

Exkursion nach Ungarn vom 7.-15. August 1999



Vorworte

- 1 Motivation
- 2 Vorläufiges Programm
- 3 Beschreibung der Exkursionsziele
- 4 Land und Leute
- 5 Literatur

A.-K. Krüssenberg, F. Schäfer, A. Schaffrath

Februar 1999

Vorwort zur KTG Ungarn-Exkursion

Nicht nur die dringende Frage der Energieversorgung mit allen Aspekten, sondern auch die völkerverbindenden Gesichtspunkte stehen im Vordergrund der "Energie-technik-Tour" der Ortssektion Sachsen sowie der Fachgruppe Thermo- und Fluidynamik der Kerntechnischen Gesellschaft (KTG) e.V. nach Ungarn.

Insbesondere das gutnachbarschaftliche Verhältnis zu den Staaten Osteuropas ist für uns außerordentlich wichtig. Hierbei geht es um den weiteren Ausbau eines europäischen Energieverbunds mit dem Ziel, eine nachhaltige, d.h. sichere, umweltfreundliche und wirtschaftliche Energieversorgung in Europa zu fördern. Hierbei ist die Nutzung der Kernenergie eine wichtige Option.

Durch die aktuelle politische Konstellation ist in Deutschland der Fortbestand der Kerntechnik in Frage gestellt. Hierbei werden positive Aspekte der Nutzung der Kernenergie wie

- die Verminderung der CO₂-Emission,
- die Verminderung der Importabhängigkeit von Öl und Gas,
- die Streckung der Vorräte für kommende Generationen, sowie
- der Erhalt von hochqualifizierten Arbeitsplätzen

in breiten Kreisen der Öffentlichkeit, die leider noch immer zu wenig an Fragen der Energieversorgung interessiert sind, allzu oft vergessen.

Ich möchte meiner Hoffnung Ausdruck verleihen, daß solche Exkursionen auch weiterhin stattfinden können und dazu beitragen, die Kompetenzerhaltung in der Kerntechnik zu sichern. Mit ihrem Vorhaben, die junge Generation in die konzeptionelle Arbeit einzubinden, leistet die Ortssektion Sachsen und die Fachgruppe Thermo- und Fluidynamik hierzu einen wichtigen Beitrag.

In diesem Sinne wünsche ich den Mitgliedern der Ortssektion Sachsen viel Glück und Erfolg und den Teilnehmern an der Exkursion viele anregende Gespräche und interessante Einsichten. Ich möchte die Ortssektion zudem darin bestärken, sich auch künftig in der energiepolitischen Diskussion lautstark zu Wort zu melden.

Prof. Dr. rer. nat. F.-P. Weiß

Vorwort
des Sprechers der Fachgruppe „Thermo- und Fluidodynamik“

Ungarn ist für alle, die sich mit Betrieb und Sicherheit von WWER-Reaktoren befassen, keine unbekannte Größe. Als eines der kleineren Länder unter den Erzeugern von Kernenergie hat das Land eine bemerkenswerte Selbständigkeit sowohl beim Betrieb der vom Ausland eingeführten Technik als auch in Fragen der Reaktorsicherheit entwickelt. Auch in Zeiten tiefgreifender politischer und wirtschaftlicher Umbrüche konnte Ungarn seine Kernkraftwerke als Eckpfeiler der Stromversorgung erhalten. Anders als das wiedervereinigte Deutschland, hat Ungarn die Chance genutzt, WWER-Reaktoren auf einem verantwortbaren Sicherheitsniveau zu betreiben. Grund genug, diese Technik vor Ort kennenzulernen bzw. die vorhandenen Kenntnisse zu vertiefen.

Die ungarischen Kollegen haben sich bei aller Selbständigkeit stets international offen und kontaktfreudig gezeigt und dabei auch Sprachgrenzen überwunden. Besonders erwähnt seien hier die aktive Mitwirkung in den Arbeitsgruppen der OECD/NEA sowie die zahlreichen Beiträge zur Jahrestagung Kerntechnik und anderen internationalen Fachtagungen.

Unsere Fachgruppe „Thermo- und Fluidodynamik“ ist von der hohen fachlichen Kompetenz ungarischer Wissenschaftler bei der Adaption und Anwendung der von uns und anderen westlichen Ländern bereitgestellten Rechenprogramme beeindruckt. Im Gegenzug haben wir wertvolle Beiträge zur Validierung unserer Codes erhalten, insbesondere aus der Versuchsanlage PMK.

Die bevorstehende Exkursion soll nicht nur die Sicherheitskultur ungarischer Kernkraft vermitteln, sondern auch die Kultur dieses traditionsreichen europäischen Landes darüberhinaus. Die Einbettung des fachspezifischen Teils der Exkursion in ein kulturelles und geselliges Programm schafft die persönlichen Kontakte, die wir in Zukunft verstärkt brauchen, um mit Optimismus unsere wichtigen Aufgaben für eine sichere Energieversorgung zu meistern.

V. Teschendorff
Sprecher der Fachgruppe

1 Motivation

Die **Fachgruppe Thermo- und Fluidodynamik** beabsichtigt zusammen mit der **Ortssektion Sachsen** der Kerntechnischen Gesellschaft e.V. eine Exkursion nach Ungarn durchzuführen. Ungarn steht zusammen mit der Tschechischen Republik kurz vor dem Eintritt in die EU und hat von allen Staaten, die WWER Reaktoren betreiben, die größten Anstrengungen zur Anhebung des Sicherheitsniveaus (z.B. durch Nachrüstmaßnahmen bzw. einer Überarbeitung der Atomgesetzgebung) unternommen.

In Budapest ist u.a. das Sekretariat der Atomic Energy Research (AER) beheimatet. Die AER ist ein internationaler Zusammenschluß von derzeit 23 Kernkraftwerksbetreibern, technisch-wissenschaftlichen Sektionen von Aufsichtsbehörden, Forschungszentren, Ingenieurgesellschaften aus Rußland, Deutschland, Finnland, Tschechien, der Slowakei, Polen, Ungarn und Bulgarien. Ziel des AER ist eine Kooperation und ein Erfahrungsaustausch zu sämtlichen WWER-Reaktoren betreffenden Themen.

Die Technik der WWER-Reaktoren, die Erhöhung deren Sicherheit und die hierzu unternommenen nationalen ungarischen und internationalen Aktivitäten werden das zentrale Thema der geplanten Exkursion sein. Die vier WWER-440 Blöcke am Standort Paks decken derzeit ca. 40% des ungarischen Energiebedarfs, und sind daher unverzichtbar für die Energieversorgung. Der Betrieb der zwischen 1982 und 1989 in Betrieb gegangenen Anlagen ist daher bis zum Ende ihrer projektierten Lebensdauer von 30 Jahren geplant.

Die Exkursion beinhaltet u.a. eine Einführung in die WWER Technologie am Standort Paks und schließt eine Besichtigung des Blocks 4, der 1989 in Betrieb gegangen ist und eine elektrische Bruttoleistung von ca. 460 MW besitzt, ein. Weitere Themenschwerpunkte am Standort Paks sind die Entsorgung der abgebrannten Brennelemente nach Verlassen des Zwischenlagers, das ebenfalls besichtigt wird, und die Weiterbildung und Qualifizierung des Personals im Maintenance sowie dem Simulatortrainings-Zentrum.

Die theoretischen Arbeiten zur Erhöhung der Reaktorsicherheit werden an der Technischen Universität in Budapest oder am ungarischen Forschungszentrum, dem KFKI, durchgeführt. Schwerpunkt ist die Entwicklung und Validierung von thermohydraulischen und/oder neutronenphysikalischen Computercodes zur Berechnung von Betriebs- und Störfalltransienten in WWER-Reaktoren. In diesem Bereich gibt es bereits jetzt intensive Kooperationen mit deutschen Wissenschaftlern (Forschungszentrum Rossendorf, Siemens, etc.) im Rahmen von EU PHARE/TACIS Projekten bzw. der AER, die mit dieser Exkursion gepflegt und ausgebaut werden sollen.

Weiterhin ist die Besichtigung der Laboratorien der TU Budapest sowie des KFKI, die u.a. auch die in Deutschland bekannte PMK-Versuchsanlage beinhaltet, geplant. PMK ist ein im Maßstab 1:2070 skaliertes Primärkreislauf eines WWER-Reaktors und dient zur Simulation kleiner und mittlerer Lecks. Ausgewählte PMK-Experimente wurden bereits im Rahmen des internationalen Standardproblems SPE-4 nachgerechnet. Im Anschluß an die Besichtigung der Laboratorien sind Diskussionen über die Übertragbarkeit der experimentellen Daten auf die WWER-Reaktoren sowie über die zukünftige Verwendung des Versuchsstandes PMK vorgesehen.

Neben den reinen kerntechnischen Aktivitäten sollen auch die kulturellen Highlights von Ungarn und speziell Budapest nicht vernachlässigt werden. Für Astronomen bietet sich darüber hinaus die wohl einmalige Gelegenheit, die einzige Sonnenfinsternis der nächsten 40 Jahre in Mitteleuropa zu beobachten.

2 Vorläufiges Programm

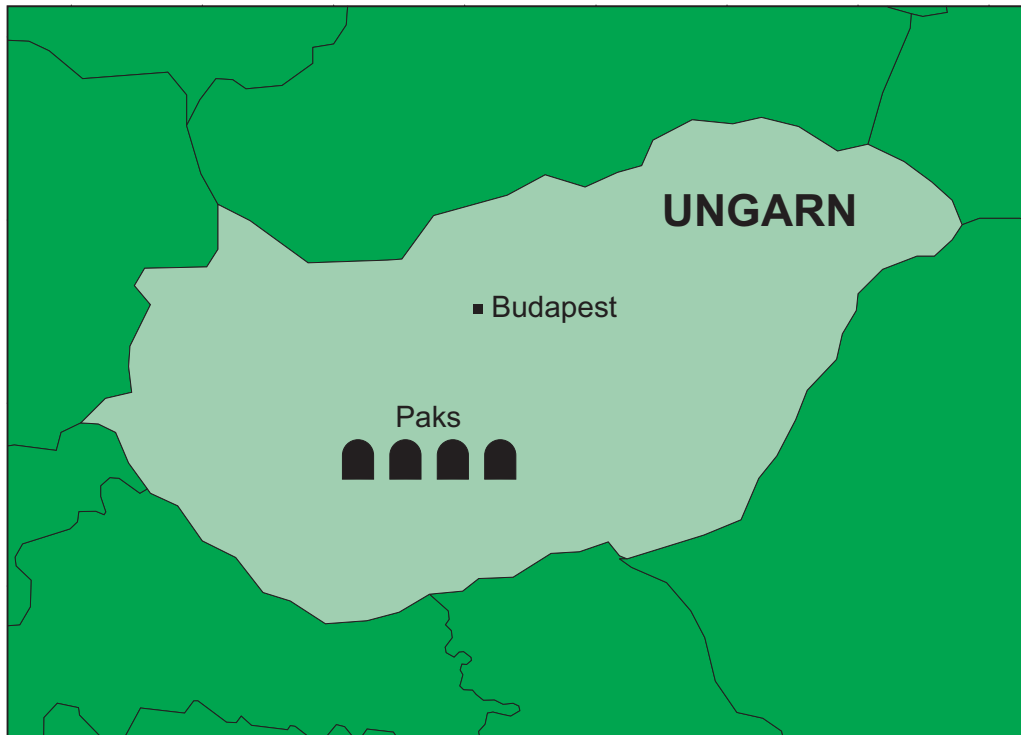


Bild 1: Karte Ungarn

Samstag (7.8.1999) Treffen in Dresden und Anreise nach Budapest (1. Teil)

Sonntag (8.8.1999) Anreise nach Budapest (2. Teil)

17.00 - 20.00 Stadtrundgang

Montag (9.8.1999) Budapest - Besuch der TU Budapest

09.00 - 10.00 „Kerntechnik in Ungarn“, **Dr. László Koblinger** (Präsident der Ungarischen Kerntechnischen Gesellschaft)

10.00 - 11.00 „Ausbildung an der TU Budapest“, **Dr. Csaba Sükösd** (Leiter des Lehrstuhls für Nukleartechnik)

11.00 - 12.30 Besichtigung des Unterrichtsreaktor der TU Budapest, **Dr. Attila Aszódi**

12.30 - 13.30 Mittagessen

13.30 - 15.00 „Nukleare Forschung und Ausbildung im Institut für Nukleartechnik“ (Vortrag vom Leiter des Unterrichtsreaktors)

- 15.00 - 16.30 Besichtigung weiterer Laboratorien, **Dr. Attila Aszódi**
- 16.30 - 19.00 Freies Programm in Budapest
- 19.00 - 22.00 Abendessen mit der Einladung der Ungarischen Kerntechnischen Gesellschaft

Dienstag (10.8.1999) Paks - Besuch des KKW Paks (Teil 1)

- 07.00 - 09.00 Reise von Budapest nach Paks
- 09.00 - 10.30 Besichtigung des Informationszentrums mit offizieller Leitung
- 10.30 - 12.00 Seminar WWER-Reaktoren (Teil 1)
WWER-Spezialitäten in Paks - Hauptingenieur KKW Paks
- 12.00 - 13.00 Mittagessen in KKW Paks
- 13.00 - 15.00 Besichtigung des Blocks 4 mit offizieller Leitung
- 15.00 - 17.00 Seminar WWER-Reaktoren (Teil 2)
- 15.00 - 15.45 „Erhöhung der Sicherheit in KKW Paks“ verantwortlicher Ingenieur
- 15.45 - 16.30 „Laufende Projekte in KKW Paks“ verantwortlicher Ingenieur
- 16.30 - 17.00 „ENS Young Generation Network in Ungarn“ Präsident der Jungsektion der Ungarischen Kerntechnischen Gesellschaft
- 17.00 - 22.00 Freies Programm in Paks

Mittwoch (11.8.1999) Sonnenfinsternis

- 09.00 - 13.00 Beobachtung der Sonnenfinsternis
- 13.00 - 14.00 Mittagessen in der Pußta
- 14.00 - 18.00 Kulturprogramm
- 18.00 - 22.00 Freies Programm in Szekszárd, neben Paks

Donnerstag (12.8.1999) Paks - Besuch des KKW Paks (Teil 2)

- 09.00 - 11.00 Maintenance Training Center mit offizieller Leitung (n.n.)
- 11.00 - 12.00 Besichtigung des Simulatorzentrums mit offizieller Leitung (n.n.)

12.00 - 13.00	Mittagessen in KKW Paks
13.00 - 16.00	Brennstoffkreislauf in Ungarn und Besichtigung des Zwischenlagers mit offizieller Leitung (n.n.)
16.00 - 18.00	Reise von Paks nach Budapest
18.00 - 22.00	Freies Programm in Budapest

Freitag (13.8.1999) Budapest - Besuch des KFKI

09.00 - 10.00	„KFKI AEKI (Atomic Energy Research Institute) im Überblick“ Dr. János Gadó (Direktor des Institutes)
10.00 - 12.00	Besichtigung des Forschungsreaktors mit offizieller Leitung (n.n.)
12.00 - 13.00	Mittagessen im KFKI
13.00 - 14.30	Besichtigung der PMK Versuchsanlage mit offizieller Leitung (n.n.)
14.30 - 16.00	„Forschungsprojekte auf dem Gebiet Thermohydraulik in KFKI AEKI“ Dr. Iván Tóth (Leiter der Abteilung Thermohydraulik)
16.00 - 18.00	„AER - Sicherheitsforschung für WWER Reaktoren, Funktion und Arbeit der Organisation“ Dr. Istvan Vidovzsky (Leiter des Sekretariats des AER) und Diskussion mit offizieller Leitung (Dr. Istvan Vidovzsky , n.n.)
18.00 - 22.00	Freies Programm in Budapest

Samstag (14.8.1999) Budapest - Abschlußdinner

8:00 - 18.00	freies Programm in Budapest
18.00 - 19.00	Abschlußdiskussion mit den Gastgebern
19.00 - 23.00	Abschlußdinner

Sonntag (15.8.1999) Rückreise nach Dresden

3 Beschreibung der Exkursionsziele

3.1 Forschungsreaktor der TU Budapest

Der Forschungsreaktor befindet sich direkt an der TU Budapest und dient zu Forschungszwecken sowie zur Ausbildung von Studenten in den Fachbereichen Kerntechnik und Kernphysik. Der Reaktor wurde 1971 in Betrieb genommen und besaß ursprünglich eine Nennleistung von 10 kW. Die Leistung wurde 1980 nach einer Rekonstruktion des Reaktors auf 100 kW erhöht. Die Kühlung der Reaktors erfolgt bis 10 kW mittels freier, über 10 kW mittels erzwungener Konvektion.

Der Kern des Reaktors ist aus russischen EK-10 Brennelementen aufgebaut. Der Reaktor wird mit Wasser gekühlt und mit Wasser und Graphit moderiert. Der Kern des Reaktors ist in einem offenen Behälter ca. 5 m unterhalb der Wasseroberfläche angeordnet und kann während des Betriebes von außen inspiziert und manipuliert werden.

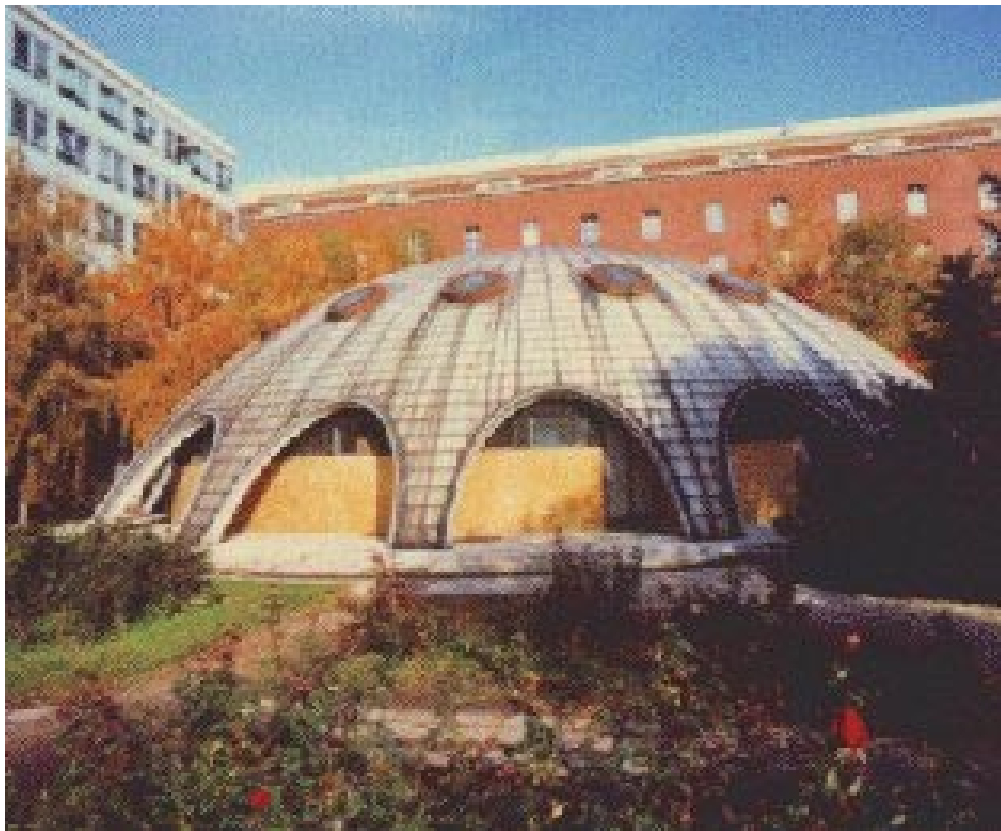


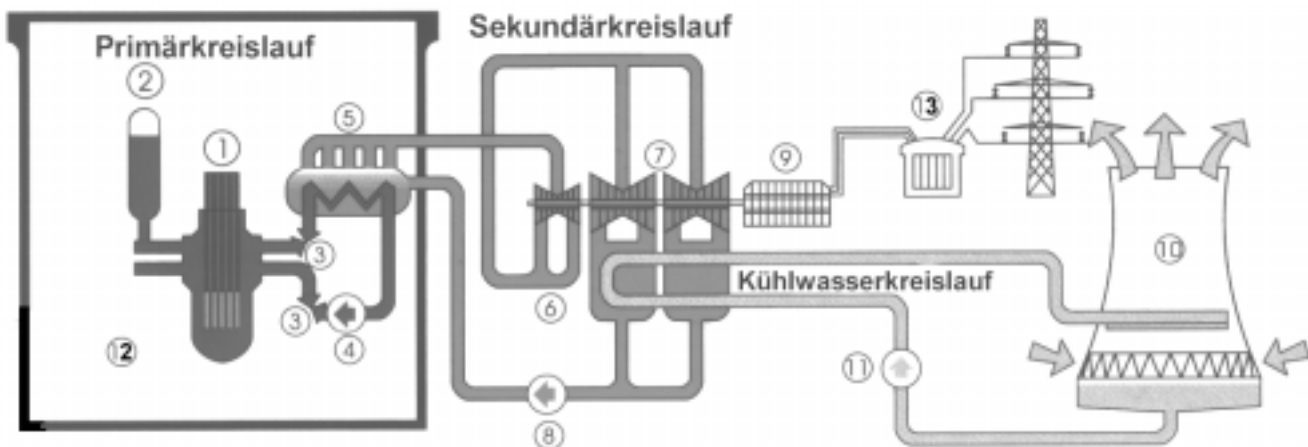
Bild 2: Außenansicht des Forschungsreaktors der TU Budapest

3.2 Kernkraftwerk Paks

Am Standort Paks befinden sich derzeit 4 Blöcke vom Typ WWER440-213, die von Skoda gebaut wurden. Die Blöcke, die jeweils eine elektrische Bruttoleistung von ca. 460 MW besitzen, haben ihren Betrieb zwischen 1983 und 1987 aufgenommen und 1997 13968 GWh aus Kernenergie in elektrische Arbeit umgewandelt. Dies entspricht ca. 40% des Energiebedarfs in Ungarn. Die Kernkraftwerke sollen zukünftig mit Siemens Leittechnik (System Teleperm) nachgerüstet werden [1]. In der nachfolgenden Tabelle 1 sind die Hauptparameter der vier Blöcke zusammengefasst. Das Prinzipschema eines WWER-440 ist in Bild 3 dargestellt.

Tabelle 1 : Daten der Blöcke des Kernkraftwerks Paks

Thermische Leistung	1375 MW	Anzahl Primärloops	6
Elektrische Leistung	2 x 230 MW	Anzahl Turbinen	2
Mittlere Kühlwassertemperatur	282 °C	Kühlmittel/Moderator	Wasser
Primärseitiger Kühlwasserdruck	12,4 MPa	Reaktorkern (Höhe/Durchmesser)	2,5 m / 2,88 m
Dampfdruck vor Turbine	4,46 MPa	Nettogewicht des Kerns	42 t Urandioxid



- | | |
|---|--------------------|
| 1 Reaktordruckbehälter | 8 Kondensatorpumpe |
| 2 Druckhalter | 9 Generator |
| 3 Hauptabsperrentil | 10 Kühlturm |
| 4 Hauptkühlwasserpumpe | 11 Kühlwasserpumpe |
| 5 Dampferzeuger | 12 Containment |
| 6 Hochdruckteil Turbine | 13 Transformator |
| 7 Niederdruckteil Turbine / Kondensator | |

Bild 3: Prinzipschema eines WWER-440.

Einen Überblick über den Baubeginn, den Tag der ersten Kritikalität sowie die erste Synchronisation und den Beginn des wirtschaftlichen Betriebs gibt Tabelle 2.

Tabelle 2: Daten zum Bau und zur Inbetriebnahme des Kernkraftwerks Paks

Block	Baubeginn	Erste Kritikalität am	Erste Synchronisation	Wirtschaftlicher Betrieb seit
1	August 1974	14.12.1982	28.12.1982	10.08.1983
2	August 1974	26.08.1984	06.09.1984	14.11.1984
3	Oktober 1979	15.09.1986	28.09.1986	01.12.1986
4	Oktober 1979	09.08.1987	16.08.1987	01.11.1987

Das Kernkraftwerk Paks präsentiert sich selbst u.a. auf der Internetseite <http://www-npp.hu/Eng/Indexlighta.html>. Dort finden sich auch weiterführende Informationen.

3.3 Der Trainings-Simulator am KKW Paks

Im Jahr 1989 wurde im KKW Paks ein neuer Simulator zu Ausbildungs- und Trainingszwecken in Betrieb genommen. Zu dieser Zeit war der Trainings-Simulator der einzige seiner Art für Reaktoren vom Typ WWER-440. Gegenüber der Vorgängerversion ist der Simulator in der Lage, auch zweiphasige Strömungszustände im Primärkreis und damit auch auslegungsüberschreitende Störfälle zu simulieren. Zu diesem Zweck wurde der am VTT in Finland entwickelte Code SMABRE für den Simulator adaptiert. Darüberhinaus wurden Modelle entwickelt, welche das Containmentverhalten sowie die Verteilung und den Zerfall von 4 Gruppen von Radionukliden bei einem LOCA Störfall beschreiben.

Im einzelnen wurden folgende Verbesserungen gegenüber dem alten Simulator realisiert:

- das Kontroll- und Regelsystem wurde an den neuesten Stand des KKW angepaßt,
- der Simulator wurde um einen Notwarte für Störfallsimulationen erweitert,
- das in-core monitoring System VERONA wurde am Simulator nachgebildet,
- die Modelle für Neutronenkinetik, Thermohydraulik und RDB-Verhalten wurden komplett überarbeitet, so daß auslegungsüberschreitende Störfälle bis hin zum

Kernschmelzen simuliert werden können,

- der Simulator wurde mit neuer Hardware (RISC-architecture) ausgestattet.

Die Schwerpunkte im Einsatz des Simulators liegen vor allem in der Ausbildung und im Training des Betriebspersonals des KKW Paks sowie in methodischen Untersuchungen auf den Gebieten der Mensch-Maschine Wechselwirkung und den Auswirkungen menschlichen Fehlverhaltens. Für die Auswertung der Ergebnisse werden alle Schalthandlungen des Personals zusammen mit den Systemparametern aufgezeichnet. Bestandteil dieses Überwachungssystems (COPAS=computerized operator assessment system) ist außerdem eine Videoüberwachung des Schaltraums. Die hier gewonnenen Erkenntnisse dienen der Erhöhung der Sicherheit des KKW Paks und einer ständigen Qualifizierung sowohl des Ausbildungs- als auch des Betriebspersonals.



Bild 4: Schaltwarte des Trainingssimulators.

3.4 KFKI

Auf dem Campus des KFKI (Central Research Institute for Physics) in Budapest sind sechs Forschungsinstitute der ungarischen Akademie der Wissenschaften angesiedelt, die auf den Gebieten der Physik, Chemie, Nuklearenergie und Ingenieurwissenschaften arbeiten. Das KFKI Atomic Energy Research Institute (AERI) wurde in den

50er Jahren gegründet und befaßt sich mit der Forschung zur Nuklearenergie auf theoretischem und praktischem Gebiet. Seit dem 01.01.1992 ist das AEKI eine selbständige Organisation. Derzeit sind ca. 220 Mitarbeiter beschäftigt, davon etwa 90 Wissenschaftler, aufgeteilt in 10 Departments (Angewandte Reaktorphysik, Nukleare Brennstoffe & Materialien, Physikalische Chemie, Reaktoranalyse, Reaktor, Reaktortechnik, Simulatorenentwicklung, Thermohydraulik, Umwelt, Strahlenschutz).

Das AEKI betreut einen 10 MW Forschungsreaktor. Dieser bietet der Wissenschaftsgemeinschaft die Möglichkeit zur Forschung auf den Gebieten der Neutronenphysik und Neutronenanwendungen (z.B. Aktivierungsanalysen) ebenso wie auf dem Gebiet der Festkörperphysik. Gleichzeitig sorgt der Forschungsreaktor durch die Bereitstellung von radioaktiven Isotopen hauptsächlich für die Versorgung der ungarischen Medizin mit diesen Produkten.

Er wurde 1959 in Betrieb genommen. Eine vollständige Rekonstruktion und Aufrüstung begann in 1986. Dabei wurden alte Komponenten ausgetauscht, um zum einen die Reaktorsicherheit und zum anderen die Reaktorleistung auf 10 MW zu erhöhen. Am 12.12.1992 wurde die erste Kritikalität erreicht, am 25.11.1993 begann dann der ordentliche Betrieb des Reaktors.



Bild 5: Ansicht des Forschungsreaktors des KFKI

Der Forschungsreaktor ist ein Tankreaktor. Leichtes Wasser wird als Kühlmittel und Moderator verwendet. Der Brennstoff ist ein Gemisch aus Aluminium und einem Uran-Aluminium-Eutektikum mit einer Aluminiumhülle. Insgesamt zehn horizontale Strahlröhren - 8 radiale und 2 tangentielle - sind am Forschungsreaktor angeordnet. Materialproben können in 51 extra dafür vorgesehenen vertikalen Kanälen eingebracht werden für Bestrahlungsexperimente. Eine Innenansicht des Reaktors zeigt Bild 4.

3.5 AER

Der AER ist ein internationaler Zusammenschluß von derzeit 23 Kernkraftwerksbetreibern, technisch-wissenschaftlichen Sektionen von Aufsichtsbehörden, Forschungszentren, Ingenieurgesellschaften aus Rußland, Deutschland, Finnland, Tschechien, der Slowakei, Polen, Ungarn und Bulgarien. Ziel des AER ist eine Kooperation und ein Erfahrungsaustausch zu sämtlichen WWER-Reaktoren betreffenden Themen.

Die AER veranstaltet u.a. jährlich Symposien, das 7. Symposium fand in Zittau [2] statt. Auf diesen Symposien werden in zahlreichen Fachsitzungen die Themen

- Zell- und Kernrechnungen mit Transportcodes,
- Neutronenkinetik,
- Reaktordynamik und Sicherheitsanalysen,
- Kritikalitätssicherheit,
- Abfallmanagement und Entsorgung,
- Kernüberwachung

und

- Sicherheitsbezogene Thermohydraulik und Fluidodynamik

behandelt. Diese Symposien sind mehr als ein jährlicher Gedankenaustausch in Form von Vorträgen, während dieser Veranstaltungen werden u.a. auch Aufgabenstellungen für Benchmarkrechnungen definiert. Dabei sind zahlreiche Benchmark-Aktivitäten zur Dosisratenberechnung für Brennelementtransportbehälter und Nuklidzusammensetzungen abgebrannten Brennstoffs genau so zu nennen wie Benchmarks zur Neutronenkinetik und Reaktordynamik.

3.6 PMK Versuchsanlage

Die vom KFKI Budapest (Zentralinstitut für Physik) errichtete Versuchsanlage PMK-2 (vgl. Bild 6), in der ersten Ausbaustufe auch als PMK-NVH bezeichnet, ist das Modell des Kühlsystems eines WWER 440-213, die in Paks betrieben werden (vgl. Kap. 3.2). Experimente an der PMK-Anlage erfolgen in enger Zusammenarbeit mit dem Betreiber des Kernkraftwerks und dienen der Untersuchung verschiedener Betriebs-transienten und Störfälle. Darüber hinaus wurden an der PMK-Anlage eine Reihe von Standardproblemen realisiert [3].



Bild 6: Gesamtansicht der PMK-Versuchsanlage [3].

Der Primärkreislauf wird bei der Versuchsanlage durch eine einzige, volumetrisch im Maßstab 1:2070 skalierte Schleife unter Beibehaltung der originalen Höhen darge-

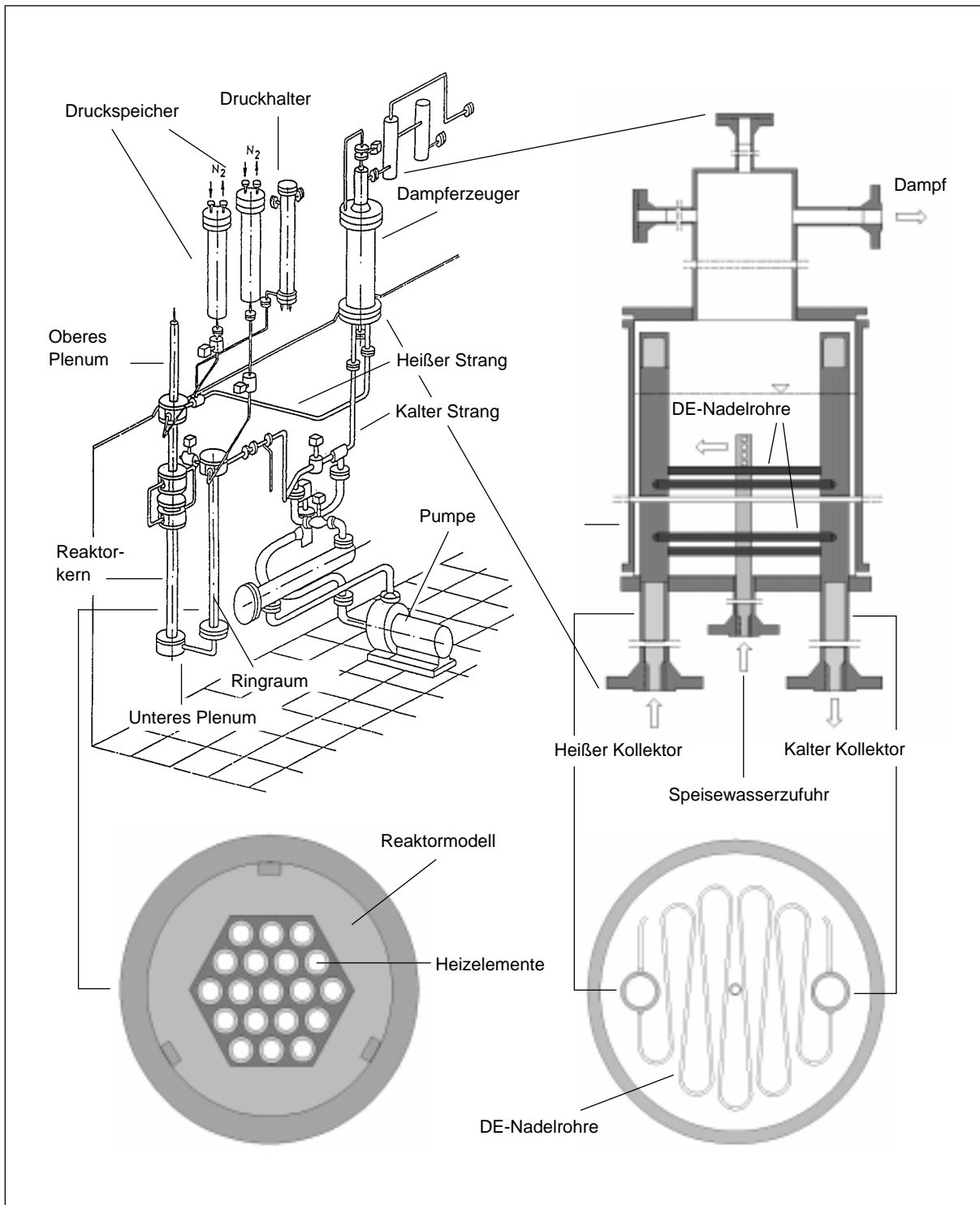


Bild 7: PMK-Versuchsanlage [3].

stellt. Bei dem hier gewählten Skalierungsmaßstab hätte die Modellierung einer zusätzlichen Leckschleife einen zu geringen Rohrquerschnitt bedingt, Stratifizierungseffekte im Primärkreislauf wären somit nicht reproduzierbar.

Der Versuchsaufbau (vgl. Bild 7) besteht aus dem Reaktormodell, dem heißen und kalten Strang, Druckhalter, Dampferzeuger, einer Pumpe und Hydroakkumulatoren

(auch Druckspeicher oder Kernflutbehälter genannt). Die Konzeption der Anlage erfolgte primär unter Einhaltung des volumetrischen Skalierungsmaßstabes, einer originalen Höhennachbildung sowie unter Berücksichtigung der Volumenverteilung im Kreislauf und der lokalen Druckverluste. Das Reaktormodell ist unterteilt in den Ringraum, den Reaktorkern, das untere und obere Plenum. Der Ringraum wird durch einen Hohlzylinder mit entsprechendem hydraulischen Widerstand nachgebildet. Der Reaktor ist mit 19 elektrisch beheizten Brennstabsimulatoren in Originalabmessung ausgestattet. Die Reaktorleistung wurde ebenfalls im Maßstab 1:2070 skaliert und liegt im Normalbetrieb bei 665 kW. Die Nachbildung des heißen und kalten Stranges erfolgte unter Einhaltung der originalen Höhen und der für den WWER-440 typischen Schleifenabsenkungen im heißen und kalten Strang. Aus konstruktiven Gründen wurden die Längen nicht 1:1 modelliert, die Querschnitte wurden mit einem Verhältnis von 1:116 relativ groß gewählt. Dadurch liegen die Reibungsdruckverluste niedriger als beim Original, das Oberflächen/Volumen-Verhältnis ist aber günstiger.

Die integralen Wärmeverluste der Anlage liegen bei 25 kW, wobei 45 % auf den kalten Strang und der Rest auf den heißen Strang und das Reaktormodell entfallen. In der ersten Ausbaustufe wurde der Druckhalter entsprechend den konstruktiven Gegebenheiten der Versuchsanlage in vereinfachter Weise modelliert (Einbindung vor der heißseitigen Schleifenabsenkung), bei PMK-2 wurde die Einbindung dann der Originalanlage angepaßt. Die Konstruktion des Druckhalters erfolgte unter Einhaltung der Volumenskalierung und des Verhältnisses von Wasser- zu Dampfvolumen. Unter Nominalbedingungen entspricht der Druckhalterhöhenstand dem der Originalanlage. Die Pumpe ist in einen Bypass integriert. Zur Modellierung des Pumpenauslaufs in einem Störfall fördert die Pumpe gegen ein sich schließendes Ventil. Noch vor Erreichen eines zweiphasigen Naturumlaufs wird die Pumpe gestoppt und der Bypass von der Schleife getrennt.

Der Dampferzeuger wurde ebenfalls im Maßstab 1:2070 skaliert. Bei gegebenem Volumen der Sekundärseite wurde ein Kompromiß zwischen der horizontalen Anordnung der Wärmetauscherrohre, ihrer axialen Verteilung und einer korrekten Skalierung der Wärmeübertragerflächen gesucht. Die Höhe des Dampferzeugers und die axiale Verteilung der Wärmetauscherrohre sowie das sekundäre Dampf-zu-Wasservolumen Verhältnis entspricht dem Original. Die horizontalen U-Rohre der Referenz-

anlage werden durch eine horizontal gewendelte Form beim Modell wiedergegeben. Die Speisewasserversorgung erfolgt über ein senkrecht angeordnetes, perforiertes Rohr in mittlerer Höhe des Dampferzeugers.

Für die Experimente wurde die Versuchsanlage mit einer umfangreichen Instrumentierung versehen. Die Datenerfassung ist für alle Meßkanäle mit einer Zeitauflösung von 1 s möglich. Gemessen werden Druck, Differenzdruck, Temperatur, Massenstrom, Höhenstand, Leistung, Dichte und Dampfgehalt an verschiedenen Positionen. Die Dampfgehaltsmessung erfolgt mit den im FZ Rossendorf entwickelten Leitfähigkeitssonden.

Die PMK Versuchsanlage dient weiterhin zur Validierung fortgeschrittener Thermohydraulikcodes. Unter Validierung versteht man hierbei die Überprüfung der in den Codes verwendeten mathematisch-physikalischen Modelle anhand experimenteller Daten sowie den Test ihres Zusammenwirkens bei der Berechnung komplexer thermohydraulischer Vorgänge. Aufgabe sogenannter Best-Estimate-Codes (wie z.B. RELAP, ATHLET oder CATHARE) ist eine möglichst realistische Beschreibung von Störfallabläufen und betriebsnahen Transienten. Die Validierung erfolgt einerseits an Hand von Betriebsdaten und aufgetretenen Störfällen an Originalanlagen, andererseits mit Hilfe von Experimenten an verschiedenen Versuchsanlagen. Daten von Originalanlagen liegen nur in begrenztem Umfang vor. Darüberhinaus sind sie wegen der für den Betrieb ausgelegten Instrumentierung für eine Validierung nur bedingt geeignet. Die Untersuchung von größeren Störfällen ist eine wesentliche Voraussetzung für die Bewertung der nuklearen Sicherheit einer Reaktoranlage. Dabei ist man auf die Ergebnisse von Versuchsanlagen und auf Störfallrechnungen mit thermohydraulischen und reaktorphysikalischen Rechenprogrammen angewiesen.

Experimente zum thermohydraulischen Störfallverhalten müssen den gesamten Parameterbereich von Transienten sowie nach Möglichkeit alle wesentlichen Phänomene abdecken. Das ist aber mit einer einzigen Versuchsanlage nicht möglich. Man verwendet deshalb zur Untersuchung des integralen Anlagenverhaltens (z.B. bei Leckstörfällen) entsprechend skalierte Integralversuchsanlagen und zur Untersuchung ausgewählter Phänomene (z.B. Kühlmittelvermischung bei der Notkühlein- speisung oder Wärmeübergang in Dampferzeugerrohren) Einzeleffektversuchsan-

lagen, sowohl skaliert als auch im Originalmaßstab. Zu berücksichtigen ist hierbei der Umstand, daß Integralversuchsanlagen auf Grund ihrer Skalierung räumliche Effekte nur bedingt oder unter Umständen verfälscht wiedergeben. Ein wesentlicher Vorteil sowohl von Integral- als auch von Einzeleffektversuchen ist die Möglichkeit einer umfangreichen, dem zu untersuchenden Prozeß angepaßten Meßinstrumentierung.

Integralversuchsanlagen dienen dem Studium des Verhaltens der Gesamtanlage unter verschiedensten Betriebs- und Störfallbedingungen. Weltweit existiert eine große Zahl derartiger Anlagen, welche jeweils bestimmten Reaktortypen nachgebildet sind. Daraus folgt, daß Integralversuchsanlagen wichtige konstruktive Eigenschaften und typische Phänomene der Referenzanlage widerspiegeln müssen. In Abhängigkeit von der verfolgten Konzeption sind verschiedene Skalierungen üblich, sie liegen in der Größenordnung von 1:100 bis 1:1000. Viele Versuchsanlagen haben Untersuchungen des Naturumlaufverhaltens zum Ziel. Ein wesentlicher Punkt ist dabei die Einhaltung der originalen Höhenverhältnisse, da hier gravitationsbedingte Effekte eine dominierende Rolle spielen. Eine richtige Modellierung der Referenzanlage würde die korrekte Skalierung von Längen, Höhen, Querschnitten, Volumen sowie Druckverlust und Wärmeverlusten erfordern. Da dies praktisch unmöglich ist, müssen Kompromisse bei der Skalierung gefunden werden.

Bei Experimenten zu einem Leckstörfall wird das Leck durch Ventile mit einem definierten Ausströmquerschnitt modelliert. Alle beim WWER-440/W-213 vorhandenen Notkühlsysteme lassen sich an der PMK-Anlage ebenfalls simulieren. Eine Einspeisung durch das Hochdruck- bzw. Niederdrucknotkühlsystem ist je nach angenommener Verfügbarkeit der Systeme mit verschiedenen Massenströmen in den kalten Strang möglich. Die 4 Druckspeicher der Referenzanlage werden bei PMK durch 2 Druckspeicher mit jeweils doppelter Kapazität und Einspeisung in den Ringraum bzw. das Obere Plenum modelliert. Der Druck in den Druckspeichern wird durch ein Stickstoffpolster erzeugt, die Einspeisung erfolgt bei einem Primärdruck von 6 MPa.

3.7 Totale Sonnenfinsternis am 11. August 1999

Am Mittag des 11. August 1999 findet eine in Mitteleuropa zu beobachtende, totale Sonnenfinsternis statt. Die letzte in Deutschland (bzw. im mitteleuropäischen Raum)

sichtbare, totale Sonnenfinsternis fand am 19. August 1887 statt, die nächste nach 1999 wird erst wieder am 3. September 2081 zu beobachten sein. Diese Sonnenfinsternis ist damit ein sehr seltenes und für unsere Breiten wohl einmaliges Ereignis!

Eine Sonnenfinsternis entsteht, wenn sich Erde, Mond und Sonne genau auf einer Linie befinden. Dabei fällt der Schatten des Mondes auf die Erde und überstreicht einen schmalen Bereich auf der Oberfläche unseres Planeten, die sogenannte Totalitätszone. Diese ist maximal 300km breit; beiderseits dieser Zone ist das Schauspiel in einem jeweils etwa 1000km breiten Bereich partiell, d.h. teilweise verfinstert zu beobachten.

In Mitteleuropa ist die Sonnenfinsternis in einem Bereich von der französischen Atlantikküste über Nordostfrankreich, Süddeutschland (Stuttgart, München), Österreich, Ungarn bis nach Rumänien als totale Erscheinung zu beobachten (vgl. Bild 8). Da alle wissenschaftlich interessanten Erscheinungen nur in der Totalitätszone zu beobachten sind, ist eine Reise in diese Zone unabdingbar.

Unter Berücksichtigung langfristiger Wetterprognosen und mit Kenntnis der für diese Jahreszeit typischen Wetterlage, empfiehlt sich ein möglichst weit östlich gelegener Standort für die Beobachtung. Die Wahrscheinlichkeit für günstige atmosphärisch-klimatische Bedingungen ist weiter östlich deutlich höher. Das ungarische Flachland in der Nähe des KKW Paks ist daher hierzu ideal. Folgende Beobachtungen können während der Finsternis durchgeführt werden:

- Beobachtung und Fotografie der Sonnenkorona während der Totalität. Die Sonnenkorona ist die äußerste Schicht der Sonnenatmosphäre und kann nur mit speziellen Techniken oder während totaler Sonnenfinsternisse beobachtet werden.
- Beobachtung von Protuberanzen, rotleuchtenden Gasausbrüchen am Sonnenrand während der Totalität. Auch Protuberanzen können nur mit speziellen Teleskopen oder während einer Finsternis gesehen werden.
- Beobachtung der Veränderungen von Helligkeit und Farbe des Himmels. Beachten von meteorologischen Besonderheiten wie beispielsweise dem "Finsterniswind", eines plötzlichen, starken Windes, der kurz vor der Totalität auftreten kann und das plötzliche Aufklaren des ansonsten bewölkten Himmels verursacht.

- Beobachtung von Veränderungen im Verhalten von Tieren und Pflanzen (evtl. Unruhe bei Haustieren, Schließen von Blüten etc.).
- Feststellen der "Fliegenden Schatten" kurz vor der Totalität. Sie werden vom unregelmäßigen, kraterreichen Rand des Mondes erzeugt.

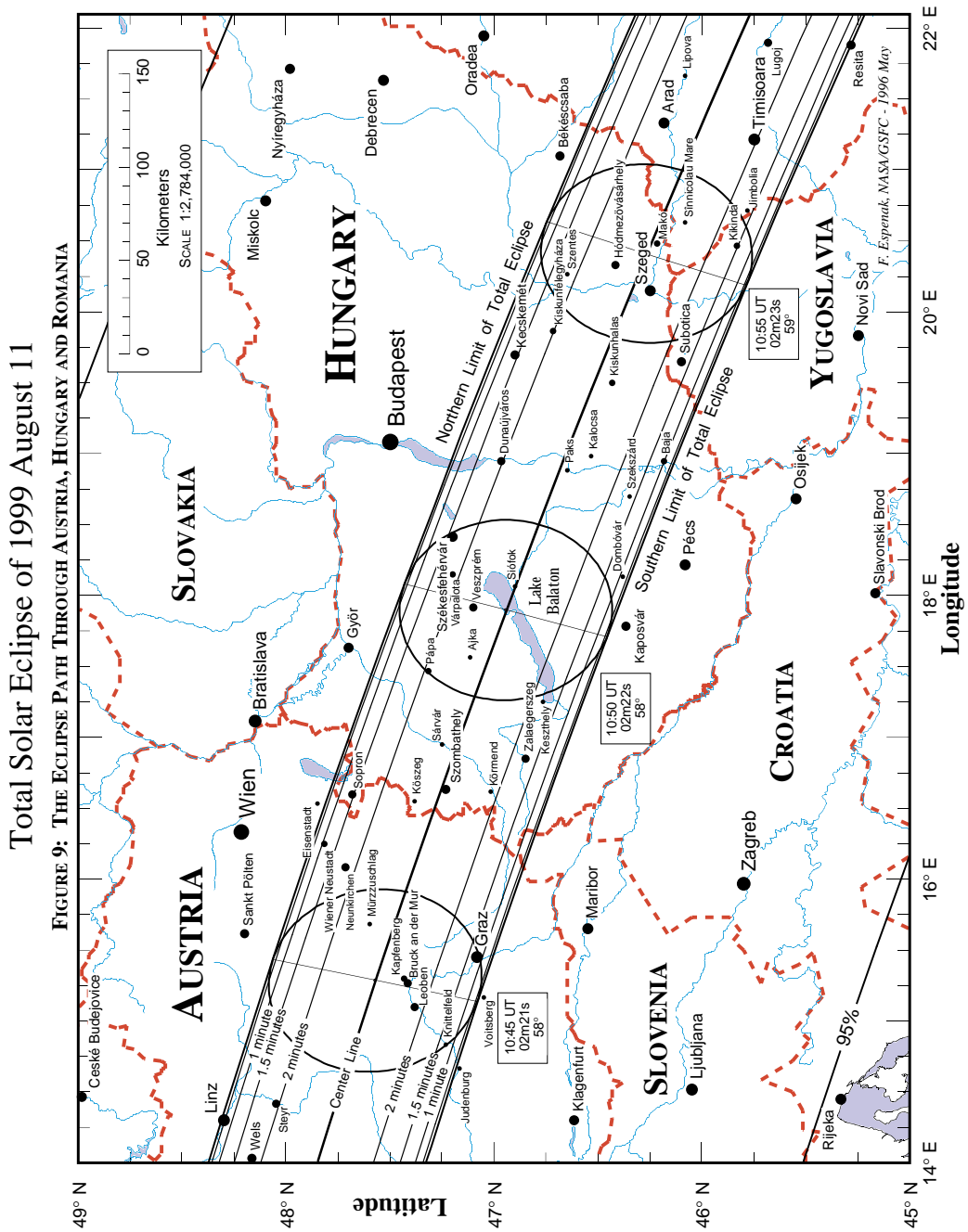


Bild 8: Sonnenfinsternis über Österreich und Ungarn am 11. August 1999.

4 Land und Leute

Nachfolgend werden kurz die Republik Ungarn, deren Küche und (Wein-)Keller und sowie Budapest vorgestellt. Die nachfolgenden Seiten sind aus dem Dumont Reise Führer "Ungarn" [6] übernommen.

4.1 Die Republik Ungarn

Die Republik Ungarn (vgl. Tab. 3) liegt im östlichen Teil Mitteleuropas, im **Karpatenbecken**. Im Westen grenzt Ungarn an Österreich, im Norden an die Slowakei, im Nordosten an die Ukraine, im Osten an Rumänien und im Süden an Serbien, Kroatien und Slowenien. Auf dem gesamten Gebiet Ungarns bestehen kaum Höhenunterschiede: Der höchste Punkt des Landes ist das Kékes-Plateau im Mátra-Gebirge mit 1015 m und der niedrigste liegt mit 79 m am Ufer der Tisza südlich von Szeged. Die Donau teilt das Land in zwei große Gebiete, in das westlich gelegene Transdanubien und in die östlich gelegene große Tiefebene Alföld. In Transdanubien befinden sich die Ausläufer der Alpen und in der Mitte liegt der größte Binnensee Europas, der Plattensee (**Balaton**). In der Tiefebene **Alföld** hingegen befindet sich das landwirtschaftliche Zentrum Ungarns (Obst, Getreide) und die für den Fremdenverkehr besonders reizvolle **Puszta** mit den Nationalparks Kiskunság und Hortobágy, in denen vieles von der Vergangenheit erhalten wird wie z.B. die traditionelle Viehhaltung. Im Norden erstreckt sich das nördliche Mittelgebirge.

In Ungarn herrscht kontinentales Klima vor. Da sich jedoch die vom Festland eindringenden kontinentalen und die vom Westen und Süden einströmenden atlantischen bzw. Mittelmeerluftmassen im Karpatenbecken überschneiden, ist das Wetter doch recht wechselhaft und schwer vorherzusagen. Die wärmsten Monate sind der Juli und August mit durchschnittlich 20 °C und Spitzenwerten bis zu 37 °C. Der Balaton erwärmt sich dann auf 25 °C bis 26 °C. Mit mindestens 2000 Sonnenstunden liegt das Sonnenscheinjahresmittel weit über dem Europaschnitt.

Ungarn ist ein beliebtes Urlaubsland. Mehr als die dreifache Zahl der ca. 10 Mio Einwohner, d.h. ca. 33,5 Mio Ausländer passieren jährlich die ungarische Grenze, davon sind etwa 20 Mio Touristen.

Tabelle 3: Daten zu Ungarn.

Fläche	93032 km ²
Bevölkerung	10,35 Mio, davon 60 % in Städten (1994)
Bevölkerungsdichte	113,4 Einwohner/km ²
Offizielle Bezeichnung	Republik Ungarn
Verwaltung	Administrative Gliederung in 19 Komitate (Bezirke), Hauptstadt und 5 Städte mit Komitatsrechten
Landessprache	Ungarisch (Finnisch-Ugrische Sprachgruppe)
Flagge	Rot-weiß-grün quergestreift
Hauptstadt	Budapest (ca. 2 Mio Einwohner)
offizielle Währung	Forint (= 100 Fillér)

4.2 Küche und (Wein-)Keller Ungarns

Außerhalb Ungarns war langezeit hauptsächlich der gulyás (Gulasch) bekannt. Dieser war ursprünglich eine bescheidene Hirtenspeise (eine mit ein paar Lammfleischstückchen zubereitete Suppe) in der Puszta und in den ungarischen bürgerlichen Haushalten nahezu unbekannt.

Ein Erbstück der nomadisierenden Vorfahren ist das tarhonya (Eiergraupen), eine Teigware, die einst an der Sonne getrocknet und so für die oft langen Wanderungen besonders haltbar gemacht wurde. In Schmalz angeröstet, gesalzen und mit Zwiebeln, Paprika und Tomatenwürfeln angereichert, in zweimal soviel Wasser kurz aufgekocht und ca. 20 Minuten zugedeckt in der Röhre gegart, sind sie eine äußerst delikate Beilage zu vielen Hauptgerichten.

Einigen wenigen bemühten Restaurantbesitzern, hier sind vor allem József Dobos sowie János Gundel zu nennen, verdankt die ungarische Küche ihren internationalen Ruf. Dobos kreierte 1890 die später weltberühmte ungarische Nachspeise, die Dobostorte, ein Kuchen mit Schokoladen- und Karamelfüllung. János Gundel, dessen Familie aus der Schweiz kam, eröffnete 1869 sein Restaurant. Sein Sohn Károly führte die Familientradition weiter und schuf selbst viele ausgesuchte Rezepte. Welt Ruhm erreichten die Gerichte unter Verwendung des einzigartigen ungarischen fogas (Zander).

Paprika ist das typische Gewürz der ungarischen Nationalküche. Es gibt die zwei Hauptpaprikasorten Gemüse- und Gewürzpaprika. Von der Gemüsepaprika werden die frischen Schoten, die noch grün oder hellgelb sind, auch roh für den Salat verwendet, des weiteren sind sie für die meisten magyrischen Spezialitäten unentbehrlich. Die reifen Früchte des Gewürzpaprikas hingegen werden getrocknet und zu Pulver gemahlen.

Zwiebeln sind eine andere Hauptzutat, oft glasig gekocht oder roh in Ringe geschnitten im Salat oder zum gegrillten Fleisch. Frische Frühlingszwiebeln sind sehr beliebt als Brotbelag mit Schafsqquark, Butter und Paprika. Die Hauptgegend des Zwiebelanbaus ist die Stadt Makó im südöstlichen Zipfel Ungarns, an der Grenze zu Rumänien. Wenn die Zwiebel der Doktor der Küche ist, dann ist der Knoblauch ihr Professor, zumindest was seine Heilwirkung betrifft. Diese aus der Steppe stammende, ziemlich abschreckend riechende Knolle wurde schon im Altertum als Zaubermittel betrachtet. Auch die saure Sahne kommt in der ungarischen Küche recht häufig vor. In besseren Küchen wird die saure Sahne oft durch süße Sahne ersetzt.

Das ungarische Obstangebot ist einmalig. Pfirsiche, Aprikosen und ungarische Weintrauben finden nicht ihresgleichen. Die ausgezeichneten ungarischen Melonen sind den meisten Ausländern nahezu unbekannt.

Von den Nachspeisen werden hier die somlói galuska und die hauchdünnen palacsinta (Palatschinken) hervorgehoben. Somlói galuska, eine Kreation von Károly Gollerit, der sechzehn Jahre lang Oberkellner der Gaststätte im Stadtwäldchen von Károly Gundel war, bestehen aus einem Nußbiskuitteig, der zu einem Drittel mit Vanille-Rum-Zucker-Sirup beträufelt, zu einem Drittel mit in Rum getränkten Rosinen bestreut und zu einem weiteren Drittel mit Himbeer- oder Aprikosenmarmelade versehen wird. Der so geschichtete Biskuit wird mit süßer Schlagsahne bedeckt und mit dicker Schokoladensoße begossen.

Die natürlichen Begebenheiten Ungarns begünstigen vor allem den **Weinbau**. Die hervorragendsten Rotweinsorten mit weltweit anerkanntem Niveau sind der Kékfrankos (Blaufränkische), der Cabernet, der Pinor Noir und der Egri Bikavér (Erlauer Stierblut). Allgemein beliebt sind die Weißweine der Balatongegend: Der Szürkebarát

(Grauer Mönch) ist ein voller schwerer Wein, je nach Jahrgang kann er trocken oder lieblich sein; ein alter ungarischer Wein der Gegend um Badacsony ist der feine elegante Kéknyelű (Blaustengler); der Balatonfüredi Rizling empfiehlt sich mit seinem vollen weichen Geschmack zu Fisch und weißem Fleisch. Der Furmint aus dem kleinsten Weinanbaugebiet Ungarns rund um Somló ist einzigartig und wird durch die Urkraft des Basaltbodens vulkanischer Herkunft geprägt. Das Gebiet um das Mátra-Gebirge ist die größte ungarische Weingegend, charakteristische Weinsorten sind: der italienische Riesling, Ottonel Muskateller, Hárslevelű, Leányka und der Chasselas. Weltberühmt sind die Weine der Tokajer Gegend.

4.3 Budapest

Budapest ist eine der schönsten europäischen Metropolen. Der Name Budapest setzt sich aus den Begriffen **Buda** - das Bergland sowie **Pest** - die Ebene zusammen. Zwischen Buda und Pest liegt die Donau; im Herzen der Stadt die königliche Burg, daneben die ehemals reiche Bürgerstadt mit Fischerbastei und Matthias-Kirche; Stadt der Lebensart und der Kultur - Bäder, Galerien, Museen, Oper, Theater und luxuriöse Restaurants.

Geschichtlicher Überblick

Vor fast dreitausend Jahren entstand am Donauufer die keltische Siedlung **Ak ink** (wasserreich), welche später von den Römern zur Hauptstadt Unterpannoniens, **Aquincum**, ausgebaut wurde. Viele schöne interessante Zeugnisse dieser Zeit sind in der Stadt erhalten.

Während der Völkerwanderung wurden entlang der Donau ständig neue Siedlungen gegründet. Erst in der 2. Hälfte des 12. Jh. wuchs die wirtschaftliche Bedeutung von Buda und Pest. Chroniken erwähnen die ansehnliche, von Deutschen bewohnte Stadt **Altofen**, das heutige Óbuda. 1241-42, nach dem Mongolensturm, ließ König Bela IV. die Königsburg erbauen, im Jahre 1235 erhielt die junge Burgstadt Marktrecht. Ihre kulturelle und wirtschaftliche Hochblüte erreichte sie im 15. Jh., als König Matthias 1. Buda zum führenden Zentrum der Frührenaissance in Mitteleuropa gestaltete.

1541 besetzten die Türken Buda und Pest und zerstörten große Teile beider Städte. Kirchen wurden zu Moscheen umgebaut, und zahlreiche türkische Bäder entstanden. Ende des 17. Jh. fiel Ungarn unter österreichische Herrschaft. Der Wiederaufbau ging nur langsam voran, erst Anfang des 19. Jh. nahm das wirtschaftliche Leben, dessen Schwerpunkt sich von Buda nach Pest verlagert hatte, neuen Aufschwung. Buda, Pest und Óbuda wurden 1873 offiziell unter dem Namen Budapest zu einer Stadt vereint. Sie wuchs in den folgenden Jahren zu einer modernen Großstadt heran, die meisten imposanten Wohnhäuser, öffentlichen Prachtgebäude und die Brücken stammen aus dieser Zeit. 1944 besetzten deutsche Truppen Budapest. Mit der Erstürmung des Burgpalastes durch die rote Armee glich die Stadt im Februar 1945 erneut einem Trümmerhaufen. Die sich zurückziehenden Deutschen sprengten alle Donaubrücken. Einem konsequenten Wiederaufbau ist es zu verdanken, daß ein großer Teil der historischen Bausubstanz saniert werden konnte.

Budapest ist die Stadt der Jahrhundertwende. Ihr Zauber liegt sowohl in ihrer städtischen Energie, als auch in den Spuren ihrer reichen, jahrhundertealten Geschichte. Prachtvoll am Ufer der Donau erstreckt sich im westlichen Buda der Burgberg mit seinem Gassengewinkel im Rücken von emporsteigenden Gebirgen geschützt. Am anderen Ufer das ebene Pest, die Innen- und Geschäftsstadt mit dem berühmten Donaukorso und dem imposanten Parlamentsgebäude. Insgesamt führen acht Brücken über den Fluß, an Hand derer sich der Besucher gut in der Stadt orientieren kann.

Stadtführer

Nachfolgend findet sich eine kurze Beschreibung von Budapest. Die in Klammer gesetzten Nummern entsprechen den in dem Stadtplan (vgl. Bild 9) von Budapest eingetragenen Zahlen und kennzeichnen die Sehenswürdigkeiten der Stadt.

Brücken und Uferstraßen

Ganz im Norden und Süden liegen jeweils zwei Eisenbahnbrücken, die dem Autoverkehr nicht zugänglich sind. Die südlichste Autobrücke, die **Petőfi híd**, ein Bauwerk der Nachkriegszeit, ist nach dem ungarischen Nationaldichter **Sándor Petőfi** benannt. Nördlich davon verbindet die **Szabadság hid** (Freiheitsbrücke), die 1896 bei ihrer Einweihung zur Millenniumsfeier noch Franz-Joseph-Brücke hieß, Buda mit

Pest. Die nächste Flußüberquerung bildet mit einer Länge von 374 m die **Erzsébet híd** (Elisabethbrücke). Diese moderne Stahlseilkonstruktion wurde anstelle der im Zweiten Weltkrieg zerstörten Brücke von Pál Sávolly 1961-64 erbaut. Am Budaer Ufer erhebt sich der **Gellért-hegy** (Gellért-Berg), dessen Felsen sich nackt und wild in die Donau stürzen und auf dessen Anhöhe man unbedingt in der Abenddämmerung steigen sollte, um das prächtige Spiel der bunten Illumination an der Donau zu erleben. In der ehemaligen **Zitadelle (1)** befinden sich heute ein Weinkeller und eine Diskothek. Seinen Namen erhielt der Berg nach einem venezianischen Bischof, der im Zuge der Christianisierung im Jahre 1046 an dieser Stelle von Heiden in die Tiefe gestürzt wurde. Den Gipfel krönt seit 1947 das **Befreiungsdenkmal (2)**, eine Frauen-Statue mit Palmenwedel, im Volksmund auch >Bloody Mary< genannt. Das **Gellért-Bad** und das gleichnamige Hotel entstanden 1911-1928 am Fuße des Berges. Älteste Brücke der Stadt ist die **Széchenyi lánc híd** (Kettenbrücke). Sie wurde 1849 auf Initiative des Grafen István Szechenyi als erster Donauübergang dem Verkehr übergeben. Mit ihren steinernen Löwen gehört sie wohl zu den schönsten Brückenbauwerken Europas.

In eigenartig geknickter Form präsentiert sich am südlichen Ende der 2.5 km langen inmitten der Donau gelegenen Margareteninsel die **Margit híd** (Margaretenbrücke). Die Margareteninsel ist die größte Parkanlage Budapests. In der Nähe des Wasserturms steht die Ruine des Dominikanerinnenklosters, im 13. Jh. Wohnsitz der Königstochter Margarete. Ganz im Norden schließlich die **Árpád híd** (Árpádbrücke), 1950 erbaut und ursprünglich nach dem sowjetischen Diktator **Joseph Stalin** benannt.

Der Große Ring, der das urbane Pest in einem weiten Halbkreis umschließt, beginnt an der nördlichen Árpádbrücke und führt über den Robert Károly krt. zum Hungária krt., dem ursprünglichen Stadtrand. Der Mittlere Ring reicht von der Margarethenbrücke bis zur Petöfibrücke. Der Kleine Ring umgibt die eigentliche Innenstadt und erstreckt sich von der Freiheitsbrücke bis zur Kettenbrücke.

Auf dem Belgrád rakpart (Dunakorzöl Donaupromenade), der sich vom Fuß der Elisabethbrücke bis zum Roosevelt tér entlang des Pester Donauufers zieht, standen einst die großartigen Hotels wie das Bristol, das Charlton und das Ritz. Es gab viele Cafe's, Musik und bummelndes Volk. Die Erfordernisse des öffentlichen Verkehrs ha-

ben der Promenade etwas von ihrem Zauber genommen, aber immer noch pulsiert hier das Herz der ungarischen Metropole.

Unter dem Pester Brückenkopf, am Március 15 tér, steht die älteste Kirche von Budapest, die **Innerstädtische Pfarrkirche (3)**, an der man die gesamte ungarische Kunstgeschichte studieren kann. Als romanische Basilika wurde sie im 12. Jh. auf den Mauern des römischen Contra-Aquincum errichtet. Heute ist die Sakristei gotisch, an den Wänden des Kirchenschiffes sind Renaissancereliefs, das Schiff selbst und die Türme sind barock, einige Nebenaltäre klassizistisch, und das Weihwasserbecken stammt aus dem 20. Jh. In der Sakristei stellt die 19. Nische einen mohammedanischen >mihrab< dar, eine Gebetsnische, die an die 150 Jahre währende türkische Besetzung erinnert, als die Kirche als Moschee genutzt wurde. Gleich nebenan, in der Pesti Barnabás utca, das älteste Restaurant Budapests, das Százévé vendéglő, inzwischen mehr als 150 Jahre alt. Vorbei an der **griechisch-orthodoxen Kirche (4)**, die unbedingt einen Blick ins Innere wert ist, und am **Denkmal (5)** des Dichters und Nationalhelden Sándor Petöfi, gelangen wir am Vigadó tér zur Pester **Redoute (6)**. Das 1858-65 vom Architekten Frigyes Feszl entworfene Ballhaus wird hauptsächlich für Konzerte und Chorveranstaltungen genutzt (z.B. Budapester Frühlingfestival). Liszt, Brahms, Bartók und viele andere bedeutende Komponisten aus aller Welt traten hier auf. Die nahegelegene Uferpromenade imponiert mit zahlreichen Straßencafe's, Restaurants und Hotels, hinter denen sich auf dem gegenüberliegenden Ufer das imposante Panorama des Burgberges auftürmt. Vor der Auffahrt zur Kettenbrücke öffnet sich der Roosevelt tér, der im Norden von der **ungarischen Akademie der Wissenschaften (7)**, im Osten von dem im Jugendstil erbauten ehemaligen **Gresham-Palais (8)** begrenzt wird.

Der Széchenyi rakpart führt vom Roosevelt tér direkt auf den Kossuth Lajos tér mit dem mächtigen neugotischen **Parlamentsgebäude (Országház) (9)**, ein Werk von Emmerich Steindl. Einst befand sich hier die Pester Mülldeponie. Erst durch Aufschüttungen und das Gießen einer 2 m dicken Betonplatte konnte der weiche Boden das wohl größte Bauwerk Ungarns tragen. Mit seinem gewaltigen Ausmaß von 118 m Breite und 268 m Länge verkörpert das Gebäude sowohl das geistige als auch das bauliche Streben des auslaufenden 19. Jh. Zwei steinerne Löwen bewachen den Aufgang zum Zentrum des Gebäudes, dem 96 m hohen Kuppelsaal - der rote Stern

wurde 1990 entfernt, als Zeichen der demokratischen Wiedergeburt Ungarns. Statuen von 88 ungarischen Führern, Fürsten und Herrschern zieren die Außenmauern. Die Besichtigung des imposanten Inneren ist nur in organisierten Gruppen möglich.

Dem Parlament gegenüber ist hinter der prunkvollen Fassade des früheren Obersten Gerichtshofes das **Ethnographische Museum (Né'prajzi Múzeum) (10)** untergebracht.

Belváros - Die Innenstadt

Der Kleine Ring begrenzt die eigentliche Innenstadt (Belváros), den V. Budapester Bezirk, die ursprüngliche Pester Siedlung, die bis zum 18. Jh. von einer Stadtmauer umgeben war. Er erstreckt sich halbkreisförmig von der Kettenbrücke bis zum Fővám tér an der Freiheitsbrücke und gliedert sich in den József Attila körút, den Károly krt., den Múzeums krt. und den Várház krt.

Der Mittlere Ring verbindet die Margarethenbrücke mit der Petöfibrücke und ist auf einem toten Arm der Donau errichtet worden. Seine einzelnen Abschnitte sind der Szent István krt., der Nyugati tér, der Teréz krt., das Oktogon, der Erzsébet krt., der Blaha Lúza tér, der József krt. und der Ferenc krt.

Die wichtigsten Baudenkmäler und Sehenswürdigkeiten an und zwischen den beiden Ringstraßen sind folgende: das im Neobarockstil erbaute **Lustspielhaus (Vígsház)** am Szent István krt. 14; der in den Jahren 1874-1877 unter der Leitung des Pariser Eiffel-Büros errichtete **Nyugati pu.** (Westbahnhof) am Nyugati tér; das **Cafe New York (11)** am Erzsébet krt. 9-11, ehemals Cafe Hungária - um die Jahrhundertwende Treffpunkt und schöpferische Werkstatt ungarischer Dichter und Literaten; das vom ungarischen Jugendstilpapst Ödön Lechner konzipierte **Museum für Kunstgewerbe (Iparművészeti Múzeum) (12)** in der Üllői út 33-37 - mit seinen Pyrogranit-Ziegeln bietet es eine eindrucksvolle Farbenkomposition im dichten Staub der Großstadt.

Die Zrínyi utca führt vom Roosevelt tér direkt zur St. **Stephans-Basilika (13)**, der größten Kirche Budapests. Sie wurde 1851 von József Hild im Neorenaissancestil begonnen und 1873-1905 von Miklós Ybl fertiggestellt. Zwischen beiden Fassaden-

türmen ragt eine 96 m hohe Kuppel auf. Die **Evangelische Kirche (14)** am Deák Ferenc tér mit ihrer dorischen Säulenfassade bietet wegen der herausragenden Akustik in der imposanten Kirchenhalle einen gern besuchten Konzertsaal. Nur wenige Straßenzüge weiter finden wir in der Dohány utca die **Große Synagoge (15)**. Mit ihren byzantinisch-maurischen Zügen, der zwiebelförmigen Kuppel sowie den beiden 64 m hohen Türmen ist sie Zeugnis der einstmals großen jüdischen Kultur Budapests. Das 1859 vollendete und kürzlich erst restaurierte monumentale Gebäude (mit 3000 Sitzplätzen) wird von einem Muster unterschiedlich getönter Backsteine belebt. Ärmlich, düster und zerschunden geht es indes in enger Nachbarschaft zu. In der Erzsébetváros (Elisabethstadt), dem alten jüdischen Viertel, das die Nazis in ein Getto verwandelten, scheint auf sonderbare Weise die Zeit stehengeblieben zu sein. An der Ecke Múzeum krt./Kossuth Lajos utca befindet sich das altherwürdige **Hotel Astoria**. Von hier aus gelangt man über die Rákóczi út zum **Keleti pu.** (Ostbahnhof) mit seiner Steinfassade im Stil der Neorenaissance. Der Ostbahnhof ist der wichtigste Budapester Bahnhof; hier kommen die Züge aus dem Westen an.

Entlang dem Müzeums krt. gelangt man vom Hotel Astoria, an alten Universitätsgebäuden vorbei, zum **ungarischen Nationalmuseum (Magyar Nemzeti Múzeum) (16)**. Mihály Pollack entwarf die Pläne (1837-1847) für den wohl schönsten und größten klassizistischen Bau Ungarns. Es beheimatet die bedeutendste wissenschaftliche Sammlung des Landes mit europaweit bekanntem archäologischem Material (u.a. die Krönungsinsignien). Im nahegelegenen Hotel Korona befinden sich im Restaurant Überreste der alten Stadtmauer.

Die **Zentrale Markthalle (17)** am Vámház krt. wurde lange Zeit modernisiert und wird bald wieder von innen zu bewundern sein. Mit einer Länge von 150 m, sechs Querschiffen und der bis heute erhaltenen Eisenkonstruktion sowie den Mauern aus Ziegeln, Stein und Terrakotta zählt die Halle zu den schönsten Baudenkmälern der modernen Architektur des Funktionalismus. Auch die benachbarte **Karl-Marx-Universität für Wirtschaftswissenschaften (18)** wurde renoviert und erstrahlt in neuem Glanz. Vom Vámház tér führt die hier noch unscheinbare Váci utca vorbei an maroden und rußgeschwärzten Fassaden nach Norden und wandelt sich in ein <Schaufenster für Luxusartikel>, eine der Kärntnerstraße in Wien nachempfundene Fußgängerzone und Flaniermeile. Von besonderer Schönheit sind die Fassaden des

Blumengeschäftes Philantélia (Haus Nr.9), das Thonet-Haus mit seiner ZsolnayKeramik (Haus Nr. 11) und das im gotisierenden Jugendstil erbaute Haus Nr. 15. Am nördlichen Ende der Váci utca liegt der Vörösmarty tér - Treffpunkt von jungen Portraituren, Straßenmusikanten und Gauklern. Auch die älteste <Unterpfasterbahn> (*Földalatt*) des europäischen Kontinents, vom Heldenplatz kommend, hat hier ihre Endstation. Im **Cafe Gerbeaud (19)** kann man bei schmackhaften Törtchen und einem Kapuziner, umgeben von der Atmosphäre der Jahrhundertwende> Seele und Beine baumeln lassen.

Entlang der Andrássy út zum Hösök tere

Die 1990 von <Straße der Volksrepublik> wieder in Andrássy út umbenannte Prachtstraße Budapests, im Überschwang der Jahrhundertwende erbaut, ist eine direkte Verbindung zwischen der Innenstadt und dem Stadtwäldchen. Prunkbauten im eklektischen und Neorenaissancestil säumen die einstige Sűgár (Radialstraße), eine der wichtigsten Verkehrsadern der Hauptstadt. Ausgehend von der belebten Kreuzung an der Bajcsy-Zsilinszky út ist das Postmuseum im **Saxlehner-Haus** (Haus Nr.3) ein Palast mit kostbaren Deckenfresken im Treppenhaus. Die ehemalige <Banque Fonciere> war im Eckhaus (Haus Nr. 2) untergebracht. Die **Ungarische Staatsoper** (*Állami Operaház*) (**20**), von Miklós Ybl im Stil der Neorenaissance in den Jahren 1875-84 geschaffen, ist das schönste Gebäude der Straße. Vis à vis der Oper befindet sich das **Drechsler-Palais**, heute Sitz des staatlichen Ballettinstitutes. Avantgardistische Ausstellungen werden im Ernst-Museum (Haus Nr.8) veranstaltet. In der abzweigenden Nagymező utca haben sich zahlreiche Theater und Varietés etabliert. Die **Franz-Liszt-Musikakademie** (**21**) liegt in einer kleinen Seitenstraße des Boulevards. Mit dem **Oktagon**, dem Platz, an dem die Andrássy út den Mittleren Ring schneidet, endet der städtische, geschäftige Teil des Boulevards. Ein paar Schritte weiter erreicht man das **Franz-Liszt-Museum** (Haus Nr. 67), das sich in der ehemaligen Wohnung des Komponisten befindet. Haus Nr.69 beherbergt die **Kunstakademie** und das staatliche **Marionettentheater**. Die Andrássy út öffnet sich noch einmal auf den baum bestandenen Kodály körönd. Er trägt den Namen des Komponisten Zoltán Kodály, der gemeinsam mit Béla Bartók ungarische Volksmusik gesammelt und bewahrt hat. Besuchenswert ist das **Palais Pallavicini** (Haus Nr. 68) mit seinem überdachten Innenhof. Zwei Monumentalbauten mit Säulenfassaden flankieren den Heldenplatz, die neoklassizistische **Kunsthalle** (*Műcsarnok*) und zur Linken

das **Museum der Schönen Künste** (*Szépművészeti Múzeum*). Die imposante Triumphkolonnade und die Säule des Millenniumdenkmals wurden 1896 anlässlich der 1000-jährigen Landnahme entworfen. Die 36 m hohe Säule trägt den Erzengel Gabriel, die Reiterfiguren stellen Árpád mit seinen sechs Stammesfürsten dar. Zwischen dem Museum und dem Millenniumdenkmal führt der Állatkerti krt. durch das **Stadtwäldchen** (*Városliget*) vorbei am Nobelrestaurant Gundel zum **Zoo** (*Állatkert*) und zum **Vergnügungspark** (*Vidámpark*). Gegenüber befindet sich der Eingang zu einem der schönsten Thermalbäder Budapests, dem **Széchenyi Heil- und Freibad**. Die ab der Abenddämmerung angestrahlte, wie einem Märchen entsprungene **Burg Vajdahunyad** auf der Széchenyi-Insel vereinigt die historische Architektur von 1000 Jahren ungarischer Geschichte. Ignác Alpár schuf aus den miniaturisierten Kopien der charakteristischen ungarischen Baudenkmäler ein repräsentatives Ensemble, in dessen Haupttrakt z.Z. die Sammlungen des Ungarischen Landwirtschaftsmuseums untergebracht sind. Über die Oberfläche des Sees gleiten im Sommer Boote, im Winter Schlittschuhläufer.

Das Burgviertel

Am bequemsten gelangt man vom Clark Ádám tér mit der nostalgischen Standseilbahn (*Sikló*) zum Burgberg hinauf. Linkerhand der sagenumwobene Vogel Turul, betritt man durch ein schmiedeeisernes Tor den **Königspalast** (*Várpalotata*) **(23)**. Er entstand in seiner heutigen Form zwischen 1867 und 1904 nach Plänen von Miklós Ybl und Alajos Hauszmann. Gegen Ende der Kriegswirren des Zweiten Weltkrieges brannte der Palast vollständig aus, wurde jedoch unter Bewahrung freigelegter Grundmauern aus dem Mittelalter wieder aufgebaut. Im Gebäude befinden sich hauptsächlich Museen, unter ihnen die Nationalgalerie und seit Anfang der 90er Jahre das Ludwig Museum. Beim Lustwandeln durch die Befestigungsmauern des Palastes trifft man auf türkische Grabsteine, das Ritterstandbild Prinz Eugens von Savoyen sowie den Matthiasbrunnen. Letzterer stellt eine Begegnung des jungen König Matthias mit der wunderschönen Ilonka dar, von Alajos Strobl 1904 in Szene gesetzt.

Auf dem Weg ins alte Festungsviertel lohnt sich ein Abstecher **zum Burgtheater** (*Várszínház*) **(24)** an der Színház utca, einem ehemaligen Franziskanerkloster, das Farkas Kempelen im 18. Jh. zu einem Theater mit atemberaubender Akustik umbau-

te. Sogar Beethoven wählte den großen Saal für ein Konzert (F-dur-Sonaten für Flügel und Horn), als er am 8. Mai 1800 in Buda weilte. Im Burgbezirk befinden sich noch weitere historische Bauten, die meisten von ihnen in den 80er Jahren liebevoll restauriert. Den Platz der heiligen Dreifaltigkeit (*Szentháromság tér*) schmückt eine barocke Säule aus dem 18. Jh., die aus Dankbarkeit von den Überlebenden der Pestepidemie errichtet wurde. In der Liebfrauenkirche, im Volksmund auch **Matthias-Kirche** (*Mátyástemplom*) **(25)** genannt, fanden in den letzten Tagen der Donaumonarchie zahlreiche Krönungen statt. 1247 urkundlich erwähnt, wurde die Kirche ursprünglich für die deutsche Bürgerschaft im gotischen Stil erbaut und diente später, zur Zeit der Türkenherrschaft, als Moschee (*Eski Cami*). Ihr heutiges Erscheinungsbild erhielt sie in den Jahren 1873-1896 durch den Architekten Frigyes Schulek - besonders sehenswert der 80 m hohe Turm und die Pyrogranit-Ziegel. Um der Matthias-Kirche eine sogenannte räumliche Fassung zu geben, entwarf Schulek 1901-1903 die **Fischerbastei** (*Halászbástya*) **(26)**. Die exzentrische, neuromanische Konstruktion mit ihren vielen Türmchen und Treppchen sowie den unzähligen Darstellungen von Fabelwesen erscheint wie eine märchenhafte Kulisse. Von der Balustrade bietet sich dem Besucher ein wunderschöner Ausblick auf die Wasserstadt (*Víziváros*) und das Pester Donauufer. Links von der Matthias-Kirche steht das moderne Hilton Hotel, das die Ruinen eines ehemaligen Dominikanerklosters integriert. Die Überreste eines Jüdischen Bethauses können in der *Úri utca* Nr. 26 besichtigt werden. Am *Kapisztrán tér*; einem weiten Platz, sind nur noch Mauerreste der ehemaligen Maria-Magdalenen-Kirche, die im Krieg vollständig zerstört wurde, zu erkennen.

Das ganze Burgviertel durchziehen neun verschiedene unterirdische Kellersysteme. Unter dem Haus *Úri utca* Nr. 9 zeigt das **Budaer Panoptikum** in einem Wachsfigurenkabinett Szenen der ungarischen Geschichte. Zum Abschluß empfiehlt sich ein Rundgang auf den äußeren Befestigungen des Burgberges. Unter den Kronen einer Kastanienallee spaziert man an schönen alten Häusern vorbei, genießt den Blick auf die westlichen Stadtteile, dahinter die Budaer Berge, und erreicht schließlich am nördlichen Ende das Kriegsgeschichtliche Museum.



Bild 9: Stadtplan der Budapester Innenstadt [4].

5 Literatur

- [1] **1998: Kernkraftwerke in Europa**, atw (43), 1998, Heft 8-9, Seite 565
- [2] U. Rohde, **Zur Physik und Sicherheit von WWER-Reaktoren**, atw (42), 1997, Heft 12, Seite 792
- [3] **Modeling of Transient and Accident Process in the Paks Nuclear Power Plant**, R&D Project 1991-1993, KFKI Atomic Energy Research Institute, Budapest, Hungary.
- [4] E. Eberhardt, **Ungarn**, DuMont Buchverlag Köln, 1994.
- [5] P. Buza, **Eine Woche in Budapest**, Corvina Verlag, 1989.
- [6] F. Strzyzewski, **Budapest**, Reise Know-How Verlag Peter Rump GmbH, 2. Auflage 1998.

Internetseiten:

1.) TU Budapest Institut für Nukleartechnik

<http://www.reak.bme.hu>

2.) Kernkraftwerk Paks

<http://www.npp.hu> (<http://www.npp.hu/eng/indexlighta.html>)

3.) KFKI

<http://www.kfki.hu>