

Untersuchung der Haarproben von Bewohnern im Erdölgebiet des Süd Sudan auf eine Umweltbelastung durch toxische Metalle

Prof. Dr. Fritz Pragst, Institut für Rechtsmedizin der Charité Berlin

1. Prinzipien und Methoden der Haaranalyse auf toxische Metalle

Haarproben sind zur Prüfung auf eine chronischen Belastung von Personen durch toxischen Metalle besonders geeignet, da diese nach Aufnahme in den menschlichen Körper aus dem Blutkreislauf in das wachsende Haar fest eingelagert werden und dort bei einem Haarwachstum von ca. 1cm/Monat je nach Haarlänge über Monate bis Jahre nachgewiesen werden können. Neben dem Weg über den menschlichen Körper können die Metalle aber auch direkt aus der kontaminierten Umwelt (Luft, Wasser, Staub) ins Haar eingetragen werden (Abb. 1). Weitere Vorteile von Haar im Vergleich zu Blut sind die einfache Probenahme, auch durch nicht-medizinisches Personal, und unkomplizierte Lagerung und der einfache Versand der Proben in Papier- oder Plastiktüten.

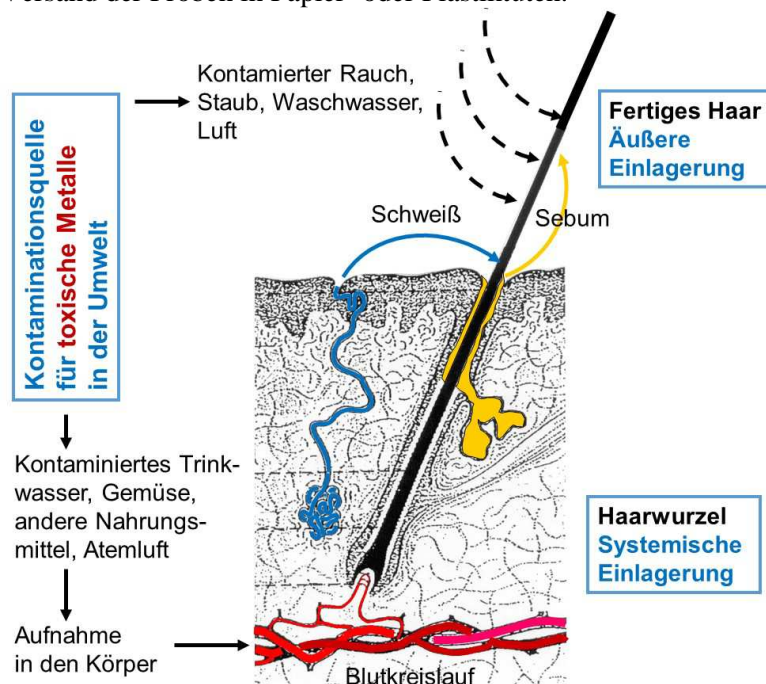


Abb. 1
Einlagerung von Umweltgiften ins Haar. Toxische Metalle werden aus der kontaminierten Umwelt sowohl nach Aufnahme in den Körper systemisch in der Haarwurzel als auch direkt von außen in das fertige Haar eingelagert.

Die Analyse erfolgt heute vorwiegend nach standardisierten Methoden durch Massenspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-MS). Mit dieser Methode kann die Haarprobe gleichzeitig und mit hoher Empfindlichkeit auf eine große Zahl von Elementen geprüft werden. Aus den Erfahrungen von Labors in vielen Ländern sind für jedes toxische Metall Referenzbereiche der Konzentrationen im Haar für die „normal belastete“ Bevölkerung bekannt. Darüber hinaus wurden Metallkonzentrationen von umweltbelasteten Personen, vorwiegend aus Bergbaugebieten und der Industrie, in der Fachliteratur beschrieben und stehen zum Vergleich zur Verfügung.

2. Durchführung der Studie

Aufgrund der Untersuchungsergebnisse der Wasserproben und des massenhaften Umganges mit Chemikalien in der Erdölerkundung und -förderung bestand der Verdacht der gesundheitlichen Gefährdung der Bevölkerung durch toxische Metalle. Daher wurden insgesamt 96 Haarproben von Bewohnern aus den vier

Ortschaften Koch, Leer, Nyal und Rumbek mit unterschiedlichem Abstand vom Thar Jath Ölfeld gewonnen (Abb. 2). Rumbek wurde wegen seiner großen Entfernung von den Ölfeldern als unbelasteter Referenzort betrachtet. Die Studie wurde nach ethischen Grundsätzen durchgeführt. Jeder Proband wurde über die Ziele und Durchführung der Untersuchung informiert und gab sein schriftliches Einverständnis bei Wahrung der Anonymität. Alle Haarproben wurden nach validierten Methoden in einem akkreditierten Labor mittels ICP-MS auf 39 Elemente analysiert. Weitere Details können der beiliegenden Publikation in der Zeitschrift *Forensic Science International* entnommen werden.

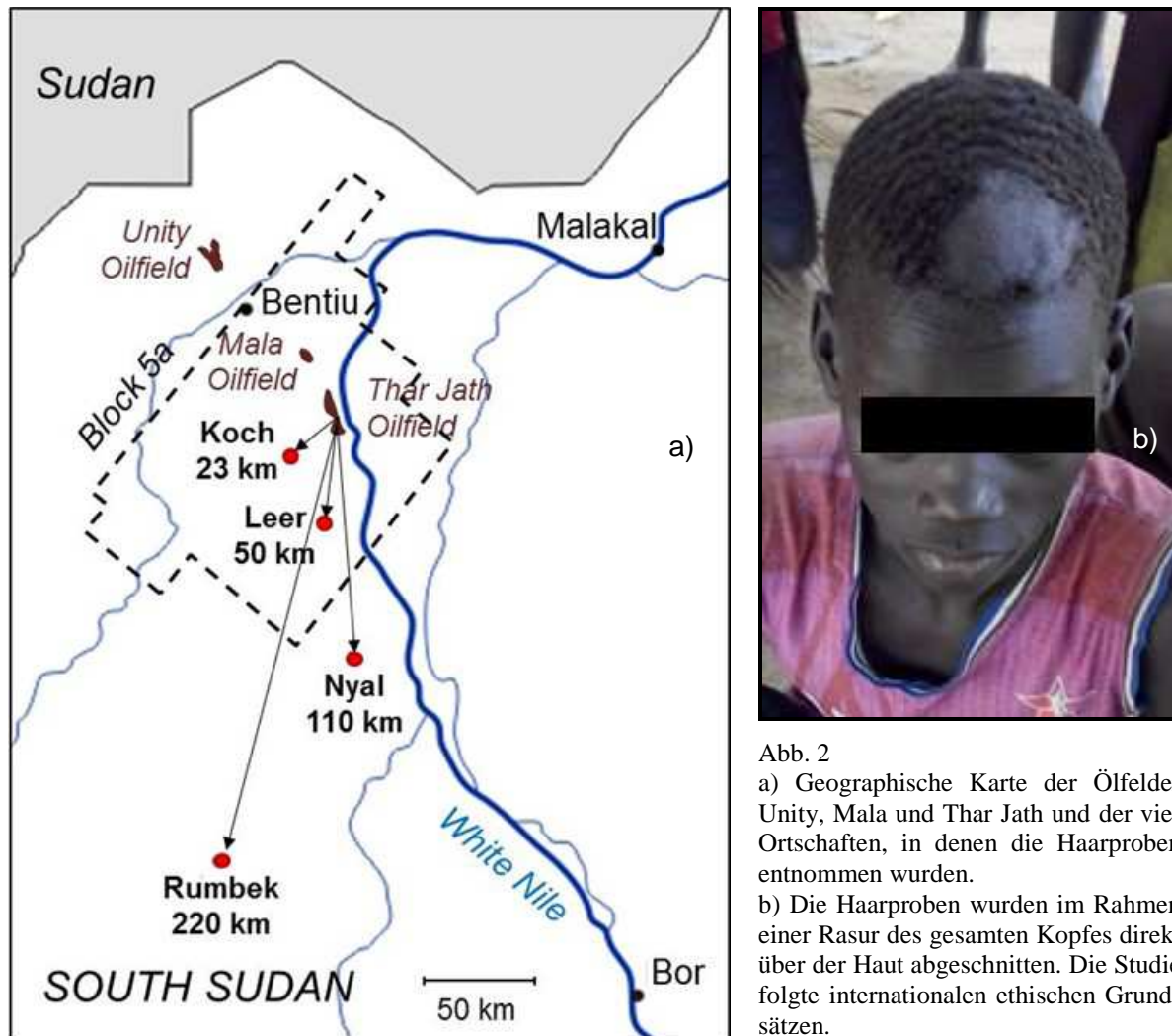


Abb. 2
 a) Geographische Karte der Ölfelder Unity, Mala und Thar Jath und der vier Ortschaften, in denen die Haarproben entnommen wurden.
 b) Die Haarproben wurden im Rahmen einer Rasur des gesamten Kopfes direkt über der Haut abgeschnitten. Die Studie folgte internationalen ethischen Grundsätzen.

3. Untersuchungsergebnisse

Von den 39 Elementen wurden besonders diejenigen betrachtet, deren Konzentrationen deutlich über den Referenzwerten lagen. Arsen, Cadmium, Quecksilber und Thallium, die eine besonders hohe Giftigkeit besitzen, waren zum Beispiel nicht oder nur im unteren Referenzbereich nachweisbar. Die Metalle mit erhöhten Konzentrationen wurden bezüglich der Unterschiede zwischen den vier Ortschaften statistisch ausgewertet. Ein Zusammenhang zur Erdölindustrie sollte durch höhere Konzentrationen in den Haaren der Probanden von Koch und Leer im Vergleich zu Rumbek sichtbar werden.

Aus diesen Auswertungen und dem Vergleich mit Literaturdaten ging hervor, dass die toxischen Metalle Blei und Barium in Koch und teilweise auch in Leer und Nyal signifikant höhere Haar-Konzentrationen aufwiesen als in Rumbek, und dass diese Konzentrationen in der gleichen Größenordnung wie in stark belasteten Gebieten lagen. Abb. 3 zeigt dieses für die Mittelwerte und die Wertebereiche der vier Orte. Die deutlich niedrigere Konzentration in Rumbek im Vergleich zu Koch kann als Beweis für den ursächlichen Zusammenhang zur Ölindustrie gelten.

4. Vergleich mit Literaturdaten

4.1 Blei in Haarproben

Blei gehört zu den am häufigsten im Haar untersuchten toxischen Metallen. Abb. 4 zeigt die Konzentrationen (Bereiche und Mittelwerte) für die vier Orte aus dem Süd Sudan im Vergleich zu denen aus einigen der entsprechenden Publikationen. Insgesamt geht aus diesen Arbeiten hervor, dass die

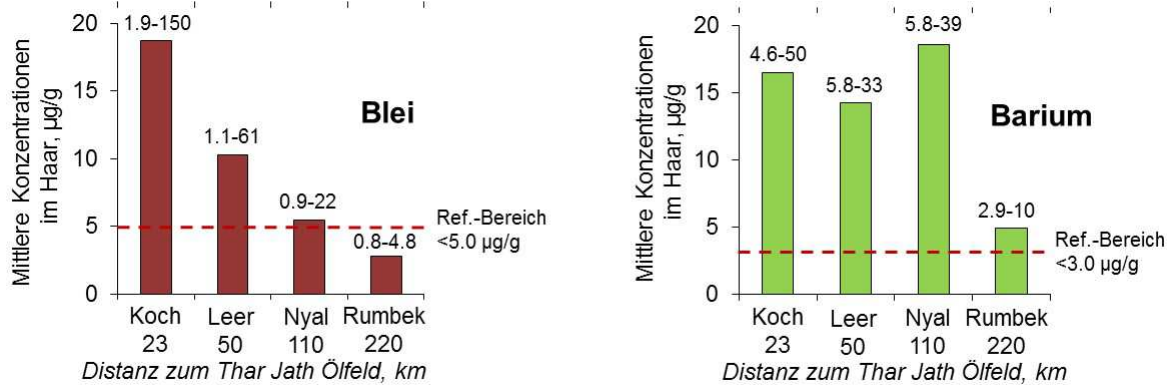


Abb. 3. Mittlere Konzentrationen und Wertebereiche (über den Säulen) von Blei und Barium in den Haarproben von Bewohnern aus Koch (Probandenzahl $n=24$), Leer ($n=26$), Nyal ($n=21$) und Rumbek ($n=25$). Die obere Grenze des Referenzbereiches des Labors ist als gestrichelte Linie angegeben. Rumbek kann als lokaler Vergleichsstandard gelten.

Mittelwerte und Mediane der normal belasteten Bevölkerung (in Abb. 4 grün unterlegt) um $1\mu\text{g/g}$ und Einzelwerte nicht über $10\mu\text{g/g}$ betragen. Die Mittelwerte und Mediane der stark mit Blei belasteten Personen liegen hingegen über $5\mu\text{g/g}$ mit Einzelwerten oft über $20\mu\text{g/g}$ und Spitzenwerten über $100\mu\text{g/g}$ (in Abb. 4 rot unterlegt). Extrem hohe Werte wurden für Bewohner eines Roma-Flüchtlingslager in Mitrovica (Kosovo) gemessen, das auf einer mit Blei verseuchten Halde von Metallhüttenabfällen errichtet worden war. Details zu den dort aufgetretenen gesundheitlichen Folgen wird Herr Dr. Runow in seinem Beitrag erläutern.

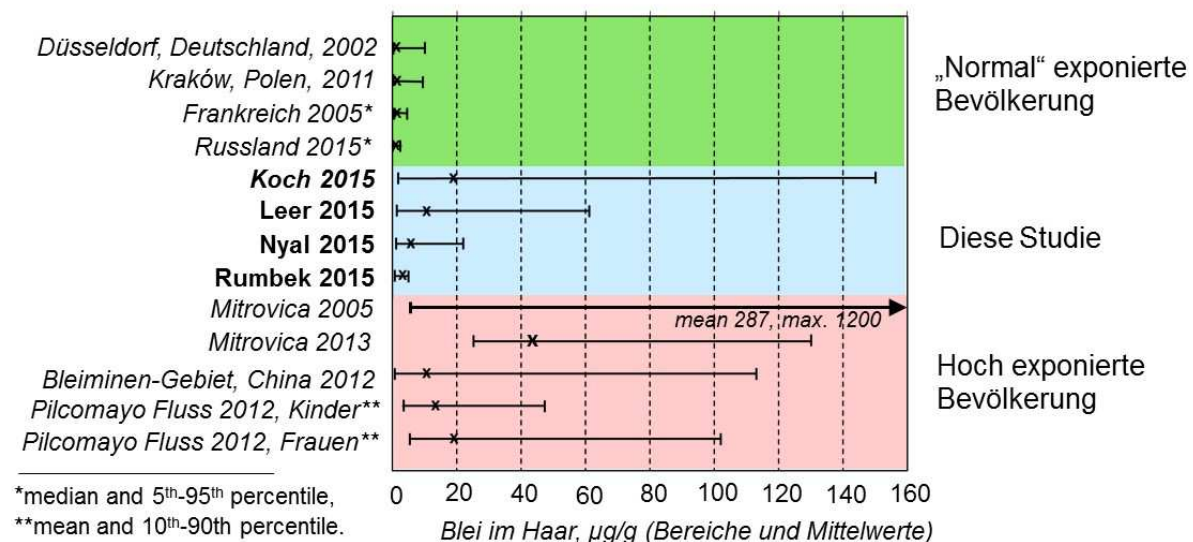


Abb. 4. Vergleich der in vier Orten im Süd Sudan im Haar gemessenen Bleikonzentrationen mit Literaturwerten für normal belastete und hochbelastete Populationen. Die Literaturzitate der Originalarbeiten sind der beigefügten Publikation in Forensic Science International zu entnehmen.

Man erkennt in Abb. 4, dass die Blei-Werte in Koch deutlich in den Bereich der stark exponierten Bevölkerung fallen, während die Werte für Rumbek gut mit der normal belasteten Bevölkerung in anderen Ländern übereinstimmen.

4.2 Barium in Haarproben

Die Bariumkonzentrationen der Haarproben in den vier Orten aus dem Süd Sudan sind analog in Abb. 5 den Literaturdaten für normal belastete und eine stark belastete Probandengruppe gegenübergestellt. Für Barium gibt es weit weniger Literaturdaten, jedoch wird deutlich, dass die Werte in Koch, Leer und Nyal weit über denen der Normalbevölkerung in verschiedenen Ländern liegen.

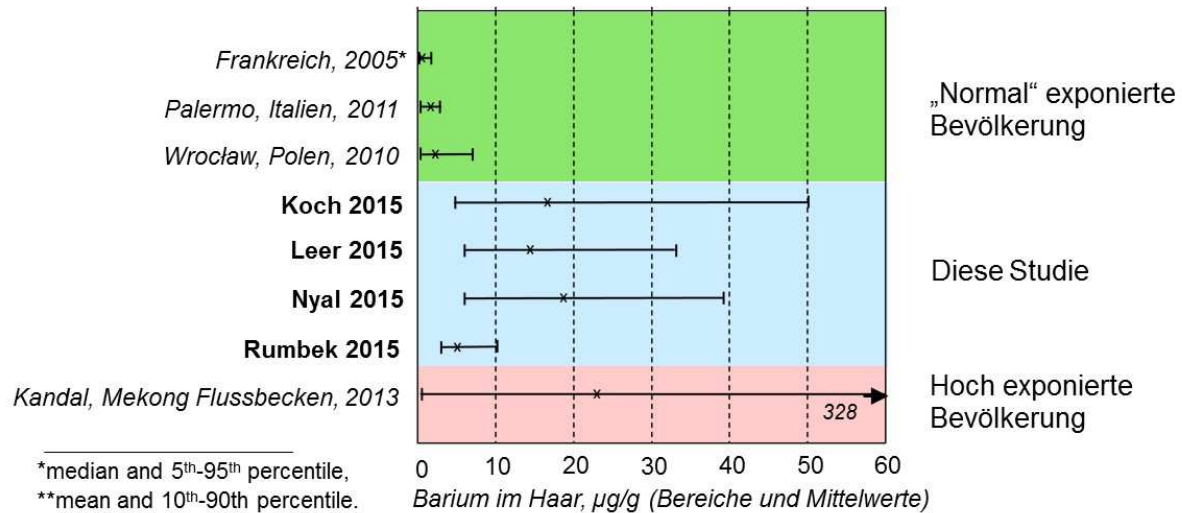


Abb. 5. Vergleich der in vier Orten im Süd Sudan gemessenen Bariumkonzentrationen im Haar mit Literaturwerten für normal belastete Populationen und eine hochbelastete Probandengruppe. Die Literaturzitate der Originalarbeiten sind der beigegefügte Publikation in Forensic Science International zu entnehmen.

5. Bohrschlamm und Prozesswasser der Ölinindustrie als Quelle der Umweltverschmutzung

Als Quelle für die hohen Blei- und Bariumwerte in den Haaren der Probanden von Koch, Leer und Nyal ist der bei der Bohrung verwendete **Bohrschlamm (Bohrspülflüssigkeit)** anzunehmen. Der Bohrschlamm dient bei Tiefenbohrungen (im Süd Sudan von 2000 bis 3000m) u.a. dem Austrag Bohrkleins (abgebohrtes Erdreich), der Schmierung und Kühlung des Bohrwerkzeugs, der Kompensation des Formationsdruckes, der Verhinderung von Eruptionen, der Abdichtung des Bohrloches und der Vermeidung von Korrosion am Bohrgestänge. Er enthält zu diesem Zweck eine Vielzahl von Chemikalien. Im Zusammenhang mit der Belastung durch toxische Metalle sind in erster Linie Beschwerungsmittel zur Erhöhung der Dichte zu nennen. Hierzu wird vorzugsweise 15-35% des Minerals Baryt (Schwerspat, Bariumsulfat) eingesetzt (Abb. 6), das ein spezifisches Gewicht von 4,5 g/cm³ besitzt. Der Bohrschlamm von zahlreichen Bohrungen in den Ölfeldern im Süd Sudan wurde in riesigen Mengen in nicht abgedichteten Bohrspülgruben gelagert (Abb. 7) und nach Abschluss der Arbeiten sich selbst überlassen. Baryt enthält teilweise erhebliche Mengen an Blei und anderen Schwermetallen. Wasserproben aus verlassenen Bohrspülgruben enthielten hohe Konzentrationen an Barium und Blei.

Anstelle von Baryt wird als Beschwerungsmittel teilweise auch Galenit (Bleiglanz, Bleisulfid, spezifisches Gewicht 7,2 g/cm³) eingesetzt. Dieses kommt ebenfalls als Quelle für die Blei-Kontamination in Frage, obwohl uns keine gesicherten Informationen über den Einsatz von Galenit im Süd Sudan vorliegen. Es ist bekannt, dass die an sich schwerlöslichen Mineralien Baryt und Galenit durch chemische und mikrobiologische Verwitterungsprozesse mobilisiert werden und Blei oder Barium so ins Trinkwasser gelangen.

Prozesswasser tritt bei der Erdölförderung in Mengen von 1 bis 50 Barrel pro Barrel Öl auf. Es entstammt tiefen Wasserreservoirs oder wird zur Erhöhung des Drucks und der Ergiebigkeit der Ölquelle vorher ins Erdreich eingepresst. Es ist häufig sehr salzhaltig und kann toxische und radioaktive Elemente enthalten. In dem betroffenen Gebiet im Südsudan ist vor allem der hohe Salzgehalt der oberen wasserführenden Schicht auf undichte Aufbereitungsanlagen für Prozesswasser zurückzuführen.

Anderer Ursachen für die hohen Bleiwerte im Haar (z.B. Bergbau- und Hüttenabfälle, Metallindustrie, verbleites Benzin, Wasserrohre aus Blei, bleihaltige Glasierung von Lebensmittelgefäßen) und an Barium (hoher Gehalt im natürlichen Grundwasser) können ausgeschlossen werden.



Abb. 6. Baryt auf einer Bohrstelle im Süd Sudan. Das Mineral Baryt (Schwerspat) wird wegen seines hohen spezifischen Gewichts in großen Mengen (15-35%) als Beschwerungsmittel dem Bohrschlamm zugesetzt. Mineralischer Baryt enthält häufig erhebliche Mengen an Blei. Foto: K. Stieglitz.



Abb. 7. Grube mit Bohrschlamm (Bohrspülflüssigkeit) auf einer Bohrstelle im Süd Sudan. Aus solchen Gruben können die toxischen Metalle ungehindert in das Grundwasser eindringen. Foto: K. Stieglitz.

6. Gesundheitsgefährdung der Bevölkerung durch Blei und Barium

Das Ergebnis der Haaranalyse zeigt deutlich eine Gesundheitsgefährdung der Bewohner der Ölfelder in Form einer chronischen Vergiftung durch Blei und Barium. Eine wesentliche Rolle spielt dabei offensichtlich das kontaminierte Wasser, das mit Handpumpen aus der oberen wasserführenden Schicht gewonnen und zur Nahrungsbereitung und als Trinkwasser für Mensch und Tier genutzt wird.

Das Ergebnis beweist aber nicht das tatsächliche Vorliegen einer chronischen Vergiftung mit diesen Metallen, sondern nur, dass die Personen in einer stark durch diese Metalle kontaminierten Umwelt leben. Da die Metalle auch direkt von außen ins Haar eingelagert werden können (s. Abschnitt 1), und da es keine allgemeingültige Proportionalität zwischen Konzentration im Haar und toxisch wirksamer Konzentration im Blut gibt, kann aus Haarergebnisse nicht zwingend auf eine Vergiftung geschlossen werden.

Bei der toxikologischen Bewertung steht das **Blei** im Vordergrund. Der eindeutige Nachweis einer chronischen Vergiftung erfordert die Untersuchung von Blutproben. Die Auswirkungen einer chronischen Bleivergiftung und notwendige Behandlungsschritte werden von Herrn Dr. Runow näher erläutert. Grundsätzlich treten folgende Gesundheitsstörungen auf:

Störung der Bildung roter Blutkörperchen – Bleianämie

- Neurotoxizität, Bleienzephalopathie: Taubheitsgefühl, Lähmungserscheinungen („Bleilähmung“), psychomotorische und Intelligenzdefizite, Gedächtnisschwäche, Schwindel, Krampfanfälle, psychische Störungen wie Schlaflosigkeit, Apathie, aggressives oder antriebsloses Verhalten
- Nierenschädigung – chronische Niereninsuffizienz
- Besonders hohe Empfindlichkeit von Kindern
- Funktionsstörungen des Reproduktionssystems, Potenzstörungen, gehäufte Fehlgeburten

Da Blei dauerhaft im Knochen gespeichert wird, können die toxischen Wirkungen auch nach Entfernung aus der kontaminierten Umgebung fortbestehen.

Es gibt wenig epidemiologische Daten über chronische Belastung durch das akut stark giftige **Barium**. Dieses wirkt auf den Kaliumhaushalt und führt zu einer Hypokaliämie (zu niedrige Kaliumwerte im Blut). Bekannt sind als Folge sporadische Lähmungen, Herz-Kreislauf- und Nierenerkrankungen sowie neurologische und psychische Störungen. Neuere Studien machen ein erhöhtes Vorkommen von multipler Sklerose und anderen neurodegenerativen Erkrankungen wahrscheinlich.

7. Zusammenfassende Schlussfolgerungen

Die hohen Konzentrationen von Blei und Barium im Haar der Probanden aus der Thar Jath Ölfeld-Region wurden verursacht durch schlecht entsorgte Abfälle der Erdölerkundung und -förderung. Die Kontamination des Trinkwassers spielt dabei eine wesentliche Rolle. Andere Ursachen für die toxische Bleibelastung sind auszuschließen.

Die Ergebnisse weisen auf eine andauernde Gefährdung der Gesundheit der Bewohner hin. Dieses addiert sich zu der generell untragbaren Situation mit versalztem Trinkwasser und schlechten Bedingungen der Ernährung, Hygiene und Unterkunft sowie politischen Unruhen.

Die hohen Konzentrationen beweisen jedoch nicht widerspruchsfrei eine chronische Intoxikation, da die direkte Inkorporation der Metalle ins Haar aus externen Quellen (kontaminiertes Wasser, Staub, Luft) speziell in stark kontaminierter Umwelt ebenfalls zu hohen Werten führen kann, ohne dass eine Vergiftung vorliegt.

Daher ist eine medizinische Untersuchung einschließlich Blutanalyse und, wenn erforderlich, entsprechende medizinische Behandlung dringend notwendig.