

**KERNFORSCHUNGSZENTRUM  
KARLSRUHE**

Juni 1966

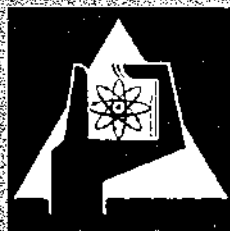
KFK 435

Institut für Material- und Festkörperforschung

Vergleich der Verträglichkeit der Kernbrennstoffe

UN, UC und  $UO_2$  mit Metallen

O. Götzmann, F. Thümmler



GESELLSCHAFT FÜR KERNFORSCHUNG M.B.H.

KARLSRUHE

Als Manuskript vervielfältigt.

Für diesen Bericht behalten wir uns alle Rechte vor.

Gesellschaft für Kernforschung m. b. H.

Karlsruhe

KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE

Juni 1966

KFK 435

Institut für Material- und Festkörperforschung

Vergleich der Verträglichkeit der Kernbrennstoffe  
UN, UC und  $UO_2$  mit Metallen

von

O.Götzmann und F. Thümmler

Gesellschaft für Kernforschung m.b.H, Karlsruhe



Inhaltsverzeichnis

|  | <u>Seite</u> |
|--|--------------|
| 1. Einführung  | 2            |
| Tabelle 1  | 3            |
| 2. Ergebnisse der Verträglichkeitsuntersuchungen mit |              |
| 2.1 Aluminium  | 4            |
| 2.2 Beryllium  | 4            |
| 2.3 Eisen und rostfreiem Stahl                       | 4/5          |
| 2.4 Nickel und Nickellegierungen                     | 5/6          |
| 2.5 Titan  | 6            |
| 2.6 Vanadin  | 6/7          |
| 2.7 Chrom  | 7            |
| 2.8 Zirkon   | 7/8          |
| 2.9 Molybdän   | 8/9          |
| 2.10 Niob  | 9/10         |
| 2.11 Tantal  | 10           |
| 2.12 Wolfram   | 10/11        |
| 3. Schlußbetrachtung                                 | 11/12        |
| Literaturverzeichnis                                 | 13/15        |

## 1. Einleitung

Der Begriff Verträglichkeit umfaßt grundsätzlich alle Wechselwirkungen, die zwischen 2 Stoffen zur Auswirkung kommen, sofern diese Stoffe möglichst ohne Reaktionen und Diffusion nebeneinander bestehen bleiben sollen. Die vollständige Verträglichkeitsbetrachtung eines Kernbrennstoffes sollte deshalb außer dem Reaktions- und Diffusionsverhalten mit möglichen Hüllenwerkstoffen und dem Reaktionsverhalten mit Komponenten möglicher Mischsysteme auch das Korrosionsverhalten mit Kühlmittel und die Auswirkungen der Bestrahlung auf die Verträglichkeit, also Reaktions- und Diffusionsverhalten der Spaltprodukte, einschließen. In diesem Bericht wird nur das Verträglichkeitsverhalten der keramischen Kernbrennstoffe UN, UC und  $UO_2$  mit Hüllenwerkstoffen bzw. den metallischen Komponenten von Mischsystemen betrachtet.

Eine zusammenfassende Übersicht der Ergebnisse bisher veröffentlichter Untersuchungen, die auch einen Vergleich der 3 genannten Kernbrennstoffe ermöglicht, wird mit der Tab. 1 gegeben. Die Ergebnisse liefern im wesentlichen nur Auskunft über das Reaktionsverhalten. Über das Diffusionsverhalten liegen nur wenig Daten für einige Metalle vor. Sie wurden deshalb in der Tabelle nicht berücksichtigt; in der nachfolgenden Besprechung der Ergebnisse werden sie erwähnt.

Bei Systemen, für die in der Literatur im wesentlichen übereinstimmende Aussagen gefunden wurden, z. B. den Al-Brennstoffkombinationen, wurde auf die Angabe vieler Literaturstellen verzichtet.

Tabelle 1

Verträglichkeitsgrenzen von keramischen Kernbrennstoffen  
mit verschiedenen Metallen.

|            | UN            | UC         | UO <sub>2</sub>              |
|------------|---------------|------------|------------------------------|
| mit Metall | für T °C      | für T °C   | für T °C                     |
| Al         | bis 500 °     | bis 500 °  | bis 500 °                    |
| Be         | -             | " 600 °    | " 600 °                      |
| Fe         | " 1300 °      | " 1000 °   | " 1550 ° +)                  |
| S.S.       | " 1100 °      | " 870 °    | " 1550 °                     |
| Ni         | " 700 °       | " 700 °    | " 1400 °                     |
| Ti         | < 1000 °      | < 1000 °   | -                            |
| V          | bis 1000 °    | bis 1000 ° | -                            |
| Cr         | " 1000 °      | " 1000 °   | bis 1100 °                   |
| Zr         | " 1000 °      | " 700 °    | " 700 °                      |
| Mo         | bei 1200 ° +) | " 1000 °   | " Smpkt. von UO <sub>2</sub> |
| Nb         | " 1200 °      | " 1000 °   | " 1000 °                     |
| Ta         | < 1230 °      | bei 1000 ° | " 2300 °                     |
| W          | bis 2800 °    | bis 2350 ° | " um 2000 ° +)               |

Erklärung zur Tabelle: bis x °C heißt: unterhalb x °C verträglich bei x °C schwache Reaktion

bei x °C heißt: bei x °C noch keine Reaktion

< x °C heißt: nicht verträglich bei x °C; andere Daten sind nicht verfügbar.

+ ) größere Diskrepanzen vorhanden, vgl. Text.

## 2. Ergebnisse der Verträglichkeitsuntersuchungen mit

### 2.1 Aluminium

Für alle drei betrachteten Uranverbindungen ist das Verträglichkeitsverhalten gegenüber dem Aluminium fast gleich. Unter 500 °C reagiert weder UN, UC noch UO<sub>2</sub> mit Al. Zwischen 500 ° und 600 °C tritt vereinzelt, je nach Beschaffenheit der Uranverbindung (Stöchiometrie, Korngröße), Reaktion auf. Im allgemeinen wird aber erst ab 600 °C heftige Reaktion mit Al beobachtet. Das Reaktionsprodukt ist in allen Fällen UAl<sub>3</sub> und UAl<sub>4</sub>. Bei der Reaktion mit UN zusätzlich noch AlN [1] und mit UO<sub>2</sub> noch Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

### 2.2 Beryllium

Nach [4], [14] und [20] ist Beryllium mit UC und UO<sub>2</sub> bis etwa 600 °C verträglich. Über 700 °C findet aber eine ausgeprägte Reaktion mit beiden genannten Uranverbindungen zu UB<sub>13</sub> statt. Über die Verträglichkeit von UN mit Beryllium waren in der Literatur keine Angaben zu finden.

### 2.3 Eisen und rostfreier Stahl

Mit Eisenwerkstoffen ist das Verträglichkeitsverhalten von UN und UO<sub>2</sub> bis über 1000 °C noch gut. Für UC wurde dagegen festgestellt, daß stöchiometrisches UC zwar bis 870 °C mit rostfreiem Stahl vom Typ 304 noch nicht [3], bei 1000 °C aber schon heftig reagiert [1]. Die Reaktion des UC mit reinem Eisen ist dagegen bei 1000 °C noch schwach (Schichtdicke 30 - 40 µ in 500 h).

Reines Eisen ist mit UN bei 1260 °C noch verträglich, während für Eisenlegierungen durch die Reaktion der Legierungspartner (Ti, Ni), die bevorzugt aus dem Hüllmaterial ausdiffundieren, ab 1100 °C die Verträglichkeit schlechter wird (auch für Stähle Typ 302 B, z.B.) [2].

Für UO<sub>2</sub> wurde mit Eisenbasislegierungen bei 1100 °C und mit rostfreiem Stahl bei 1300 °C noch keine Reaktionen festgestellt [3]. Stöchiometrisches UO<sub>2</sub> ist bei 1550 °C



mit rostfreiem Stahl noch verträglich (über 24 h). Durch überstöchiometrischen Sauerstoff im  $UO_2$  können jedoch Reaktionen stattfinden, offenbar schon bei wesentlich niedrigeren Temperaturen.

Bei Diffusionsuntersuchungen mit UN durch BMI wurde festgestellt, daß in Proben mit Stahl vom Typ 304 bei  $1000^\circ C$  nach einer Glühdauer von 3000 h, die Eindringtiefe von Eisen ins UN  $10\ \mu$ , die Eindringtiefe von Uran in das Hüllmaterial  $16\ \mu$  betrug. Zwischen dem UN und der Hülle lag eine Reaktionsschicht von etwa  $10\ \mu$  Dicke, die reich an Uran und Chrom war, aber nicht identifiziert werden konnte. Für Proben mit reinem Eisen betrug bei  $800^\circ C$  nach ebenfalls 3000 h die Diffusionstiefe ins UN  $17\ \mu$ , in das Eisen  $10\ \mu$ . Bei  $1000^\circ C$  war nach der gleichen Zeitdauer das Eisen in das UN nur  $7\ \mu$  und das Uran ins Eisen nur  $3\ \mu$  eingedrungen. Diese nicht erwartete Verminderung der Diffusionstiefe gegenüber dem Versuch bei  $800^\circ C$  rührt daher, daß beim  $1000^\circ C$ -Versuch eine Reaktionsschicht aus  $UO_2$  sich zwischen dem Eisen und dem UN ausbildete!

#### 2.4 Nickel und Nickellegierungen

Nickel ist bei  $600^\circ C$  mit UN noch verträglich. Während 1000 h wurden bei dieser Temperatur noch keine Reaktionen beobachtet [7], [31]. Nach 1132 h allerdings ist von [7] eine schwache Reaktion zu  $UNi_5$  und  $U_2N_3$  in der Übergangszone UN-Ni festgestellt worden. Für Temperaturen von  $800^\circ C$  und  $900^\circ C$  wird zwischen UN und Nickel nur schwache Reaktion gefunden [31]. (Reaktionsschichtdicke  $25\ \mu$  nach 500 h). Erst bei  $1000^\circ C$  reagiert UN mit Nickel heftig [1], [31]. Nach [11] sind auch Nickelbasislegierungen in Dispersionen mit UN bei  $800^\circ C$  noch verträglich, bei  $1100^\circ C$  dagegen nicht.

Bei  $600^\circ C$  findet zwischen Nickel und UN jedoch geringe Diffusion statt. Nach [7] war während 1000 h Nickel etwa  $8\ \mu$  in das UN eingedrungen und Uran etwa  $11\ \mu$  in die Nickelhülle. Bei einem Versuch, der über 1132 h bei der gleichen Temperatur lief, fand, wie oben erwähnt, eine Reaktion

statt. Die Eindringtiefe des Ni in das UN war hierbei nur 2  $\mu$ , die des Urans in das Nickel 33  $\mu$ .

UC reagiert bei 1000 °C mit Nickel schon sehr heftig [1]. Nickelbasislegierungen sind nach [11] bei 540 ° mit UC noch verträglich, bei 800 ° wird die Verträglichkeit durch zu starke gegenseitige Diffusion eingeschränkt. Nach [4] findet bei 800 °C zwischen UC und Inconel eine leichte Reaktion statt; nach [6] entsteht bei 800 °C während 100 h eine Reaktionsschicht von 75  $\mu$ . Bei 820 °C bilden UC und Inconel X ein Eutektikum; bei 1100 °C tritt bei Nichrome V und UC eutektisches Schmelzen ein [4]. Wie in [6] festgestellt wird, ist bei 1200 °C die Reaktion zwischen UC und Inconel sehr heftig. Nach 2 h entstand eine Reaktionsschicht von 750  $\mu$  (30 mil).

UO<sub>2</sub> ist im Gegensatz zu UN und UC mit Nickel auch über 1000 °C noch gut verträglich. Nach [6] ist bei 1400 °C die Reaktion zwischen UO<sub>2</sub> und Ni langsam. Nach [4] reagieren bei 1100 °C Nickelbasislegierungen mit UO<sub>2</sub> noch nicht; für 1370 ° wird aber Reaktion gemeldet. Nach [11] ist UO<sub>2</sub> mit Nickelbasislegierungen bei 1260 °C auch in dispersen Systemen noch verträglich. In [13] stellt man das gleiche für 1180 °C und Nichrome V fest.

## 2.5 Titan

Bei 1000 °C reagiert Titan sowohl mit UN wie auch mit UC schon stark (Schichtdicke ~20 bis 30  $\mu$  in 24 h). Das Reaktionsprodukt ist TiN bzw. TiC [1]. Über die Verträglichkeit von UO<sub>2</sub> mit Titan waren in der Literatur keine Angaben zu finden.

## 2.6 Vanadin

Bei 816 °C und einer Glühzeit von 4000 h wurde nach [8] noch keine nennenswerte Reaktion mit UC festgestellt. Bei 1000 °C ist das Verträglichkeitsverhalten von UC und UN gegenüber dem Vanadin ungefähr gleich. Nach 500 h wurde für beide Verbindungen nur eine schwache Reaktion festgestellt (Schichtdicke ~10  $\mu$ ) [1]. Bei 1150 °C war

nach 192 h eine vollständige Karburierung dispergierter Vanadinpartikel in einer UC-Matrix eingetreten [15].

Über die Verträglichkeit von  $UO_2$  mit Vanadin waren in der Literatur keine Angaben zu finden!

## 2.7 Chrom

Nach [9] ist UC mit Cr bei Temperaturen bis zu  $1000\text{ }^\circ\text{C}$  gut verträglich.

Für UN wurde von [7] bei  $800\text{ }^\circ\text{C}$  nach 5000 h eine Reaktion zu  $Cr_2N$  festgestellt; die Schichtdicke betrug  $16\text{ }\mu$ . S.Katz [1] hat dagegen gefunden, daß bei  $1000\text{ }^\circ\text{C}$  in 500 h das UC stärker mit dem Cr reagierte als UN. Beide Reaktionen waren jedoch schwach:  $30$  bis  $40\text{ }\mu$  beim UC und ca.  $5\text{ }\mu$  beim UN.

In einem 2-stündigen Glühversuch bei  $1250\text{ }^\circ\text{C}$  wurde von [10] in einer Cr-UN Dispersionsprobe noch keine Reaktion zwischen Cr und UN festgestellt.

Gegenseitige Diffusion findet jedoch bei  $1000\text{ }^\circ\text{C}$  in Cr-UN-Proben statt. Nach 1000 h betrug die Eindringtiefe von Cr in das UN  $11\text{ }\mu$ , die des Urans in die Chromhülle  $70\text{ }\mu$  [7]. Der Urangehalt in der Hülle war dabei kleiner als 1 %.

Die Verträglichkeit von  $UO_2$  mit Chrom wird in mehreren Berichten [3], [4], [11] für Temperaturen bis zu  $1100\text{ }^\circ\text{C}$  als gut bezeichnet. Nach [12] verhalten sich Versuchskapseln aus Fe-Cr-Al-Y-Legierungen, gefüllt mit einer Cr- $UO_2$ -Dispersion, bei  $1100\text{ }^\circ\text{C}$ , über einen Zeitraum bis zu 5000 h stabil.

## 2.8 Zirkon

Die Verträglichkeit von Zr mit UN scheint wesentlich besser zu sein als die mit UC. Nach [1] findet zwar in beiden Systemen (Zr-UN bzw. Zr-UC) bei  $1000\text{ }^\circ\text{C}$  Reaktion zu  $ZrN$  bzw.  $ZrC$  statt. Während aber die Reaktionsschicht im System

Zr-UN nach 500 h nur etwa 15  $\mu$  betrug, verlief die Reaktion im System Zr-UC bei der gleichen Temperatur schon sehr heftig. Von [7] wurde für eine Zr-UN-Probe bei 700 °C gegenseitige Diffusion von 13  $\mu$  nach 3000 h festgestellt. Die Diffusion für eine Zircaloy 2-UN Probe war bei der gleichen Temperatur und nach der gleichen Zeit geringer. Eine Reaktion mit dem UN fand bei 700 °C nicht statt. Nach [22] kam zwischen UC und Zr bei 650 °C und unter 15 kp/mm<sup>2</sup> Druck nach 12 h eine Bindung zustande.

Bei Temperaturen unterhalb 650 °C ist die Reaktion von Zr und UO<sub>2</sub> vernachlässigbar gering [13], [14]. Bei 700 °C ist nach [13] u. [30] schon eine meßbare Reaktion beobachtet worden; bei 1100 °C findet jedoch schon eine sehr starke Reaktion statt [13]. Für Zircaloy 2 ist die Reaktion mit UO<sub>2</sub> etwas schwächer.

## 2.9 Molybdän

Mit Mo reagiert UC bei 1000 °C nach [1] schwach aber meßbar (Reaktionsschicht ca. 10  $\mu$  nach 500 h). Nach [6] fand bei 1200 °C während 8 h zwischen Mo und UC in einer Dispersionsprobe schon merkliche Reaktion statt. In einem Sinterversuch mit einer UC-20 Vol.% Mo-Dispersionsprobe waren bei 1150 °C die Mo-Partikel in der UC-Matrix nach 192 h vollständig karburiert [15].

Nach [1] soll auch UN mit Molybdän bei 1000 °C schon reagieren; die Reaktionsschichtdicke betrug hier aber weniger als 5  $\mu$  nach 500 h. Es gibt jedoch andererseits Berichte, in denen UN mit Mo als verträglich auch bei höheren Temperaturen beschrieben wird. In einer Mo-30 Vol.% UN-Dispersionsprobe z.B. fand bei 1200 °C nach 4 h Glühdauer noch keine Reaktion statt [16]. Bei Temperaturwechselversuchen zwischen 1900 °C und 2120 °C während 95 h mit einer ähnlichen Probe wird von [17] eine Reaktion als wahrscheinlich angenommen; in dem betrachteten Fall ist offenbar eine flüchtige Phase gebildet worden.

Mit  $\text{UO}_2$  scheint Molybdän bis zu sehr hohen Temperaturen verträglich zu sein. Während in [14] angegeben wird, daß das System Mo- $\text{UO}_2$  bis zum Schmelzpunkt von  $\text{UO}_2$  (2800 °C) stabil ist, findet man in [4] die Feststellung, daß zwischen  $\text{UO}_2$  und Mo bei 2155 °C eine Reaktion stattfindet. Nach [18] bzw. [19] sind aber die grauen Einschlüsse, die durch Gefügeuntersuchungen im Molybdän festgestellt und zunächst als Reaktionsprodukt betrachtet wurden, mit Hilfe der Mikrosonde als  $\text{UO}_2$  identifiziert worden. In [18] wird die Angabe von [14] nochmals bestätigt. Auch [21] hat für Mo- $\text{UO}_2$  bei 2495 °C während 1 h keine Reaktion festgestellt.

Kaznoff [32] untersuchte das Diffusionsverhalten von  $\text{UO}_2$ -Mo-Proben. Die Diffusionsgeschwindigkeit durch 0,51 mm dickes Molybdän beträgt bei 1600 °C und 1750 °C  $10^{-8}$  bzw.  $4,5 \cdot 10^{-7}$  g Uran/cm<sup>2</sup>.h. Thermische Wechselbeanspruchung erhöht die Diffusionsrate. Bei Proben mit nichtstöchiometrischem  $\text{UO}_2$  wurde ebenfalls eine Erhöhung der Diffusion beobachtet.

In [5] wird berichtet, daß bei 2200 °C keine Diffusion von Molybdän in das  $\text{UO}_2$  stattfindet. Bei 2500 °C beträgt die Diffusionstiefe von Mo im  $\text{UO}_2$  nach 6 h einige  $\mu$  entlang den  $\text{UO}_2$  Korngrenzen. Reaktion wurde bei beiden Temperaturen nicht beobachtet.

## 2.10 Niob

Nach [1] und [16] verhält sich Niob gegenüber den beiden Uranverbindungen UN und UC ähnlich wie das Molybdän, obwohl beide Arbeiten sich mit ihren Verträglichkeitsaussagen in bezug auf die Systeme Mo-UN bzw. Nb-UN widersprechen. Während nach [1] sowohl UN wie UC mit Niob reagieren - das UN zwar etwas weniger stark - (5  $\mu$  in 500 h) als das UC (10  $\mu$  in 500 h), trat im System Nb-UC bei 1200 °C während 8 h auch Reaktion ein, das System Nb-UN blieb aber während 4 h bei 1200 °C stabil.

Auch nach [15] reagiert UC mit Niob: in einer UC-20 Vol.% Nb Dispersionsprobe waren bei 1150 °C nach 192 h die kleinen Nb-Partikel vollständig, die großen zum Teil karburiert.

Für  $UO_2$  wird zwar von [14] und [20] bei  $1000^\circ C$  mit Niob Reaktion angegeben; nach [29] findet aber bei  $1150^\circ C$  und  $1300^\circ C$  während 3 h zwischen diesen beiden Stoffen noch keine Reaktion statt. [21] berichtet, daß zwischen  $UO_2$  u. Niob selbst bei  $2660^\circ C$  während 1 h keine Reaktion eintritt. In [26] wiederum wird bei  $2065^\circ C$  zwischen Niob und  $UO_2$  starke Reaktion gefunden.

### 2.11 Tantal

Für UN-Ta-Dispersionen wird für  $1230^\circ C$  von [14] Reaktion angegeben.

UC reagiert mit Tantal bei  $1000^\circ C$  nur schwach [22], soll aber bei höheren Temperaturen, nach [4] bei  $1800^\circ C$ , schon heftig reagieren. Zwischen UC und Tantal tritt nach [14] weder bei  $1000^\circ C$  während 24 h noch bei  $1800^\circ C$  während 2 h Reaktion auf. Nach [15] findet bei  $1150^\circ C$  während 192 h eine vollständige Karburierung dispergierter Ta-Partikel in einer UC-Matrix statt.

Zwischen  $UO_2$  und Tantal tritt nach [26] die erste Reaktion erst bei  $2295^\circ C$  auf, während bei  $2420^\circ C$  heftige Reaktion stattfindet. Nach [27] ist bei  $2800^\circ C$  Tantal mit  $UO_2$  während 10 min stabil. Nach [5] bildet Ta und  $UO_2$  eine intermetallische Phase bei  $2200^\circ C$ . Nach 6 h ist diese Phase etwa  $20\ \mu$  gewachsen.

### 2.12 Wolfram

Bis zum Schmelzpunkt von UN ( $2800^\circ C$ ) wurden zwischen UN und W keine Reaktionen beobachtet [23]. Für UC wird von [25] keine Reaktion bei  $1900^\circ C$  während 2 h angegeben; auch von [14] wird festgestellt, daß unterhalb  $2350^\circ C$  UC mit Wolfram nicht reagiert. Nach [24] dagegen findet bei  $1800^\circ C$  eine schnelle Reaktion mit UC statt. Es wird aber angenommen, daß im UC noch  $U_2C_3$  oder  $UC_2$  vorhanden war.  $UO_2$  ist mit Wolfram nach [27] verträglich bis zum Schmelzpunkt von  $UO_2$  (Versuchsdauer 10 min). Nach [28] wurde bei  $2100^\circ C$  nach 2 h und nach [21] bei  $2660^\circ C$  nach 1 h noch keine Reaktion festgestellt. [26] dagegen

gibt an, daß zwischen  $\text{UO}_2$  und Wolfram die erste Reaktion bei  $1785^\circ\text{C}$  und schnelle Reaktion bei  $2600^\circ\text{C}$  stattfindet. Auch in [5] wird berichtet, daß  $\text{UO}_2$  mit Wolfram bei  $2500^\circ\text{C}$  reagiert. Die Reaktionszone hatte nach 6 h eine Breite von  $300\ \mu$  erreicht.

### 3. Schlußbetrachtung

Bei dieser Aufführung bisher veröffentlichter Verträglichkeitsuntersuchungen von UN, UC und  $\text{UO}_2$  mit Metallen, kommt deutlich zum Ausdruck, daß in vielen Fällen die Versuchsergebnisse sich widersprechen und deshalb z. Tl. keine eindeutige Aussage über das jeweilige Verträglichkeitsverhalten zulassen. Neben dem Umstand, daß vielleicht viele Versuche, bei denen keine Reaktion feststellbar war, einfach zu früh abgebrochen wurden, dürften besonders Unterschiede in der Stöchiometrie, im Verunreinigungsgrad und - bei Verwendung von Pulvern - im Dispersitätsgrad der verwendeten Uranverbindungen, Gründe für die aufgetretenen Diskrepanzen sein. Der Einfluß der Stöchiometrie auf die Wechselwirkungen ist für alle drei Uranverbindungen nachgewiesen worden, wobei in allen Fällen Abweichungen nach beiden Seiten die Verträglichkeit herabsetzen. Sofern durch Zusätze (z.B.  $\text{PuO}_2$  zum  $\text{UO}_2$ ) unterstöchiometrische Zustände einphasig stabilisiert werden können, ist jedoch keine Verschlechterung der Verträglichkeit zu erwarten.

Bei Verträglichkeitsbetrachtungen über Uranmononitrid darf nicht unerwähnt bleiben, daß es einen verhältnismäßig hohen Stickstoffpartialdruck besitzt. UN zersetzt sich schon bei  $1600^\circ\text{C}$  mit einem  $\text{N}_2$ -Druck von  $10^{-4}$  Torr in Uran und Stickstoff. Dies bringt Reaktionsmöglichkeiten auch über die Gasphase mit sich.<sup>+) Beobachtungen hierzu liegen an den Systemen</sup>

+ ) Zwar ist beim UC und  $\text{UO}_2$  ein Gasphasentransport auch nicht völlig auszuschließen, er hat jedoch beim UN wohl die größere Bedeutung.

UN-Fe und UN-Cr bei 1300 ° vor. Man beobachtete die Bildung von Reaktionsprodukten auf dem Metall, ohne daß das UN und das Metall sich berührten [7]. Unter welchen Bedingungen im praktischen Bestrahlungsversuch bei hohen Temperaturgradienten der in der Zentralzone des UN freigesetzte Stickstoff eine kompatibilitätsbegrenzende Wirkung ausübt, ist unbekannt.



Literaturverzeichnis

- [1] S.Katz :High temperature reactions between refractory uranium compounds and metals. J. nucl. mat. 6, S.172 (1962)
- [2] R.M.Dell, M.Allbutt: The nitrides and sulphides of uranium, thorium and plutonium: a review of present knowledge, 1963, U.K.A.E.A. AERE-R 4253
- [3] "Annual Technical Progress, Fiscal Year 1961", NAA-SR-6370 (August 15, 1961)
- [4] R.W.Endebroek (editor) :Properties of fuels for high-temperature reactor concepts, Nov. 1, 1962, BMI-1598
- [5] P.Giordano, E.Patrassi :IAR-BEE-Notiz Nr. 13
- [6] J.K.Dawson, R.Snowden :Chemical aspects of nuclear reactors Vol.1: Gas-cooled reactors, London, Butterworths, 1963, pp. 146-7
- [7] D.L.Keller :Development of UN, Sept. 1964, BMI-X-10100
- [8] D.Stahl, A.Strasser: Properties of solid solution uranium and plutonium carbides; in: Carbides in Nuclear Energy. Proceedings of a Symposium held at Harwell, Nov. 1963, Macmillan, 1964, Vol.I
- [9] H.J.Borchardt :Observations of reactions of uranium compounds. J.Inorg.Nucl.Chem.12, S.113 (1959)

- [10] S.J.Paprocki  
D.L.Keller Development of UN-stainless steel dispersion elements. BMI-1365 (1959)
- [11] S.J.Paprocki  
R.F.Dickerson Reactor Materials Properties Nucleonics 18 (11), 154-161 (1960)
- [12] High-temperature materials program progress report No.43, Part.A, 1965 GEMP-43 A.
- [13] B.Kopelmann Recent developments in dispersion type fuel elements. In: Fuel elements conference, held in Paris, Nov.1957, TID-7546, Book 1
- [14] Uranium ceramics data manual, DEG-Report 120 (R)  
U.K.A.E.A., 1960
- [15] R.M.Adams,  
A.Glassner Reactor Development Program Progress Report, 1963, ANL-6784
- [16] J.Sheinhartz  
J.Zambrow Dispersion type materials for fuel elements. SCNL-266, SCNC-273 (1958/59)
- [17] R.A.Smith, D.L.Keller  
et al Fabrication of Cermet-Fuel Elements; BMI-1650, 1657, 1661 (1963/64)
- [18] E.Gebhardt, G.Ondracek Untersuchungen im System Urandioxyd-Molybdän, in J.nucl.materials Vo.13 (1964), No.2
- [19] R.W.Dayton et al BMI-1607, 1674, 1659 (1962/63/64)
- [20] R.W.Nichols Ceramic fuel-properties and technology. Nuclear engineering vol.3, 29 (1958), p.327-33
- [21] J.J.Byerly Report AECL-1126
- [22] W.M.Phillips et al Compatibility and corrosion behavior of nucl. carbides, in: BMI-1441 (1960)

- [23] J.Bugl, D.L.Keller      Uranium mononitride a new reactor fuel. Nucleonics Sept. 1964
- [24] F.D.Carpenter          Investigation of carbides as cathodes for thermionic space reactors. GA-2670 (Dec.1961)
- [25] E.Barnes et al          Preparation, fabrication and properties of UC and U-UC cermets, AERE-M/R-1958 (May,1956)
- [26] Metallurgy division annual progress report for period ending Sept.1, 1959 ORNL-2839(1959)
- [27] J. Gangler              Uranium dioxide compatibility with refractory metals, carbides, borides, nitrides and oxides between 3500 ° and 5000 °F, 1960. NASA-TN-D-262
- [28] J.L.Daniel et al        Quarterly Progress Report, March 1963 HW-78118
- [29] S.J.Paprocki et al      BMI-1451 (1960)
- [30] M.W.Mallett et al      The kinetics of the zirconium-uranium dioxide reaction. BMI-1028 (1957)
- [31] D.K.Keller              Development of UN. BMI-X-10092
- [32] Kaznoff et al          Trans.Am.Nucl.Soc.8, 32-3 (May 1965)

