

<b>Zeitschrift:</b>	Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses
<b>Herausgeber:</b>	Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen
<b>Band:</b>	90 (1999)
<b>Heft:</b>	18
<b>Artikel:</b>	Strömungsdynamik in Grundablassstollen
<b>Autor:</b>	Volkart, Peter / Speerli, Jürg
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.5169/seals-901975">https://doi.org/10.5169/seals-901975</a>

### Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 20.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Strömungsdynamik in Grundablassstollen

Im vorliegenden Projekt wurde die Strömungsdynamik in einem Grundablassstollen von Talsperren sowohl mit «insitu» Messungen als auch mit einer hydraulischen Modellstudie untersucht.

■ Peter Volkart und Jürg Speerli

## Grundablass und Grundablassstollen

Der Grundablass ist das zuunterst angeordnete Regulierorgan einer Talsperre. Der Grundablass erlaubt eine Absenkung in Trockenperioden, oft auch eine Speicherentleerung und trägt somit massgeblich zur Sicherheit der ganzen Stauanlage bei. Bei grossen Energiehöhen vor der Regulierschütze schießt das Wasser mit hoher Austrittsgeschwindigkeit in den Grundablassstollen. Bei solch hochturbulenten Grundablassabflüssen wird die Oberflächenspannung von Wasser gegen Luft kurz unterstrom der Regulierschütze überwunden, Wassertropfen werden aus dem Abfluss herausgeschleudert, die beim Wiederauftreffen Luftblasen in den Wasserabfluss einmischen. Infolge des Lufteintrages in den Wasserstrahl erfolgt der Abfluss im Grundablassstollen als Gemischabfluss. Unterstrom der Regulierschütze stellt sich durch den Lufteintrag in den Wasserabfluss ein Luftunterdruck ein. Der Raum unterstrom der Regulierschütze wird daher durch eine Belüftungsleitung mit der Atmosphäre verbunden. Der Luftunterdruck bewirkt eine Luftströmung in der Belüftungsleitung und im Grundablassstollen.

Infolge strömungstechnischer Unzäglichkeiten können bei einem Grundablass Kavitation mit entsprechenden Kavitationsschäden und Schützenschwüngungen auftreten, die bei ungenügender Belüftung und einem Zuschlagen des Grundablassstollens zusätzlich begünstigt werden. Der Übergang vom Freispiegelabfluss zu Druckabfluss, das sogenannte Zuschlagen, erfolgt nicht kontinuierlich oder eindeutig; dasselbe gilt für das Umgekehrte, das Aufschlagen eines

geschlossenen Profils. In diesem betrieblich unerwünschten Grenzbereich schwankt der Abfluss von einem Zustand zum anderen und kann sogar entlang des Grundablassstollens beide Abflusszustände aufweisen. Durch Zuschlagen wird eine Be- oder Entlüftung durch das Stollenportal unterbunden. Das Zuschlagen erfolgt bei hohen Strömungsgeschwindigkeiten meist plötzlich, was zu einem Druckstoss oder zu einer Serie von Druckstößen und Pulsationen führen kann, die die Regulierschütze zu Schwankungen anregen und die Berandungsflächen beschädigen können.

## Staukurve des Gemischabflusses unbekannt

Bis heute ist der Einfluss des Grundablassstollens auf die Belüftung des Grundablassabflusses nicht systematisch untersucht worden. Die Staukurve des Gemischabflusses im Grundablassstollen ist unbekannt. Um aber die Gefahr des Zuschlagens zu beurteilen, muss der Verlauf der Gemischoberfläche berechnet werden können. Es war daher das Ziel dieses Projekts, diesen Einfluss aufzuzeigen und die Wechselwirkung der Belüftungsleitung und des Grundablassstollens, deren Auswirkungen auf den Gemischabfluss sowie die Luftdruckverhältnisse im Grundablassstollen darzustellen und Vorschläge für die Dimensionierung zu erarbeiten.

## Untersuchung der Strömungsprozesse im Grundablassstollen

Die insitu Messungen wurden an den Talsperren Curnera (Billeter und Speerli, 1991) und Panix (Volkart und Speerli, 1994) und die hydraulischen Modellversuche an einem Versuchsstand der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW) der ETH Zürich durchgeführt (Speerli, 1998).

Der Grundablassstollen im Versuchstand weist eine Länge von 21 m, eine Breite von 0,3 m, eine Höhe von 0,45 m und ein Gefälle von 2% auf. Die Druck-

höhe wurde von 10 m WS bis 25 m WS variiert. Gemessen wurde der Wasserabfluss, der Luftzufluss durch die Belüftungsleitung, der Luftzufluss vom Stollenportal in den Grundablassstollen und der Luftunterdruck im Grundablassstollen. Die Gemischgeschwindigkeit und die Luftkonzentration des Gemischabflusses wurde bei vier Querprofilen messtechnisch erfasst.

## Ergebnisse

Die Analyse der insitu Messungen zeigt einen massgebenden Einfluss der Geometrie des Grundablassstollens auf die Belüftungsprozesse im Grundablassstollen (Speerli und Volkart, 1997). Beim versprühten Abfluss findet die Belüftung nur durch die Belüftungsleitung statt. Der Spray füllt den ganzen Grundablassstollenquerschnitt aus, eine Luftströmung vom Stollenportal bis zur Regulierschütze wird dadurch unterbunden. Bei einer unterdimensionierten Belüftungsleitung kann der Luftunterdruck im Schützenbereich unter den in der Literatur angegebenen kritischen Wert von (-1,5 m WS



**Bild 1** Gemischabfluss am Ende des Grundablassstollens Panix. Im Deckenbereich strömt Luft in den Grundablassstollen entgegen der Fließrichtung des Gemischabflusses.

### Adresse der Autoren

Dr. Peter Volkart, Dr. Jürg Speerli  
Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW)  
ETH Eidgenössische Technische Hochschule  
8094 Zürich

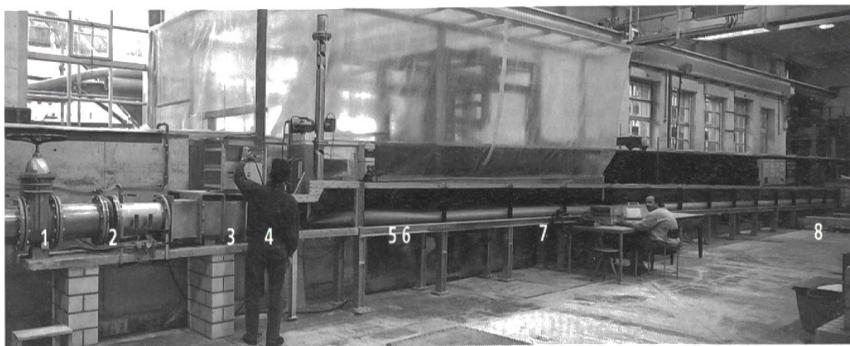


Bild 2 Versuchsstand Grundablassstollen.

- 1 Schieber
- 2 Druckleitung
- 3 Übergangselement (Kreisprofil auf quadratisches Profil)
- 4 Gleichrichterlement
- 5 Schützenkammer
- 6 Belüftungsleitung
- 7 Grundablassstollen
- 8 Auslauf

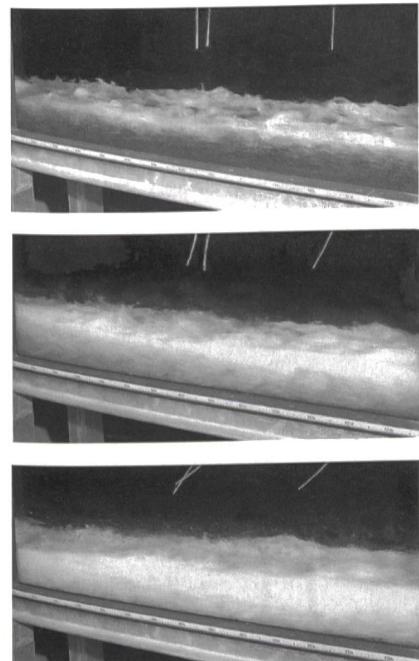
sinken. Der Luftunterdruck im Grundablassstollen bewirkt beim Freispiegelabfluss eine Luftströmung sowohl durch die Belüftungsleitung als auch eine dem Gemischabfluss entgegengesetzte Luftströmung im Grundablassstollen. Die beiden Luftströme beeinflussen sich gegenseitig. Das Maximum des Luftunterdrucks ist unterstrom der Regulierschütze und nimmt gegen das Stollenportal exponentiell auf Atmosphärendruck ab. Die Summe des Luftzuflusses durch die Belüftungsleitung und des Luftzuflusses durch das Stollenportal in den Grund-

ablassstollen ist für gegebene Energiehöhe, Schützenöffnung und Stollenlänge unabhängig von der Verlustcharakteristik der Belüftungsleitung, solange über dem Gemischabfluss eine genügend grosse freie Querschnittsfläche vorhanden ist.

Mit grösser werdender Schützenöffnung steigt die Gemischtiefe im Grundablassstollen an, wodurch der Luftquerschnitt zwischen Gemischoberfläche und Stollendecke kleiner wird. Mit kleiner werdendem Luftquerschnitt steigen die Verluste der Luftströmung vom Stollenportal in den Grundablassstollen an. Bevor der Stollen zuschlägt, werden die Luftströmungsverluste so gross, dass ein Luftzufluss vom Stollenportal in den Grundablassstollen ausbleibt. Es findet nur noch eine dem Gemischabfluss gleichgerichtete Luftströmung statt.

Die Strömungsprozesse im Grundablassstollen des hydraulischen Versuchstands sind vergleichbar mit denjenigen bei Prototypen.

Die Analyse der Messdaten hat zur Herleitung von Bemessungsformeln für den Luftzufluss durch die Belüftungsleitung und den totalen Luftzufluss zum Grundablassstollen geführt. Diese Bemessungsformeln basieren auf den Parametern Energiehöhe, Drosselöffnung der Belüftungsleitung, Schützenöffnung, Stollenlänge, -breite und -höhe. Die Gleichung zur Berechnung der Staukurve des Gemischabflusses im Grundablassstollen wird hergeleitet und diskutiert.



Bilder 3 bis 5 Gemischabfluss im Grundablassstollen bei halber Stollenlänge ( $H_E$  = Energiehöhe vor der Regulierschütze;  $S$  = relative Schützenöffnung;  $Fr_C$  = Froude-Zahl an der Vena Contracta und  $Q_W$  = Wasserabfluss).

#### Bild 3 Randbedingungen.

$H_E = 5 \text{ mWS}$ ,  $S = 40\%$ ,  $Fr_C = 12$ ,  $Q_W \approx 0,234 \text{ m}^3/\text{s}$

#### Bild 4 Randbedingungen.

$H_E = 10 \text{ mWS}$ ,  $S = 40\%$ ,  $Fr_C = 17$ ,  $Q_W \approx 0,330 \text{ m}^3/\text{s}$

#### Bild 5 Randbedingungen.

$H_E = 15 \text{ mWS}$ ,  $S = 33,3\%$ ,  $Fr_C = 23$ ,  $Q_W \approx 0,330 \text{ m}^3/\text{s}$

Das Projekt «Strömungsdynamik in Grundablassstollen» wird unterstützt vom Projekt- und Studienfonds der Elektrizitätswirtschaft (PSEL)

fläche zwischen Gemischoberfläche und Stollendecke. Der Grundablassstollen ist daher geradlinig zu führen. Der Gemischabfluss besitzt bei gegebener Energiehöhe und Schützenöffnung eine maximale Luftaufnahmekapazität. Ein Zuschlagen des Grundablassstollens bei einer gleichzeitig unterdimensionierten Belüftungsleitung führt zu grossen Luftunterdrücken unterstrom der Regulierschütze. Kavitation und Kavitationsschäden werden dadurch begünstigt.

#### Literaturverzeichnis

- P. Billeter und J. Speerli (1991). Prototype investigation of the air entrainment in a high head bottom outlet. Proc. 24th IAHR Congress, Madrid, Spain, D, 321-330.
- J. Speerli und P. Volkart (1994). Strömungsdynamik in Grundablassstollen von Talsperren, Bulletin SEV/VSE, 85(16), 31-34.
- J. Speerli und P. Volkart (1997). Air entrainment in bottom outlet tailrace tunnels, Proc. 27th IAHR Congress, San Francisco, California, USA, D, 613-618.
- J. Speerli (1998), Strömungsprozesse in Grundablassstollen, Dissertation Nr. 12583 der ETH Zürich.
- P. Volkart und J. Speerli (1994). Prototype investigation of the high velocity flow in the high head tunnel outlet of the Panix dam, Proc. 19th ICOLD Congress, Durban, South Africa, 4, Q.71, R.6, 55-78.

#### Folgerungen

Ein Volllaufen des Grundablassstollens ist in jedem Fall zu vermeiden. Der Grundablassstollen muss deshalb einen wesentlich grösseren Querschnitt als die Regulierschütze aufweisen. Ein Einstau des Grundablassstollens vom Unterwasser verhindert die freie Querschnittsfläche zwischen Gemischoberfläche und Stollendecke und ist daher zu vermeiden. Stosswellen im Grundablassstollen reduzieren ebenfalls die freie Querschnitts-

#### Dynamique d'écoulement de l'eau dans les galeries de vidange de fond

Le présent projet a été consacré à l'étude de la dynamique d'écoulement de l'eau, ceci dans le cadre de mesures sur site ainsi que d'une expérience hydraulique sur modèle.

# PANDA-Versuch und Internationales Standardproblem zu passiven Kühlssystemen für die Nachwärmeabfuhr

Im Rahmen der OECD/NEA<sup>1</sup> führt das Paul Scherrer Institut (PSI) ein Internationales Standardproblem durch, das Aufschluss über die Leistungsfähigkeit und Handhabung von Computer-Programmsystemen geben soll, die im Zusammenhang mit passiven Nachwärme-Abfuhrsystemen eingesetzt werden. Die Versuchsanlage PANDA am PSI ist speziell auf die Untersuchung derartiger Systeme ausgerichtet. Ein PANDA-Versuch in sechs Phasen liefert den teilnehmenden Organisationen die Basis für Voraus- und Nachrechnungen einzelner oder mehrerer Phasen, die jeweils eine begrenzte Anzahl von systemtypischen Betriebszuständen und Phänomenen abdecken. Im Berichtsjahr wurde der Versuch spezifiziert und gefahren. Ende 1998 haben die teilnehmenden Organisationen die Informationen für die «blinden» Voraurechnungen erhalten. Bis Mitte 1999, wenn die Ergebnisse der Blindrechnungen fällig sind, werden die Messdaten am PSI unter Verschluss gehalten. Für die nachfolgende «offene» Runde mit Nachrechnungen sind die Messdaten dann bekannt. Die Schlussfolgerungen aus den Vergleichen von Messdaten und Rechnungen werden zum Projektende im Jahre 2001 vorliegen.

■ Prof. Dr. G. Yadigaroglu  
und N.S. Aksan

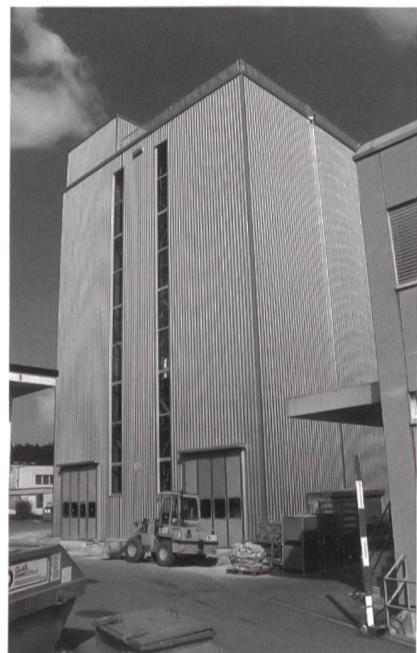
## Ein ISP – was ist das?

Sicherheitsuntersuchungen von Nuklearanlagen beruhen zu einem grossen Teil auf umfangreichen, rechnergestützten Simulationen. Die dafür eingesetzten Computer-Programmsysteme bewegen sich traditionellerweise an der Vorderfront der technischen Möglichkeiten. So genannte Internationale Standardprobleme (ISP) sind ein probates Hilfsmittel, um die Leistungsfähigkeit dieser Arbeitsmittel und den Einfluss der Programmhandhabung (Input-Aufbereitung) für bestimmte Anwendungen zu erfassen und allfällige Leistungsgrenzen zu erkennen.

Zu diesem Zweck wird ein wissenschaftlicher Versuch, der gewisse Phäno-

<sup>1</sup>OECD: Organization for Economic Cooperation and Development (Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung)

NEA: Nuclear Energy Agency (Nuklearenergie-Agentur [der OECD])



Bilder 1 bis 3 Bauphasen der Versuchsanlage PANDA. Das mechanische Grundgerüst für die Versuchsanlage PANDA bildet das Behältersystem. Zylindrische Druckbehälter (10 bar/200°C) stellen Reaktordruckbehälter und Sicherheitsbehälter einer Reaktoranlage dar. Ganz oben sind die kubischen Kühlbecken für die passive Nachwärmeabfuhr zu sehen. Um die Behälteranlage herum wurde eine Stahlbaute errichtet.

mene von Interesse abdeckt, zur Behandlung im Rahmen eines ISP ausgewählt. Die teilnehmenden Organisationen simulieren diesen Versuch mit ihren Computer-Programmsystemen. Falls ihnen dafür nur Angaben zur Versuchsanordnung sowie die Anfangs- und Randbedingungen zur Verfügung stehen, spricht man von einer blinden Rechnung; die Simulation ist in diesem Fall eine Vorhersage. Demgegenüber sind im offenen Verfahren die gemessenen Versuchsresultate bekannt; die Simulation ist in diesem Fall eine Nachrechnung. Diese Unterscheidung ist wichtig, weil die Umsetzung des physikalischen Problems in die Strukturen der Computerprogramme gewisse Möglichkeiten bieten kann, die Simulationsrechnung im Sinne allenfalls bekannter Resultate zu beeinflussen. Wer an der blinden Vorausrechnung teilnimmt, sollte wenn möglich nach Bekanntgabe der Versuchsdaten auch eine Nachrechnung ausführen. Vergleiche zwischen den Resultaten, die von den verschiedenen teilnehmenden Organisationen als Vor- und/oder Nachrechnung vorgelegt werden, ermöglichen dann, die Leistungsfähigkeit der Programmsysteme und den Einfluss ihrer Handhabung auf die Resultate zu beurteilen.

Im Rahmen des Committee on the Safety of Nuclear Installations (CSNI, Ausschuss für die Sicherheit von Nuklearanlagen) der OECD/NEA wurden im Verlauf der vergangenen 23 Jahre insgesamt 41 ISPs zu verschiedenen Problemen der Reaktorsicherheit bearbeitet. Für die eigentliche Durchführung inklusive Finanzierung des gemeinsamen Teils zeichnet traditionellerweise eine nationale Organisation eines Mitgliedslandes verantwortlich. Das 42. ISP wird vom PSI – mit finanzieller Unterstützung des VSE/PSEL – durchgeführt und ist den passiven Kühlsystemen zur Nachwärmeverfuhr von Fortgeschrittenen Leichtwasserreaktoren (Advanced Light Water Reactors, ALWRs) gewidmet.

## Passive Nachwärmeverfuhr

Neben der Beherrschung der Spaltreaktion ist die sichere Abfuhr der Nachzerfallswärme ein zentrales Thema der

Reaktorsicherheit. Im Reaktorkern während des Betriebes entstandene radioaktive Spaltprodukte zerfallen spontan und setzen auch nach der Abschaltung in einem gewissen Umfang Wärme frei. Diese Nachzerfallswärme muss stets und langfristig abgeführt werden, um die Integrität des Kernes und damit den sicheren Einschluss des radioaktiven Inventars zu gewährleisten. Heutige Reaktoranlagen erreichen dieses Sicherheitsziel mit teurer Technik: verschiedeneartige und mehrfach vorhandene, räumlich getrennte, aktiv gesteuerte und mit Fremdenergie betriebene Zusatzsysteme für den Notfall.

Passive Systeme beruhen demgegenüber auf dem Zusammenwirken von Naturgesetzen, Materialeigenschaften, technischen Strukturen und prozessinterner Energie. Mit diesen Charakteristiken können passive Notkühlssysteme zu einem einfacheren Gesamtsystem in zukünftigen Reaktoranlagen beitragen. Die für ALWRs vorgeschlagenen passiven Nachwärmeverfuhrssysteme sehen in der Regel erhöhte Wasservorräte im Reaktorsicherheitsbehälter für die Aufnahme der anfänglich grossen Wärmeströme vor und führen die Nachwärme langfristig, das heisst in der Grössenordnung von einem bis mehreren Tagen, mittels Naturkonvektion (angetrieben durch die Dichtedifferenz zwischen erwärmten und rückgekühlten Fluiden) über Austauschflächen an die Umgebung ab. Bestimmend für das Systemverhalten sind Mischungsvorgänge und Temperaturschichtungen in grossen Wasservorlagen sowie Schichtungen und Kondensation von Gemischen von Dampf und sogenannten nichtkondensierbaren Gasen (Luft, Stickstoff). Durch derartige Prozesse gesteuertes Systemverhalten und die Fähigkeiten der eingesetzten Computer-Programmsysteme, dieses Verhalten zu simulieren, sind Gegenstand des hier vorgestellten ISP-42.

## Die Versuchsanlage PANDA

Die Versuchsanlage PANDA (passive Nachwärmeverfuhr und Druck-Abbau, Bilder 1 bis 3) wurde Anfang der 90er Jahre am PSI konzipiert und gebaut, um passive Nachwärmeverfuhrssysteme in relativ grossem Massstab zu untersuchen. Dabei interessieren nicht nur das Systemverhalten insgesamt, sondern auch Schlüsselphänomene während der langfristigen Nachwärmeverfuhr von passiven ALWRs. Die bisher durchgeföhrten Testreihen hatten zum Ziel

**Das Projekt «PANDA-Versuch und Internationales Standardproblem zu passiven Kühlssystemen für die Nachwärmeverfuhr» wird vom Projekt- und Studienfonds der Elektrizitätswirtschaft (PSEL) unterstützt.**

- die Tauglichkeit verschiedener passiver Nachwärmeverfuhrssysteme zu zeigen;
- experimentelle Daten für die Validierung von Computer-Programmsystemen zu generieren;
- Kennwerte von Wärmetauschern zu ermitteln.

Die Anlage besteht aus mehreren zylindrischen Druckbehältern, die verschiedene Raumteile des Sicherheitsbehälters einer Reaktoranlage darstellen und mit Rohrleitungen so verbunden sind, dass ein gültiges thermohydraulisches Abbild des untersuchten Nachwärmeverfuhrssystems entsteht (Bild 4). Das modulare Konzept erlaubt, unterschiedliche passive Nachwärmeverfuhrssysteme zu simulieren, indem die Verbindungsleitungen angepasst werden. Während PANDA die relevanten Höhen einer Reaktoranlage etwa im Original wiedergibt, liegt der Abbildungsmassstab für Volumen und Leistung im Bereich 1:25 bis 1:50. Dieser Massstab ist relativ gross und ermöglicht die Untersuchung von dreidimensionalen Verteilungseffekten. Temperatur-, Druck- und Sauerstoffmessungen liefern Angaben zur Verteilung der nichtkondensierbaren Gase, die für das Systemverhalten und dessen Verständnis wichtig ist. Zusammen mit Messungen von Niveaus, Durchflüssen, Leistung usw. werden insgesamt über 500 Signale erfasst.

Dem Abbildungsmassstab entsprechend, stehen 1,5 MW installierte elektrische Leistung zur Verfügung, um die Nachzerfallswärme in der Phase der langfristigen Wärmeabfuhr, das heisst ab etwa  $1\frac{1}{2}$  bis 1 Stunde nach Reaktorabschaltung zu simulieren. Dieser Zeitpunkt entspricht bei PANDA dem Testbeginn, und der zugehörige Anfangszustand beruht auf Berechnungen. In PANDA ist eine Anzahl von Hilfsyste-

Adresse der Autoren  
Prof. Dr. G. Yadigaroglu  
N.S. Aksan  
Labor für Thermohydraulik  
Paul Scherrer Institut (PSI)  
5232 Villigen

# Kernenergie

men vorhanden, um diesen Anfangszustand anzufahren. Das entsprechende Verfahren ist recht zeitintensiv und erfordert je nach vorliegendem Ausgangs- und gefordertem Endzustand der Anlage einen Zeitaufwand im Bereich von einem bis mehreren Arbeitstagen. In der Regel wird die Anlage von zwei Personen über eine graphische Bedienungsoberfläche mit Prozessvisualisierung ferngesteuert. Hilfreich ist dabei die Möglichkeit, den zeitlichen Verlauf aller erfassten Daten in Echtzeit oder im Rückblick abzurufen.

## Der PANDA-Versuch für das ISP-42

Die Konfiguration der Versuchsanlage PANDA für diesen Versuch entspricht einem passiven ALWR vom Typ Siedewasserreaktor (Bild 4). Der Versuch für das ISP-42 wurde so angelegt, dass er eine Vielzahl von typischen Phänomenen abdeckt, die während der langfristigen Nachwärmeabfuhr im Reaktorsicherheitsbehälter von passiven ALWRs ablaufen und das Systemverhalten bestimmen. Um für die Simulationsrechnung die Fehlerfortpflanzung in der Folge eines allenfalls mangelhaft berechneten (Teil-)Prozesses zu unterdrücken, wurde der gesamte Versuch in sechs eigenständige Phasen unterteilt. Am ISP teilnehmende Organisationen können somit je nach Interesse und verfügbaren Mitteln einzelne Phasen (oder auch alle) zur Bearbeitung auswählen. Die sechs Phasen entsprechen typischen Notfall-Betriebssequenzen eines passiven ALWR, beginnend mit dem Übergang zur langfristigen Nachwärmeabfuhr im Verlauf eines Auslegungs-Störfalles (Kühlmittelverlust) und endend mit einem auslegungsüberschreitenden, sogenannten hypothetischen Szenarium einer Kernüberhitzung, die Wasserstoff (simuliert mit Helium) freisetzt. Die sechs Versuchphasen decken hauptsächlich die folgenden Fragestellungen und Phänomene ab:

- Transienter und quasi-stationärer Betrieb eines passiven Nachwärme-Abfuhrsystems
- Kopplungseffekte zwischen Primärsystem und Reaktorsicherheitsbehälter
- Naturumlauf im Reaktordruckbehälter bei tiefer Leistung und tiefem Druck
- Überströmen eines Gemisches von Dampf und nichtkondensierbaren Gasen in das Druckabbau-Becken
- Dampfkondensation in Rohren, an Wänden und in Wasservorlagen in

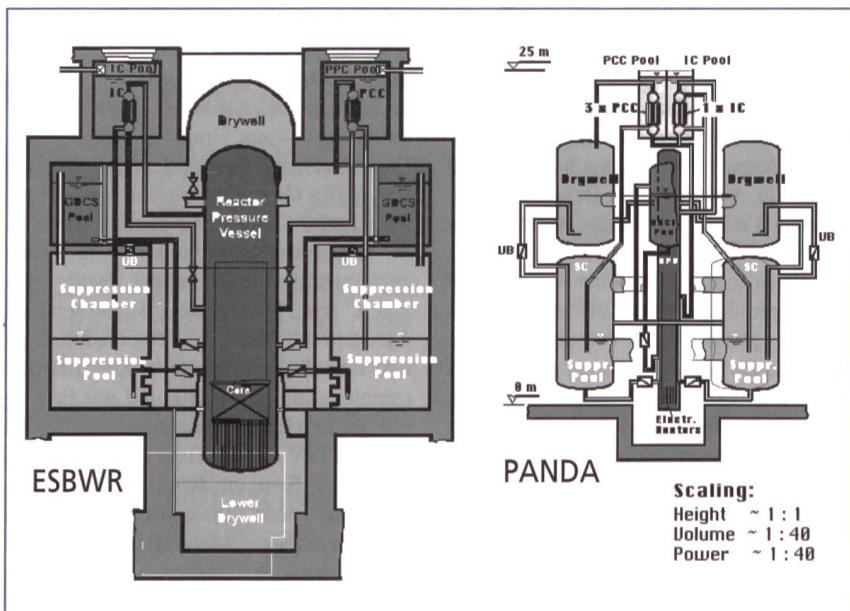


Bild 4 Die Versuchsanlage PANDA (rechts) bildet das passive Nachwärme-Abfuhrsystem einer Reaktoranlage (links) ab. Die Konfiguration für das ISP-42 entspricht dem European Simplified Boiling Water Reactor von General Electric (ESBWR).

Gegenwart von nichtkondensierbaren Gasen

- Mischung/Schichtung von leichten (Helium) und/oder schweren Gasen (Luft) mit Dampf in grossen Volumen: dreidimensionale Effekte, Wirkung von strahlartigen Einströmungen.
- Mischung/Schichtung in grossen Wasserbecken
- Einige der genannten Phänomene sind nicht nur für passive ALWRs, sondern für die Sicherheitsbehälter von Leichtwasserreaktoren im allgemeinen anwendbar.

## Zeitplan

Der vorgesehene Zeitplan sieht vor, dass die Resultate der Blindrechnungen bis Mitte 1999 einzureichen sind. Bis dahin werden die unter Verschluss gehaltenen Versuchsdaten am PSI aufbereitet, um sie den teilnehmenden Organisationen für die nachfolgende «offene» Runde mit Nachrechnungen bei bekannten Messdaten zur Verfügung zu stellen. Die Schlussfolgerungen aus den Vergleichen von Messdaten und Rechnungen werden zum Projektende im Jahre 2001 vorliegen.

## Essai PANDA et «International Standard Problem» pour les systèmes de refroidissement passifs destinés à l'évacuation de la chaleur résiduelle

«International Standard Problem», désigne un essai destiné à fournir des éclaircissements sur les performances et l'utilisation de systèmes de programmes informatiques qui sont mis en œuvre en connexion avec des systèmes passifs d'évacuation de chaleur résiduelle. L'installation expérimentale PANDA de l'Institut de recherche Paul Scherrer est spécialement conçue pour l'étude de tels systèmes. Un essai PANDA, se déroulant en six phases, fournit aux organisations impliquées les bases dans le cadre de calculs préliminaires et de calculs de vérification de phases individuelles ou multiples, phases qui, chacune, couvrent un nombre limité d'états d'exploitation et de phénomènes typiques «Système». L'essai a été défini et réalisé au cours de l'exercice annuel. Les organisations impliquées ont reçu, à fin 1998, les informations sur les calculs préliminaires «à l'aveugle». Jusqu'au milieu de l'année 1999, lorsque les résultats des calculs «à l'aveugle» seront terminés, les données de mesure seront gardées secrètes à l'Institut Paul Scherrer. Pour la série «à découvert» qui suivra avec les calculs de vérification, les données de mesure seront alors connues. Les conclusions tirées des données de mesure et des calculs seront disponibles à la fin du projet en l'an 2001.