird.

Zur Veranschaulichung dieses schwer vorstellbaren Zeitraums eines unverminderten Gefahrenpotentials sei zu einer Projektion zurück in die Vergangenheit gegriffen. Angenommen, Ramses II (1290-1224 v. Chr.) hätte statt einer Statue des Gottes Ptah (s. Abb. 2, S. 11), des Gottes der (damaligen) Technologie, hochradioaktiven Atommüll aus MOX-Brennelementen in der Tiefe des nubischen Felsentempels in Abu Simbel (s. Abb. 2, S. 11) in der trockenen Wüste oberhalb der Nilhochwasserschwelle eingelagert. In unserem Jahrhundert, ca. 3.200 Jahre später, hätte man beim Aufstau des Nasser-Sees durch den Hochdamm von Assuan nicht nur, wie mit Mitteln der UNESCO geschehen, dem ganzen Tempel, sondern auch den Atommüll vor dem steigenden Grundwasserspiegel in Sicherheit bringen müssen, vorausgesetzt, die historische Überlieferung hätte uns erreicht. Die Alphanradioaktivität dieses Mülls hätte dann nahezu wieder das Ausgangsniveau erreicht, wie es schon zu Zeiten des Pharaos vorgelegen hatte.

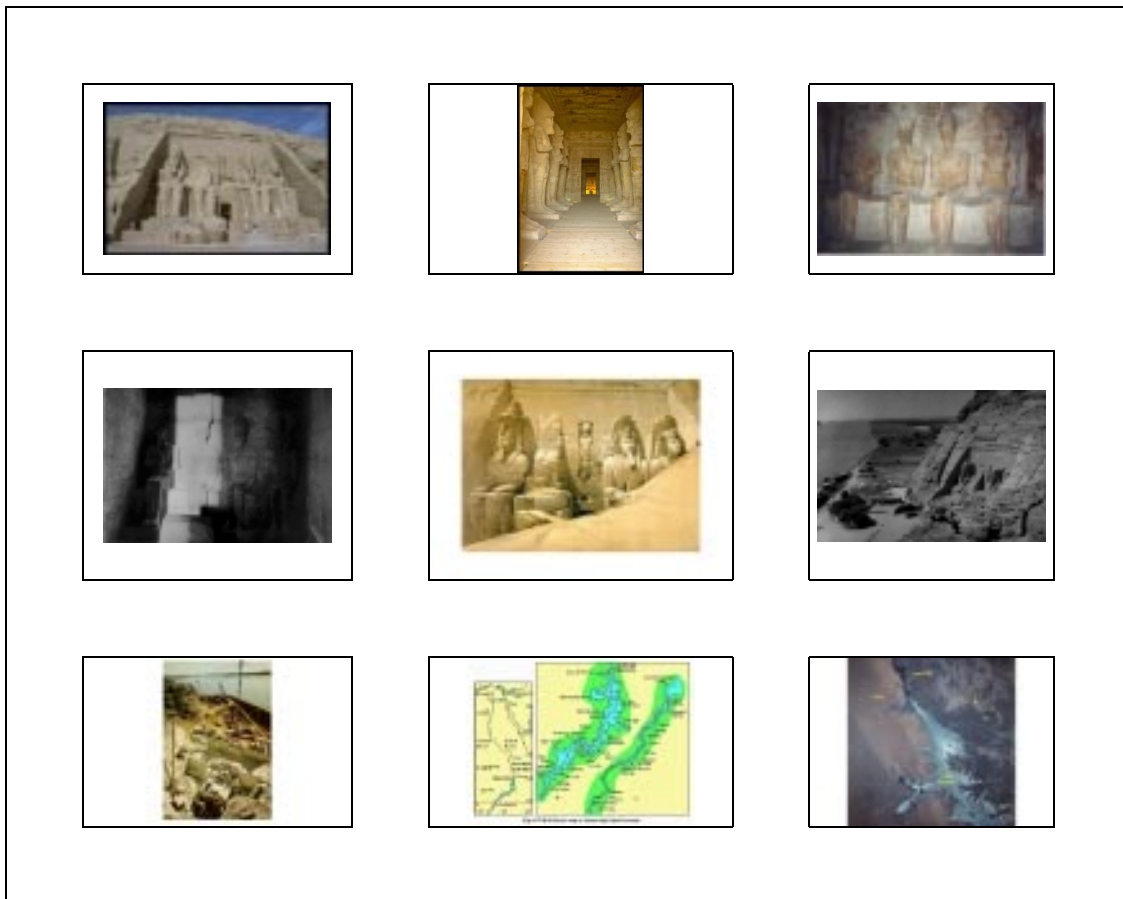


Abb. 2: Vorschau auf die Bilder zu Abu Simbel (Vergrößerung: Bild anklicken, dort auch Quellenangabe)

Die zitierten Bilder sind im Original auf unserem Server gespiegelt, um einen rascheren Bildaufbau zu gewährleisten, die Netzlast zu vermindern und die referenzierten Server zu entlasten. Die Links zu den gespiegelten Bildern finden sich nicht nur im Text, sondern samt den URL der Quellen auch auf der Indexseite für die Dokumente des aktuellen Seminars.

Obere Reihe von li. nach re.:

Ansicht des Tempels von Ramses II (rezente Photographie des großen Tempels nach Verlagerung)

Blick vom Eingang durch die Säulenhalle auf das Heiligtum

Heiligtum mit den Statuen von Ramses II, zwei Sonnengottheiten und Ptah (links)

Mittlere Reihe von li. nach re.:

Heiligtum zur Tages- und Nachtgleiche: Die aufgehende Sonne scheint durch die gesamte O-W-Achse des Tempels und beleuchtet die Statue der linken Sonnengottheit, (Ptah, Gott der Technik und der Finsternis, ganz links bleibt immer im Schatten)

Ansicht des Tempels von Ramses II (Zeichnung, vermutlich von David Roberts 1839)

UNESCO-Expedition bereitet die Verlagerung des Tempels vor

Untere Reihe von li. nach re.:

Zerteilung des Tempels zur Verlagerung auf die Höhe des Felsenufers vor dem Aufstau des Nasser-Stausees

Karte des Nasser-Stausees

Satellitenbild des Nasser-Stausees

## 4.2 Rezyklierung erhöht lokale, regionale und globale Kollektivdosis

Für den Vergleich der gesundheitliche Gefährdung durch die verschiedenen Konzepte darf nicht nur die potentielle Freisetzung von Alpharadioaktivität betrachtet werden. Nicht weniger relevant ist ein Vergleich der tatsächlichen Freisetzung von Radioaktivität aller Art im praktischen Betrieb.

Hierzu zeigt schon ein Blick in die Berichte des UNSCEAR-Komitees, dass die beiden Pfade (Einbahn und Rezyklierung) sehr wohl markante Unterschiede in der Strahlenbelastung der Bevölkerung ausweisen und dass von äußerst geringen Strahlendosen keine Rede sein kann [UNSCEAR 1993].

Vor einer Würdigung des Zahlenwerkes der UNO muss eine Vorbemerkung zur Methodik gemacht werden. Die Strahlenbelastung der Weltbevölkerung wird in Form der Kollektivdosis ermittelt. Darunter ist die Summe aller individuellen Dosen zu verstehen. Aus der Kollektivdosis kann die Schadenserwartung ermittelt werden, sei es die Anzahl der Todesfälle durch eine Krebserkrankung, der Gesundheitsschäden insgesamt, der genetischen Mutation etc., indem die Kollektivdosis mit einem Schadenserwartungskoeffizienten multipliziert wird, der durch Auswertung epidemiologischer Studien, vorzugsweise der Atombombenopfer von Hiroshima und Nagasaki, ermittelt worden ist. Die Kollektivdosis kann die gesundheitliche Gefährdung insbesondere dann besser beschreiben, wenn sehr viele Menschen durch eine relativ niedrige individuelle Strahlendosis belastet werden. Ein typisches Beispiel dafür ist die Strahlenbelastung der Weltbevölkerung durch die oberirdischen Atomwaffenversuche.<sup>6</sup> Im Vergleich zur natürlichen Strahlenbelastung erscheint die Strahlenbelastung des durchschnittlichen Erdenbürgers durch die Folgen der oberirdischen Atomwaffenversuche völlig vernachlässigbar zu sein. Weltweit betrachtet summiert sich die Strahlenbelastung zu einer geradezu gigantischen Kollektivdosis, der größte Schaden überhaupt, den die Menschheit durch die Atomtechnik zu erleiden hat.

Dieses Methodik wurde auch zur Bewertung anderer weltweit bedeutsamer Strahlenquellen verwendet. Im Falle der radioaktiven Schadstoffe, die durch die Verwendung des Urans freigesetzt werden, wird zwischen einer lokalen, regionalen und globalen Strahlenbelastung unterschieden. Die lokale Dosis betrifft die unmittelbare Umgebung einer Atomanlage (bis in eine Entfernung von ca. 50km), die regionale Dosis einen Radius von 3.000km, die globale Dosis die gesamte Weltbevölkerung.

Zunächst hebt das Komitee hervor, dass eine Wiederaufarbeitung nur in wenigen Staaten betrieben wird und weltweit nur ca. 4% der Brennelemente erfasst, wenn auf die damit erzeugte elektrische Energie normiert wird. Bei flüchtiger Betrachtung der entsprechenden Tabellen könnte in der Tat der Eindruck entstehen, die Wiederaufarbeitung trüge weniger zur Strahlenbelastung der Weltbevölkerung

---

<sup>6</sup> Das Zahlenwerk des UNSCEAR-Komitees, das ursprünglich zur Bewertung der oberirdischen Atomwaffenversuche eingesetzt worden war, hat maßgeblich zur Ächtung dieser Atomwaffenversuche durch die Vereinten Nationen beigetragen.

bei als der Uranbergbau (s. Tab. 4, S. 13). Bei dem Vergleich muss jedoch beachtet werden, dass die Strahlenbelastung durch die Wiederaufarbeitung wegen ihres geringen Anteils an der Uranverarbeitung mit 0,04 gewichtet worden ist. Wenn es, wie in der vorliegenden Auseinandersetzung um den direkten Vergleich zweier Strategien geht, muss natürlich ohne die Gewichtung verglichen werden.

Tab. 4: Normierte Kollektivdosis (bezogen auf erzeugte Elektrizität) durch verschiedene Stationen auf dem Weg des Urans vom Bergwerk bis in die Umwelt  
Spalte 2: Daten nach UNSCEAR für den Weltdurchschnitt (Anteil der WAA weltweit 4%)  
Spalte 3: Daten für Brennelemente, die komplett in der WAA verarbeitet werden

P Sv pro GWe a-1	WAA 4%	WAA 100%
Bergbau	1,1	
Verarbeitung	0,05	
Abraum (5a)	0,3	
BE Fabrik	0,003	
AKW		
Abluft	1,3	
Abwasser	0,04	
WAA		
Abluft	0,05	1,25
Abwasser	0,2	5
Transport	0,1	

Die lokale und regionale Kollektivdosis wird für die Wiederaufarbeitung im weltweiten Durchschnitt durch UNSCEAR auf 6,25 Personen-Sievert pro Gigawattjahr abgeschätzt, die durch den Uranbergbau auf 1,1. Die Strahlenbelastung durch die Wiederaufarbeitung ist danach also bezogen auf die Einheit erzeugter elektrischer Energie um nahezu das sechsfache größer. Wird eine Rezyklierung des Urans und damit eine Einsparung von Uran um 30% unterstellt, steht einer Strahlenbelastung von 6,25 Personen-Sievert pro Gigawattjahr durch die Wiederaufarbeitung sogar nur eine eingesparte normierte Kollektivdosis von 0,33 gegenüber, die Mehrbelastung durch die Wiederaufarbeitung macht fast das 19fache gegenüber der Einsparung aus (s. Abb. 3).

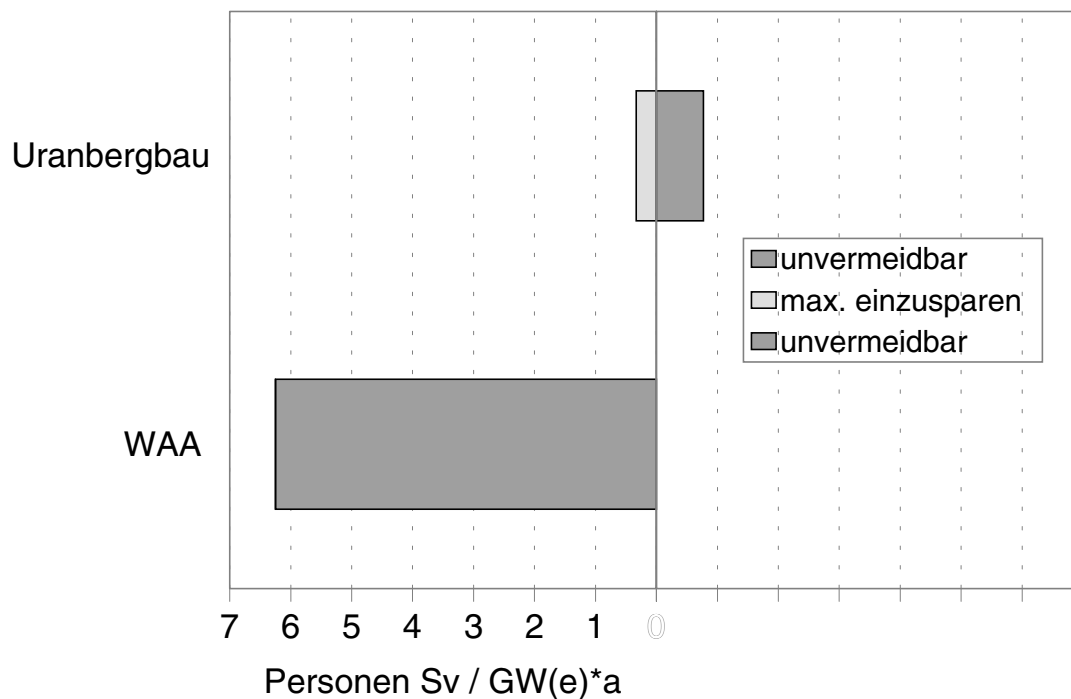


Abb. 3: Auf erzeugte Elektrizität normierte Kollektivdosis für das lokale und regionale Modell durch Uranbergbau und Wiederaufarbeitung (WAA) im weltweiten Durchschnitt  
 GW(e)\*a: Gigawattjahr, bezogen auf erzeugte Elektrizität  
 max. einzusparen: Bei einer (bisher nicht realisierten) Rezyklierung von Uran aus WAA maximal einzusparende Kollektivdosis  
 Daten nach UNSCEAR 1993

Die weitaus größere Kollektivdosis wird durch die globale Strahlenbelastung ausgelöst. Sie betrifft somatisch allerdings überwiegend die folgenden Generationen, während die lokale und regionale Kollektivdosis somatisch vor allem die jetzt lebende Bevölkerung erreicht und die folgenden Generationen lediglich über die genetischen Schäden belastet. Pro Gigawattjahr elektrische Energie wird die globale Kollektivdosis durch den Uranbergbau auf ca. 150 Personen-Sievert abgeschätzt, die durch die Wiederaufarbeitung im weltweiten Durchschnitt auf 219. Wieder eine Einsparung von 30% des Uranbergbaus durch eine Rezyklierung des Urans unterstellt, stehen also 219 Personen-Sievert pro Gigawattjahr durch die Wiederaufarbeitung einer Einsparung von 45 Personen-Sievert gegenüber, eine Mehrbelastung durch die Wiederaufarbeitung um das nahezu Fünffache (s. Abb. 4).

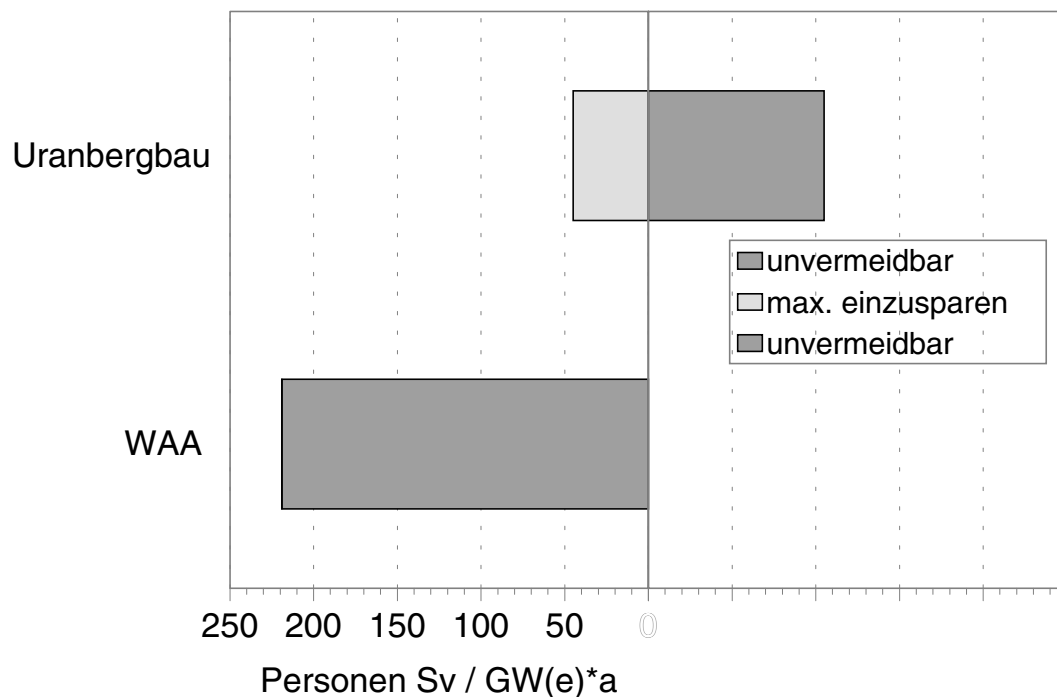


Abb. 4: Normierte Kollektivdosis für das globale Modell durch Uranbergbau und Wiederaufarbeitung im weltweiten Durchschnitt  
Erläuterung: s. Abb. 3

Nach diesem Zahlenwerk kann es also keinen Zweifel geben: Die Strahlenbelastung der Weltbevölkerung durch die Wiederaufarbeitung übersteigt die eingesparte Strahlenbelastung durch wiederverwendetes Uran, wenn es tatsächlich wieder verwendet würde, um ein Vielfaches.

Dabei erscheinen die Zahlen noch günstiger als sie sich für die aktuellen Verhältnisse der Wiederaufarbeitung in Europa errechnen, da die relativ günstigen Werte für die Rückhaltung der radioaktiven Schadstoffe in der japanischen Anlage die weltweiten Durchschnittswerte nach unten drücken. Auf die aktuellen europäischen Werte wird noch eingegangen. So beschreiben die Zahlen für Europa bereits die Verhältnisse in einer ungewissen Zukunft, wenn die versprochene Senkung der Emissionen bis 2020 den Ausstoß der europäischen Anlagen den hier zu Grunde liegenden weltweiten Durchschnittswerten annähern sollten.

Ein weiterer Umstand der Berechnungsmethoden bei UNSCEAR lässt die Wiederaufarbeitung noch in einem zu günstigen Licht erscheinen: Bei der Berechnung der globalen Kollektivdosis durch

Kohlenstoff-14<sup>7</sup> und Jod-129<sup>8</sup> aus der Wiederaufarbeitung wurde die Integration der Dosis über die Zeit ebenso bei 10.000 Jahren abgeschnitten, wie bei der Berechnung der Dosis durch Radon-222<sup>9</sup> aus den Halden des Uranbergbaus. Die Rechtfertigung dazu wird aus dem Uranbergbau abgeleitet. Nach 10.000 Jahren wird eine neue Eiszeit erwartet, durch die die Halden des Uranbergbaus entweder völlig begraben oder so freigelegt werden, dass die derzeitigen Annahmen über die Freisetzung des Radons nicht mehr zutreffen. Selbst wenn diesem Argument gefolgt wird, ist eine Übertragung auf die gasförmigen Radionuklide aus der Wiederaufarbeitung unsinnig, die bis dahin längst freigesetzt und global verteilt sind. Hier entscheidet der Zeitraum der Integration lediglich darüber, wieviel belastete Generationen in die Kalkulation der Kollektivdosis und damit der Schadenserwartung einbezogen werden.

Von einer zu vernachlässigenden Dosis kann bei einer Kollektivdosis von 225 Personen-Sievert pro Gigawattjahr auch keine Rede sein: Bei einem Rückgriff auf den Schadenserwartungskoeffizienten der ICRP 60 [ICRP 60 1991] von 0,073 gesundheitliche Schäden<sup>10</sup> pro Personen-Sievert errechnet sich immerhin eine numerische Schadenserwartung von 16,5 Gesundheitsschäden pro Gigawattjahr (s. Abb. 5, S. 17).

Dabei soll nicht unerwähnt bleiben, dass an dem Schadenserwartungskoeffizienten der ICRP vielfältige Kritik zu üben ist, auf die hier nicht eingegangen werden kann (ausführlich dazu Kuni [1994]). Eine Berücksichtigung dieser Kritik führt zur Abschätzung von etwa 200 gesundheitlichen Schäden durch die Kollektivdosis von 225 Personen-Sievert, verändert aber nichts an den Proportionen zwischen dem Schaden durch die Wiederaufarbeitung im Vergleich zum eingesparten Uranbergbau.

---

<sup>7</sup> phys. Halbwertszeit 5730 Jahre

<sup>8</sup> phys. Halbwertszeit 15.700.000 Jahre

<sup>9</sup> Tochterprodukt des Radium-226 (phys. Halbwertszeit: 1.600 Jahre)

<sup>10</sup> davon 0,05 durch tödliche Krebserkrankungen, 0,01 durch nicht tödliche Krebserkrankungen und 0,013 durch schwere genetische Effekte. Während der Faktor für die tödlichen Krebserkrankungen der durch die ICRP abgeschätzten Wahrscheinlichkeit dieser Krebserkrankungen entspricht, wurden die anderen Werte durch eine Wichtung mit der Schwere des Schadens erhalten.



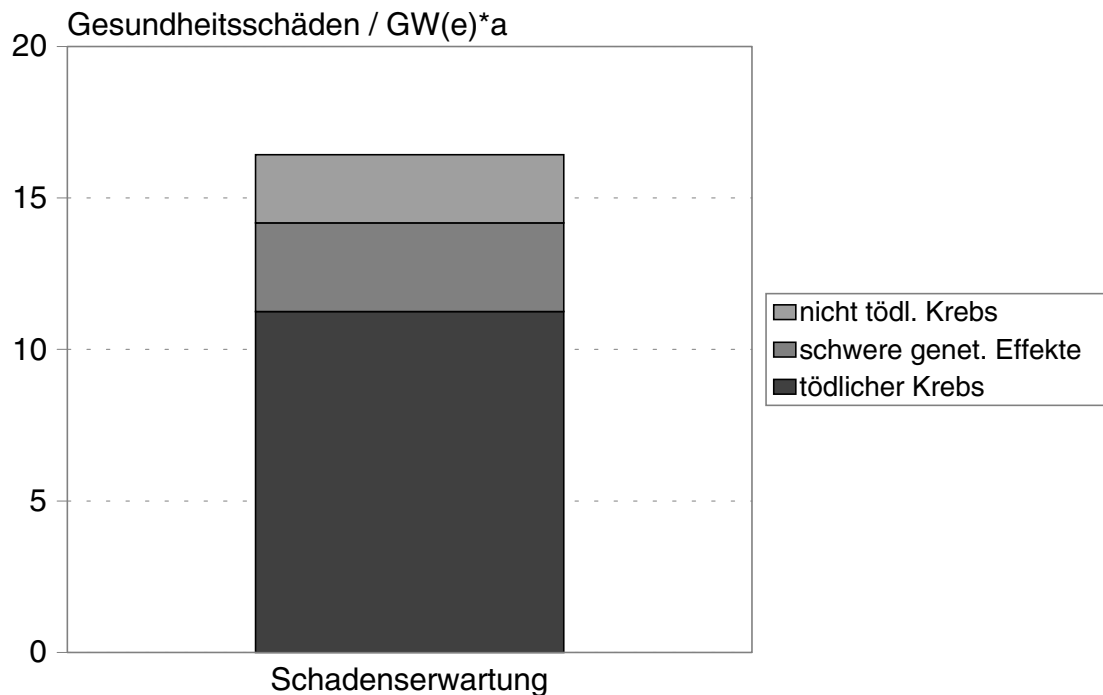


Abb. 5: Normierte Schadenserwartung durch die bei einer Wiederaufarbeitung verursachte Kollektivdosis im weltweiten Durchschnitt  
 Daten für die Kollektivdosis nach [UNSCEAR 1993]  
 Daten für die Schadenserwartungskoeffizienten nach ICRP 60 [1991]  
 dabei wurden die nicht tödlichen Krebserkrankungen durch die ICRP nach der Schwere der Erkrankung gewichtet, ein Hautkrebs z.B. mit 0,01. Was unter einem "schweren" genetischen Schaden zu verstehen ist, wurde von der ICRP nicht ausreichend spezifiziert.

Diese Gegenüberstellung soll aber nicht verlassen werden, ohne nochmals hervorzuheben, dass die Einsparung durch die Rezyklierung des Urans bis heute fiktiv ist. Die Kollektivdosis durch die Wiederaufarbeitung muss ohne Gegenrechnung in vollem Umfang als Schaden gesehen werden.

Da das rezyklierte Uran also de facto radioaktiver Müll ist, verbleibt die Frage nach dem Sinn der Gewinnung von Plutonium durch die Wiederaufarbeitung. Hier stellt sich die Einsparung an Uranbergbau durch den Einsatz rezyklierten Plutoniums maximal zu ca. 20% dar. Die oben vorgestellte Bilanz verschlechtert sich entsprechend zu Ungunsten der Wiederaufarbeitung.

## 5. Strahlenbelastung der europäischen Bevölkerung durch die Wiederaufarbeitungsanlagen und Schadenserwartung

Die bereits zitierten Berechnungen des UNSCEAR-Komitees gehen auf eine gemeinsame Untersuchung des National Radiological Protection Board, Großbritannien, und des Commissariat a l'Energie Atomique, Frankreich, zurück, die bereits 1979 im Auftrag der Kommission der Europäischen Gemeinschaft die Kollektivdosis der Bevölkerung Europas und der Welt durch die Wiederaufarbeitung berechnet hatte [CEC 1979].

Für die Berechnung der Kollektivdosis wurde sowohl der Luft- als auch der Wasserpfad betrachtet. Für den Luftpfad wurde nicht nur berechnet, welche Mengen radioaktiver Schadstoffe über die Atemluft in den Körper aufgenommen werden, sondern auch über einen Niederschlag auf Flächen, aus denen durch Landwirtschaft Nahrungsmittel gewonnen werden.

Für den Wasserpfad wurde die Verteilung und Verdünnung der radioaktiven Schadstoffe in den verschiedenen Abschnitten der Nordsee und des Atlantischen Ozeans berechnet und durch Messungen verifiziert. Ihr Weg durch die Nahrungsmittelkette bis zum Menschen wurde quantitativ verfolgt. Die Kollektivdosis dieses Pfades wird im wesentlichen über den Fischkonsum vermittelt.

Der Wasserpfad hat für die Abwässer aus den Anlagen von La Hague und Sellafield die größere Bedeutung. Nicht zuletzt haben unplanmäßige radioaktive Freisetzungen größeren Umfangs wichtige Informationen über die Meeresströmungen und Verteilung der Schadstoffe in den angrenzenden Meeren geliefert. Sehr anschaulich hat das Greenpeace in einer animierten Graphik dokumentiert, die wir zur Entlastung ihres Servers bei uns spiegeln.

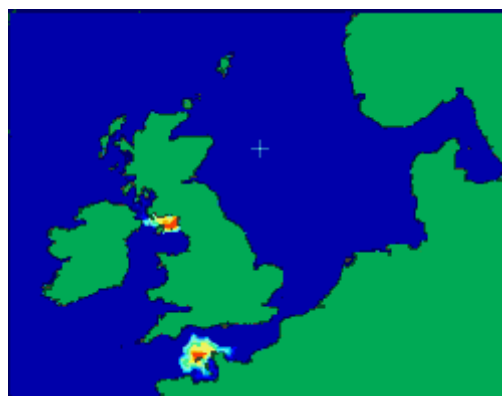


Abb. 6: Vorschau einer animierten Graphik zur Ausbreitung radioaktiver Schadstoffe, die von den WAA Sellafield und La Hague in den Wasserpfad abgegeben werden (Vergrößerung und Animation: Bild anklicken)  
[Greenpeace.2000]

---

Für den Aufbau der globalen Kollektivdosis sind radioaktive Schadstoffe relevant, die sich als Gas potentiell über die gesamte Atmosphäre ausbreiten können und deren physikalische Halbwertszeit für eine langfristige Durchmischung zunächst in der nördlichen, später auch in der südlichen Hemisphäre genügend groß ist.

Diese Untersuchung wurde 1990 durch das Otto-Hug-Strahleninstitut überarbeitet [Otto Hug 1990]<sup>11</sup>. Dabei sollten folgende Mängel ausgeglichen werden:

- Die Kollektivdosis war lediglich für die Staaten der Europäischen Gemeinschaft, und hier auch nur in den Grenzen von 1979 berechnet worden. Insbesondere bei der Berechnung der globalen Kollektivdosis resultiert daraus ein völlig verengtes Bild und eine Verharmlosung des geradezu gigantischen Ausmaßes dieser Dosis.
- Neue Erkenntnisse zum Stoffwechsel wichtiger radioaktiver Schadstoffe waren zu berücksichtigen. Insbesondere war inzwischen für das Plutonium eine wesentlich höhere Aufnahme aus der Nahrung bekannt geworden, weshalb sich aus der gleichen Verseuchung der Nahrung bei Erwachsenen eine etwa 60fach höhere Strahlenbelastung errechnet. Die Besonderheiten des kindlichen Stoffwechsels, die bei zahlreichen radioaktiven Stoffen zur einer vielfach höheren Strahlenbelastung führen, waren in der gemeinsamen Untersuchung überhaupt nicht beachtet worden.
- Aus den Kollektivdosen sollten konkrete Schadenserwartungen abgeleitet werden, die auf dem heutigen Stand epidemiologischer Erkenntnisse über die Wirkung niedriger Strahlendosen beruhen, insbesondere auf der Beobachtung des gesundheitlichen Schicksals der Atombombenopfer. Denn die in der Bevölkerung aufgebaute Kollektivdosis ist keine abstrakte Größe, die nur für eine wissenschaftliche Betrachtung interessant ist, sondern fordert ihren Tribut durch Auslösung zahlreicher Krankheiten, insbesondere von Krebs und genetischen Schäden.

Seit der Abfassung des Forschungsberichtes liegen allerdings weitere Erkenntnisse zur unterschiedlichen biologischen Wirksamkeit der radioaktiven Schadstoffe und der Atombombenstrahlung vor. Deshalb berechnen sich heute aus der gleichen Kollektivdosis etwa doppelt so viele Krankheitsfälle. Als die Diskussion um die Wiederaufarbeitung deutscher Brennelemente im Ausland 1998 wieder aufkam, wurden die wesentlichen Schlussfolgerungen aus dem Forschungsbericht für eine Präsentation im Internet aktualisiert.

---

<sup>11</sup> Die Überarbeitung der Untersuchung war eingebettet in einen Forschungsbericht im Auftrag der Freien und Hansestadt Hamburg. Auslösend für den Auftrag war die Verlagerung der Wiederaufarbeitung deutscher Brennelemente ins Ausland nach der Aufgabe der WAA Wackersdorf.

Die Zusammenfassung des Forschungsberichtes bereitgestellt unter der URL  
<http://staff-www.uni-marburg.de/~kunih/oh/docs/fbericht.htm>

Dort findet sich auch die 1998 aktualisierte Version des ersten Teiles eines Beitrages des Autors über die Strahlenbelastung durch die Wiederaufarbeitung, der sich mit der Strahlenbelastung der Bevölkerung befasst hatte [Kuni 1990] (Link im Literaturverzeichnis).

Zwei Abbildungen seien aus dem aktualisierten Teil des Forschungsberichtes herausgegriffen.

Abb. 7 (S. 20) zeigt, dass das Fehlen eines Vorfluters, in den wie in La Hague durch eine Abwasserleitung die radioaktiven Schadstoffe eingeleitet und scheinbar durch Verdünnung unschädlich gemacht werden können, in der Planung der WAA Wackersdorf einen wesentlich höheren Aufwand in der Rückhaltung erzwungen hatte. Der Verzicht auf diesen Aufwand in La Hague hat die Wiederaufarbeitung dort sicher preisgünstiger gemacht, führt aber zu einer erheblich höheren lokalen und regionalen Kollektivdosis. Sie liegt schon ohne die Revision der Dosisfaktoren nach dem heutigen Stand der Wissenschaft (La Hague nach CEC in Abb. 7) um ca. das Dreifache über dem günstigeren weltweiten Durchschnittswert.

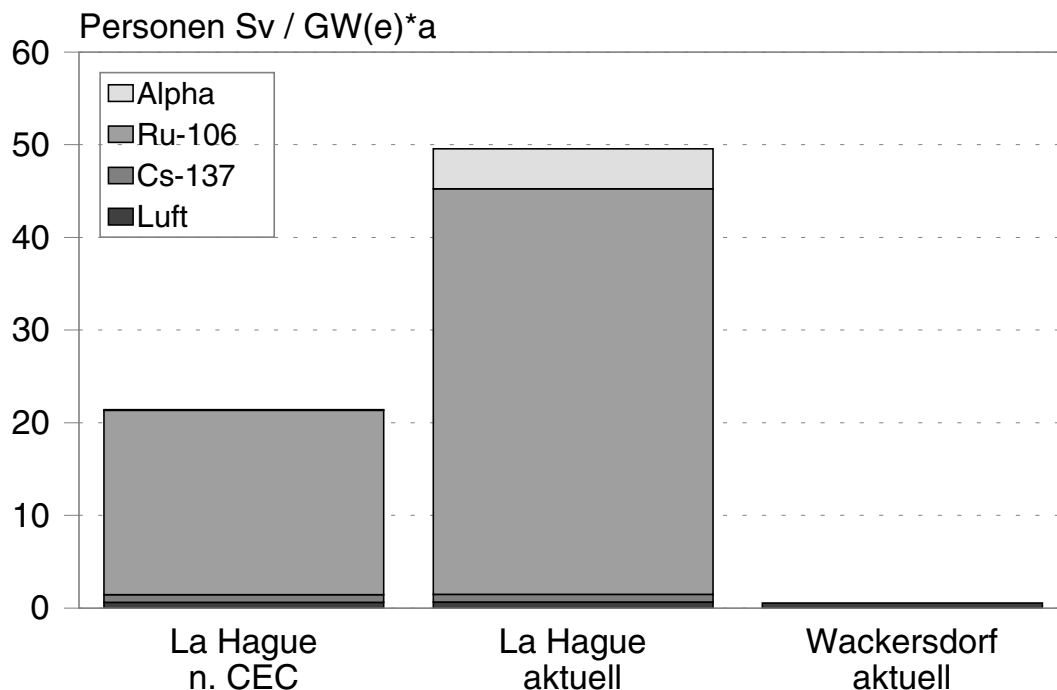


Abb. 7: Normierte Kollektivdosis für das lokale und regionale Modell für La Hague und Wackersdorf

CEC: Original nach CEC 1979  
 aktuell: Berechnung mit revidierten Dosisfaktoren  
 Luft: Dosis aus Abgabe an die Luft;  
 Alle übrigen: Dosis aus Abgabe an den Vorfluter  
 Alpha: Alphastrahler

Die Zahlen der lokalen und regionalen Kollektivdosis verblassen gegenüber den Werten für die globale Kollektivdosis, die allerdings für alle Generationen gilt (s. Abb. 8. S. 21). Im Vergleich zeigt sich der Einfluss des in Wackersdorf vorgesehenen technischen Aufwandes zur Rückhaltung des besonders

langlebigen Jod-129. Der Verzicht auf teure Jodfilter macht die Wiederaufarbeitung in Frankreich und Großbritannien zwar preiswerter, führt aber zu einer drastischen Vergrößerung der globalen Kollektivdosis.

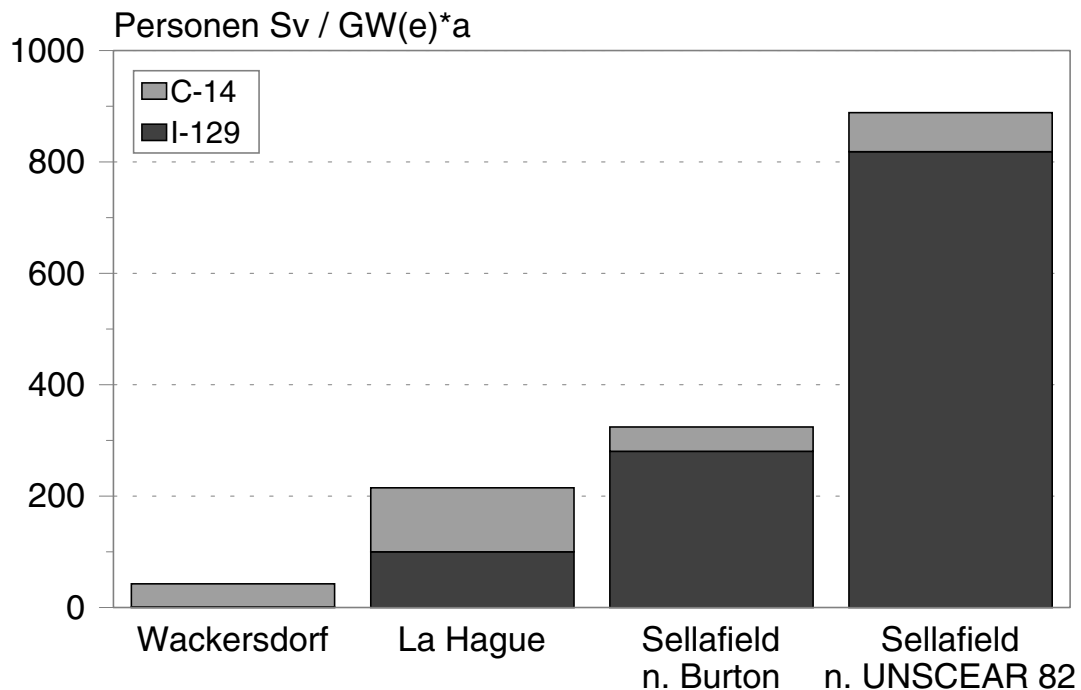


Abb. 8: Normierte Kollektivdosis nach dem globalen Modell für alle Generationen  
 n. Burton: Planungsdaten nach Burton [1987]  
 n. UNSCEAR 82: Planungsdaten nach UNSCEAR [1982]

Die wesentlichen Schlussfolgerungen des Forschungsberichtes sind unverändert aktuell: Die Verlagerung der Wiederaufarbeitung in das Ausland bringt für die Bevölkerung nur scheinbar eine Entlastung von der damit verbundenen regionalen Kollektivdosis. Denn es muss die Bedeutung der Modelldefinition "regional" vergegenwärtigt werden (Berechnung bis zum Radius von 3000 km!), um würdigen zu können, dass ein beachtliche Anteil der regionalen Dosis aus dem Ausland, vor allem aus La Hague, auch unsere Bevölkerung betrifft. Die Daten für die neue Anlage in Sellafield sehen eine rigorose Senkung der lokalen und regionalen Dosis auf einen in der Relation vernachlässigbaren Wert vor, offenbar, um die Akzeptanz der Anlage vor Ort sicherzustellen. Betrachtet man nämlich den globalen Anteil der Dosis, der hauptsächlich die auswärtige Bevölkerung trifft, bleibt durchaus ein bemerkenswerter Schaden übrig.

Die Wiederaufarbeitung in Frankreich und Großbritannien hält offensichtlich die freigesetzten Radionuklide nicht so zurück, wie es nach dem Stand der Technik möglich wäre. Besonders deutlich wird eine nationale Optimierung in Großbritannien mit Belassung des überwiegenden Schadensanteils im Ausland, wenn die Kollektivdosen über alle Generationen betrachtet werden. Die ausgelösten Krebsfälle (und genetischen Schäden) verteilen sich weitgehend gleichmäßig auf die gesamte Weltbevölkerung, da der größte Anteil von der globalen Kollektivdosis bestimmt wird. Die nationale Zuordnung der ausgelösten Gesundheitsschäden sollte aber für ihre Beurteilung keine Rolle spielen, zumal der überwiegende Teil der Geschädigten lediglich den Schaden zu tragen haben wird, ohne vom Energienutzen partizipiert zu haben.

## **6. Kinder als biologische Dosimeter: Nachweis gesundheitlicher Schäden in der Umgebung atomarer Anlagen, insbesondere der Wiederaufarbeitungsanlagen**

Wie die vorangehenden Ausführungen zeigen, führen die radioaktiven Freisetzungen aus Atomanlagen, insbesondere Anlagen zur Wiederaufarbeitung von Brennelementen, zu so hohen Kollektivdosen, dass sich Schadenserwartungen in erheblicher Höhe errechnen. Häufig verteilt sich die Kollektivdosis allerdings auf so viele Menschen, dass die individuelle Gefährdung relativ niedrig bleibt, scheinbar so niedrig, dass es auf den ersten Blick ausgeschlossen erscheint, auch in der Nahzone um eine Atomanlage, in der die höchsten Individualdosen zu erwarten sind, das vermehrte Auftreten von gesundheitlichen Schäden mit epidemiologischen Erhebungen statistisch signifikant nachzuweisen. Zum Eingang dieses Kapitels muss der Autor bekennen, dass er sich zunächst zu den Skeptikern zählte, nachdem erste Berichte über eine Häufung kindlicher Leukämien in der Nahzone von Atomanlagen in der Literatur auftauchten. Eigene Forschungsarbeiten haben ihn indes eines besseren belehrt.<sup>12</sup>

Natürlich ist es nicht damit getan, durch eine epidemiologische Untersuchung zu zeigen, dass in der Nahzone einer Atomanlage, wie z.B. der Wiederaufarbeitungsanlagen von Sellafield und La Hague, die Sterblichkeit oder, heute wesentlicher, die Häufigkeit von Erkrankungen, an kindlicher Leukämie erhöht

---

<sup>12</sup> Der Autor hat erstmals ein Cluster kindlicher Leukämien in der Umgebung des Atomreaktors der Forschungsanlage Jülich beschrieben [Kuni 1998]. In einer aufwendigen Untersuchung konnte eine Arbeitsgruppe unter Mitwirkung des Autors nachweisen, dass das Eindringen radioaktiver Schadstoffe aus der Abraumhalde einer Uranaufbereitungsanlage in das Trinkwasser angrenzender Gemeinden mit einem dort aufgetretenen und über zehn Jahre andauernden Cluster kindlicher Leukämie korrelierte [Hoffmann et al. 1990, Hoffmann 1993]. Seit der Abdeckung der Halde ist das Cluster erloschen. Ein Auszug über die Analyse von Clustern einer Leukämie junger Menschen findet sich bei Kuni [1994] (Link im Literaturverzeichnis).

ist. Vielmehr muss auch eine Kausalität zwischen Ursache und Wirkung nach naturwissenschaftlichen Prinzipien qualitativ und quantitativ grundsätzlich nachvollziehbar sein.

Kein taugliches Argument in dieser Auseinandersetzung sind heutige Statistiken zur Sterblichkeit an Bluterkrankungen. Durch die erfreulichen Fortschritte in der Behandlung bösartiger Erkrankungen des hämatologischen Systems, insbesondere der kindlichen Leukämien, spiegeln Statistiken zur Sterblichkeit nicht nur Ursachen der Leukämie, sondern auch so ausgeprägt regionale Faktoren zur Qualität der medizinischen Versorgung wider, dass beides nicht einfach zu trennen ist.

Aber auch Statistiken, die scheinbar keinen Effekt einer Atomanlage zeigen, können sich bei näherer Analyse aussagekräftiger darstellen. Durch Bildung umfangreicher Gruppen, Zusammenfassung verschiedener Zeiträume mit unterschiedlichen Expositionsbedingungen, Zusammenfassung unterschiedlich empfindlicher Altersgruppen, Zusammenfassung von Erkrankungen mit unterschiedlicher Empfindlichkeit gegenüber ionisierenden Strahlen und unterschiedlichen Latenzzeiten zwischen einer Strahlenbelastung und der Erkrankung kann ein vorhandener Effekt verdünnt und verschleiert werden.

13

Die kindliche Leukämie ist zwar eine dramatische Erkrankung, die nicht nur das Kind und die betroffene Familie stigmatisiert, sondern in der Regel auch die Umgebung zur Teilnahme anregt, jedoch erfreulich selten. Das zwingt Epidemiologen zur Bildung großer Gruppen, um zu signifikanten Aussagen zu kommen. Dabei werden zwangsläufig individuell wirksame und wesentliche Einflüsse verdünnt.

Es entspricht dem Stand der epidemiologischen Wissenschaft, dass die Beobachtung einer regionalen Häufung von Krankheiten alleine nur zu Bildung von Hypothesen zur Verursachung rechtfertigt, eine kausale Verknüpfung mit einer Ursache jedoch nicht belegen kann. Deshalb ist es konsequent, dass verschiedene Arbeitsgruppen die Feststellung einer auffälligen Häufung kindlicher Leukämien durch Fall-Kontroll-Studien weiter abzuklären versuchten, deren Aussagen bei einem methodischen Vorgehen nach dem Stand der Wissenschaft auch in kausaler Hinsicht als belastbar gelten.

Aufsehen erregte die Studie von Gardner et al., die einen signifikanten Zusammenhang der Häufung kindlicher Leukämien in der Umgebung der Anlage von Sellafield mit der beruflichen Strahlenbelastung der Väter in den letzten sechs Monaten vor der Zeugung ergab [Gardner et al. 1990]. Weitere Studien konnten einen Zusammenhang zwischen der externen Dosis der Beschäftigten und dem Auftreten kindlicher Leukämien nicht bestätigen. Diese Studien hatten aber abweichende methodische Ansätze, weshalb sie nicht unmittelbar geeignet sind, die Ergebnisse der Arbeitsgruppe um Gardner zu widerlegen.

---

<sup>13</sup> So konnte der Autor gemeinsam mit weiteren Kollegen mit einer geeigneten Analyse der Daten zeigen, dass auch in der Umgebung japanischer Atomkraftwerke Leukämie gehäuft auftritt [Hoffmann, Kuni und Ziggel 1993]. Bei der ursprünglichen Publikation der zu Grunde liegenden Daten war dieser Zusammenhang nicht erkannt worden.

Sorahan und Roberts [1993] fanden eine bessere Korrelation zwischen der kindlichen Leukämie und einer beruflichen Exposition der Väter gegenüber offenen Radionukliden. Eine solche Exposition ist auch bei hoch exponierten Beschäftigten einer Wiederaufarbeitungsanlage anzunehmen. Eine teilweise Korrelation mit der externen Strahlendosis ist möglich, so dass sich hinter dem Befund Gardeners eine Korrelation mit einer beruflichen Belastung durch offene Radionuklide verbergen kann. Damit ist zugleich ein erklärendes Licht auf die Ergebnisse der Studie von Roman et al. [1993] gefallen, die eine erhebliche Zunahme des Risikos für Kinder unter fünf Jahren, an einer Leukämie zu erkranken, fanden, wenn ein (oder beide) Elternteile in der Atomindustrie beschäftigt waren, insbesondere, wenn sie im Kontrollbereich eingesetzt waren (identifiziert durch das Erfordernis einer Filmdosimetrie). In dieser Studie war ebenfalls keine eindeutige Korrelation mit der externen Strahlendosis feststellbar gewesen, so dass auch hier die Vermutung eines wesentlichen Einflusses der Inkorporation radioaktiver Schadstoffe aufgekommen war.

Die Arbeitsgruppe um Viel hat mit einer Fall-Kontroll-Studie die von ihr gefundene Häufung junger Menschen Leukämien in der Umgebung von La Hague weiter untersucht und einen signifikanten Einfluss der Zeitdauer eines Aufenthaltes der Mütter während der Schwangerschaft und der Kranken am lokalen Strand sowie des Verzehrs von lokal gefangenem Fisch und Schalentieren durch die Kranken zeigen können [Pobel, Viel 1997] (s. Abb. 9 und Abb. 10, S. 26). Beides sind strahlenbiologisch plausible Belastungspfade, über die eine Freisetzung der radioaktiven Schadstoffe zur einer erhöhten Strahlenbelastung der betroffenen Anwohner führen kann.



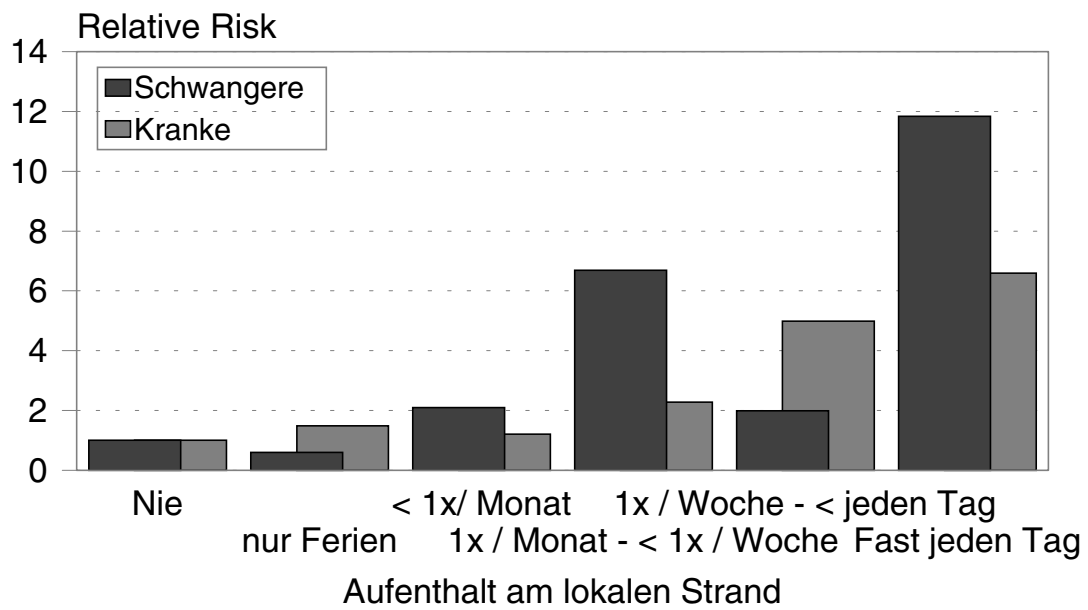


Abb. 9: Relative Risk für Leukämie in einem Alter unter 25 Jahren in einem Umkreis von 35km um die Wiederaufarbeitungsanlage La Hague in Abhängigkeit von der Häufigkeit, mit der sich die Mütter während der Schwangerschaft oder die Kranken am lokalen Strand aufgehalten hatten.

Der Trend über alle Klassen ist mit  $p < 0,01$  für die Mütter und  $p = 0,01$  für die Kranken statistisch signifikant

Daten nach Pobel und Viel 1997

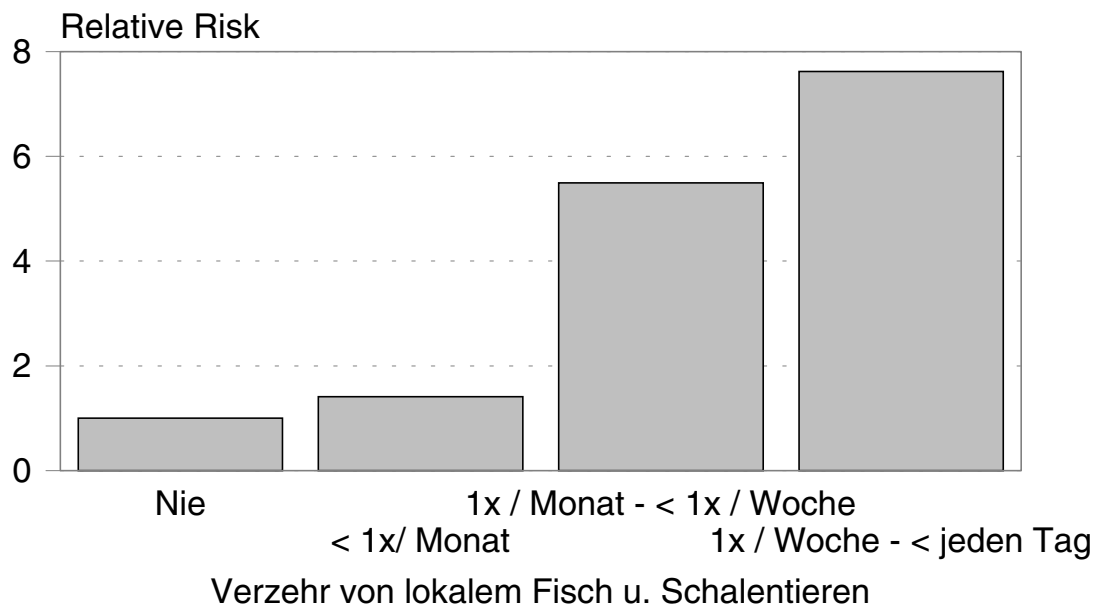


Abb. 10: Relative Risk für Leukämie in einem Alter unter 25 Jahren in einem Umkreis von 35km um die Wiederaufarbeitungsanlage La Hague in Abhängigkeit von der Häufigkeit, mit der die Kranken lokalen Fisch oder Schalentiere verzehrt haben.  
Der Trend über alle Klassen ist mit  $p=0,01$  statistisch signifikant  
Daten nach Pobel und Viel 1997

Die sich daraus ergebende Schlussfolgerung eines kausalen Zusammenhangs kann nicht mit dem Argument widerlegt werden, die berechneten Dosen seien zu niedrig, um die vorgefundene Häufung von kindlichen Leukämien zu erklären. Dafür sind eine Reihe von Gründen verantwortlich:

- Die gemessenen Medien und auch die gemessenen Radionuklide müssen nicht repräsentativ für den oder die tatsächlich relevanten Belastungspfade sein.
- Die Dosisfaktoren für die Exposition der Zellen, aus denen die kindliche Leukämie entsteht, können ungenügend erforscht sein.
- Zahlreiche Arbeiten belegen inzwischen, dass die Empfindlichkeit, mit der eine kindliche Leukämie ausgelöst werden kann, bislang erheblich unterschätzt worden ist.
- Die geprüften Belastungspfade müssen keineswegs die einzigen Ursachen sein, die zu der Häufung kindlicher Leukämien beigetragen haben. Andere Belastungspfade, die bei der wissenschaftlichen Hypothesenbildung noch nicht angedacht worden sind, können sogar von größerer Bedeutung sein.

- Faktoren, die mit einer Atomanlage nicht kausal, sondern nur regional verknüpft sind, können einen verstärkenden Einfluss haben, wie die Arbeitsgruppe um Viel konkret in der Umgebung von La Hague gezeigt hat: Auch die Dauer des Wohnens in Häusern aus Granit war mit der Häufung kindlicher Leukämien korreliert.
- Verschiedene eine Leukämie auslösende Faktoren können untereinander so korreliert sein, dass es zu einem Verstärkungseffekt kommt

Die bisher vorliegenden Studien müssen also als wichtige Mosaiksteine aufgefasst werden, die zunehmend die Erklärungslücke zwischen den scheinbar harmlosen Freisetzungen radioaktiver Schadstoffe durch Atomanlagen und den auffälligen Gesundheitsschäden in ihrer Umgebung schließen.

## **7. Ausblick: Wohin mit dem Plutonium?**

Durch die Wiederaufarbeitung haben sich bereits enorme Mengen Plutonium angesammelt. Selbst wenn die Technik des Einsatzes von MOX-Brennelementen konsequent verfolgt wird, besteht in absehbarer Zeit keine Notwendigkeit, weiteres Plutonium herzustellen. Darüber hinaus stellt sich die Frage nach einer Beseitigung der gigantischen Mengen von Plutonium, das für militärische Zwecke hergestellt worden war.

Um die großen Mengen von Plutonium, die durch Wiederaufarbeitung für militärische und zivile Zwecke hergestellt worden sind und nicht mehr gebraucht werden, vor einem Missbrauch durch Terroristen zu sichern, wird erwogen, das Plutonium mit dem hochradioaktiven Müll der Spaltprodukte aus der Wiederaufarbeitung zu verschneiden, die Wiederaufarbeitung also quasi rückgängig zu machen. Drastischer kann die Sinnlosigkeit der Wiederaufarbeitung kaum vor Augen geführt werden.

## 8. Literatur

BGH 1997

Röntgenbehandlung ohne medizinische Indikation kann gefährliche Körperverletzung sein  
Urteil vom 3.12.1997 Az.: 2 StR 397/97

<http://www.jura.uni-sb.de/Entscheidungen/pressem97/BGH/strafrecht/roentgen.html>

Burton, R.J. 1987

Brief an S. Boxer, Barrow in Furness, Ref. EE/87/330. BNFL Head Office, Risley 21.09.1987  
zitiert nach: Kirchner, G. und Ehlken, S.: Ermittlung der Emissionen und Immissionen der  
Wiederaufarbeitungsanlage Sellafield

In: Otto Hug 1990, S. VI-1 - VI-10

CEC 1979

Commission of the European Communities

Methodology for Evaluating the Radiological Consequences of Radioactive Effluents Released in  
Normal Operations

Joint Report by the National Radiological Protection Board, Harwell, Didcot, United Kingdom,  
and the Commissariat à l'Énergie Atomique, Département de Protection, CEN, Fontenay-aux-  
Roses, France, Doc. No. V/3865/1/79, July 1979 (2nd Impression, Dec. 1982, with corrections)

Gardner, M.J., Snee, M.P., Hall, A.J., Powell, A.J., Downes, S., Terrell, J.D. 1990

Results of Case-Control Study of Leukaemia and Lymphoma among Young People near Sella-  
field Nuclear Plant in West Cumbria

Brit. Med. J. 300, 423-429

Greenpeace 2000

The spread of radioactive contamination from Sellafield and La Hague

<http://www.greenpeace.org/%7Euclear/ospar2000/html/content/ospar00/model.html>

Hoffmann, W. 1993

Inzidenz Maligner Erkrankungen bei Kindern und Jugendlichen in der Region Ellweiler,  
Rheinland-Pfalz

Anwendung der Biologischen Dosimetrie zur Ermittlung möglicher Belastungspfade  
Inauguraldissertation Marburg

Hoffmann, W., Kuni, H., Artmann, S., Bahr, A., Götz, A., Herrwerth, C., Schmitz-Feuerhake, I.,  
Schubert, F. 1990

Leukämiefälle in Birkenfeld und Umgebung:

Eine erste Bestandsaufnahme

In: Köhnlein, W., Kuni, H., Schmitz-Feuerhake, I. (Hrsg.):

Niedrigdosisstrahlung und Gesundheit

Medizinische, rechtliche und technische Aspekte mit dem Schwerpunkt Radon

Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokyo, Hongkong, Barcelona  
1990, S. 175 ff.

Hoffmann, W., Kuni, H., Ziggel, H. 1996

Re.: Leukaemia and lymphoma mortality in the vicinity of nuclear power stations in Japan, 1973 - 1987, Letter to the editor  
J. Radiol. Prot. 16 (3), 213-215

ICRP 60 1991

International Commission on Radiological Protection  
Publication 60  
1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection  
Annals of the ICRP Vol. 21, No. 1-3  
Pergamon Press, Oxford, New York, Seoul, Tokyo

Kuni, H. 1987

Die Gefahr von Strahlenschäden durch Plutonium  
Konsequenzen für das Atom- und Strahlenschutzrecht  
aus medizinischer Sicht  
Der Minister für Wirtschaft, Mittelstand und Technologie  
des Landes Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf, 197 S., 1987

Kuni, H. 1990

Abschätzung der Gesundheitsschäden in der Bevölkerung und bei Beschäftigten durch die  
Wiederaufarbeitung  
In: Otto Hug 1990, S. IX-1 - IX-73  
Die 1998 aktualisierte Version des ersten Teiles ist bereitgestellt unter der URL  
<http://staff-www.uni-marburg.de/~kunih/oh/docs/fbericht.htm>

Kuni, H. 1994

Leukämie um Atomanlagen  
Kapitel 7. Gesundheitliche Gefährdung der Angehörigen, Unterkapitel 7.2. Direkt durch  
Emissionen der Arbeitsstätte  
Aus: Kuni, H.: Niedrige Strahlendosen und Gesundheit der Arbeitnehmer,  
Berichte des Otto Hug Strahleninstitutes, Bonn, Bericht 8-11, MMV Verlag München, S. 114ff.  
<http://staff-www.uni-marburg.de/~kunih/all-doc/index.htm> - Leuk

Kuni, H. 1995

Schacht Konrad. Ein aus nuklearmedizinischer Sicht ungeeignetes "Endlager"  
In: IPPNW (Hrsg.): Die Endlagerung radioaktiver Abfälle. Risiken und Probleme  
S. Hirzel, Stuttgart, Leipzig, S. 117ff.

Kuni, H. 1998

A Cluster of Childhood Leukaemia in the Vicinity of the German Research Reactor Jülich  
In: Schmitz-Feuerhake, I., Schmidt, M. (Ed.): Radiation Exposures by Nuclear Facilities,  
Evidence of the Impact on Health, Proceedings International Workshop, University of  
Portsmouth, GB, 1996,  
Thomas Dersee, Strahlentelex, Berlin, 1998, p. 251-255

Otto Hug 1990

Otto Hug Strahleninstitut

Kuni, H. , Schmitz-Feuerhake, I. (Hrsg.) 1990: Strahlenexposition und -risiko sowie Sicherheit bei der sog. 'schadlosen Verwertung' von bestrahlten Brennelementen im Ausland

Gutachten erstellt im Auftrag der Freien und Hansestadt Hamburg,

Otto Hug Strahleninstitut, Bonn, 1990

Die Zusammenfassung des Forschungsberichtes bereitgestellt unter der URL

<http://staff-www.uni-marburg.de/~kunih/oh/docs/fbericht.htm>

Pobel, D., Viel, J.-F. 1997

Case-control Study of Leukaemia Among Young People near La Hague Nuclear Reprocessing Plant: The Environmental Hypothesis Revisited

Brit. Med. J 314, 101-106

Roman, E., Watson, A., Beral, V., Buckle, S., Bull, D., Baker, K., Ryder, H. 1993

Case-control Study of Leukaemia and Non-Hodgkin's Lymphoma among Children aged 0-4 Years Living in West Berkshire and North Hampshire Health Districts

Brit. Med. J. 306, 615-621

Sorahan, T., Roberts, P.J. 1993

Childhood Cancer and Paternal Exposure to Ionizing Radiation: Preliminary Findings From the Oxford Survey of Childhood Cancers

Amer. J. Ind. Med. 23, 343-354

Thomas, W., Hesse, U., Kramer, E. 1985

Sicherheitstechnische Analyse zur thermischen Rezyklierung in der Bundesrepublik

Deutschland. GRS-A-1101 Auftragsnummer: 82002, Gesellschaft für Reaktorsicherheit, Garching

UNSCEAR 1982

**United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation**  
Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation

1982 Report to the General Assembly, with Annexes

United Nations, New York

UNSCEAR 1993

**United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation**  
Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation

1993 Report to the General Assembly, with Annexes

United Nations, New York

Vogel, H.J. und 179 weitere Mitglieder der Fraktion der Sozialdemokratischen Partei Deutschlands des Deutschen Bundestages 1988

Normenkontrollverfahren auf Feststellung der Verfassungswidrigkeit von Vorschriften des Atomgesetzes

- 1 BvF 3/88 -

Wise 1997

THE MOX MYTH

The dangers and risks of the use of mixed oxide fuel

<http://www.antenna.nl/wise/469-470/cont.html>