

# ATS

## Tiedotuslehti n:o 1/1974

---

---

Sisältö:

Osallistuminen 2nd International Conference on  
Structural Mechanics in Reactor Technology (SMiRT)  
Länsi-Berliinissä 10...14.9.

Esitelmä ATS:n kokouksessa 73-09-27  
A. Ranta-Maunus

Nordiskt seminarium om tillförlitlighetsteknik  
inom kärnkraftområdet

Esitelmä ATS:n kokouksessa 73-09-27  
J. Ervamaa

Betriebserfahrungen im Kernkraftwerk Lingen

Esitelmä ATS:n kokouksessa 73-11-08  
O. Deublein

Muistiinpanoja IAEA:n Wienin symposiumista  
8-12. lokakuuta -73.  
Aihe: Ydinvoimalaitosten käyttö- ja polttoaine-  
kokemukset

Esitelmä ATS:n kokouksessa 73-11-08  
I. Mikkola

ATS:n kokous 27.9.1973

DI Alpo Ranta-Maunus

Osallistuminen 2nd International Conference on Structural Mechanics in Reactor Technology (SMiRT) Länsi-Berliinissä 10...14.9.

#### YLEISTÄ

Rakenteiden mekaniikan käyttö reaktoritekniikassa on nopeasti kehittyvä alue, josta yli 1000 osanottajan konferenssi ja sen 400 pidettyä esitelmää antavat erittäin monipuolisen kuvan. Rakenteiden mekaniikalla tarkoitetaan sitä toimintaketjua, joka materiaaliominaisuuksista lähtien suunnittelee vaaditut toiminta- ja turvallisuusvaatimukset täyttävän rakenteen käyttämällä hyväksi analyttisiä, numeerisia tai kokeellisia menetelmiä.

Aihe voidaan ryhmitellä alaotsikoiksi eri tavoin riippuen siitä, tehdäänkö pääjaotus komponenttien, aineen vai kuormitustavan perusteella. Seuraavassa on esitetty epätäydellinen luettelo käsitellyistä aihepiireistä seuraamalla lähinnä komponenttijakoa:

- 1 Ydinpolttoaineen lämpö- ja jännitysanalyysit
- 2 Polttoaine-elementit, erityisesti värähtelykysymykset
- 3 Reaktoripaineastian mitoituskysymykset
- 4 Reaktoripaineastiateräkset
- 5 Käytönaikainen tarkkailu
- 6 Esijännitetty betoninen reaktoripaineastia
- 7        "-                    "-        suojakuori
- 8 Terässuojakuoren jännitysanalyysi
- 9 Suojakuoren kuormitustilat
- 10 Seismiset kuormat
- 11 Lämmönvaihtimet
- 12 Putkistojen mitoitus, erityisesti värähtely
- 13 Nopeitten reaktoreiden komponenttien värähtely

- 14 Murtumismekaniikka yleensä
- 15 Lämmönjohtuminen ja lämpöjännitykset
- 16 Ohuitten kuorien kimmoton käyttäytyminen
- 17 Plastisuus ja väsyminen
- 18 Elementtimenetelmä yleensä
- 19 Luotettavuusanalyysit

Kustakin numeroidusta aihepiiristä pidettiin 10...50 esitelmää, jotka jaettiin painettuina osanottajille; yhteensä 25 hyllysenttimetriä A5-kokoista kirjallisuutta.

#### PÄÄTÖKSENTEKIJÖIDEN HUOMIOON

Suomesta oli läsnä kuusi edustajaa, joista kukaan ei pitänyt esitelmää. Samanaikaisesti esimerkiksi norjalaisista esiintyi yhdeksän nimeä esitelmänpitäjien luettelossa. Läsnäolleet suomalaiset (Graae, Finnatom; Kettunen, Oy Huber Ab; Laine ja Päätiläinen, IVO; Rajamäki, VTT ja Ranta-Maunus, SFL) kokoonoutuivat 12.9. iltana pohtimaan yhteisesti syytä suomalaisen panoksen pienuuteen konferenssin alalla. Todettiin yksimielisesti vallitseva koulutuksen ja tutkimuksen puute: Suomesta löytyy kansainvälisen tason asiantuntijoita vain erittäin harvoilta edellä luetelluilta 19 erikoisalalta. Valvontaviranomaisen kannalta katsoen tämä on erittäin vakava ydinvoimalaitosten turvallisuuteen liittyvä puute, sillä käytettävissä ei ole riittävästi kotimaisia asiantuntijoita, joiden lausuntoihin SFL voisi nojautua. Vielä selvempänä tulee erikoismiesten puute esiin, kun Suomessa aiotaan aloittaa ydinvoimalaitoskomponenttien laajamittainen valmistus.

Viime päivinä on puhuttu painokkaasti energiapulan torjumisesta ydinvoimalaitoksia rakentamalla. Samanaikaisesti turvallisuuskriteerit ovat kiristymässä. Näiden kahden asian yhteensovittaminen edellyttää monipuolista tutkimustoimintaa, jossa yhtenä tärkeänä osana on rakenteiden mekaaniseen käyttäytymiseen liittyvän kansainvälisen kehityksen seuraaminen.

Tällöin 2nd SMiRT:n painetut esitelmät antavat sopivan vertailutason, jolle voidaan tärkeimmiksi katsottavilla aloilla pyrkiä. Edellä numeroidut 19 alaa ovat nähdäkseni sen laajuisia, että sopivan peruskoulutuksen saanut tutkija voi noin kahdessa vuodessa omaksua kansainvälisen tiedon tason, jos hän seuraa vain yhtä luetelluista aiheista. Jotta maamme tiedollinen kehitysmaa-asema ei pääsisi pahentumaan nopeana jatkuvasta teknisestä kehityksestä huolimatta, ehdotan, että

- 1 Perustetaan välittömästi useita tutkijan toimia sopivaan valtion laitokseen
- 2 Korkeakoulujen opetusohjelmia suunniteltaessa otetaan huomioon "Structural Mechanics in Reactor Technology".

#### HAVAINTOJA ESITELMISTÄ

M u r t u m i s m e k a n i i k k a. Rakenteiden mekaniikassa aikaisemminkin havaittu ominaisuus näkyy erittäin selvästi murtumismekaniikassa: amerikkalaiset rakentavat suuria ja kalliita koekappaleita, joista saadaan arvokasta kokeellista tietoa. Eurooppalaiset tyytyvät halvempiin kokeisiin ja pyrkivät suorittamaan teoreettiset tarkastelut mahdollisimman pitkälle. Kiinnostavia koetuloksia esitellään erityisesti esitelmissä G 4/1 ja 5/1. Laskentamenetelmien vuoksi suositeltavia ovat taas esitelmät G 4/7 ja 5/5 sekä normeja valottavana G 5/2.

E l e m e n t t i m e n e t e l m ä s t ä pidettiin lukuisia esitelmiä. Ne voidaan ryhmitellä esimerkiksi seuraavasti

- Suurista kaupallisista ohjelmapakkauksista kertovat esitelmät, kuten M 1 -istunto.

- Teoreettiset esitelmät, joissa tarkasteltiin menetelmän suppenevuutta tai ehdotettiin parannuksia nykyiseen käytäntöön (M 2).
- "Uudet" sovellutusalueet, kuten plastisuusteoria (M 3).
- Tietojenkäsittelytekniikka (M 4).

Reaktoripaineastian jännitys-analyysi. Yhdealueiden jännitysjakautumien määrittämiseksi esitettiin myös analyyttisiä menetelmiä, joiden käyttöä perusteltiin pienillä kustannuksilla. Useat puhujat vertasivat eri elementtiverkoilla laskettuja tuloksia toisiinsa sekä mahdollisiin tunnettuihin analyyttisiin ratkaisuihin. Esitelmässä G 1/11 esitettiin selvä ehdotus yhdealueen tarkastelussa tarvittavista elementtityypeistä: 3-ulotteista elementtiä on käytettävä painevesireaktorin yhteydessä sekä paineesta että lämpötilasta aiheutuvia jännityksiä laskettaessa; kiehutusreaktorin paineastian yhdealueen jännitykset saadaan eräissä tapauksissa riittävän tarkasti 2-ulotteista elementtiä käyttämällä.

Putkistojen värähtelystä pidettiin muutamia esitelmia (F 5). Niistä sai sen vaikutelman, että asia on tärkeä mutta keskeneräinen. Vaikeutena lienee todellisuutta vastaavien koeolosuhteiden luominen laboratoriossa. Putkien käyttäytymistä erityyppisissä rajakuormatilanteissa selvitettiin istunnossa F 4.

Plastisuusteorian esitelmöitsijöistä useimmat olivat puolalaisia tai italialaisia. Tietokoneaikakausi näyttää astuneen myös plastisuusteoriaan: lähes kaikki probleemamat oli formuloitu lineaarisen ohjelmoinnin avulla ratkaistaviksi optimointitehtäviksi (L 7). Tämän alan esitelmien puutteena pidän sitä, etteivät esimerkit liittyneet ydinvoimalaitoksiin.

V i r u m i s t a   j a   v ä s y m i s t ä   käsittelevät esitelmät (L 8) eivät myöskään liittyneet kovin kiinteästi tämän päivän ydinvoimalaitoksiin. Niissä käsiteltiin esimerkiksi virumista ja väsymistä samanaikaisesti tapahtuvina ilmiöinä. Metallien tutkijoilla on tavoitteena saada aikaan muistifunktio, joka kuvaa muodonmuutosnopeuden, jännityksen, jännityksenmuutosnopeuden, lämpötilan ja ajan riippuvuutta toisistaan. Muutaman esitelmän perusteella (L 4/8) on vaikea arvioida, mitä käytännön sovellutuksia nyt aloitetuilla tutkimuksilla tulee aikanaan olemaan.

## Seminaarin

NORDISKT SEMINARIUM OM TILLFÖRLITLIGHETSTEKNIK INOM KÄRNKRAFTOMRÅDET  
referointi Suomen Atomiteknillisen Seuran kokouksessa 1973-09-27

### 1. Yleistä

Seminaari järjestettiin Suomessa Säästöpankkiopistolla Espoon Matinkylässä 1973-09-02...04. Osanottajien kokonaismäärä oli rajoitettu 68:aan. Osanottajien lukumäärä maittain oli seuraava:

Norja	10
Ruotsi	25
Suomi	21
Tanska	11
Englanti	1 (kutsuttu raportoija).

Aloite seminaarin järjestämiseen oli tullut NKA:n koordinaattorilta civ.ing. F. Marcukselta. Seminaarin ohjelman laati ja järjesti yhteispohjoismainen järjestelytoimikunta. Seminaarin käytännöllisistä järjestelyistä vastasi Valtion teknillinen tutkimuskeskus.

Seminaarin tarkoituksena oli antaa yleistä informaatiota luotettavuus-tekniikasta, lisätä mielenkiintoa sen hyväksikäyttöön sekä tarjota alan asiantuntijoille mahdollisuudet esittää erityisalueilta saatuja tuloksia.

### 2. Raportit ja keskustelut

Seminaarin ohjelmassa oli 22 esitelmää,

Norja	2
Ruotsi	10
Suomi	5
Tanska	4
Englanti	1.

Aihepiiriensä perusteella oli raportit jaettu neljään ryhmään:

1. Luotettavuustekniikka ja sen käyttökelpoisuus ydinvoima-alueilla
2. Tilastotietojen keruu, käsittely ja hyväksikäyttö
3. Luotettavuustekniikan hyväksikäyttö pohjoismaissa
4. Esimerkkejä luotettavuustekniikan hyväksikäytöstä ja saaduista tuloksista.

Raporttien nimet ja niiden ryhmittely käyvät selville liitteestä 1.

Ensimmäisessä ryhmässä esitettiin neljä raporttia, jotka käsittelivät yleistä luotettavuusteoriaa ja metodiikkaa, luotettavuusanalyysin käyttöä systeemianalyysissä ja päätöksentekoprosesseissa, syy-seurausdiagrammia apuvälineenä luotettavuusanalyysissä sekä luotettavuusanalyysin käyttökelpoisuutta ja rajoituksia ydinvoima-alueella.

Raportteja seuraavassa keskustelussa käsiteltiin ensisijaisesti raporttien yksityiskohtia. Aihepiireistä voidaan mainita teknillisen järjestyksen käyttövarmuuden ja kunnossapitokustannusten välisen riippuvuuden tarkastelu ja näiden kustannusten optimointi, erilaisten tapahtumien riippuvuus toisistaan ja tämän riippuvuuden vaikutus ja huomioon ottaminen turvallisuusanalyysin yhteydessä sekä käsitteet riski, kokonaisriski ja riskimomentti.

Toinen raporttiryhmä käsitteli data-kysymyksiä, tilastotietojen keräystä, käsittelyä ja hyväksikäyttöä. Raportit valaisivat niitä näkökohtia, joita ydinvoimalaitosten käyttöhenkilökunnalla, voimayhtiöillä ja luotettavuusanalyysien tekijöillä on tähän kysymykseen.

Keskustelu tässä ryhmässä oli vilkasta. Keskeiset keskustelun aiheet olivat eri tyyppisille tilastotiedoille luotettavuusanalyysin yhteydessä asetettavat tarkkuusvaatimukset ja erityisesti vaikeudet saada tilastollisia luotettavuustietoja mekaanisista komponenteista sekä vaikeudet demonstroida niitä korkeita luotettavuusarvoja, jotka tietyillä mekaanisilla komponenteilla, esim. paineastioilla, voi olla. Esitettiin myös kysymys, onko luotettavuustekniikan käyttö ylipäänsä mahdollista, kun kysymyksessä ovat tällaiset mekaaniset komponentit. Myös sellaiset aihepiirit kuin

- erilaisia vikatyyppejä koskevan tilastotiedon kerääminen
- toistettujen kokeiden ja testien vaikutus komponenttien ja järjestelmän luotettavuuteen
- inhimilliset tekijät
- yhteisviat (common mode failure)

olivat esillä.

Kolmannen raporttiryhmän otsakkeena oli "Luotettavuustekniikan hyväksikäyttö pohjoismaissa". Tämän otsakkeen alla kuultiin myös ruotsalaisten ja suomalaisten turvallisuusviranomaisten mielipiteitä luotettavuusanalyysistä.

Sekä ruotsalaiset että suomalaiset turvallisuusviranomaiset soveltavat luotettavuusteknillisiä menetelmiä apuvälineenä turvallisuusanalyysissä ja -selvityksissä. Keskustelujen mukaan lähestytään tätä käytäntöä myös USA:ssa, jossa tähän asti on nojaututtu yksinomaan MCA- ja DBA-ajatteluun. Turvallisuuden kustannukset ja yleisön informointi olivat myös esillä keskusteluissa.

Käytännön sovellutuksia käsittelevään neljänteen raporttiryhmään kuului seitsemän esitelmää. Tämän ryhmän aihepiiri oli laaja ja se ulottui ydinvoimalaitoksen turvallisuuden kokonaisanalyysistä aina erilaisten venttiilien vikafrekvenssien vertailuun. Raporteissa käsiteltiin sekä käytettävyyteen että turvallisuuteen liittyviä aiheita pääpainon ollessa hienokeltaan viimeksi mainitulla alueella.

Raportteja seuraavassa keskustelussa käsiteltiin enimmäkseen yksityiskohtia. Luonteeltaan yleisemmät kysymykset ja kommentit esitettiin seminaarin loppukeskustelussa.

Loppukeskustelun keskeisinä aiheina olivat tilastollisten luotettavuustietojen keräämiseen liittyvät kysymykset. Seuraavassa eräitä tärkeimpiä ja keskeisimpiä aiheita:

- tietojen keruun päämäärät ja tarvittava data
- mahdollisuudet tietojen saamiseen eri alueilla
- tietojen keruun systematisointi ja koordinointi
- tietojen muokkaus ja esittäminen
- olemassa olevien tietojen hyväksikäyttö

- tietojen keruun organisointi pohjoismaissa ottaen huomioon Nordel'in toiminta tällä alueella sekä mm. olemassa olevat eurooppalaiset ja muut ulkomaiset tietojenkeräysjärjestelmät.

Pohjoismaisen yhteistyön, toiminnan koordinoinnin ja standardoinnin merkitystä painotettiin myös yleisesti.

NORDISKT SEMINARIUM OM TILLFÖRLITLIGHETSTEKNIK INOM  
KÄRNKRAFTOMRÅDET

TILLFÖRLITLIGHETSTEKNIKEN OCH DESS ANVÄNDBARHET INOM  
KÄRNKRAFTOMRÅDET

I ÖVERSIKT AV TILLFÖRLITLIGHETSTEKNIKENS  
METODER

Tekn.lic. J. Ervamaa

II PÅLITELIGHETSTEKNIKKENS ROLLE  
I ØKONOMISKE OG SIKKERHETSMESSIGE  
ANALYSER OG BESLUTNINGER

Siv.ing. O. Ørjasaeter

III ORSAKS-KONSEKVENSANALYS SOM VERKTYG  
FØR KVALITATIVE TILLFØRLITLIGHETSSTUDIER

Civ.ing. D. Nielsen

IV TILLFØRLITLIGHETSTEKNIKENS NUVARANDE  
ANVÄNDBARHET OCH BEGRÄNSNINGAR INOM  
KÄRNKRAFTOMRÅDET

Civ.ing. B. Byström, ing. B. Andersson

INSAMLING, BEARBETNING OCH UTNYTTJANDE AV  
STATISTISKA DATA

V TILLÄMPNING AV TILLFØRLITLIGHETSTEKNIK-  
ETT DATAPROBLEM

Øvering. O. Bjørklund

VI            INDSAMLINGEN AF DRIFTS- OG HAVARIDATA HOS  
              KRAFTVAERKERNE

Lic.techn. Rich. Hansen

VII           COLLECTION AND TREATMENT OF  
              RELIABILITY DATA FOR NUCLEAR  
              PLANT

Prof. B. McHugh

VIII          ERFARENHETER FRÅN INSAMLING AV FELDATA  
              VID OSKARSHAMNSVERKET

Driftchef S.O. Hilding

IX            RELIABILITY DATA SERVICE AND PRACTICAL  
              RESULTS IN THE NUCLEAR POWER FIELD

Mr. E. R. Snaith

ÖVERSIKT ÖVER TILLFÖRLITLIGHETSTEKNIKENS  
TILLÄMPNING I DE NORDISKA LÄNDERNA

X            DANMARK

Civ.ing. D. Nielsen

XI           FINLAND

Tekn.lic. J. Ervamaa

XII          NORGE

Inst.ing. A. Holen, civ.ing. O. Ørjasaeter

XIII        SVERIGE

Övering. O. Björklund

XIV FINSKA SÄKERHETSMYNDIGHETERS SYNPUNKTER  
PÅ TILLFÖRLITLIGHETSANALYS

Tekn.dr A. Vuorinen

XV SVENSKA SÄKERHETSMYNDIGHETENS SYNPUNKTER  
PÅ TILLFÖRLITLIGHETSANALYS

Civ.ing. T. Nilsson

KONKRETA EXEMPEL PÅ TILLÄMPNINGAR INOM TILLFÖR-  
LITLIGHETSTEKNIKEN SAMT ERHÅLLNA ERFARENHETER

XVI ERFARENHETER AV ANVÄNDNING AV SANNOLIK-  
HETSANALYS VID EN SVENSK STUDIE AV NÄRFÖR-  
LÄGGNINGSPROBLEM

Civ.ing. P. Linder

XVII TILLFÖRLITLIGHETSTEKNISKA ASPEKTER PÅ  
PLANERINGEN AV LOVISA I OCH II

Tekn.lic. B. Regnell

XVIII ANALYS AV SÄKERHETSSYSTEM

Civ.ing. H. Tuxen-Meyer

XIX RELIABILITY OF COMPUTER SYSTEM  
IN LOVIISA

Dipl.ing. O. Laakso

XX JÄMFÖRELSE AV ELMOTORMANÖVRERADE OCH  
PNEUMATISKT MANÖVRERADE VENTILER UR FEL-  
FREKVENSSYNPUNKT

Ing. B. Andersson

XXI TILLFÖRLITLIGHETSBEDÖMNINGAR VID KONSTRUK-  
TION AV HJÄLPKRAFTSYSTEM I EN KÄRNKRAFT-  
STATION

Civ.ing. R. Fransson

XXII VAL AV MATARVATTENPUMPAR SOM EXEMPEL  
PÅ ANALYS AV ALTERNATIVE SYSTEMUTFORM-  
NINGAR

Civ.ing. H. E. Kongsø, civ.ing. D. Nielsen

Betriebserfahrungen im Kernkraftwerk Lingen

1. Allgemeines

Das Kernkraftwerk Lingen wurde im Auftrage der Vereinigte Elektrizitätswerke Westfalen AG (VEW), Dortmund, von der Allgemeine Electricitäts-Gesellschaft, AEG-Telefunken, Frankfurt (Main), in den Jahren 1964 bis 1968 innerhalb der planmäßigen Bauzeit von 48 Monaten betriebsfertig erstellt. Die Bauzeit schloß die Inbetriebnahmeuntersuchungen und einen vierwöchigen Probetrieb ein. Das Kraftwerk ist seit dem 1. Oktober 1968 - nunmehr 5 Jahre - in Betrieb.

Das Kernkraftwerk Lingen hatte bislang eine elektrische Nettoleistung von 240 MW und ist ausgerüstet mit einem Siedewasserreaktor, der durch Zwangsumlauf gekühlt wird. Die thermische Leistung des Reaktors beträgt 520 MW. Bild 1 zeigt ein vereinfachtes Schaltbild. Der im Reaktor erzeugte Primärdampf wird Wärmetauschern zugeleitet, in denen seine Wärme zur Erzeugung von Sekundärdampf ausgenutzt wird. Das entstehende Primärkondensat strömt über zwei hintereinandergeschaltete Unterkühler zum Reaktordruckgefäß im Naturumlauf zurück. Der Sekundärdampf wird in einem fossil beheizten Überhitzer mit einer thermischen Leistung von 220 MW auf 535 °C überhitzt. Der Dampfzustand vor der Turbine beträgt bei Vollast 50 at und 530 °C. Das Turbinenkondensat wird über die Vorwärmer zum Speisewasserbehälter geleitet und von dort über die Primärkondensatkühler zu den Wärmetauschern.

2. Einsatz des Kernkraftwerkes

Das Kernkraftwerk wird durch die Schaltleitung der Vereinigte Elektrizitätswerke Westfalen AG, Dortmund, nach den Erfordernissen des elektrischen Netzes eingesetzt. Das Kraftwerk wurde meist mit voller Leistung eingesetzt, infolge seiner niedrigen Brennstoffkosten. Seit Herbst 1970 wird es zur Regelung einer

Lastübergabe in einem Band von 210 bis 240 MW herangezogen. In diesem Lastbereich treten schnelle und vor allem sehr kurz aufeinander folgende Laständerungen auf. Das Kernkraftwerk ist für eine maximale Laständerungsgeschwindigkeit von 15 MW/min zwischen 40 und 100 % der maximalen Leistung ausgelegt. Es kann den geforderten Laständerungen ohne Schwierigkeiten folgen (Bild 2). Das Regelverhalten ist wesentlich besser als das der konventionellen Kraftwerksblöcke.

Die hohe Laständerungsgeschwindigkeit und das gute Regelverhalten eines Kernkraftwerkes bieten für das Netz vor allem dann Vorteile, wenn mehr und mehr Kernkraftwerke parallel im Einsatz sind. Es wird dann auch erforderlich sein, die schnellen Regelungen auf einen größeren Bereich auszudehnen. Im Kernkraftwerk Lingen ist die schnelle Laständerung (15 MW/min) zwischen 40 und 100 % Last grundsätzlich möglich. Wird jedoch das Kraftwerk über längere Zeit mit Halblast betrieben, so schwingt bei einer schnellen Laständerung auf 100 % der Neutronenfluß im Reaktor über den maximal zulässigen Neutronenfluß, was zu einer Schnellabschaltung führt.

Die Speisewassertemperatur ist bei Halblast entsprechend dem Druck des Entnahmedampfes aus der Turbine, der dem Entgaser zugeführt wird, niedriger als bei Vollast. Bei einer Leistungssteigerung wird eine gesteigerte Menge kälteren Speisewassers zum Unterkühler gefördert und dadurch das Primärkondensat stärker abgekühlt. Durch diese Temperaturabsenkung erhöht sich der Neutronenfluß im Reaktor sehr schnell. Im Kernkraftwerk Lingen kann die Leistung mit einer Geschwindigkeit von 15 MW/min von Halblast nur auf 90 % der vollen Leistung gesteigert werden. Der weitere Leistungsanstieg tritt entsprechend dem Temperaturanstieg im Speisewasserbehälter langsamer ein. Schnelle Laständerungen über größere Bereiche dürfen also nicht bei zu niedrigen Speisewassertemperaturen gestartet werden, bzw. man muß dafür Sorge tragen, daß die Speisewassertemperatur bei Teillast keine zu niedrigen Werte annimmt.

Reaktoren mit Naturwasserkühlung müssen zur Ergänzung des Spaltstoffes jährlich einmal außer Betrieb genommen werden. Der Zeitpunkt des Stillstandes

wird dabei mit den Anforderungen des Netzes und dem Betrieb der übrigen Kraftwerksblöcke eines Versorgungsgebietes abgestimmt. Bei diesen Planungen besteht die Unsicherheit, inwieweit das Kernkraftwerk in der vorgesehenen Betriebsperiode ausgelastet wird und inwieweit die Vorausberechnung der Lebensdauer des jeweiligen Reaktorkerns stimmt. Die Auslastung des Kernkraftwerkes hängt ab von seiner eigenen Verfügbarkeit, aber auch von der Verfügbarkeit der übrigen Kraftwerksblöcke des Netzes und von der Netzbelastung.

Für das Kernkraftwerk Lingen war der erste Spaltstoffwechsel festgelegt auf den 1. Juli 1970. Nach den Vorausberechnungen sollte der Reaktorkern eine Energiemenge von 9 000 MWd/t Uran bis zum Erreichen der Überschußreaktivität "Null" liefern. In Wirklichkeit war diese aber bereits nach einem Abbrand von 8 450 MWd/t erreicht (Bild 3). Die berechnete Lebensdauer wich um 6 % von der wirklichen ab. Außerdem aber war die Auslastung des Kernkraftwerkes höher als im voraus angenommen wurde. Somit mußte der Reaktor im Sommer 1970 über einen Zeitraum von 2 1/2 Monaten mit der Überschußreaktivität "Null", d. h. mit voll ausgefahrenen Steuerstäben betrieben werden. Die Reaktorleistung fiel dabei täglich um 0,36 %, bezogen auf die Leistung des Vortages, und damit die elektrische Leistung des Kernkraftwerkes täglich um rd. 1 MW ab.

Abgesehen von diesem Leistungsabfall erwies sich der Betrieb mit voll ausgefahrenen Steuerstäben als zufriedenstellend. Der Reaktor konnte im großen und ganzen durch die Regelung der Umwälzpumpen den Laständerungen folgen. Bei einer Wiederinbetriebnahme nach einer Abschaltung wurden 85 % der Vollast innerhalb der im normalen Betrieb üblichen Zeit erreicht. Lediglich die Laststeigerung über die letzten 15 MW wurde langsam vorgenommen. Sie dauerte mehrere Stunden, nämlich so lange, bis das beim Stillstand entstandene Xenon wieder aufgezehrt und auf den normalen Pegel abgesunken war.

Diese Erfahrung zeigt, daß ein Kernkraftwerk auch über den geplanten Stillstandszeitpunkt hinaus betrieben werden kann, daß also Fehler bzw. Unsicher-

heiten bei der Planung des Stillstandes keine schwerwiegenden Nachteile nach sich ziehen. Auf Grund dieser Erfahrung kann sogar ein Leistungsabfall des Reaktors am Ende eines Spaltstoffzyklus eingeplant werden und so z. B. die Anreicherung des Erstkerns gesenkt und damit dessen Kosten vermindert werden. Je nach der Bewertung des Leistungsabfalls bzw. des Leistungersatzes durch andere Kraftwerksblöcke kann u. U. ein Betrieb mit voll ausgefahrenen Steuerstäben gegen Ende eines Zyklus wirtschaftlich sein.

Das Kernkraftwerk Lingen war für eine elektrische Nettoleistung von 240 MW ausgelegt. Es zeigte sich bei den Abnahmemessungen, daß infolge eines gegenüber der Vorausberechnung besseren Wirkungsgrades und einer Mehrleistung des Überhitzers die Leistung des Kernkraftwerkes gesteigert werden konnte. Die Auslegung der Turbine ließ jedoch diese Leistungssteigerung nicht zu. Die Turbine wurde in den Stillständen 1970 und 1971 geändert, so daß das Kernkraftwerk nunmehr mit einer Nettoleistung von 254 MW betrieben werden kann. Dabei wird der Reaktor nach wie vor mit der maximalen Leistung von 520 MW thermisch betrieben und im Überhitzer zusätzlich 30 t/h Dampf durch Einspritzen von Speisewasser erzeugt. Es zeigt sich, daß das Turboaggregat stets etwas reichlich ausgelegt werden sollte, so daß die in den Dampferzeugern dargebotene Wärmemenge vollständig ausgenutzt werden kann. Eine nachträgliche Änderung am Turboaggregat ist verhältnismäßig teuer. Ein Leistungsengpaß an anderen Komponenten ist leichter zu beheben.

### 3. Verfügbarkeit

Die Verfügbarkeit des Kernkraftwerkes betrug während der bisherigen 5 Betriebsjahre rd. 60 %. Im Sommer 1970 wurde ein 3monatiger Stillstand erforderlich, als bei der Turbinenrevision der Bruch von mehreren Schaufeln im Niederdruckteil der Turbine festgestellt wurde. Es handelte sich um Schwingungsbrüche. Die Laufschaufeln der betroffenen Stufen wurden abgedreht. Die Turbine konnte dann wieder in Betrieb genommen werden, hatte allerdings einen entsprechend schlechteren Wirkungsgrad. Im Sommer 1971 wurden die Expansionsstufen durch neue ersetzt und gleichzeitig die Leistung der Turbine gesteigert.

Der Stillstand 1972 wurde ausgelöst durch einen Brand in der Steuerölversorgung der Turbine. Bei der Reparatur eines elektrischen Magnetventils strömte Öl aus und tropfte auf die unter dem Ölversorgungssystem angeordneten Schnellschließventile der Umleitstation. Diese waren mit einer aufgespritzten Isolierung versehen. Das Öl drang in die Isolierung ein und entzündete sich an den heißen Oberflächen der Ventile. Von dort breitete sich das Feuer auf das gesamte Ölversorgungssystem aus. Die Löscharbeiten wurden dadurch erschwert, daß dort auch Abwasserleitungen aus PVC-Material verlegt waren. Die Löschmannschaft mußte mit Gasmaske arbeiten. Durch den Brand wurde die Steuerölversorgungsanlage vollständig zerstört. Außerdem wurden über dem Brandherd liegende Betonträger beschädigt. Die Reparaturarbeiten dauerten 6 Wochen.

Im Bereich der Ölversorgungsanlage sollten möglichst keine heißen Rohrleitungen oder Armaturen angeordnet werden. Wenn sie sich nicht vermeiden lassen, sollte deren Isolierung zum mindesten mit einer Blechabdeckung versehen sein. Selbstverständlich sollten sich in der Nähe der Ölversorgungsanlage keine brennbaren Stoffe befinden. Elektrische Kabel sollten feuergeschützt sein. Ferner müssen Durchführungen zu Nachbarräumen feuersicher und gasdicht sein, so daß sich weder der Brand noch der Qualm in andere Räume ausdehnen kann.

Während der Brandschädenbeseitigung wurden der Spaltstoff gewechselt und Inspektionen durchgeführt. Dabei wurden Risse in den Primärkondensatablaufrohren der Dampfumformer festgestellt (Bild 4).

Der Primärdampf kondensiert an der äußeren Oberfläche der Siederohre, in denen Sekundärdampf erzeugt wird. Das Primärkondensat wird durch vier in den unteren Rohrboden eingeschweißte Rohre zu einem Kugelsammler geführt. Die Risse in den Kondensatablaufrohren traten unmittelbar an den Einschweißstellen in die Rohrböden auf. Es lag an diesen Stellen eine Überbelastung vor, die vor allem durch die unterschiedlichen Ausdehnungskoeffizienten der Materialien bedingt war.

Die ursprünglichen Kondensatablaufrohre wurden entfernt und die ehemaligen Einschweißstellen ausgebessert. Dabei zeigte sich, daß das Bodenmaterial bis zu einer Tiefe von 35 mm durch die ursprünglichen Schweißungen in Mitleidenschaft gezogen war. Dieses von Rissen durchzogene Material wurde entfernt und durch Inconel nach dem MIG-Schweißverfahren ersetzt. Dazu mußte eine spezielle Drehvorrichtung entwickelt werden. Das Einbringen des Inconel erfolgte von Hand, da die Entwicklung einer automatischen Schweißmaschine zu lange gedauert hätte.

Die neuen Kondensatablaufrohre (Bild 5) wurden nicht mehr eingeschweißt, sondern mit einer Spanschraube, deren Kopf sich mittels Stelzen auf dem oberen Rand der Bohrung im Rohrboden abstützt, über einen Flansch an die Unterseite des Rohrbodens gepreßt. Die Dichtheit wurde mit einer Schweißlippe erzielt. Zur Entlastung des Flansches und der Schweißnaht am Kugelsammler wurden je Ablaufrohr 2 Wellring-Kompensatoren eingebaut. Die Reparaturarbeiten dauerten 7 Monate.

Seit September 1973 steht das Kernkraftwerk erneut still. Die Abschaltung erfolgte wegen Anstiegs der Aktivität im Sekundärkreis. Die Dampfumformer waren erneut undicht geworden und zwar an den Einschweißstellen der Siederohre in die Rohrböden. Außerdem zeigten sich Risse an den Übergängen der Rohrböden zur Behälterwandung. Die Schadensursache wird z. Z. noch ergründet. Es müssen nunmehr neue Wärmetauscher installiert werden. Vielleicht gelingt es, die alten Wärmetauscher nochmals vorübergehend bis zur Auslieferung der neuen in Betrieb zu nehmen.

Die langen Stillstände sind für die Verfügbarkeit und damit für die Wirtschaftlichkeit des Kernkraftwerkes von ausschlaggebender Bedeutung. Im Falle des Kernkraftwerkes Lingen wäre es vorteilhaft gewesen, anstelle von 2 großen Wärmetauschern mehrere kleinere aufzustellen. Man müßte sie so anordnen, daß die Reparaturarbeiten während des Betriebes möglich wären. Auf diese Weise wäre bei der Schadensbeseitigung ein Teillastbetrieb möglich gewesen. Dieses gilt nicht nur für die Wärmetauscher, sondern auch für Pumpen, Rohrleitungen und Armaturen.

Ein nicht unbeträchtlicher Teil der Nichtverfügbarkeit beruhte aber auch auf Stillständen für kurzzeitige Reparaturen. Sie wurden meist zu Zeiten einer niedrigen Netzbelastung, z. B. an Wochenenden, durchgeführt. Außerdem traten vor allem in den ersten Betriebsjahren häufig plötzliche unvorhergesehene Abschaltungen auf.

Die Mängel konnten bei den plötzlichen Störungen in fast allen Fällen innerhalb kurzer Zeit behoben werden. Dennoch sind plötzliche Abschaltungen sehr unangenehm für eine Schaltleitung, die für den Ersatz des Stromes zu sorgen hat.

Zur Erhöhung der Verfügbarkeit, was auf Grund der hohen Kapitalinvestitionen bei Kernkraftwerken für diese von noch größerer Bedeutung ist als für konventionelle Kraftwerksanlagen, muß die Zuverlässigkeit der einzelnen Anlageteile verbessert und außerdem die gesamte Anlage so aufgebaut werden, daß die Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten leicht und schnell ausgeführt werden können.

#### 4. Zuverlässigkeit der Anlageteile

Damit man eine hohe Zuverlässigkeit erreicht, dürfen in einem Kernkraftwerk nur ausgereifte und erprobte Anlageteile verwendet werden. Sie müssen mit einer hinreichenden Redundanz installiert werden. Auch auf den ersten Blick nebensächlich erscheinende Dinge, wie Auswirkung von Schmutz und Korrosionsprodukten bzw. deren Entfernung, müssen bedacht werden.

Im Kernkraftwerk Lingen wurden die meisten Schnellabschaltungen durch Störungen in den elektrischen und meß- und regeltechnischen Anlageteilen verursacht. Klemmenverbindungen, die wohl von Anfang an nicht richtig angezogen waren, haben sich während der ersten Betriebsmonate gelöst. Man sollte soweit wie möglich - dies gilt vor allem für die Meß-, Regel- und Steuerleitungen - künftig Steckverbindungen anstelle von Klemmenverbindungen verwenden.

Um Abschaltungen infolge von Fehlern an Meß- und Regelgeräten zu vermeiden, hat man für alle wesentlichen Systeme das 2-von-3-System vorgesehen, d. h. jede Meßstelle ist dreimal installiert. Ein Regel- bzw. Steuerimpuls, so z. B. eine Schnellabschaltung wird erst dann ausgelöst, wenn von den drei Geräten zwei übereinstimmend unzulässige Werte anzeigen. Dieses 2-von-3-System muß konsequent durchgeführt werden, und zwar von der Stromversorgung und von der Meßwertentnahme bis zum Anzeige- und Impulsgerät. Bei der so umfangreichen Anlage eines Kernkraftwerkes wird die strikte Trennung schon einmal übersehen. Auch im konventionellen Anlageteil eines Kernkraftwerkes sollte das 2-von-3-System bei allen Instrumenten, die eine Abschaltung auslösen, angewendet werden.

Die Zuverlässigkeit der einzelnen Anlageteile, auch die der meß- und regeltechnischen Geräte, muß vor ihrem Einbau in allen Fällen nachgewiesen werden. Der Nachweis läßt sich vereinfachen und der Arbeitsumfang auf eine Typenprüfung reduzieren, wenn die Anlageteile standardisiert werden. Dabei ergibt sich auch der Vorteil der Verringerung der Lagerhaltung. Die Standardisierung ist nicht leicht durchzuführen, da die Lieferfirmen verschiedene Unterlieferer zuziehen und außerdem die vorgeschriebenen Geräte oftmals nicht termingerecht geliefert werden können. Dennoch sollte man der Standardisierung mehr als bisher ein Augenmerk zuwenden.

Weitere Abschaltungen und auch Lastsenkungen waren erforderlich durch Aerosol-Aktivität im Kontrollbereich. Sie wird vor allem verursacht durch Undichtigkeiten an Stopfbuchsen, aber auch an Deckeldichtungen von Ventilen und Pumpen. Eine grundsätzliche Verbesserung dieser Maschinenteile ist sicherlich nicht einfach, aber des Nachdenkens wert. Solange man mit einer absoluten Dichtheit noch nicht rechnen kann, muß wenigstens die Luftabsaugung aus den einzelnen Räumen so gestaltet sein, daß die Aerosole sich nicht in alle Räume ausbreiten können. Man sollte die Luftabsaugung für jeden einzelnen Raum getrennt regeln, so daß man aus den verseuchten Räumen die Luft sofort über die Abluftkanäle abführen kann. Die Luft sollte möglichst nahe an den großen Armaturen und Apparaten abgesaugt werden, um bereits die Ausbreitung der Aerosol-

aktivität im Raum einzuschränken. Selbstverständlich erfordert eine einwandfreie Luftführung eine gute Abdichtung der einzelnen Räume gegeneinander.

Im Kernkraftwerk Lingen werden zahlreiche Kühler mit Flußwasser, das lediglich durch ein Kiesfilter gereinigt ist, betrieben. Verschmutzungen der Kühler, die vor allem während der Sommerzeit auftraten, führten zu Abschaltungen, da die Reinigungsarbeiten sonst mit einer zu hohen Strahlenbelastung von Personen verbunden gewesen wäre. Zumindest im Kontrollbereich sollte für Kühlzwecke ausschließlich vollentsalztes Wasser verwendet werden, das in einem Kreislauf strömt und rückgekühlt wird. Für die Rückkühler muß eine ausreichende Reserve vorhanden sein, so daß bei Reinigung des einen Kühlers auf den anderen umgeschaltet werden kann. Außerdem sollten die Kühler in Bereichen niedriger Strahlung angeordnet werden.

Mehrere Schnellabschaltungen wurden durch Verschmutzung in den Schnellabschalttanks ausgelöst. Im Kernkraftwerk Lingen ist für jeden Steuerstab - insgesamt sind 69 installiert - ein getrenntes Schnellabschaltsystem vorgesehen, das jeweils einen Wasser- und zwei Stickstofftanks enthält (Bild 6). Mit Hilfe des Stickstoffes wird das Wasser verdrängt und unter die Hohlkolben der Steuerstäbe gepreßt und damit diese in den Reaktor eingeschossen. Eine Buna-Blase trennt den Wasser- vom Stickstoffraum. Bei einem Defekt dieser Blase würde das Schnellabschaltsystem nicht mehr funktionieren. Deshalb ist am Boden der Stickstoffflaschen eine Zündkerze angeordnet, die durch einen elektrischen Stromfluß die Anwesenheit von Wasser signalisiert. Wenn bei mehr als einem Steuerstab ein Defekt vorliegt, tritt eine Schnellabschaltung ein.

Solche Schnellabschaltungen traten auf, wobei an den Zündkerzen am Boden der Stickstoffflaschen infolge von Verschmutzung fälschlicherweise Signale gegeben wurden. Der Schmutz, in der Hauptsache Flugrost, war beim Einbau der Behälter nicht hinreichend entfernt worden. Außerdem konnten, da die Behälterinnenwände nicht geschätzt waren, im Laufe der Zeit Korrosionsprodukte entstehen. Dieses Beispiel zeigt, daß beim Zusammenbau der Anlageteile auf Sauberkeit geachtet und auch die Auswirkung von Korrosionsprodukten und Abrieb bedacht werden muß.

## 5. Erleichterung der Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten

Aus der gesetzlichen Forderung an den Kernkraftwerksbetreiber, die Strahlenbelastung des Personals möglichst niedrig zu halten, muß der Zeitaufwand für Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten so gering wie möglich sein. Der Zeitaufwand hängt natürlich auch ab von der Qualität und Sachkenntnis des Personals, was durch eine gründliche Schulung verbessert werden kann.

Die Instandhaltungs- und Reparaturarbeiten hängen aber auch ab von den bereitgestellten Hilfsmitteln und Werkzeugen. Diese müssen unbedingt vor der Aufnahme des Reaktorbetriebes erprobt werden, solange noch keine radioaktive Strahlung vorliegt. Die Einbauten im Reaktordruckgefäß, z. B. die Blenden an der unteren Gitterplatte des Kerns, den Kernmantel, den Dampfabscheidering und die Steuerstäbe sollte man nach der Montage wieder ausbauen, und zwar unter Wasser mit den zur Verfügung stehenden Werkzeugen und bei Anwendung der später erforderlichen Maßnahmen zur Strahlenabschirmung. Auch die später benötigten Inspektionsgeräte müssen erprobt werden. Dabei wird offenkundig, daß für die Arbeiten am Druckgefäß eine besondere Bühne, die auf dem Flansch des Druckgefäßes aufgesetzt ist, bereitstehen sollte. Die Bühne der Brennstoffwechsellmaschine sollte bei den Stillständen über längere Zeit ausschließlich für Arbeiten im Brennstofflagerbecken zur Verfügung stehen. Im Kernkraftwerk Lingen befindet sich dieses direkt neben dem Reaktor. Der Raum über dem Reaktordruckgefäß wird beim Brennelementwechsel geflutet und steht dann über eine geöffnete Schleuse mit dem Brennstofflagerbecken in Verbindung. Es könnten die Arbeiten im Brennstofflagerbecken und am Reaktordruckgefäß gleichzeitig ausgeführt werden, wenn eine besondere Arbeitsbühne am Druckgefäß vorhanden wäre.

Bei der Erprobung der Werkzeuge vor der Inbetriebnahme muß auch die Zugänglichkeit zu den einzelnen Anlageteilen geprüft werden. Dies gilt nicht nur für die Einbauten im Reaktordruckgefäß, sondern auch für Flansche, Stopfbuchsen, usw. von Pumpen und Armaturen. Eventuelle Änderungen fallen sicherlich nicht leicht, denn sie verzögern unter Umständen die Inbetriebnahme

des Kraftwerkes. Spätere Instandhaltungsarbeiten dauern aber um ein Vielfaches einer solchen Verzögerung länger, denn dann kommt noch die Behinderung durch die radioaktive Strahlung hinzu.

Instandhaltungsarbeiten werden weiterhin erleichtert durch eine übersichtliche Anordnung der einzelnen Anlageteile in den jeweiligen Räumen. Es sollte - soweit wie möglich - stets nur eine Wandseite mit Rohrleitungen belegt werden, so daß bei den Reparaturarbeiten die Strahlung nur von einer Wandseite ausgeht und dort Abschirmungen, wie Bleiwände oder Bleimatten, leichter anzubringen sind.

Im Kernkraftwerk Lingen wurde eine neue Abschirmmethode erprobt. An einem Stahlgerüst werden leere Blechbehälter angebracht, in die mittels Druckluft Bleikugeln eingefüllt werden. Da die Bauteile leicht sind, können sie schnell vor Ort gebracht werden. Die Bleikugeln werden fernbedient eingefüllt.

Die Vorbereitung von Abschirmungsmaßnahmen und auch die Planung der Reparaturarbeiten würde wesentlich erleichtert, wenn für die Anlageteile und Räume, die während des Betriebes nicht zugänglich sind, Modelle ausreichender Größe vorhanden wären. In der chemischen Industrie sind solche Modelle üblich. Man sollte sie auch für den nuklearen Bereich von Kernkraftwerken einführen. Sie sind wohl teuer, bringen aber Ersparnisse bei der Instandhaltung. Solche Modelle könnten auch zum Teil Revisionszeichnungen ersetzen und sich damit teilweise finanzieren lassen.

Im Reaktorgebäude des Kernkraftwerkes wurde nachträglich eine kleine Werkstatt, die mit einer Bohrmaschine, einer Fräsmaschine und mehreren Werkbänken ausgerüstet ist, eingerichtet. Sie wird nur während der Stillstandszeiten des Reaktors benutzt. Eine solche Werkstatt erweist sich als zweckmäßig, denn es wird damit mancher Transport von Maschinenteilen nach außen, wobei jeweils eine gründliche Dekontamination erforderlich wäre, vermieden. Selbstverständlich bedarf die "heiße Werkstatt" einer besonderen Aufsicht durch das Strahlenschutzpersonal, damit dort eine Überbelastung des Personals durch Strahlen und vor allem eine Inkorporation von radioaktiven Stoffen vermieden wird.

Im Laufe der Betriebszeit mußten aktivierte Maschinenteile aus dem Reaktor-druckgefäß, wie Brennelementkästen und Kleinteile der Brennelemente, Lanzen für Incore-Instrumente und Spannring zur Verbindung des Kernmantels mit dem Abscheidering, ausgetauscht werden. Im Kernkraftwerk ist außerhalb des Reaktorgebäudes ein Feststofflager angeordnet, das zur Lagerung solcher Maschinenteile vorgesehen ist. Der Transport dorthin ist umständlich. Man sollte eine Lagerstätte innerhalb des Reaktorgebäudes vorsehen. Fürs erste sollte man im Brennstofflagerbecken einen Platz vorsehen, um dort solche Maschinenteile für eine längere Abklingzeit ablegen zu können.

Für ständig wiederkehrende Arbeiten, wie Reparatur an Brennstoffelementen und Auswechseln von Brennelementkästen, sollten die Geräte und Vorrichtungen verbessert werden, so daß die Arbeiten schnell und bei niedriger Strahlenbelastung durchgeführt werden können.

Diese Arbeiten werden im Kernkraftwerk Lingen am Rande des Brennstofflagerbeckens ausgeführt, wo entsprechende Bühnen und Haltevorrichtungen für die Brennelemente angebracht sind. Die Erfahrung zeigt, daß bei diesen Arbeiten schon einmal Werkzeuge hinunterfallen, wobei die Gefahr besteht, daß die Auskleidung des Brennstofflagerbeckens beschädigt wird. Es ist deshalb zu empfehlen, diesen Arbeitsraum so zu gestalten, daß er vom übrigen Lagerbecken abgetrennt werden kann.

Außerdem könnte der Arbeitsraum von Zeit zu Zeit leichter gereinigt werden. Es sammeln sich dort abgefallene Kleinteile von Brennstoffelementen, wie Federn und Schrauben, an und auch Uran, das beim Abreißen von Endstopfen der Brennelementrohre herausfällt.

Auch die normalen Wartungsarbeiten sollten im Hinblick auf die Verminderung der Strahlenbelastung erleichtert werden. Im Kernkraftwerk Lingen ist die Kontamination der Wasserkreisläufe des Primärsystems wohl überdurchschnittlich hoch. An den äußeren Oberflächen der Rohrleitungen herrschen Strahlungen von einigen r/h. An den Oberflächen, die mit dem Primärwasser direkt in Be-

rührung kommen, treten Strahlungen bis 40 r/h auf. Die starke Kontamination wird verursacht durch Ablagerungen, die rund zur Hälfte von Korrosions- und Abriebprodukten und zur anderen Hälfte von Spaltprodukten stammen. Durch Verbesserung der Spaltstoffelemente könnte die Strahlung nur um 50 % gesenkt werden. Die verbleibende Strahlung wäre aber immer noch so hoch, daß man die Räume während des normalen Betriebes nicht begehen kann. Demzufolge müßte man die Fernüberwachung verbessern. Die Dichtigkeit wasserführender Kreisläufe konnte durch Aerosol-Monitore, die in den Abluftkanälen anzubringen wären, überwacht werden. Unter ölgeschmierten Lagern bzw. unter Ölversorgungssystemen könnten Ablaufrinnen angeordnet werden, die nach außen führen, wo man ohne wesentliche Strahlenbelastung Undichtheiten erkennen könnte. Ferner könnte man die Lage der Rohrleitungen und deren Veränderungen durch Fernanzeigen überwachen.

Der Umfang der Wartungsarbeiten wird auch um so geringer, je kleiner die Anzahl der Systeme ist. Man sollte die verschiedenen Systeme so weit wie möglich integrieren. Ein weiteres Beispiel für die Verminderung der Wartungsarbeiten ist die Beleuchtung im Kontrollbereich. Statt der vielen Einzel-leuchten sollte man wenige Scheinwerfer installieren und für Reparaturarbeiten zusätzlich tragbare Leuchten benutzen. Damit wird der Zeitaufwand für das Auswechseln der Glühlampen vermindert.

#### 6. Strahlenschutz- und sanitäre Einrichtungen

Der Umfang der Instandhaltungs- und Reparaturarbeiten konzentriert sich bei einem Kernkraftwerk in besonderem Maße auf die Stillstandszeit, die im Normalfall einmal jährlich für den Spaltstoffwechsel anfällt. Für einzelne Arbeiten werden Spezialisten der Lieferfirmen zugezogen. Auch solche Mitarbeiter müssen die Strahlenschutzbestimmungen einhalten und dürfen nicht mehr als 3 rem je Vierteljahr an Direktstrahlung aufnehmen. Die Lieferfirmen müssen rechtzeitig darauf aufmerksam gemacht werden, daß sie das Montagepersonal für das Kernkraftwerk austauschen müssen. So z.B. würde man für die Reparatur

an vier Absperrschiebern einer konventionellen Anlage einen Spezialmonteur für eine Woche benötigen. Infolge der Strahlenbelastung braucht man jedoch im Kernkraftwerk vier Monteurs für je 1 1/2 Tage.

Außer den Spezialisten werden 100 bis 150 Maschinenschlosser je Stillstand benötigt. Dementsprechend müssen umfangreiche Umkleideräume und Waschgelegenheiten vorgesehen werden. Im Kernkraftwerk Lingen waren zunächst 50 Plätze installiert. Diese Anlage wurde inzwischen auf 150 Plätze erweitert. Auch diese Anzahl ist noch knapp bemessen. Da diese Anlagen nur einmal jährlich benutzt werden, liegt der Gedanke nahe, ob man nicht mobile Einrichtungen verwendet, die in den einzelnen Kernkraftwerken aufeinanderfolgend benutzt werden können. Eine Einsparung in der Gestaltung der sanitären Räume und des Monitorraumes läßt sich auch durch eine zweckmäßige Organisation des Arbeitsablaufes erzielen.

Das Personal von fremden Firmen wird in kleinen Gruppen für bestimmte Aufgaben eingesetzt und jeder Gruppe mindestens ein Mitarbeiter des Kraftwerkes beigelegt. Es wird im Kontrollbereich durchgehend gearbeitet. Bei jeder Gruppe ist ein Reservemann, der denjenigen vertritt, der eine Pause, z. B. für Frühstück und Mittagessen, einlegt. Diese Regelung läßt einen Massenandrang im Monitorraum, wo bei jedem Verlassen des Kontrollbereiches die Kontamination geprüft werden muß, und an den Waschplätzen vermeiden. Diese Freizügigkeit in der Wahl der Pausenzeiten erschwert natürlich die Kontrolle der Arbeitszeit. Andererseits aber wird auch der Unfallgefahr vorgebeugt, denn derjenige, der Ermüdungserscheinungen zeigt, kann jederzeit eine Pause einlegen. Es ist festzustellen, daß die einzelnen Teams Arbeitsunwillige oder auch Arbeitsunfähige von sich aus ausscheiden. Der besondere Umstand der Arbeiten schweißt die Arbeitsteams schnell zusammen.

Auch das Strahlenschutzpersonal muß während eines Stillstandes verstärkt werden. Beim Kernkraftwerk Lingen wurden in den bisherigen Stillstandszeiten acht bis zehn Mitarbeiter zusätzlich zu den vier vorhandenen eingesetzt. Ihre Aufgabe ist es, die Arbeitsbedingungen, wie Art der Schutzanzüge und Maske, für die einzelnen Gruppen festzulegen und die Einhaltung der Vorschriften zu kontrollieren.

ren. Außerdem obliegt ihnen die Beaufsichtigung der Dekontaminationsarbeiten an den einzelnen Arbeitsplätzen. Man müßte das Strahlenschutzpersonal, das einzelne Firmen zur Verfügung stellen, für die Zukunft noch aufstocken.

Die Strahlenschutzgeräte und Schutzkleidungen müssen selbstverständlich dem Bedarf eines Stillstandes angepaßt werden und nicht dem wesentlich kleineren Bedarf während des laufenden Betriebes.

Beim "maximal denkbaren Unfall" geht vom Reaktorgebäude trotz seiner Um-mantelung mit Beton eine nicht unbeträchtliche Strahlendosis aus. Der Raum, in dem sich das Personal bei einem solchen Unfall versammelt, sollte nicht gerade gegenüber dem Reaktorgebäude liegen, sondern abseits, so daß noch andere Trennwände, z. B. die des Turbinenhauses, zur Abschirmung der Strahlung beitragen.

#### 7. Erfahrungsaustausch zwischen Betrieb und Planung

Der Kontakt zwischen dem Lieferer des Kernkraftwerkes, der AEG, und dem Betreiber war und ist sehr eng. Der Lieferer wird über alle Vorkommnisse unterrichtet. Dennoch ist der Weg der Betriebserfahrungen vom Betreiber bis zum einzelnen Konstrukteur der Planungsfirma und demjenigen der vielen Untertierlieferanten schwierig und langwierig. Außerdem tragen zum Erfahrungsaustausch Institutionen bei, wie VGB, VDEW, TÜV, Atomforum und Euratom. Diese Institutionen leisten sehr nützliche Arbeit. Man erhält durch sie manchen Hinweis auf mögliche Betriebsstörungen und kann einzelne Anlageteile verbessern. Vor allem sollte der jeweilige Betreiber eines Kernkraftwerkes diese Einrichtungen möglichst lückenlos über aufgetretene Betriebsschwierigkeiten unterrichten, um andere Betreiber vor gleichen Schäden zu bewahren und solche vor allem bei Neubauten zu vermeiden.

In diesem Sinne habe ich heute über die Betriebserfahrungen im Kernkraftwerk Lingen berichtet und auch bei meinem Aufenthalt hier wertvolle Kenntnisse, die Sie bei Ihren Neubauten sammelten, erworben.

Bild 1

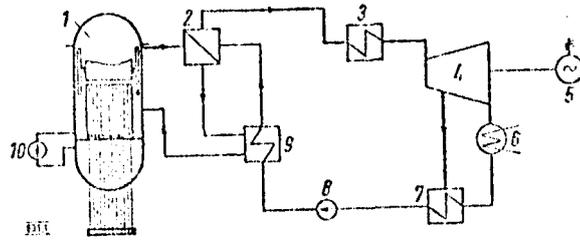


Bild 1. Vereinfachtes Schaltbild des Kernkraftwerkes Lingen

- |                                   |                       |
|-----------------------------------|-----------------------|
| 1 Reaktordruckgefäß mit Einbauten | 6 Kondensator         |
| 2 Dampfungformer                  | 7 Vorwärmanlage       |
| 3 Überhitzer                      | 8 Sekundärspießpumpe  |
| 4 Turbine                         | 9 Unterkühler         |
| 5 Generator                       | 10 Zwangsumwälzpumpen |

Bild 2

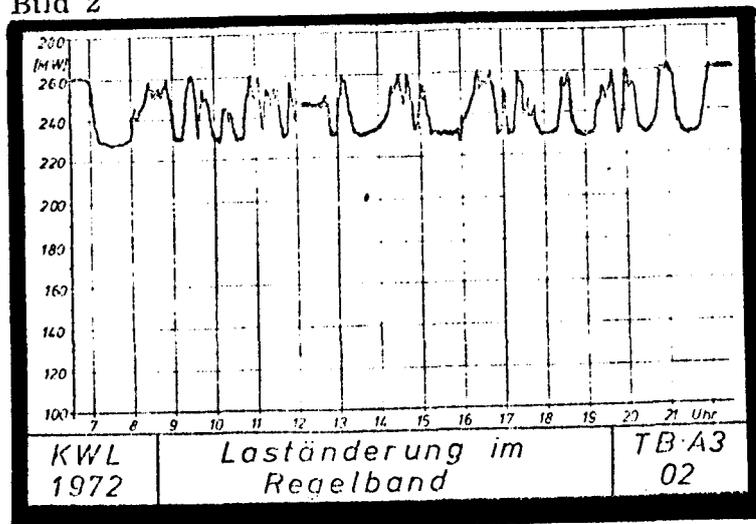


Bild 3

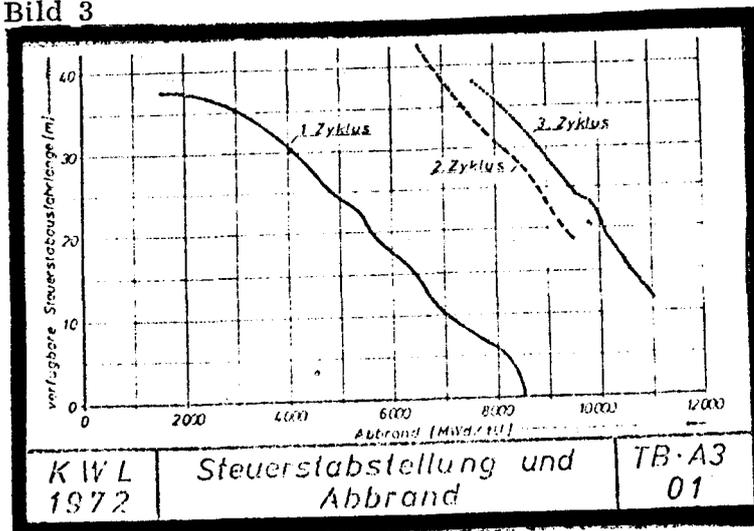


Bild 4

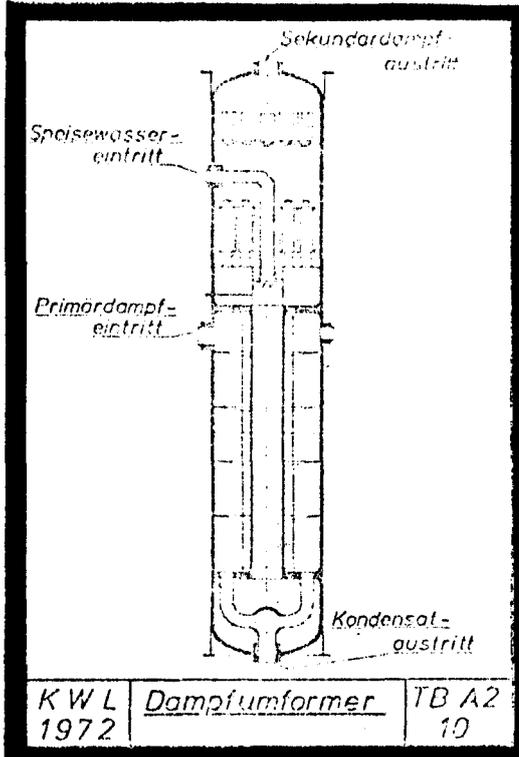


Bild 5

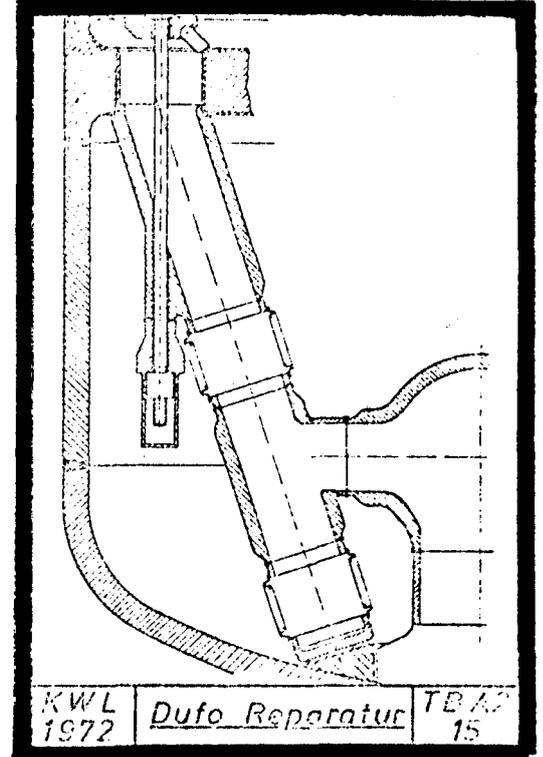
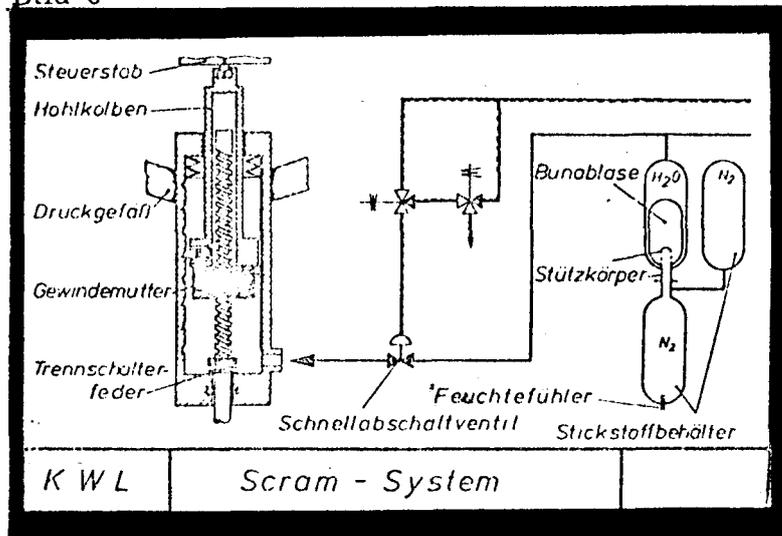


Bild 6



Ilkka Mikkola

Teollisuuden Voima Oy

Esitelmä ATS:n kokouksessa

1973-11-08

Muistiinpanoja IAEA:n Wienin symposiumista 8-12 lokakuuta -73

Aihe: Ydinvoimalaitosten käyttö- ja polttoainekokemukset

Luentopäivistä hahmoittui voimayhtiön edustajille, joille kurssin annin pääosa oli suunnattu, eräitä pääpiirteitä, joita pyritään luonnehtimaan seuraavassa.

1. Yleisesitelmillä katettiin sellaisten alan valtamaiden kuten USA, Kanada, Länsi-Saksa, Espanja ja Ranska ydinohjelmien viimeaikaiset kehitysvaiheet ja käytettävyytilastot. Yksittäisiä alkuvaikeuksia on tunnetusti ollut, mutta siellä, missä kaupallisten laitosten lukumäärä oikeuttaa tilastojen tekemiseen, tulokset osoittavat rohkaisevaa suuntausta. Mainittakoon ensinnäkin Yhdysvallat, joiden käytettävyytilasto antaa seuraavan yleistuloksen [1]:

Käyttövuosi no.	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7
Laitosten lukumäärä	15	10	7	5	5	3
Aikakäytettävyys	67	71	77	80	82	92

Ydinvoimalaitosten häiriöistä suurin osa on aiheutunut laitosten konventionaalisista osista (kuva 1). Keskimääräinen käytettävyys on ollut noin 72 %, suunnitellut seisokit 16 % ja muut seisokit noin 12 %.

Kanadan Pickeringin neljän laitoksen kapasiteettitekijä on vaihdellut arvoissa 70 % - 93 % ollen keskimäärin noin 82 % [2]. Saatujen kokemusten perusteella Kanadassa on päätetty rakentaa huomattava määrä uusia kotimaisia laitoja. Maissa, joissa kokemus on laaja, on suunniteltu rakennusohjelma - Englantia lukuunottamatta - tavattoman

laaja, esimerkkinä Länsi-Saksa (kuva 3) [3] huolimatta siitä, että Stadessa ja Würgassenissa on ollut alkuvaikeuksia ja suoranaisia konstruktiovikoja.

2. Laitoskohtaisissa esitelmissä tuotiin esiin melko kaunistelematta koettuja vaikeuksia ja heikkouksia rakenteiden, mekaanisten komponenttien ja polttoaineen suhteen, jopa provosoiden toimittajia puolustuspuheenvuoroihin. Samalla kävi ilmi mm, että eräissä tapauksissa vakavistakin polttoaineaurioista huolimatta laitosten vuotoja on voitu pitää kurissa siinä määrin, että vauriot eivät ole vaikuttaneet oleellisesti käytettävyyteen [4] .

Yksityiskohtaisista esitelmistä ilmeni muitakin alan tekniikan venyvyyteen luottamusta luovia seikkoja: Miten eräs tutkimusreaktori käsitellään käytöstä poistamisen jälkeen epäaktiiviseksi siten, että siitä tulee yleisölle avoin museo [5] ; miten mm. Staden reaktorisydämen pohjarakenteiden vikoja korjattiin sukeltajia apuna käyttäen [6] jne.

3. Käyttö- ja huoltohenkilökunnan koulutukseen ja jälleenkoulutukseen kiinnitetään entistä suurempi paino. Yhdysvalloissa vaaditaan käyttäjiltä eräänlainen laitoksen ajokortti, joka on voimassa kaksi vuotta, ja jonka kuulusteluun kuuluu mm. simulaattorikoe [7] . Koska suurin osa säteilyannoksesta saadaan tavallisesti vuosihuollon yhteydessä, tyypillisenä arvona GE:n mukaan 50 manrem/vuosi [8] (päästöjen ja normaalikäytön aikainen henkilökunta-annos on yleensä mitätön), on kiinnitetty huomiota seuraaviin seikkoihin: huoltonäkökohtien huomioonottaminen laitoksen suunnittelussa, huollon ohjelmointi ja yleinen säteilysuojelukoulutus.

Lisääntynyt laadunvarmistustoiminta ja huollon suunnittelu ovat lisänneet suunnittelu- ja kunnossapitohenkilökunnan tarvetta, ja jälleenkoulutusvaatimus saattaa edellyttää ylimääräistä käyttövuoroa [9] . Näiden näkemysten taustana on kuitenkin toisaalta pidettävä mielessä USA:ssa aikaisemmin vallinnut niukka laitospiehitus.

4. Polttoainepuolella huomio kiinnittyi erityisesti mm. siihen seikkaan, että laitosten käyttöorganisaatiot ovat pyrkineet suureen omaan valmiuteen polttoaineen lataus- ja käyttövaihtoehtoja koskevissa laskelmissa. Muilla osapuolilla ei käsityksen mukaan ole yhtä voimakasta intressiä käyttäjän kannalta edullisimman ratkaisun aikaansaamiseen. Polttoainetoimittajan tehtäväksi jää tämän valmiuden saavuttaneen asiakkaan kohdalla valitun ratkaisun tarkistuslaskelmat ja hienotrimmaus.

Kuvattaessa mahdollisuuksia lisätä polttoainehuollon joustavuutta eri toimenpitein laitoksella mainittiin stretch-outin ja varaelementtien ohella eräina keinoina mm. jo käytetyistä polttoainepuista paikalle jätetty reservi sekä mahdollisuus jättää edelleen reaktorisydämeen osa jo poistettavaksi suunnitellusta polttoaineesta [10] .

5. Polttoaineen kuormitusolosuhteissa on viime aikoina pyritty konservatiiviseen suuntaan. Asian taustaksi lienee paikallaan muistuttaa tässä yhteydessä mieliin, että aikanaan reaktoreita pidettiin eri tahoilla säätöominaisuuksiltaan erittäin nopeina. Niinpä tämän esittäjä muistaa hyvin viiden vuoden takaa "Kraftwerkautomatizierung"-päivien esitelmän, jossa esitettiin kiehutusvesireaktorin tehonmuutosnopeutta 60 %/minuutti. Wienissä eräät vakavimmat polttoainevauriot raportoitiin juuri ko. laitokselta. Muissakin esitelmissä ilmeni pyrkimys välttää tarpeettomia, nopeita suuria tehon muutoksia [11,12,4] . Eräällä painevesireaktorilla vuosi sitten ilmenneet säätösauvakoneistojen kulumisviat ovat niin ikään esimerkki pitkälle vieästä säätösystemin suunnittelusta, jossa ei otettu huomioon laitoksen muita vaatimuksia.

Laitoksilla, joiden polttoaineen suunnitteluperusta on järkevä, laadun varmistus on viety pitkälle ja käytössä on otettu tarkkaan huomioon polttoaineen vaatimukset, ovat polttoainekokemukset hyviä [13,14] . Esityksien aikana voimistui meikäläisen kuulijan mielessä käsitys Haldenin

koetulosten uraanuurtavasta merkityksestä. Siellähän pystytään suoraan mittaamaan kuormituksen aikana sellaisia polttoaineen käyttäytymisen piirteitä, joista muualla on tehty päätelmiä vasta käytön jälkeisten havaintojen perusteella.

6. Muut esitykset, jotka edellä viitattujen lisäksi on poimittu jossakin mielessä tärkeinä esille monisteista, on mainittu viiteluettelossa numeroin [15,16,17,18].
  
7. Painetut esitelmät: Suomen valtion delegoimina osanottajina olivat paikalla tekn. tri Palmgren Imatran Voima Osakeyhtiöstä sekä tekn.lis. Vapaavuori ja dipl.ins. Mikkola Teollisuuden Voima Oy:stä. Esitelmät jaettiin osanottajille ja ilmestynevät lisäksi aikanaan IAEA:n julkaisuina.

Viitteet:

- [1] paperi 101 Donald J. Skovholt: Performance and Reliability of Operating U.S.A. Nuclear Power Plants
- [2] paperi 102 E.K. Keane: Experience with Canadian Nuclear-Electric Generating Stations
- [3] paperi 48 Werner H.F. Huenlich: Performance of Nuclear Power Stations in the Federal Republic of Germany
- [4] paperi 6 N. Eickelpasch: Experience with Core Performance during more than 6 Years of KRB Power Station Gundremmingen
- [5] paperi 20 William A. Pryor: Transport of Irradiated Fuel and Control Rods from a Decommissioned Power Reactor
- [6] paperi 8 A. Götz: Experience from Operating of Stade Nuclear Power Plant during First Fuel Cycle and First Refuelling
- [7] paperi 34 P.F. Collins: Reactor Operator Training Programs Utilizing Nuclear Power Plant Simulators
- [8] paperi 52 G.B. Lloyd: Maintenance and in-service Inspection Experience at Large Nuclear Power Plants
- [9] paperi 49 H.L. Ottoson: Operating Experience with San Onofre Nuclear Generating Station

- [10] paperi 15 H.Schenk: Experience from Fuel Performance at KWO
- [11] paperi 11 Experience d'Exploitation de la Centrale Nucleaire des Ardennes
- [12] paperi 33 Elfás Velasco Garcia: Kokemuksia Santa Maria de Garonan kiehutusvesi-reaktorilta Espanjasta.
- [13] paperi 29 Y. Kuge: Experience on Fuel and Core Performances at Tsuruga Nuclear Power Station
- [14] paperi 14 Sten O. Hilding: Experience from Operation of Oskarshamn Unit No. 1
- [15] paperi 10 M. Feger: Formation du personnel des centrales nucleaires d'electricite de France
- [16] paperi 19 R. Hock: Fission Product Release after Reactor Shutdown
- [17] paperi 28 R. Billingham: Waste Management Experience with Westinghouse P.W.R.'s
- [18] paperi 5 O. Deublein: Repairing the primary heat exchangers and a circulation pump at KWL

TABLE 8FREQUENT CAUSES OF OUTAGES DURING OPERATING LIFE

<u>Equipment Causing the Outage</u>	<u>Number of Outages</u>
Valve (all types) and Pump Seals	27
Reheater, Steam and Feedwater Lines	13
Turbine and Associated Controls	12
Feedwater Controls	10
Air Leaks into Condenser or Turbine	7

TABLE 9CUMULATIVE OUTAGE DURATION FOR VARIOUS FAILURES

<u>Equipment Causing the Outage</u>	<u>Outage Duration (Hours)</u>
Turbines	2059
Valves (all types) and Pump Seals	844
Steam Generator (tube leaks)	806
Main Transformers	548

TABLE 10

COMPARISON OF NUCLEAR AND FOSSIL POWER PLANTS

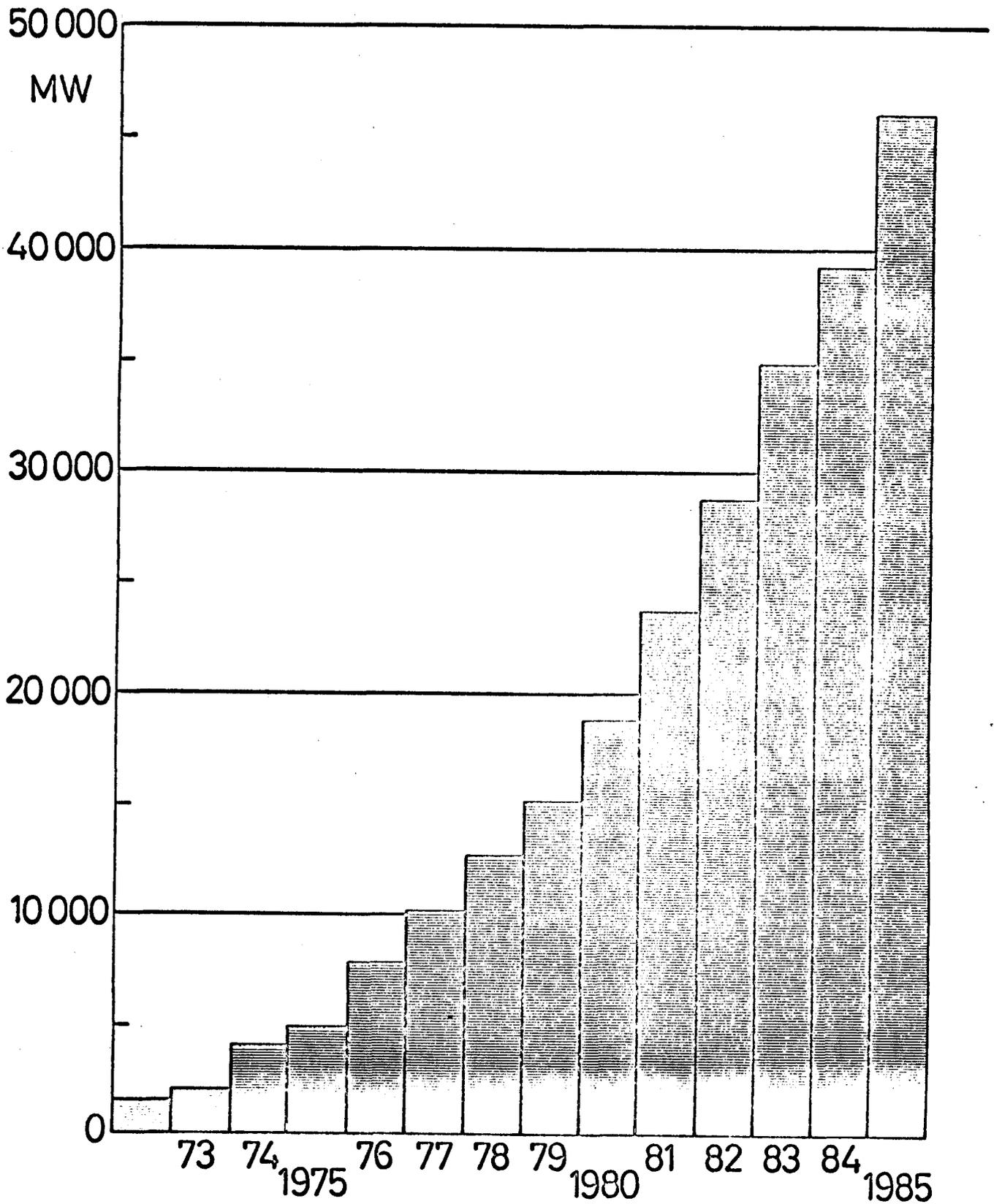
1980, 91, 72

Type of Facility	Average Hours of Outage per Unit per Year				Percent of Total Time Shutdown	Percent Availability
	Forced Outages		Scheduled Outages	Total (Hours)		
	Systems Unique to Either Nuclear or Fossil Units	Systems Common to Both Nuclear and Fossil Units				
Units Producing 390 to 600 MWe						
Nuclear*	217.6	77.8	1688	1983	22.5	77.5
Fossil***	356.7	265.9	977	1600	18.2	81.8
Units Producing 600 and up MWe						
Nuclear**	601	482	1212	2295	26.1	73.9
Fossil***	502	671	1007	2180	24.8	75.2

\* Includes Ginna, Connecticut Yankee, Point Beach Nos. 1 and 2 and San Onofre.

\*\* Includes Dresden 1, 2, and 3, Millstone, Monticello, Nine Mile Point, Oyster Creek, Palisades, Quad Cities 1 and 2, and H. B. Robinson

\*\*\* The average annual experience per generating unit for the twelve year period 1960 to 1971 inclusive.



VDEW | Expected nuclear power plant capacity growth in the Federal Republic of Germany | 1973

Figure 8