



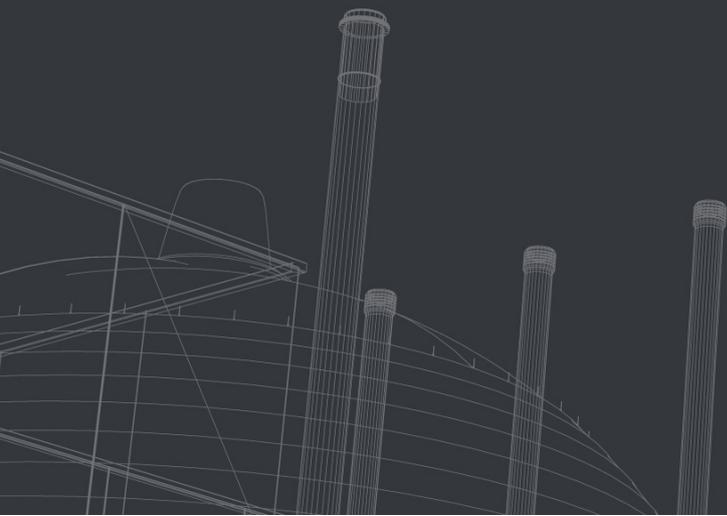
Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI

# Analyse Fukushima 11032011

Vertiefende Analyse  
des Unfalls in Fukushima  
am 11. März 2011

unter besonderer Berücksichtigung  
der menschlichen und  
organisatorischen Faktoren



# Fukushima

37° 25' 26.57" N, 141° 1' 56.87" E

11.03.2011



# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung und Vorgehen</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Hintergrundinformationen</b>	<b>8</b>
2.1	Nukleare Aufsicht und Energiepolitik in Japan	8
2.2	Gesetzliche Grundlagen der nuklearen Aufsicht in Japan	10
<b>3</b>	<b>Vertiefende Analyse des ENSI</b>	<b>12</b>
3.1	Unfallentstehung	12
3.1.1	Organisatorische Faktoren	12
3.1.2	Menschliche Faktoren	17
3.2	Unfallbewältigung	22
3.2.1	Organisatorische Faktoren	22
3.2.2	Menschliche Faktoren	24
3.3	Unfallkonsequenzen	28
3.3.1	Organisatorische Faktoren	28
3.3.2	Menschliche Faktoren	30
<b>4</b>	<b>Schlussfolgerungen</b>	<b>32</b>
<b>5</b>	<b>Weiteres Vorgehen</b>	<b>34</b>
<b>6</b>	<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>36</b>
<b>7</b>	<b>Referenzen</b>	<b>38</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>		
Abb. 1	Elemente der Analyse des ENSI in der Übersicht	7
Abb. 2	Beziehungsgeflecht der staatlichen Akteure im Bereich der Kernenergie in Japan	9
Abb. 3	Hierarchische Struktur der Gesetze für die Sicherheit von Kernanlagen in Japan	11
Abb. 4	Auslegung und Anlage von Fukushima Dai-ichi und die tatsächliche Tsunamihöhe [4]	17
Abb. 5	An der Küste Japans stehen hunderte Markierungssteine...	18
Abb. 6	Ausmass der Zerstörung hier für Block 4 von Fukushima-Dai-ichi (Quelle: n-tv online, Sonntag, 24. April 2011) und Strassen in Küstennähe (Quelle: rp-online)	23
Abb. 7	Arbeiten bei totalem Stromausfall und extremer Strahlenbelastung (Quelle: T-online Nachrichten, 24.03.2011; Weltexpressinfo online, 25.03.2011)	25

# 1 Einleitung und Vorgehen

In Folge des Unfalls von Fukushima Dai-ichi vom 11. März 2011 leitete das ENSI eine vertiefende Analyse des Unfalls ein. Mit dieser Analyse verfolgt es die folgenden Ziele:

- Vertieftes Verständnis des Ereignisablaufs und der dazu beitragenden Faktoren
- Ableitung von kurz-, mittel- und langfristigen Forderungen bzw. Massnahmen an die Bewilligungsinhaber
- Reflexion der eigenen Aufsichtsarbeit und gegebenenfalls Ableitung von Massnahmen
- Verifikation der Überprüfungsergebnisse der Betreiber, gemäss Art. 2, Abs. 1, Bst. c und Abs. 2 der Verordnung des UVEK über die Methodik und die Randbedingungen zur Überprüfung der Kriterien für die vorläufige Ausserbetriebnahme von Kernkraftwerken vom 16. April 2008 (SR 732.114.5), welche vorsieht, dass der Inhaber einer Betriebsbewilligung (Bewilligungsinhaber) bei Ereignissen in anderen Kernkraftwerken, welche mit INES-2 oder höher eingestuft wurden, die Auslegung des eigenen Kernkraftwerks unverzüglich zu überprüfen und das Ergebnis dieser Überprüfung unverzüglich der Aufsichtsbehörde mitzuteilen hat.

Um der Tragweite und der Komplexität des Ereignisses gerecht zu werden, wurde im ENSI ein eigenes interdisziplinäres Analyseteam gebildet. Dieses umfasst Experten aus den Bereichen Mensch & Organisation, Strahlenschutz, Elektrotechnik, Maschinenteknik, Werkstofftechnik und Systemtechnik. Bei Bedarf wurde auf weitere Kompetenzen innerhalb und ausserhalb des ENSI zugegriffen.

Unbestritten ist, dass die technisch unzureichende Auslegung der Kernanlagen von Fukushima Dai-ichi gegen den in Folge des Erdbebens aufgetretenen Tsunami ein Schlüsselfaktor für die Unfallentstehung darstellt. Warum es allerdings zu diesen eklatanten Auslegungsmängeln kam und warum der Unfall einen derartigen Verlauf nahm, kann nur durch eine ganzheitliche Analyse der Unfallereignisse geklärt werden. Dabei sind gemeinsam mit der Technik die Bereiche Mensch und Organisation zu berücksichtigen. Was auf den ersten Blick ein durch Naturereignisse ausgelöstes technisches Anlagenversagen schien, stellte sich schon sehr bald als ein komplexes Ereignis heraus, in welchem menschliche und organisatorische Aspekte eine zentrale Bedeutung einnehmen.

Das ENSI hat dem in seiner Analyse in besonderer Weise Rechnung getragen und den menschlichen und organisatorischen Aspekten von Beginn an denselben Stellenwert wie den technischen Aspekten eingeräumt.

Hauptschwierigkeit bei der Faktensammlung im menschlichen und organisatorischen Bereich, inklusive dem Strahlenschutz, war die Sicherstellung und Verifizierung der Belastbarkeit der verfügbaren Informationen. Das ENSI hatte keinen direkten Zugang zu Informationen. Seine Analyse muss sich aus diesem Grund auf allgemein zugängliche Quellen stützen, insbesondere auf Informationen von Behörden, Betreibern, Expertenorganisationen sowie zu einem nicht unerheblichen Teil auf Medienberichte.

In den bisherigen internationalen Analysen werden im Bereich Mensch und Organisation bislang wenig detaillierte Aussagen gemacht. Die noch zu erwartenden offiziellen Berichte zum Unfall werden weiter dazu beitragen, noch offene Fragen im Bereich Mensch und Organisation zu beantworten bzw. bisher noch nicht ausreichend gesicherte Informationen zu verifizieren und Hypothesen zu prüfen. Aus den genannten Gründen und wegen der hohen Komplexität kann der Analyseprozess des ENSI noch nicht als abgeschlossen betrachtet werden. Dies gilt insbesondere auch für die radiologischen Auswirkungen des Unfalls.

Die Analyse des ENSI berücksichtigt die dramatischen Umstände während und nach dem Unfall, unter denen die Menschen in Japan unter unvorstellbarem Leid die Situation vor Ort bewältigen mussten. Die Feststellungen und Schlussfolgerungen des ENSI haben nicht zum Ziel, Kritik an den japanischen Akteuren zu üben und sich von den Ereignissen zu distanzieren, sondern im Gegenteil den Unfall zum Anlass zu nehmen, die Situation in der Schweiz zu hinterfragen. Obwohl der Fokus des vorliegenden Berichts auf der Feststellung von (mutmasslichen) Schwachstellen und Mängeln liegt, welche zum Unfall beigetragen bzw. die Unfallbewältigung erschwert haben, soll damit ausdrücklich nicht unterstellt werden, TEPCO und die japanischen Behörden hätten nicht alles in ihrer Macht stehende unternommen, um den Unfall zu beherrschen bzw. dessen Konsequenzen zu lindern. Auch aus dem, was „gut gelaufen“ ist, also was dazu beigetragen hat, dass Verlauf und Auswirkungen des Unfalls nicht weiter verschlimmert wurden (z. B. der unermüdliche und grosse Einsatz des Personals in der Anlage in den Tagen, Wochen und Monaten nach dem Beginn des Unfalls), werden Lehren zu ziehen sein. Die bisherige Informationslage und die Notwendigkeit, so rasch wie möglich die dringendsten Massnahmen für die Kernanlagen in der Schweiz und in aller Welt abzuleiten, haben bisher jedoch diesen wichtigen Teil der Analyse noch nicht in den Fokus der (internationalen) Analysen rücken lassen.

In Anbetracht des Ausmasses und der Dauer des Unfalls und der Anzahl involvierter Personen muss zudem anerkannt werden, dass nur wenige Todesopfer oder Verletzte zu beklagen sind, und dass die Anzahl von exponierten Personen mit unzulässigen Strahlendosen, relativ gesehen, gering ist. Trotzdem nimmt das ENSI jeden einzelnen dieser Fälle ernst und sieht es als seine Pflicht an, aus jedem Fall die nötigen Lehren zu ziehen.

Das Vorgehen bei der vertieften Analyse gliedert sich in aufeinander aufbauende Elemente (siehe Abbildung 1). Am Anfang stand die Sammlung von Fakten zum Ereignisablauf (also die Rekonstruktion dessen, was nach dem Erdbeben und dem Tsunami passiert ist), aber auch zu Hintergründen und zur Vorgeschichte. Der Unfallablauf wurde auf Basis der verfügbaren Informationen, soweit möglich, rekonstruiert [1]. Selbst offizielle Stellen der japanischen Regierung bzw. Behörden und des Betreibers TEPCO (Tokyo Electric Power Company) sind aufgrund fehlender Betriebsdaten und der bislang nur sehr eingeschränkt inspizierbaren Anlagen (noch) nicht in Kenntnis aller relevanten Daten und Fakten, weshalb eine vollständige Rekonstruktion des Unfallablaufs noch nicht endgültig möglich ist. Darum ergaben sich während der Faktensammlung insbesondere für den Bereich Mensch und Organisation viele Fragen, welche (bislang) nur zum Teil beantwortet werden konnten.

Im Rahmen der vertiefenden Analyse wurden anschliessend die mutmasslichen beitragenden Faktoren zusammengetragen. Es ging also um die Beantwortung der Frage, warum sich der Unfall ereignete und warum dieser einen derartigen Verlauf genommen hat. Dazu wurden drei Fragen formuliert, die sich auf bestimmte Schlüsselereignisse des Unfallablaufs in Fukushima Dai-ichi beziehen:

- 1. Unfallentstehung:** Warum kam es am 11.03.2011 nach Erdbeben und Tsunami zu einem Station Blackout (SBO)<sup>1</sup>?
- 2. Unfallbewältigung:** Warum kam es zu Brennelementschäden und dem Versagen aller Sicherheitsbarrieren mit daraus folgender massiver Radioaktivitätsfreisetzung in die Umwelt?
- 3. Unfallkonsequenz:** Warum kam es zur Exposition des Anlagenpersonals und der Bevölkerung und zur Kontamination der Umgebung?

<sup>1</sup> Umschreibung Station Blackout: Ausfall der Wechselstromversorgungen, mit Unterkategorien Verlust der Standard-Notstromversorgungen und Totalverlust aller Wechselstromversorgungen (abhängig vom jeweiligen Basis-Anlagendesign und gegebenenfalls spezifischen Nachrüstungen). Im Fall der Blöcke 1 bis 4 in Fukushima Dai-ichi handelt es sich dabei um einen vollständigen Verlust der Wechselstromversorgungen.

Zu jeder der drei Fragen wurden für die Bereiche Organisation, Mensch und Technik Hypothesen zu mutmasslich beitragenden Faktoren formuliert. Jede dieser Hypothesen wurde so weit wie möglich konkretisiert und anhand von Informationen aus verschiedenen, möglichst belastbaren Quellen belegt. Im Rahmen dieser Analyse konnten zahlreiche Zusammenhänge und Wechselwirkungen zwischen den Einflussfaktoren zu Mensch, Technik und Organisation identifiziert werden.

Es ist geplant, aus den mutmasslichen, beitragenden Faktoren Erkenntnisse aus dem Unfall im Sinne von Lessons Learned abzuleiten. Der Vergleich mit der Ist-Situation in der Schweiz wird zeigen, welche dieser Erkenntnisse auf die Schweiz übertragbar sind und welche Massnahmen sich gegebenenfalls daraus ergeben.



Abb. 1: Elemente der Analyse des ENSI in der Übersicht

## 2 Hintergrundinformationen

### 2.1 Nukleare Aufsicht und Energiepolitik in Japan

Die Struktur der japanischen Nuklearbranche ist sehr komplex. Eine grosse Anzahl unterschiedlicher Akteure, deren Aufgaben, Zuständigkeiten und Beziehungen nur schwer zu durchschauen sind, spielen eine aktive Rolle in der Aufsicht und in der Förderung der Kernenergie (vgl. Abbildung 2).

Die Aufsicht über die Sicherheit der Nuklearanlagen wurde 2001 im Rahmen einer Reform der Ministerien reorganisiert, u. a. im Hinblick auf grössere Unabhängigkeit zwischen den für die Aufsicht und den für die Energiepolitik zuständigen Instanzen.

Für Kernenergieförderung und -aufsicht sind im Verwaltungsapparat grundsätzlich zuständig:

- Zwei Kommissionen: die Atomic Energy Commission (AEC) und die Nuclear Safety Commission (NSC). Beide gehören dem Cabinet Office des Premierministers an.
- Organe innerhalb des Ministry of Economy, Trade & Industry (METI) und des Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (MEXT).
- Die Ministerien werden durch eine Reihe von Advisory Committees und Subcommittees unterstützt bzw. beraten.

Innerhalb des METI behandeln zwei verschiedene Instanzen Fragen der Nuklearenergie:

- Die Agency for Natural Resources and Energy (ANRE), welche für die Förderung der Kernenergie zuständig ist.

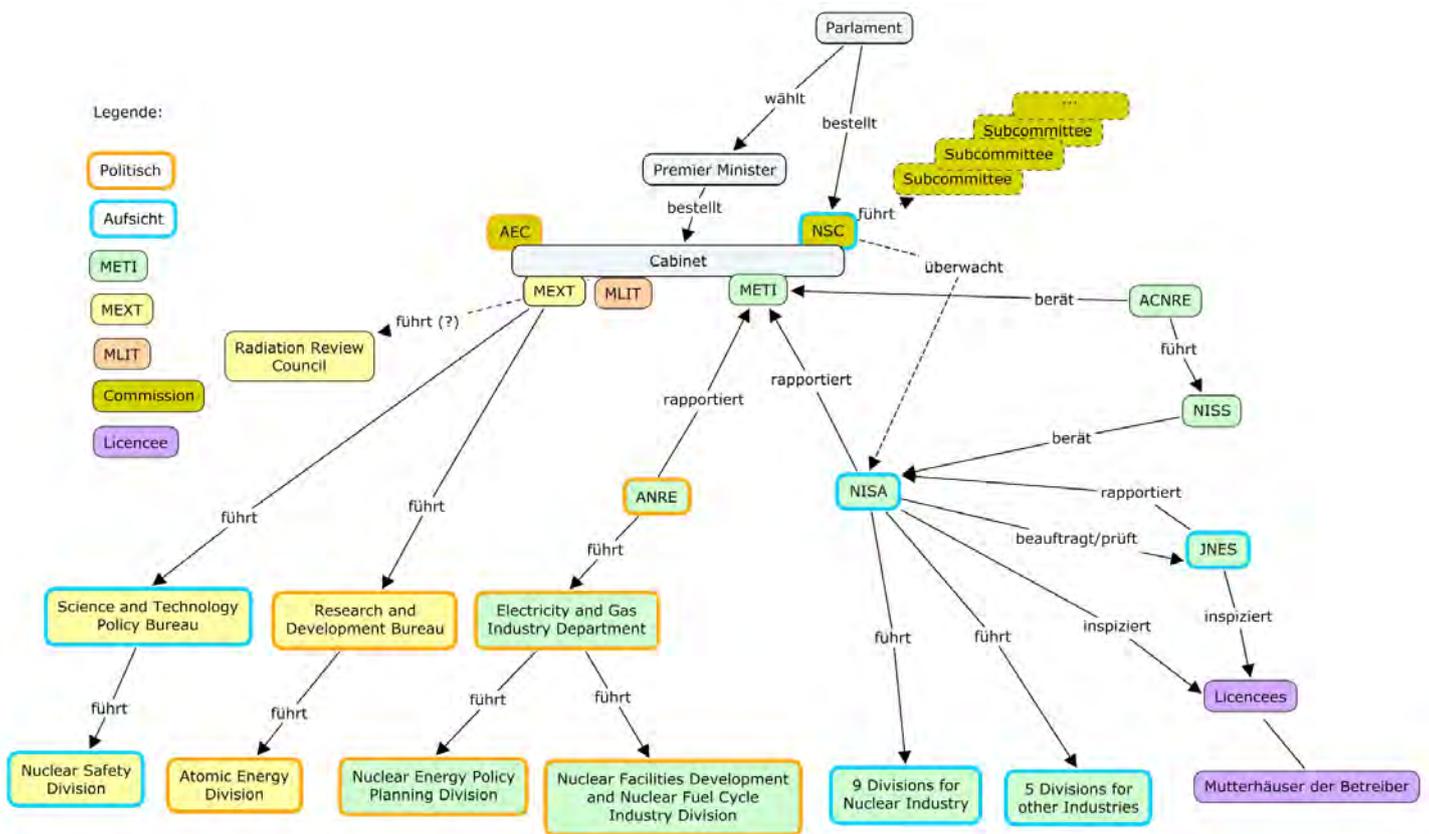
- Die Nuclear and Industrial Safety Agency (NISA), welche unter anderem für die Aufsicht über die kommerziellen Kernreaktoren zuständig ist. Die NISA wird durch die NSC überwacht und auditiert. Sie wird durch die Japan Nuclear Energy Safety Organization (JNES) unterstützt.

Das MEXT umfasst im nuklearen Gebiet:

- Eine Organisationseinheit im Bereich der Förderung der Nukleartechnologie (Forschung und Entwicklung).
- Eine für die Sicherheitsaufsicht zuständige Einheit (Science and Technology Policy Bureau, STPB). Das STPB ist unter anderem zuständig für die Aufsicht über Forschungs- und Testreaktoren.

Im Nachgang zum Unfall in Fukushima wurden von Medien und offiziellen Stellen insbesondere die mangelnde Unabhängigkeit der Aufsichtsbehörde und die personellen Verflechtungen innerhalb der Nuklearbranche zwischen staatlichen Stellen und der Nuklearindustrie, welche zu Interessenkonflikten in der Aufsicht und in der Energiepolitik führt, kritisiert. Die Struktur der an der Aufsicht beteiligten Organisationen mit einer Verflechtung von Zuständigkeits- und Verantwortungsbereichen wurde bereits im Jahre 2007 im Rahmen einer Überprüfung der Behördentätigkeit durch ein von der IAEA geleitetes internationales Expertenteam (einer sogenannten IRRS-Mission – International Regulatory Review Service) kritisiert [8].

Nach dem Unfall von Fukushima Dai-ichi plant die japanische Regierung die nukleare Aufsicht aus dem METI auszugliedern und neu unter der Führung des Umweltministeriums zu bündeln [24].



**Legende**

- ACNRE Advisory Committee for Natural Resources and Energy
- AEC Atomic Energy Commission
- ANRE Agency for Natural Resources and Energy
- JNES Japan Nuclear Energy Safety Organization
- METI Ministry of Economy, Trade and Industry
- MEXT Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology
- MLIT: Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism
- NISA: Nuclear and Industrial Safety Agency
- NISS: Nuclear and Industrial Safety Subcommittee

Abb. 2: Beziehungsgeflecht der staatlichen Akteure im Bereich der Kernenergie in Japan

## 2.2 Gesetzliche Grundlagen der nuklearen Aufsicht in Japan

Die gesetzlichen Grundlagen der nuklearen Aufsicht in Japan gliedern sich in Gesetze, Cabinet Orders, Ministerial Ordinances und Ministerial Public Notices (siehe Abbildung 3). Gesetze werden vom Parlament verabschiedet. Cabinet Orders erlässt der Premierminister, Ministerial Ordinances und Public Notices werden von den jeweilig zuständigen Ministern erlassen.

Wesentliche Gesetze für die nukleare Aufsicht sind der Atomic Energy Basic Act, der Reactor Regulation Act, der Radiation Hazard Prevention Act und der Act on Special Measures concerning Nuclear Emergency Preparedness. Eine weitere Grundlage für die Kernenergie ist der Electricity Business Act. Der Electricity Business Act regelt den gesamten Bereich der Energiewirtschaft in Japan und ist nicht auf die Kernenergie beschränkt.

Regulatory Guides werden durch das Ministry of Economy, Trade & Industry (METI) und die Nuclear Safety Commission (NSC) herausgegeben. Das METI prüft in erster Linie technische Standards von verschiedenen Ingenieurgesellschaften. Zurzeit sind 45 technische Standards zugelassen. Die NSC erlässt Regulatory Guides für ihre Überprüfung der Aufsichtsbehörde NISA. Obwohl diese Guides als NSC-interne Dokumente beschrieben werden, orientieren sich NISA und Betreiber daran.

Bei vertiefter Betrachtung der Regulatory Guides der NSC fiel auf, dass die Formulierungen einen empfehlenden Charakter haben und weniger als weisende Richtlinien in Erscheinung treten. In ihrem Bericht an die Ministerialkonferenz der IAEA erwähnt die japanische Regierung dementsprechend, dass Aspekte des Notfallmanagements ungenügend gesetzlich verankert sind und die gesetzlichen Strukturen gestärkt werden müssen. Beispielsweise wurde bislang die Vorbereitung von Massnahmen zur Beherrschung auslegungsüberschreitender Störfälle, die so genannten Severe Accident Management Guidelines (SAMG), nicht gesetzlich verlangt sondern lediglich empfohlen.

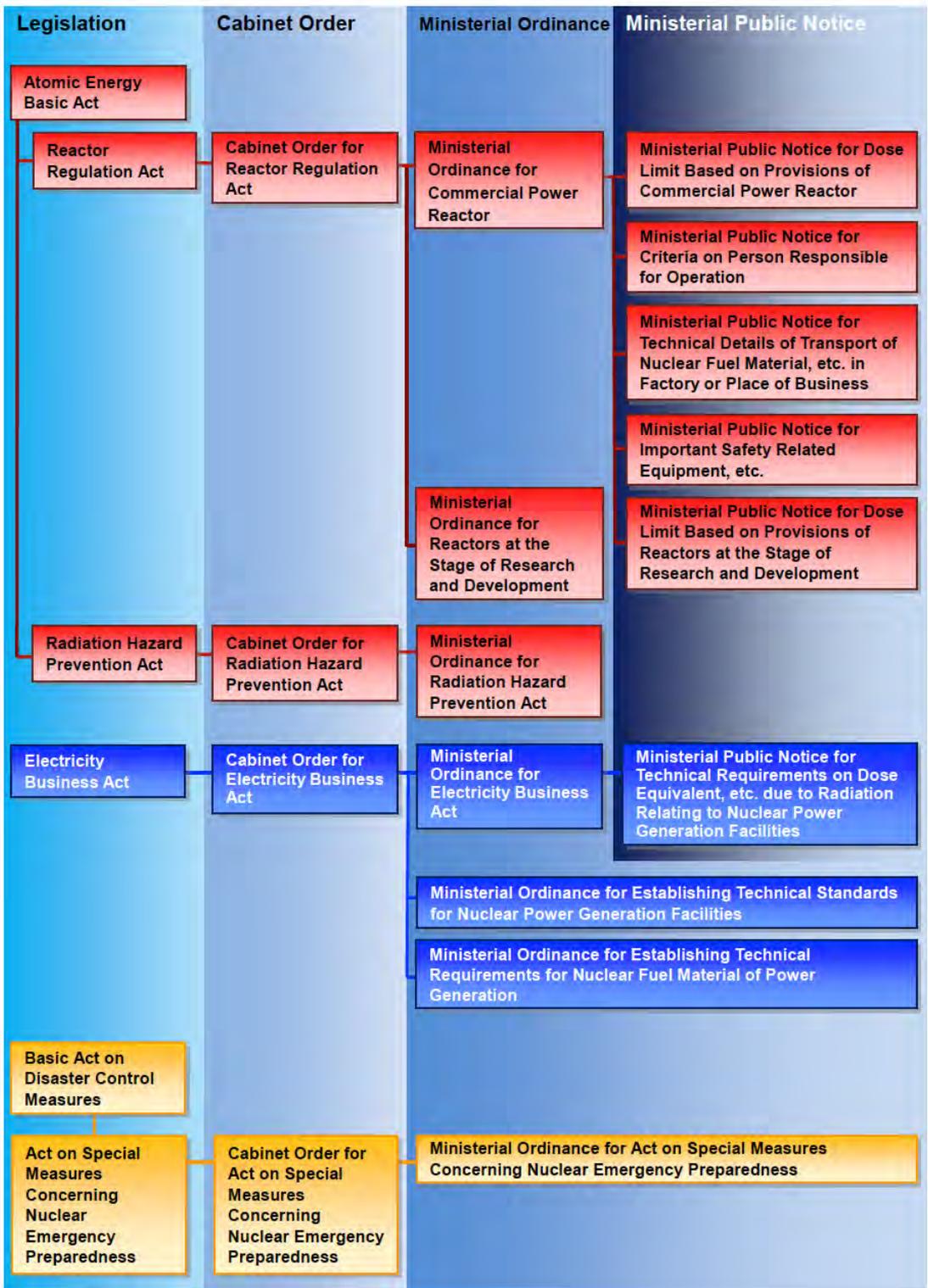


Abb. 3: Hierarchische Struktur der Gesetze für die Sicherheit von Kernanlagen in Japan [3]

## 3. Vertiefende Analyse des ENSI

Im Folgenden wird der derzeitige Stand der vertiefenden Analyse der beitragenden Faktoren im Bereich Mensch und Organisation erörtert. Für die technischen Aspekte wird auf die ENSI-AN-7614 Rev. 1 verwiesen.

### 3.1 Unfallentstehung

**Frage 1: Warum kam es am 11.03.2011 nach Erdbeben und Tsunami zu einem Station Blackout (SBO)?**

#### 3.1.1 Organisatorische Faktoren

##### 3.1.1.1 Sicherheitskultur des Betreibers

#### **Hypothese: Defizite in der Entwicklung einer lernenden Organisation**

Ein wichtiges Merkmal einer sicherheitsorientierten Organisation ist die hinterfragende Grundhaltung und die Bereitschaft, sich in Bezug auf die Sicherheit kontinuierlich zu verbessern, d. h. auch von Erfahrungen anderer Organisationen zu lernen. Dieses Merkmal war beim Betreiber TEPCO unzureichend vorhanden. Die japanische Regierung spricht in ihrem Bericht zu Händen der IAEA vom Juni 2011 in diesem Zusammenhang von einem notwendigen Neuaufbau einer entsprechenden Sicherheitskultur [2].

Nationale und internationale Vorkommnisse in Kernanlagen wurden durch die Betreiberorganisation TEPCO nicht genügend beachtet, d. h. die Erkenntnisse von ausserhalb flossen nicht in ausreichendem Masse in den Zyklus der kontinuierlichen Verbesserung mit entsprechenden Massnahmen ein. 2007 wurde dies durch die Empfehlung des IRRS-Teams bestätigt, wonach NISA sicherstellen sollte, dass die Betreiber wirksame Prozesse für die Berücksichtigung der internationalen Betriebserfahrung etablieren. Auch bestand nach Meinung des IRRS-Teams in Bezug auf die Nutzung der ausführlich geführten nationalen Vorkommnisdatenbank von JANTI (Japan Nuclear Technology Institute, japanisches Institut für Nukleartechnologie) für den nationalen Erfahrungsaustausch Verbesserungspotenzial [8].

Was für die mangelnde Berücksichtigung von nationalen und internationalen Vorkommnissen zutrifft, gilt auch für die unzureichende Berücksichtigung des aktuellen Standes von Wissenschaft und Technik für den Einsatz von Berechnungsmethoden (namentlich im Bereich der probabilistischen Sicherheitsanalysen PSA) und von japanischen Wissenschaftlern ausgesprochene Warnungen zur Erdbebengefährdung am Standort Fukushima Dai-ichi [2].

### Hypothese: Ungünstige Unternehmenskultur des Betreibers

Ein Anzeichen für eine angemessene Wahrnehmung der Verantwortung für die Sicherheit durch die Betreiber einer Kernanlage ist die vollständige und korrekte Darstellung der Ist-Situation der Anlage und die vorschriftsgemäße Durchführung von Sicherheitsüberprüfungen. 2002 wurden Versäumnisse und Fälschungen in der Anlage von Fukushima Dai-ichi bekannt. TEPCO selbst bestätigte 16 Fälle von Abweichungen oder Versäumnissen bei der Sicherheitsüberprüfung, welche zwischen 1986 und 2001 der NISA über das von ihr geführte anonyme Meldesystem gemeldet wurden [2].

Es scheint, dass sich in der Zeit eine Kultur in der TEPCO-Unternehmung etabliert hat, welche Fälschungen und Verschleierungen begünstigte. Bedenklich ist, dass TEPCO trotz eines im 2004 öffentlich kommunizierten Aktionsplans gegen diese Praxis ca. 10 Tage vor dem Erdbeben und kurz nach Erhalt der Bewilligung für eine 10-jährige Laufzeitverlängerung für Fukushima Dai-ichi Block I durch die Aufsichtsbehörde NISA, dieser ein Dokument zukommen liess, in welchem gemeldet wurde, dass trotz vorheriger gegenteiliger Angaben, 33 sicherheitsrelevante Komponenten nicht geprüft worden waren [29]. NISA attestierte dem Betreiber demzufolge ein ungeeignetes Instandhaltungsmanagement und ungenügende Qualität der Inspektionsarbeiten. Sie hatte von TEPCO einen neuen Instandhaltungsplan (bis zum 02.06.2011) gefordert. Die wiederholten und über viele Jahre verteilten Fälle von Fälschungen und Verschleierungen sind Hinweise auf eine ungenügende Übernahme der Verantwortung für die Sicherheit und deuten auf eine problematische Entwicklung der Sicherheitskultur bei TEPCO hin [2].

### Hypothese: Konflikt zwischen Sicherheit und Wirtschaftlichkeit

TEPCO berichtet in ihrem Jahresbericht 2010, dass sie im Rahmen eines Kosteneinsparungsprogramms die Frequenz von Inspektionen ihrer Ausrüstung reduziert hat. Die Reduktion wird mit den Ergebnissen von detaillierten Analysen gerechtfertigt. Dieser möglicherweise beitragende Faktor ist im Zusammenhang mit der oben erwähnten unzureichenden Instandhaltung der Anlage zu nennen [6].

### 3.1.1.2 Strategie und Praxis der staatlichen Aufsicht

#### **Hypothese: Mangelnde Unabhängigkeit der Aufsichtsbehörde**

In Kap. 2.1 wird das komplexe Beziehungsgeflecht der unterschiedlichen an der nuklearen Aufsicht beteiligten Organisationen erwähnt. Die Aufsichtsbehörde NISA (Nuclear and Industrial Safety Agency) ist Teil des METI (Ministry of Economy, Trade and Industry) und wird von der NSC (Nuclear Safety Commission, Teil des Cabinet Office) überwacht. Die Bereiche für die Förderung und die Beaufsichtigung der Kernenergie sind seit der Regierungsreform zu Beginn des letzten Jahrzehnts innerhalb des METI zwar separiert (ANRE und NISA), unterstehen aber beide dem gleichen Minister, was potentielle Interessenkonflikte nach sich zieht. Die Problematik dieser Konstellation wird auch von der japanischen Regierung erkannt. Sie hat deshalb entschieden, die NISA von dem METI unabhängig zu machen und in das Umweltministerium zu integrieren [2], [24].

Zahlreiche Medien berichteten über etliche in der Vergangenheit erfolgte Jobwechsel von Inhabern hochrangiger Positionen zwischen Ministerium und Betreiberunternehmen. Diese Praxis, welche zu offensichtlichen Interessenkonflikten führen kann, wird mit den Begriffen „Amakudari“ (Abstieg vom Himmel, d. h. Staatsdiener gehen nach ihrer Pensionierung in die Privatwirtschaft) bzw. auch „Amaagari“ (Aufstieg zum Himmel) bezeichnet. Die persönlichen Beziehungen zwischen politischen Instanzen, Behörden und Betreibern schweisste die Kernenergiegemeinschaft zusammen und führte zu intransparenten Entscheidungsstrukturen. Es ist, zumindest nach aussen, nicht immer klar, wo und durch wen Entscheidungen de facto getroffen

werden bzw. wie unabhängig diese getroffen werden. Ein Hinweis für die mangelnde de facto-Unabhängigkeit der NISA ist z. B. die Bekanntgabe der Identität eines anonymen Melders durch die NISA an TEPCO, welcher Ende der 1990er Jahre die Verstöße von TEPCO bei den Sicherheitsüberprüfungen in das anonyme Meldesystem der NISA eingegeben hatte. Die NISA rechtfertigte damals diesen Schritt mit dem fehlenden gesetzlichen Schutz des Melders [30].

Aus dem vorab genannten lässt sich trotz der Regierungsreform von 2001, im Zuge welcher die NISA de jure unabhängig gemacht wurde, auf eine intransparente („informelle“) Aufsichtskultur schliessen, welche es gerade der NISA schwer machte, ihre Aufsichtsfunktion in ausreichendem Masse und mit der geforderten Unabhängigkeit wahrzunehmen und die eigenen Forderungen im Rahmen des Enforcements auch konsequent durchzusetzen.

#### **Hypothese: Strukturelle Mängel im Gesamtsystem der Aufsicht**

Eines der Probleme des Gesamtsystems der nuklearen Aufsicht in Japan sind die unklaren Rollen und Verantwortlichkeiten der japanischen Aufsichtsorgane. Das Aufsichtssystem ist auf eine Vielzahl von Instanzen verteilt und ist sehr komplex (siehe Abbildung 2). Diese Problematik wurde schon 2007 bei der IRRS-Mission in einer Empfehlung angesprochen, nach der die Rolle der NISA und der NSC im Rahmen der Richtlinienerstellung zu klären sei. 15 Wissenschaftler der Atomic Energy Society of Japan (AESJ) kommen bei ihrer Analyse ebenfalls zum Schluss, dass die unklaren Rollen und Verantwortungen der Aufsichtsorgane die Kommunikation während des Unfalls in Fukushima massgeblich behindert haben [7]. Eine Vereinheitlichung der

nuklearen Aufsicht ist von der japanischen Regierung bereits beschlossen worden [2].

Zu den unklaren Rollen und Verantwortungen kommt, dass die Befähigung der NISA zur Wahrnehmung ihrer Aufsichtsfunktion unzureichend war. Die IRRS-Mission empfahl den langfristigen Aufbau von qualifizierten Fachexperten zu verstärken. Eine Kontinuität sei aufgrund der 2- bis 3-jährlichen Jobrotationen und dem Mangel an Vollzeitstellen schwierig zu gewährleisten. Weiterhin kann die NISA Inspektionen in den Anlagen nur innerhalb vorab angekündigter Zeitfenster durchführen. Das IRRS-Team empfahl deshalb, dass den Inspektoren der NISA der ungehinderte Zutritt zu den Anlagen zu Inspektionszwecken zu jeder Zeit gewährleistet wird [30].

Als rohstoffarmes Land hat Japan bei seiner energiepolitischen Strategie stark auf die Kernenergienutzung gesetzt. Die Förderung der Kernenergie wurde von der japanischen Regierung auch direkt stark unterstützt. Bei einem neugegründeten Unternehmen (International Nuclear Energy Development of Japan, JINED), welches die internationale Förderung der japanischen Nukleartechnologie zum Ziel hat, ist z. B. indirekt auch der Staat beteiligt [30]. Die Standortgemeinden der Kernkraftwerke sind auf die finanzielle Unterstützung durch den Staat und die Kernkraftwerksbetreiber angewiesen und stehen so unter einer dauerhaften Abhängigkeit [32]. Kritische Stimmen zu Fragen der nuklearen Sicherheit gingen in dem

Konstrukt unter oder wurden ignoriert. So hatten z. B. Medienberichten zufolge Klagen der Bevölkerung gegen die Betreiber von Kernkraftwerken wegen Unterschätzung der Erdbebengefährdung jeweils wenig Chancen auf Erfolg [31].

### Hypothese: Ungenügende Aufsicht

Das Team der IRRS-Mission hat 2007 mehrere Empfehlungen zur Verbesserung der Aufsicht über die in Betrieb befindlichen Anlagen abgegeben [8], wobei sich die zugrunde liegenden Mängel im Lichte des Fukushima-Unfalls als mutmasslich beitragende Faktoren herausstellen:

- Die periodische Sicherheitsüberprüfung (erst seit 2003 gefordert) sollte neu zusammengefasst auch in schriftlicher Form bei der NISA eingereicht werden.
- Alterungsüberwachung von Systemen und Komponenten über ein gesondertes Alterungsmanagement sollte von der NISA nicht erst nach 30 Betriebsjahren, sondern schon bei früheren Sicherheitsüberprüfungen gefordert und beurteilt werden.
- Die Entwicklung der Anforderungen und der Aufsicht für den menschlichen und organisatorischen Bereich sollten forciert werden. Anders als für den technischen Bereich gibt es keine klaren Abschaltkriterien für die Bereiche Betriebsführung und Organisation.

In Presseberichten wird erwähnt, dass bei der Aufsicht im Wesentlichen die Prüfung der eingereichten Unterlagen des Gesuchstellers erfolgte. Die NISA habe sich nicht ausreichend durch eigene Inspektionen und Kontrollen von der Richtigkeit der Angaben überzeugt. Auch die IRRS-Mission sieht die regelmässige Interaktion der NISA mit den Betreibern als verbesserungswürdig an [8].

Unter dem Eindruck des Unfalls von Fukushima Dai-ichi ist die mangelnde bzw. zu oberflächliche Prüfung des Schutzes gegen Erdbeben/Tsunami durch die Behörde als zentrales Versäumnis bei der Aufsicht zu bewerten. Insbesondere die Tsunamigefährdung wurde mit ungeeigneten Methoden bewertet und von der NISA auch nicht hinterfragt [2]. Laut Presseberichten wurden die knappen, eingereichten Unterlagen des Betreibers zur Erdbeben- und Tsunamigefährdung von der Behörde nicht hinreichend kritisch hinterfragt [33].

Ein wesentlicher Grund für die behördliche Akzeptanz des Anlagenzustandes bezüglich Schutz gegen Erdbeben und Tsunamis waren die unverbindlichen Anforderungen im Gesetz und in den Richtlinien (Guidelines). 2002 formulierte die Japan Society of Civil Engineers (JSCE) Empfehlungen bzgl. Tsunamiauslegung. Sie waren für die Betreiber allerdings nicht bindend. Die Bewertungsmethode blieb dem Betreiber ebenfalls freigestellt. Studien zu probabilistischen Sicherheitsanalysen (PSA) wurden vom Betreiber nur auf freiwilliger Basis durchgeführt und für den Fall seltener Naturereignisse nicht ausreichend weiterentwickelt [2]. Zu nennen ist auch, dass das gesetzliche Bewilligungsverfahren für den Bau neuer Kernkraftwerke nicht an die Erfüllung von Anforderungen an auslegungsüberschreitende Störfälle geknüpft ist. Auslegungsüberschreitende Störfälle müssen gemäss den gesetzlichen Anforderungen nicht betrachtet werden, da die betriebliche Sicherheit durch die Auslegung und durch präventive Schutzmassnahmen gewährleistet werden soll. Die Regierung plant eine komplette Überarbeitung des Gesetzes und der Richtlinien (Guidelines) zur nuklearen Sicherheit inklusive der Massnahmen zur Beherrschung schwerer Unfälle [2].

### 3.1.2 Menschliche Faktoren

In Abgrenzung zu den beschriebenen organisatorischen Faktoren werden nachfolgend psychologische Phänomene und Verhaltensweisen der beteiligten Menschen betrachtet, welche möglicherweise dazu beigetragen haben, dass es nach Erdbeben und Tsunami zum Station Blackout (SBO) kommen konnte. Die beiden Bereiche lassen sich nicht bezüglich aller Aspekte trennscharf auseinanderhalten. Psychologische Phänomene spielen selbstverständlich sowohl auf der individuellen als auch auf der Gruppenebene (also auch auf der Ebene der Organisation) eine Rolle.

Andererseits hängen die beschriebenen organisatorischen Faktoren ebenfalls eng mit den Verhaltensweisen und psychischen Phänomenen der Mitglieder der beteiligten Organisationen zusammen.

### Hypothese: Unterschätzung von Risiken

Erdbeben- und Tsunamirisiko wurden offensichtlich unterschätzt. Diese Tatsache ist – im Nachhinein – unbestritten und wird, zumindest was das Tsunamirisiko anbetrifft, sowohl von der IAEA [8] als auch von der japanischen Regierung [2] bestätigt. Es wurde auch von falschen Annahmen zur höchst möglichen Erdbebenstärke am Standort ausgegangen. Der amerikanische Seismologe Robert Geller, der an der Universität Tokyo lehrt, legte in der Zeitschrift Nature dar, dass die japanischen Behörden darauf fixiert waren, dass an der südlichen Pazifikküste des Inselstaates mit einem schweren Beben zu rechnen sei und dass sie das Risiko eines schweren Erdbebens im Nordosten des Landes unterschätzten [34]. Auch die maximale Höhe eines Tsunamis wurde für die betroffenen Standorte deutlich unterschätzt (siehe Abbildung 4) [34].

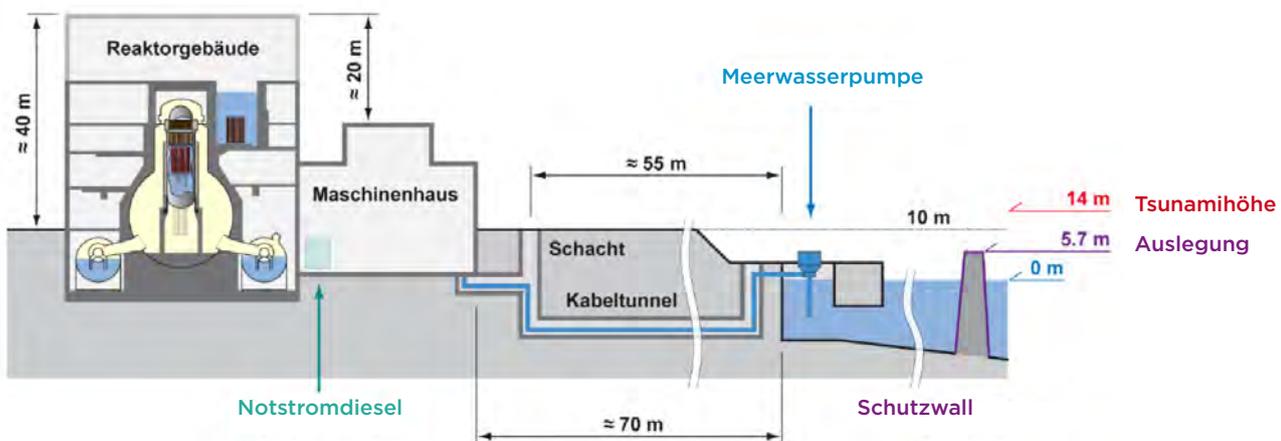


Abb. 4: Auslegung und Anlage von Fukushima Dai-ichi und tatsächliche Tsunamihöhe [4]



Abb. 5: An der Küste Japans stehen hunderte Markierungssteine mit der Aufschrift:

- „Bau nicht unterhalb dieses Steins!“ bzw.
- „Bei Erdbeben, achte auf Tsunamis!“

(Quelle: AP, Spiegel Online, April 19, 2011)

Experten und Medien sehen diese Unterschätzung des Risikos in direktem Zusammenhang mit den in Japan von Betreibern und Behörden eingesetzten Methoden und Grundlagen für die Berechnung bzw. Modellierung dieser Risiken und darin, dass die Fortschritte der letzten Jahrzehnte in den Bereichen der Seismologie und der Risikoberechnung nicht berücksichtigt wurden [35], [36]. Beispielsweise wird bemängelt, dass die verwendeten Berechnungsmethoden wichtige Unsicherheitsfaktoren (z. B. noch nicht entdeckte geologische Verwerfungen oder extreme, jedoch sehr seltene Erdbeben) nicht berücksichtigten. Zusätzlich wurden probabilistische Überlegungen nicht ausreichend einbezogen. Die Berechnungen basierten viel mehr auf historischen Daten, d. h. auf früheren Ereignissen zu Erdbeben und Tsunamis, welche dokumentiert sind (siehe Abbildung 5).

Paradoxerweise scheinen diese historischen Daten jedoch nicht umfassend verwendet worden zu sein, sondern nur selektiv: Es gab in der Vergangenheit in Japan sehr wohl Erdbeben und Tsunamis, welche die der Auslegung der Anlagen von Fukushima Dai-ichi zu Grunde gelegten maximalen Stärken überstiegen (z. B. eine riesige Tsunamiwelle in Folge des Jogan-Erdbebens im Jahre 869). Bei der Auslegung der Anlagen wurden nur Tsunamis berücksichtigt, welche nach 1896 stattgefunden haben.

Die Unterschätzung von Risiken könnte teilweise mit der erwiesenen Schwäche von Menschen, Risiken richtig einzuschätzen, erklärt werden. Im Zusammenhang mit dem Unfall in Fukushima greift diese Erklärung jedoch zu kurz. Sie erklärt nämlich nur schwerlich, weshalb die Risiken trotz – im Nachhinein scheinbar erdrückender – Evidenz aus Wissenschaft und Geschichte nicht wahrgenommen und berücksichtigt wurden. Wichtiger erscheinen deshalb subtilere, aber grundlegende psychologische Mechanismen, die den Menschen helfen, ihre Überzeugungen und Handlungen und somit auch ihren Selbstwert zu schützen.

Diese Mechanismen sind nicht primär als Unzulänglichkeiten des menschlichen Wesens zu verstehen, sondern als Teil der normalen und tagtäglich erforderlichen Anpassung des Menschen an seine Umgebung bzw. an die an ihn gestellten Anforderungen. Sie helfen ihm, überhaupt handlungsfähig zu sein und zu bleiben, und führen in aller Regel zu erwünschten Ergebnissen. In gewissen Situationen können diese Grundeigenschaften des Menschen jedoch zu unerwünschten, mitunter katastrophalen Auswirkungen führen, wenn sie nicht durch geeignete organisatorische Massnahmen und kulturelle Rahmenbedingungen abgefedert werden. Es ist daher von zentraler Bedeutung, dass sich eine Organisation (Betreiber, Behörde etc.) dieser psychologischen Mechanismen bewusst ist und geeignete Vorkehrungen und organisatorische Festlegungen trifft, um die (potenziellen) negativen Auswirkungen menschlichen Handelns zu erkennen und aufzufangen bzw. den Menschen geeignete Rahmenbedingungen für ihr Handeln zur Verfügung zu stellen.

Im Folgenden werden einige der psychologischen Mechanismen, welche aus heutiger Sicht möglicherweise in der Vorgeschichte des Unfalls eine Rolle gespielt haben, erörtert.

### **Hypothese: Ausklammern von Warnungen und Fakten**

Wie zuvor dargelegt, wurde eine Reihe von (potenziell) bekannten und dokumentierten Fakten, aber auch Warnungen von einzelnen Experten und Organisationen, nicht berücksichtigt. Sie sind nicht in die Auslegung oder Nachrüstung der Kernanlagen eingeflossen, sie wurden jedoch auch auf behördlicher Seite nicht ausreichend berücksichtigt und sind zu wenig in die Regelwerke und in die Aufsichtsrbeit eingeflossen [2].

Beispielsweise warnte im Jahre 2005 Prof. Katsuhiko Ishibashi von der Universität Kobe bezüglich des Kernkraftwerks Hamaoka (welches im Nachgang zum Unfall in

Fukushima zur Nachrüstung auf Ersuchen des Premierministers vorläufig ausser Betrieb genommen wurde) eine Parlamentskommission vor den Folgen von Erdbeben und Tsunami. Er zeigte in einer Expertise den zu erwartenden Ablauf eines Störfalls nach einem Erdbeben und folgendem Tsunami auf. Dieser Ablauf deckt sich gemäss Medienberichten mit dem ab dem 11. März 2011 eingetretenen Ereignisablauf in Fukushima [37]. Ein japanischer Geologe hatte angeblich die Regierung ebenfalls gewarnt, dass ein starkes Erdbeben mit grosser Tsunamiwelle im Nordosten Japans zu erwarten sei. Das METI hatte die präsentierte Evidenz zurückgewiesen und auch TEPCO unternahm nichts, um den Schutz der Anlagen in Fukushima vor hohen Tsunamiwellen zu verbessern. Wenige Tage nach dem Erdbeben und Tsunami wäre eine Präsentation der Forschungsergebnisse des Geologen an Vertreter des KKW Fukushima vorgesehen gewesen [37].

### **Weshalb aber liefen solche Warnungen ins Leere?**

Es ist davon auszugehen, dass Mechanismen psychischer Verdrängung oder Rationalisierung und selektiver Wahrnehmung dazu geführt haben, dass neu auftretende bzw. aufgebrachte (wissenschaftliche) Erkenntnisse und Fakten ignoriert, heruntergespielt oder umgedeutet wurden, so dass sie nicht zur Gefahr für vergangene Entscheidungen und (versäumte) Handlungen werden und den Betrieb bestimmter Kernanlagen an gewissen Standorten grundsätzlich in Frage stellen konnten. Beispielsweise wurden im Laufe der letzten Jahrzehnte in der Nähe verschiedener Anlagen aktive geologische Verwerfungen entdeckt. Die Betreiber der Anlagen tendierten dazu, diese zunächst zu verharmlosen. Es wird von einem Fall berichtet, in welchem der Betreiber die Angaben zur Länge einer neu entdeckten, nahe der eigenen Anlage gelegenen Verwerfung sukzessive nach oben korrigieren musste. Als er die Erkenntnisse der Wissenschaftler schliesslich vollum-

fänglich anerkannte, erklärte er, die Anlage sei so ausgelegt, dass sie einem durch diese Verwerfung ausgelösten Erdbeben standhalten würde [31].

Ein weiteres Beispiel für solche Rationalisierungsprozesse wird von Journalisten von Associated Press berichtet [36]. Im Jahre 2007 erläuterten angeblich zwei TEPCO-Mitarbeiter zusammen mit drei externen Forschern in der Zeitschrift *Pure and Applied Geophysics* ihren Ansatz zur Bewertung des Tsunamirisikos der japanischen Kernkraftwerke. Sie empfahlen dabei, dass die Anlagen auf den höchsten Tsunami ausgelegt sein sollten (Zitat: „at the site among all historical and possible future tsunamis that can be estimated“). Sie relativierten jedoch diese Aussage gleich wieder, indem sie die Tsunamis, welche vor dem Jahr 1896 stattgefunden hatten, faktisch aus der Analyse ausschlossen, da die dokumentierten Daten auf Grund von „misreading, misrecording and the low technology available for the measurement itself“ unzuverlässig sein könnten. Sie schlossen daraus: „Records that appear unreliable should be excluded“ [35].

Ein weiterer Hinweis auf Rationalisierungs- und Verdrängungsprozesse ist die Tendenz, durch Neuberechnungen die ursprünglichen Ergebnisse und Aussagen zu bestätigen. TEPCO schloss wenige Monate vor dem Unfall in Fukushima aus eigenen Neuberechnungen, dass in Fukushima Dai-ichi eine Tsunami-Welle die Marke von 5.7 m nicht übersteigen würde. Ein Bauingenieur von TEPCO wird mit folgendem Satz zitiert: „We assessed and confirmed the safety of the nuclear plants“ [35].

Eine weitere Möglichkeit, sich neuen Erkenntnissen und daraus folgenden höheren Anforderungen an Sicherheitsvorkehrungen zu entziehen, wurde von der *New York Times* berichtet [35]. Als nach dem Erdbeben in Kobe 1995 die Behörden begannen, mehr Druck bezüglich der Erdbebenauslegung der Anlagen auszuüben, wehrten sich die Betreiber, welche

auf die Fertigstellung eines Dutzends neuer Reaktoren fokussiert waren, gegen strengere Vorschriften. Sie gingen dem Druck mit einer Verzögerungstaktik aus dem Wege, indem sie beispielsweise keine Vertreter an Meetings zum Thema Erdbeben entsandten, welche von der Nuclear Safety Commission of Japan (NSC) organisiert wurden.

Auf Seiten der Behörden fällt ebenfalls ein zurückhaltender Umgang mit externen Empfehlungen auf. Insbesondere scheint es, als würden die Empfehlungen der IRRS-Mission von 2007 nur zögerlich umgesetzt. Zudem wurde die Nachfolge-Mission (Follow-up), welche ursprünglich für Februar 2010 vorgesehen gewesen wäre, verschoben. Es wurde nach aktuellem Stand des Wissens noch keine Einladung an die IAEA für diesen Follow-up ausgesprochen und kein definitiver Termin festgelegt [11].

### **Hypothese: Gruppendenken/Group Think**

Die beschriebenen organisatorischen Phänomene dürfen nicht nur auf individueller Ebene als Abwehrmechanismen der einzelnen Personen betrachtet werden, sondern müssen auch auf einer kollektiven Ebene, also auf der Ebene der beteiligten Organisationen (Betreiber, Aufsichtsbehörden, politische und rechtliche Instanzen etc.) und der Gesamtgesellschaft reflektiert werden. Vor dem Hintergrund eines politischen und gesellschaftlichen Klimas, in welchem der Förderung der Nutzung der Kernenergie sehr grosses Gewicht beigemessen wird, laufen Erkenntnisse und Argumente, welche dieser Tendenz zuwiderlaufen, verstärkt Gefahr, verdrängt zu werden. Dies zeigt sich beispielsweise auch daran, dass es für Kläger aus der Bevölkerung, welche auf gerichtlichem Wege wegen sicherheitstechnischer Mängel gegen die Betreiber von Kernanlagen vorgehen, bei den Gerichten praktisch keine Chance gibt, Prozesse zu gewinnen [31]. Es ist auch davon auszugehen, dass eine Auf-

sicht, welche wenig Durchsetzungsvermögen hat und ihre Arbeit auf ein Regelwerk stützen muss, welches entscheidende Anforderungen nicht abdeckt, solche Tendenzen begünstigt.

Die beschriebenen Phänomene müssen demnach auch aus einer sozialpsychologischen Perspektive betrachtet werden. Neue, von extern an Kollektive (Organisationen) herangetragene Erkenntnisse und Warnungen haben einen schweren Stand, von diesen aufgenommen zu werden. Eine mögliche Erklärung hierfür liefert das in der Sozialpsychologie unter dem Namen „Group Think“ bekannte, vom Psychologen Irving Janis beschriebene Phänomen. Das Konzept erklärt, weshalb Gruppen unter bestimmten Bedingungen äusserst unvernünftige, ja offenkundig falsche Entscheidungen treffen können, die von den einzelnen Mitgliedern der Gruppe alleine nie getroffen würden [10].

Auf Grund der bislang vorliegenden Informationen lässt sich nicht abschliessend beurteilen, inwiefern Group-Think-Prozesse im Vorfeld des Unfalls in Fukushima (und/oder nach Eintreten des Unfalls) tatsächlich eine Rolle gespielt haben. Aussagen wie die im Folgenden zitierte des Vorsitzenden der Nuclear Safety Commission of Japan deuten allerdings darauf hin, dass solche Prozesse nicht ausgeschlossen werden können: „He said the guidelines [die Rede ist hier von den Regulatory Guidelines der NSC zur Auslegung von Kernkraftwerken, A.d.R.] were not revised because experts on nuclear power generation are an enclosed group and they tend to avoid vigorous discussions and uncomfortable subjects“ (Experten in der japanischen Kernkraftwerksindustrie sind ein geschlossener Kreis, welcher dazu neigt Diskussionen und unbequeme Fragestellungen zu vermeiden) [39].

### **Hypothese: Selbstzufriedenheit und übermässiges Vertrauen**

Naheliegender ist auch die Annahme, dass eine längere Periode ohne grössere erdbeben- und insbesondere tsunamibedingte Störfälle zu einer gewissen Selbstzufriedenheit („complacency“) geführt haben könnte. Betreiber wie Behörden könnten demzufolge möglichen Sicherheitsmängeln in der Auslegung von Kernanlagen nicht genügend Aufmerksamkeit geschenkt bzw. nicht mit der erforderlichen Promptheit auf allfällige Sicherheitsbedenken reagiert haben [33]. Der Glaube daran, dass „schon nichts passieren wird“, wird vermutlich auch durch den Umstand gefestigt, dass in Japan Erdbeben fast zum Alltag gehören und in aller Regel keine negativen Auswirkungen auf die Kernkraftwerke haben. Diese Tendenz zu Selbstzufriedenheit und übermässigem Vertrauen in die Nukleartechnologie wurde im Juni 2011 vom METI-Minister anlässlich der Ministerialkonferenz bei der IAEA mit folgenden Worten bestätigt: „In Japan, we have something called the „safety myth. (...) It’s a fact that there was an unreasonable overconfidence in the technology of Japan’s nuclear power generation“ (Es ist eine Tatsache, dass es in Japan ein übermässiges Vertrauen in die eigene Nukleartechnologie gab). Das Ergebnis daraus war, dass das Sicherheitsdenken der Nuklearindustrie auf einem schwachen Fundament stand [40]. Dies spiegelt sich auch in der Tatsache wider, dass die Auslegungsrichtlinien seit 1990 nicht mehr revidiert worden sind. Diese schlossen beispielsweise explizit die Notwendigkeit der Betrachtung von lange andauernden Stromausfällen aus (Zitat: „a long-term power failure can be ignored as emergency back-up systems are expected to supply electricity“ – Ein langfristiger Stromausfall kann ignoriert werden, da Notstromsysteme die Versorgung übernehmen) [39]. Der Vorsitzende der NSC wird vom staatlichen japanischen Fernsehsender NHK mit der Aussage zitiert, er habe dieser Erklärung bis zum Unfall in Fukushima keine Aufmerksamkeit geschenkt und er bedaure seine diesbezügliche Unkenntnis.

## 3.2 Unfallbewältigung

**Frage 2: Warum kam es zu Brennelementschäden und dem Versagen aller Sicherheitsbarrieren mit daraus folgender massiver Radioaktivitätsfreisetzung in die Umwelt?**

### 3.2.1 Organisatorische Faktoren

#### 3.2.1.1 Instandhaltungs- und Notfallmanagement des Betreibers

##### **Hypothese: Mangelhaftes Instandhaltungsmanagement**

In Fukushima Dai-ichi wurde 1991/92 eine Dichtheitsprüfung für den Sicherheitsbehälter von Block 1 durch die zusätzliche Einleitung von Luft manipuliert [2]. Ob dies die Funktion von Sicherheitssystemen während des Unfallablaufs beeinträchtigt hat, kann allerdings im Nachhinein nicht beantwortet werden. Gleiches gilt für die 33 nichtgeprüften Komponenten, welche TEPCO nach Medienberichten der Aufsichtsbehörde erst nach Erteilung der Laufzeitverlängerung gemeldet hat. NISA attestierte TEPCO daraufhin noch kurz vor dem Unfall ein mangelhaftes Instandhaltungsmanagement und forderte einen neuen Instandhaltungsplan bis zum 02.06.2011 [29] (vgl. auch Kap. 3.1.1.1).

##### **Hypothese: Entscheidungen verzögert**

Angesichts des Ereignisablaufs [1] wird deutlich, dass die Meerwassereinspeisung für Block 1 technisch wesentlich früher einsatzbereit war als tatsächlich damit begonnen wurde. Ob die Anweisung hinausgezögert wurde und wer gegebenenfalls für die Verzögerung verantwortlich war ist bisher nicht bekannt. Laut Pressemitteilungen [41] hat die TEPCO-Zentrale, auf Grund ihrer Interpretation der diesbezüglichen Haltung der Behör-

den, die Einspeisung von Meerwasser in den Reaktordruckbehälter (RDB) untersagt. Allerdings habe der Direktor der Anlage vor Ort die Einspeisung trotzdem angeordnet (für Block 1 ca. 28 h nach Eintreffen der Tsunamiwelle). Dass der Direktor von Fukushima die Massnahme angeordnet hat und dass einige Konfusionen in der Entscheidungskette zwischen Regierung und TEPCO herrschten, wird auch durch die japanische Regierung bestätigt [2]. In Medienberichten wird weiterhin berichtet, dass der Premierminister nicht alle erforderlichen Informationen zur Entscheidungsfindung erhalten habe. TEPCO versuchte stattdessen, den Unfall herunterzuspielen. Der Premierminister sei grundsätzlich misstrauisch gegenüber dem System aus mächtigem Betreiber und loyaler Behörde gewesen, so dass er nicht auf die vorgesehenen Kommunikationskanäle und Entscheidungsabläufe zurückgriff [41]. Im Ergebnis kam es dadurch beim Entscheidungsprozess möglicherweise zu Verzögerungen.

##### **Hypothese: Unzureichender Notfallplan**

Einen direkten Einfluss auf die Unfallbewältigung im Sinne der Verhinderung des Kernschadens und der Radioaktivitätsfreisetzung hatte vermutlich die zur Verfügung stehende Notfallplanung mit den Notfallvorschriften zur Beherrschung schwerer Unfälle, den „Severe Accident Management Guidelines“ (SAMG).

Diese Notfallplanung („Emergency Action Plan“) war zwar auch in Fukushima Dai-ichi vorhanden, ein Unfall dieses Ausmasses wurde aber nicht ausreichend berücksichtigt.

Auch wenn einige Accident-Management-Massnahmen funktionierten (manuelle Wassereinspeisung über Feuerlöschschläuche), hat der Notfallplan letztlich weitgehend versagt [2]. Dazu haben verschiedene Punkte beigetragen [2]:

- Unzureichende Notfallprozeduren für Severe-Accident-Management-Massnahmen
- Mangelhafter Kommunikationsplan zwischen der TEPCO-Zentrale (Off-site Head Office), der TEPCO-Standortleitung bzw. den Regierungsbehörden
- Nationale, externe Notfallhilfe (Rettungstrupps) mit logistischer Unterstützung konnte erst nach einiger Zeit vor Ort Hilfe leisten
- Ungenügende Berücksichtigung einer gleichzeitigen Zerstörung grosser Teile der Infrastruktur in der Umgebung – Verfügbarkeit von schwerem Gerät für Severe-Accident-Management-Massnahmen (siehe Abbildung 6)
- Es stand nicht ausreichend geschultes Personal für die Bewältigung eines Ereignisses dieses Ausmasses und dieser Dauer zur Verfügung
- Das Personal des Notfallstabs bekam kein ausreichendes Training für ein Ereignis dieses Ausmasses und dieser Dauer im Rahmen von periodischen Notfallübungen

### Hypothese: Nichtverfügbarkeit bzw. Überforderung des Personals bei Severe-Accident-Management-Massnahmen

Ein spezielles Problem ergab sich für die Mehrblockanlagen dadurch, dass mehrere Reaktoren gleichzeitig vom Unfall betroffen waren. Es gab einen Engpass an qualifiziertem Personal, welches nicht an allen Unfallreaktoren gleichzeitig sein konnte. Neben der technischen Separierung der Blöcke, erscheint also die Unabhängigkeit der Notfallorganisationen für jeden Reaktorblock sinnvoll [2].



Abb. 6: Ausmass der Zerstörung hier für Block 4 von Fukushima-Dai-ichi (Quelle: n-tv online, Sonntag, 24. April 2011) und Strassen in Küstennähe (Quelle: rp-online)

### 3.2.1.2 Grundlagen des Notfallschutzes und behördliche Notfallplanung

#### **Hypothese: Defizite bei der Beaufsichtigung der Notfallmassnahmen und dem zugrunde liegenden Gesetz und Regelwerk**

Massnahmen zur Beherrschung schwerer Unfälle wurden von TEPCO im 2002 auf freiwilliger Basis erstellt. Die zugehörigen Richtlinien wurden schon 1992 erstellt und seither nur einmal teilweise aktualisiert (1997) [12]. Die unzureichende Entwicklung der Notfallmassnahmen wird insbesondere auf die fehlenden gesetzlichen Anforderungen im Act on Special Measures Concerning Nuclear Emergency Preparedness zurückgeführt [2].

#### **Hypothese: Versäumnisse bei der behördlichen Notfallplanung**

Die Vorbereitung der Behörden auf einen Unfall dieses Ausmasses war ebenfalls unzureichend. Die Notfallzentrale am Standort (Local Nuclear Emergency Response Headquarter, NERHQ) war aufgrund unzureichender Abschirmung und fehlender Infrastruktur nicht einsatzbereit, so dass man auf einen Standort in der Umgebung ausweichen musste [2].

Es gab ausserdem Kommunikationsprobleme zwischen dem Local NERHQ, dem NERHQ, der Regierung (Premierminister), der TEPCO-Zentrale (Head Office) und der TEPCO-Betriebsleitung vor Ort. Neben dem anfänglichen Ausfall von Kommunikationsmitteln ist dies insbesondere auf die unklaren Notfallprozeduren und die damit verbundenen unklaren Zuständigkeiten zurückzuführen [2].

Die japanische Regierung konnte die angebotene internationale Hilfe infolge mangelnder Strukturen nicht ausreichend koordinieren und somit auch nicht rechtzeitig in Anspruch nehmen [2].

### 3.2.2 Menschliche Faktoren

#### **Hypothese: Schwierige Arbeitsbedingungen für das Personal**

Das Personal in Fukushima Dai-ichi musste nach dem Erdbeben und dem Tsunami (und muss teilweise wohl heute noch) unter äusserst schwierigen Bedingungen arbeiten. Es sind zwar noch nicht viele gesicherte Informationen über die tatsächliche Arbeitssituation vor Ort verfügbar, doch die nach und nach von den Medien veröffentlichten Bilder sprechen eine deutliche Sprache.

#### **Erschwerte physische Arbeitsbedingungen:**

Die physischen Bedingungen vor Ort erschwerten das Notfallmanagement bzw. die Tätigkeiten der Arbeiter. Auf Grund des Stromausfalls herrschte in weiten Bereichen der Anlagen Dunkelheit (siehe Abbildung 7), teilweise auch in den Kommandoräumen; die Instrumentierung war zum Teil ausgefallen bzw. noch vorhandene Informationen waren nicht verlässlich; die Kommunikation innerhalb der Anlage und nach aussen war erschwert. Der Zugang zu Systemen und Räumen war auf Grund von Trümmern, beschädigten Türen, überfluteten Gebäuden und Anlagen, Explosionsgefahr etc. nur eingeschränkt möglich. Zudem erschwerten die Umgebungsbedingungen, wie z. B. hohe Ortsdosisleistungen (ODL), Lärm, Hitze, hohe Luftfeuchtigkeit die Arbeiten. Es wird auch über Fälle von Dehydratation und Hitzeschlägen auf Grund andauernder Arbeit im Vollschutzanzug ohne Kühlung berichtet [13]. Eine gesundheitliche Gefährdung des Personals bestand (und besteht teilweise immer noch) insbesondere auch durch hohe

Strahlenexposition. Beispielsweise war zu Beginn die lokale Notfallzentrale nicht ausreichend gegen Eindringen von Radioaktivität gesichert, was zu einer Akkumulation unzulässiger Strahlendosen bei mindestens einer Person führte [14]. Die Gesundheit der Arbeitenden vor Ort war und ist zudem gefährdet durch hoch radioaktive Trümmer, welche sich auf dem Areal befinden [15]. Schliesslich wurde berichtet, dass zu Beginn bei der Durchführung von Notfallmassnahmen nicht alle Einsatzkräfte mit Dosimetern und entsprechenden Schutzausrüstungen (insbesondere Masken) ausgerüstet werden konnten [16]. Diese Bedingungen erschwerten zusätzlich den Einsatz von geplanten Notfallmassnahmen in hohem Masse.

#### **Erschwerte psychische Arbeitsbedingungen:**

Vermutlich mindestens genauso schwer wie die physischen Bedingungen wogen die psychischen Belastungen, unter denen das Personal vor Ort arbeiten musste [42]. Obschon dies bislang weder von offizieller Seite noch von Medienberichten bestätigt wurde, muss davon ausgegangen werden, dass sich ein Teil des Personals nach dem Erdbeben, welches 90 Sekunden dauerte, und spätestens nach dem Tsunami, in einem Schockzustand befand. Dazu kam bei vielen Mitarbeitenden die Angst um ihre Familienangehörigen. Die Mitarbeitenden hatten keine Möglichkeit, ihre Angehörigen zu kontaktieren und mussten teilweise annehmen, dass sie Opfer des Tsunamis oder des Erdbebens geworden sein könnten. Die Medien berichteten auch über einzelne Schicksale von Mitarbeitern, welche auf der Anlage blieben, obwohl sie wussten, dass ihre Familien vom Tsunami in den Tod gerissen worden waren [42]. Schliesslich musste das Personal auch den Tod mehrerer Arbeiter auf der Anlage verkraften. Zwei von ihnen waren in den Wasserfluten in der Anlage ertrunken und wurden Ende März im Maschinenhaus von Block 4 gefunden [17].



Abb. 7: Arbeiten bei totalem Stromausfall und hoher Strahlenbelastung (Quelle: T-online Nachrichten, 24.03.2011; Weltexpressinfo online, 25.03.2011)

Die Rahmenbedingungen, unter denen das Personal arbeiten musste, waren mit grosser Wahrscheinlichkeit über längere Zeit ebenfalls äusserst schwierig. Medienberichten zufolge war insbesondere in der ersten Zeit, die Versorgung des Personals mit Lebensmitteln unzureichend. Es wird berichtet, dass in den ersten Tagen 500 Mitarbeitende in einem nahe gelegenen Gymnasium nebeneinander auf Tatami-Matten geschlafen hätten, ohne Duschen und mit mageren Essensrationen [43]. Die Ablösung des Personals war zudem zu Beginn mit grosser Wahrscheinlichkeit über längere Zeit nicht möglich, was unweigerlich zu Übermüdung oder gar Erschöpfungszuständen geführt haben muss [42]. Die Notfallmassnahmen waren durch Personalmangel erschwert.

Ein weiterer psychischer Belastungsfaktor war mit Sicherheit, die Notwendigkeit für die Arbeiter vor Ort, unter Unkenntnis des tatsächlichen Anlagenzustands Entscheidungen zu treffen und zu handeln (s. auch unten). Es muss auch davon ausgegangen werden, dass die Situation für das Personal vor Ort mit fortschreitender Zeit immer verzweifelter wurde, da immer wieder neue unerwartete Ereignisse auftraten und viele getroffene Massnahmen nicht erfolgreich waren. Das Personal musste die Unfallabläufe in den verschiedenen Blöcken teilweise gleichzeitig bekämpfen und erlebte vermutlich über längere Zeit ein Gefühl von Kontrollverlust über die Situation in den Anlagen.

Bedenkt man die geschilderten physischen und psychischen Bedingungen, welche über Wochen andauerten und teilweise heute noch andauern, so kommt man unweigerlich zum Schluss, dass das Personal vor Ort schier Unmögliches geleistet hat und fast übermenschliches Verhalten an den Tag legte, unabhängig davon, wie erfolgreich es schliesslich in der Beherrschung des Unfalls bzw. von dessen Folgen war. Gerüchte,

wonach das Personal nach dem Erdbeben und dem Tsunami die Anlage fluchtartig verlassen habe, werden in Medienberichten weitgehend widerlegt. Einige wenige der rund 900 in Fukushima Dai-ichi anwesenden Personen verliessen die Anlage aus Sorge um ihre Familien. Die meisten blieben jedoch auf der Anlage.

Die am 14. März erfolgte Evakuierung des Personals bis auf 50 Personen wurde offiziell von TEPCO angeordnet. TEPCO stellte gar den Antrag an den Premierminister, das gesamte Personal abziehen zu dürfen. Dieser Antrag wurde jedoch vom Premierminister vehement abgelehnt [41]. Das Personal vor Ort wurde zu einem späteren Zeitpunkt wieder aufgestockt, um die notwendigen Arbeiten vor Ort durchführen zu können. Die genauen Zahlen und wie viele Personen zu welchen Zeitpunkten vor Ort tätig waren, liegen dem ENSI noch nicht vor.

### **Hypothese: Unzureichendes Bewusstsein für die Situation**

Es ist davon auszugehen, dass das Personal vor Ort über weite Strecken keine genaue Kenntnis der tatsächlichen Situation und des Zustands der Anlage hatte [44]. Dies führte vermutlich mindestens zeitweilig auch zu falschen Einschätzungen der Lage. Eine erste Fehleinschätzung erfolgte wahrscheinlich bereits wenige Minuten nach dem Erdbeben, nachdem die japanische meteorologische Anstalt eine erste Tsunami-Warnung vor einer mindestens drei Meter hohen Welle herausgegeben hatte („major tsunami“) [18]. Auf Grund dieser Warnung, welche das wahre Ausmass des zu erwartenden Tsunamis nicht vorherzusehen erlaubte, sah man sich vermutlich in Fukushima Dai-ichi zu keinen besonderen technischen Massnahmen und wahrscheinlich auch nicht zu besonderer Sorge veranlasst. Auch die Tatsache, dass der von TEPCO in einer ersten Fassung vorgelegte Plan, um die Anlage wieder unter Kontrolle zu bringen, nach kurzer Zeit wieder angepasst werden musste und dass der geschätzte Zeitpunkt des Eintritts der Kernschmelze in Block Nr. 1 korrigiert werden musste [45], deutet darauf hin, dass sich die korrekte Einschätzung des Zustands der Anlage noch lange sehr schwierig gestalten wird.

Über eine Reihe von Themen können noch keine endgültigen Aussagen getroffen werden, da dazu zu wenige Informationen verfügbar sind. Beispielsweise ist (noch) keine Beurteilung der Angemessenheit des Verhaltens des Personals in der Planung und Umsetzung der Notfallmassnahmen möglich. Ferner sind noch keine Aussagen darüber möglich, ob die existierenden Vorschriften befolgt wurden. Trotzdem lässt sich bereits jetzt festhalten, dass die geschilderten Bedingungen das Notfallmanagement beträchtlich erschwert haben dürften. Der Unfall in Fukushima Dai-ichi bestätigt auf eindrückliche Weise, dass das Notfallmanagement nicht als eine rein technische Angelegenheit betrachtet werden darf, welche sich auf die Verfügbarkeit technischer Massnahmen und Mittel beschränkt. Die physischen und psychischen Belastungen und die organisatorischen Rahmenbedingungen, unter welchen die Menschen in einem Notfall arbeiten müssen, müssen ebenso mit in die Betrachtung einbezogen werden.

## 3.3 Unfallkonsequenzen

### Frage 3: Warum kam es zur Exposition des Anlagenpersonals und der Bevölkerung und zur Kontamination der Umgebung?

#### 3.3.1 Organisatorische Faktoren

##### 3.3.1.1 Schutzmassnahmen für das Betriebspersonal und die Einsatzkräfte

#### **Hypothese: Unzureichende Schutzmassnahmen für das Betriebspersonal und die Einsatzkräfte**

Obwohl die Behörde den Dosisgrenzwert für beruflich strahlenexponiertes Personal, das zur Bewältigung des Unfalls eingesetzt wird, von 100 auf 250 mSv heraufgesetzt hatte, kam es bei zwei Personen möglicherweise zu einer Grenzwertüberschreitung mit einer Ganzkörperdosis im Bereich von 200 bis 580 mSv [19]. Diese möglichen Grenzwertüberschreitungen der Ganzkörperdosis, die sich aus der Exposition im Strahlenfeld und der Inkorporation radioaktiver Stoffe – überwiegend radioaktives Iod – zusammensetzt, können ein Hinweis dafür sein, dass die Schutzmassnahmen für das Personal zu Beginn des Unfalls unzureichend waren. Vollschutzmasken mit Aktivkohlefiltern hätten die Inhalation von I-131 mit nennenswerten Beiträgen zur Ganzkörperdosis verhindert.

Eine gravierende Personenkontamination hat sich am 24. März 2011 bei zwei Mitarbeitenden beim Einsatz im Maschinenhaus von Block 3 zugetragen. Wegen unzureichender Schutzausrüstung kam es beim direkten Kontakt mit durch Beta-Strahler belastetem Wasser zu Kontaminationen an Füßen und Beinen, die bei beiden Personen Teilkörperdosen von bis zu 3 Sv verursachten. Die grosse Unsicherheit bei den Dosisangaben lassen das ENSI auf Schwierigkeiten bei der Personendosimetrie schliessen.

Japanische Gesundheitsorganisationen kritisierten die mangelhafte Dosisüberwachung des Betriebspersonals und der Einsatzkräfte sowie die Anhebung des Grenzwertes für die Ganzkörperdosis von 100 auf 250 mSv [20].

Lücken in der Strahlenüberwachung des Personals werden mit der überflutungsbedingten Zerstörung vieler persönlicher Dosimeter und den anfänglichen Schwierigkeiten bei der Strahlungsmessung auf dem Anlagengelände erklärt [2]. Offensichtlich waren weder die lokalen Behörden noch die Dienststellen der Ministerien auf die Messung von Ortsdosisleistungen und die Bestimmung von Radioaktivitätskonzentrationen in der Luft in ausreichendem Masse vorbereitet. Es ist für das ENSI nicht nachvollziehbar, warum nur lückenhafte ODL-Angaben des Betreibers und keine Messungen von unabhängigen Behörden vorlagen.

### 3.3.1.2 Information und Schutzmassnahmen für die Bevölkerung

#### Hypothese: Unzureichende Information der Bevölkerung

Obwohl die Evakuierung der Bevölkerung im näheren Umkreis der Anlage von den Behörden rasch eingeleitet wurde, wird die unzureichende Information der Bevölkerung und der lokalen Behörden in der (weiteren) Umgebung in Bezug auf die voraussichtliche Entwicklung des Unfalls und seine Auswirkungen auf die Strahlenexposition der Bevölkerung kritisiert. Die Bevölkerung wurde während der Akutphase nicht ausreichend über die mögliche Exposition durch Direktstrahlung und die Ingestion radioaktiver Stoffe informiert. Ebenso wenig wurde sie über anzuwendende persönliche Schutzmassnahmen aufgeklärt. Als Gründe sind unter anderem die im Weiteren genannten organisatorischen Probleme und die Nichtverfügbarkeit der zerstörten Kommunikationsmittel zu nennen [2].

#### Hypothese: Unzureichende Schutzmassnahmen für die Bevölkerung

Zu Beginn des Unfalls war nicht klar, wer tatsächlich die Hauptverantwortung für den Notfallschutz der Bevölkerung trägt. Das lag hauptsächlich an den komplexen Aufsichtsstrukturen mit den vielen beteiligten Aufsichtsorganen [2].

Auch wenn die Evakuierung der Bevölkerung in der Umgebung der Anlage von Fukushima Dai-ichi rasch erfolgte, so wurden die Evakuierungszonen nicht ausreichend an die lokal herrschende Strahlenbelastung angepasst. Die Massnahmen richteten sich anfangs nicht nach den Guidelines der internationalen Strahlenschutzkommission (ICRP) und der IAEA [2]. Ein Beispiel hierfür ist die sehr späte Evakuierung des Dorfs Iitate, welches ausserhalb des 30-km-Umkreises nord-westlich von Fukushima Dai-ichi liegt.

Die Festlegung der Evakuierungszonen erfolgte anfangs auch nicht auf Basis von Ausbreitungsrechnungen des dafür vorgesehenen Systems SPEEDI (System for Prediction of Environmental Dose Information) [2].

Für die angekündigten Ganzkörpermessungen der betroffenen Bevölkerung (rund 200'000 Personen) zur Bestimmung möglicher Inkorporationen, hervorgerufen durch Inhalation oder Ingestion radioaktiver Stoffe, steht in der Provinz Fukushima den kontrollierenden Organen nur ein Gerät zur Verfügung, in dem rund zehn Personen täglich gemessen werden können [21].

### 3.3.2 Menschliche Faktoren

#### **Hypothese: Unzureichende Kenntnis der radiologischen Situation und stress-induzierte Fehler**

Wie im Zusammenhang mit den Erläuterungen zu den beitragenden Faktoren im Bereich Organisation dargelegt, kann aus der – allerdings noch unvollständigen – Berichterstattung über Personendosen geschlossen werden, dass mehrere Personen Strahlendosen über dem für sie geltenden Grenzwert erhalten haben. Dies wird in offiziellen Aussagen unter anderem auf das anfängliche Fehlen einer ausreichenden Anzahl von elektronischen Dosimetern und auf Störungen bei der Messdatenerfassung sowie auf die grossen Probleme bei der Strahlungsmessung auf dem Anlagengelände in den ersten Tagen des Unfalls zurückgeführt. Im Fall der Mitarbeiter einer externen Firma, welche am 24. März 2011 durch radioaktives Wasser an den Beinen kontaminiert wurden, muss zudem angenommen werden, dass die Arbeiter in Unkenntnis der tatsächlichen radiologischen Situation arbeiteten bzw. dass sie die Situation falsch eingeschätzt haben. TEPCO nimmt an, dass sie von Messwerten vom Tag zuvor ausgingen und die geänderten Arbeitsbedingungen, trotz Alarm ihrer Dosimeter, nicht erkannten [22].

Ein weiteres Beispiel vermeidbarer Inkorporation ist jenes vom 13. Juni 2011: Ein Mitarbeiter, der ausserhalb des Reaktorgebäudes von Block 2 arbeitete, merkte erst nach erledigter, zweistündiger Arbeit, dass er vergessen hatte, einen Filter an seiner Vollschutzmaske anzubringen [23], wobei in diesem Fall die Folgen mit 0.5 mSv Folgedosis gering waren.

Obschon es sich bei den gemeldeten Fällen von vermeidbaren Strahlenexpositionen, Kontaminationen und Inkorporationen um Einzelfälle handelt, müssen diese trotzdem in die Analyse einbezogen werden. Aus der individuellen Perspektive muss davon ausgegangen werden, dass in Stresssituationen wie dieser, Fehler begünstigt werden. In den geschilderten Fällen wurden beispielsweise Dosimeteralarme nicht beachtet oder es wurde das Anbringen des Aktivkohlefilters vergessen.

Da grundsätzlich, und insbesondere unter den Bedingungen, unter welchen das Personal bei der Bewältigung des Unfalls in Fukushima arbeitete, davon ausgegangen werden muss, dass Fehler begangen werden, müssen die geschilderten Fälle von Strahlenexpositionen, Kontaminationen und Inkorporationen zwingend auch aus einer organisatorischen Perspektive betrachtet werden. Dabei ist zu prüfen, ob das Eigen- und Fremdpersonal sowie die Einsatzkräfte genügend geschult waren und ob sie ausreichend auf die einzelnen durchzuführenden Arbeiten vorbereitet worden waren. TEPCO versicherte im Falle der am 24. März 2011 kontaminierten Mitarbeiter, Eigen- und Fremdpersonal sei gründlich bezüglich der Erkennung eines Dosimeteralarms instruiert worden [22]. Ob diese Personen je zuvor in einem Strahlenfeld mit offenen radioaktiven Stoffen gearbeitet hatten und ob sie die Instruktion verstanden hatten, kann aus Sicht des ENSI derzeit nicht geklärt werden. Die Frage nach den auf organisatorischer Seite getroffenen Massnahmen zum Schutz der Mitarbeitenden, inklusive der generellen Schulungsmassnahmen sowie der spezifischen Vorbereitung (z. B. im Rahmen von „Pre-job Briefings“) auf die auszuführenden Aufgaben, aber auch ob die Organisation des Strahlenschutzes vor Ort geeignet war, einen Unfall dieses Ausmasses zu bewältigen, erscheint deshalb legitim. Dabei ist besonders auch die Notwendigkeit organisatorischer Massnahmen zu betonen, welche den Eigenschaften menschlichen Handelns (insbesondere in Extremsituationen) gerecht werden.

Es ist davon auszugehen, dass die japanischen und internationalen Behörden sowie der Betreiber TEPCO im Rahmen weiterer Abklärungen und Analysen des Unfalls in Fukushima der Frage der Schulung und Vorbereitung des Personals nachgehen werden.

## 4 Schlussfolgerungen

Die in vorliegendem Bericht dargelegten Erkenntnisse müssen als vorläufige Ergebnisse der Analyse betrachtet werden. Die Analyse wird noch Monate oder Jahre in Anspruch nehmen, bevor alle Lehren aus dem Unfall in Fukushima gezogen und umgesetzt sind. Ein grosser Teil der bisher identifizierten (mutmasslichen) beitragenden Faktoren hat den Charakter von Hypothesen. Dies hängt einerseits damit zusammen, dass gerade für den Bereich Mensch und Organisation, inklusive dem Strahlenschutz, zum jetzigen Zeitpunkt noch die Schwierigkeit besteht, die Belastbarkeit der gesammelten Informationen vollständig zu verifizieren. Ein beachtlicher Teil der bisher vorliegenden Informationen wurde Medienberichten entnommen. Deren Richtigkeit und Vollständigkeit konnte bis zum heutigen Zeitpunkt nicht umfassend überprüft werden. Es muss auch damit gerechnet werden, dass nicht alle Informationen überhaupt jemals durch offizielle Berichte bestätigt werden können. Andererseits werden sich eine Reihe von Hypothesen, vor allem jene, welche sich auf die Vorgeschichte des Unfalls beziehen, auch nicht überprüfen lassen, da sich kein direkter kausaler Zusammenhang zwischen einzelnen vergangenen Ereignissen (z. B. Nichtverfügbarkeit von Systemen aufgrund mangelhafter Instandhaltung) und dem Unfall feststellen lässt. Der Unfall lässt sich nur durch das ganz spezifische Konglomerat von Ereignissen und Umständen und deren spezifischem Zusammentreffen erklären, nicht jedoch durch lineare, kausale Verkettungen von Ereignissen und Umständen. Die genaue Rolle jedes einzelnen der identifizierten beitragenden Faktoren in der Verursachung des Unfalls lässt sich deshalb nicht abschliessend nachweisen.

### Die Analyse des ENSI hat Folgendes ergeben:

- Die bislang identifizierten (mutmasslichen) beitragenden Faktoren umfassen die Bereiche Mensch, Technik und Organisation mit vielfältigen Zusammenhängen bzw. Wechselwirkungen untereinander. Dies gilt für

die Unfallentstehung, die Unfallbewältigung und die Unfallkonsequenzen. Der vorliegende Bericht fokussiert auf die Ergebnisse im Bereich Mensch und Organisation.

- Die identifizierten (mutmasslichen) beitragenden Faktoren im Bereich Mensch und Organisation betreffen sowohl den Betreiber (TEPCO) als auch die politischen und behördlichen Instanzen.
- Organisatorische Aspekte, die die Sicherheitskultur des Betreibers TEPCO und die strukturellen Mängel des Gesamtsystems der nuklearen Aufsicht in Japan betreffen, sowie grundlegende psychische Mechanismen, welche dem menschlichen Verhalten zu Grunde liegen, tragen zur Erklärung der technischen Versäumnisse im Vorfeld des Unfalls bei.
- Den menschlichen und organisatorischen Aspekten des Notfallmanagements im Zusammenhang mit der Unfallbewältigung kommt eine zentrale Bedeutung zu (z. B. Notfallabläufe, Prozeduren, Entscheidungs- und Kommunikationswege, Ausbildung und Einsatz des Personals etc.). Der Einfluss der schwierigen physischen und psychischen Arbeitsbedingungen auf die Leistungsfähigkeit des Personals in Notfallsituationen muss vertieft reflektiert und bei der Notfallplanung von Betreibern von Kernanlagen sowie der Aufsichtsbehörden berücksichtigt werden (Unterstellung eines „Worst Case Szenarios“).

Im Hinblick auf die weiteren Schritte der Analyse ist es wichtig, dass die Überlegungen wie es überhaupt zu den identifizierten beitragenden Faktoren kommen konnte, also welche grundlegenden Mechanismen und Phänomene diesen zu Grunde liegen, weitergeführt werden. Der Unfall in Fukushima ist insbesondere auf einen Auslegungsfehler zurückzuführen. Deshalb ist die Auslegung der Schweizer Kernkraftwerke insbesondere vor dem Hintergrund der gewonnenen Erkennt-

nisse in Japan erneut kritisch zu hinterfragen. Über die Überprüfung der Auslegung der Kernkraftwerke hinaus ist jedoch die Frage entscheidend, wie es in Japan dazu kommen konnte, dass eine ungenügend ausgelegte Anlage im Laufe des langen Betriebs keine ausreichende Nachrüstung erfahren hat. Die in vorliegendem Bericht identifizierten (mutmasslichen) beitragenden Faktoren im Bereich Mensch und Organisation liefern bereits einen wesentlichen Beitrag zu einer differenzierten Betrachtung der Bedingungen und komplexen Konstellationen, welche zum Unfall in Fukushima geführt bzw. dessen Verlauf beeinflusst haben. Die Suche nach Erklärungen muss jedoch noch vertiefter die grundlegenden menschlichen und organisationalen Mechanismen reflektieren, welche den im vorliegenden Bericht beschriebenen Verhaltensweisen, Unterlassungen und Fehlern zu Grunde liegen. Andeutungsweise wurden solche Mechanismen im Bericht bereits angesprochen. Warum hat man die – im Nachhinein so offensichtlich erscheinenden – Mängel in Auslegung und Aufsicht nicht früher erkannt? Warum wurden die Anlagen in Fukushima nicht besser gegen Tsunamis geschützt, obwohl bekannt war, dass in der Vergangenheit in Japan bereits sehr hohe Tsunamis grosse Zerstörungen angerichtet hatten? Warum waren Betreiber und Behörden nicht besser auf die Beherrschung eines derartigen Unfalls vorbereitet?

Einzelnen Entscheidungsträgern in Japan lediglich Verantwortungslosigkeit oder bewusstes Fehlverhalten zu unterstellen, greift bestimmt zu kurz. Es ist davon auszugehen, dass grundlegende menschliche und organisationale Mechanismen (behaviour shaping mechanisms, [25]) mit zu Grunde liegen. Solche Mechanismen und äussere Bedingungen können eine starke Wirkung entfalten und dazu führen, dass als im Nachhinein offensichtlich unübersehbar erscheinende Tatsachen, im Vornhinein nicht erkannt, verdrängt, rationalisiert oder wegdiskutiert werden. Es ist auch möglich, dass im Laufe einer langen Zeit allmähliche Veränderungen in Wahrnehmungen

und Praktiken auftreten, welche im Nachhinein als offensichtliche, grosse Veränderungen erkannt werden, die sich jedoch auf Grund ihres schleichenden Charakters nur schwer frühzeitig erkennen lassen (Drift into Failure, vgl. [26]). Solche Phänomene müssen als inhärente Eigenschaften soziotechnischer Systeme angesehen werden. Diese Verhaltensweisen sind Ausdruck der andauernd notwendigen Anpassungen des Menschen bzw. der soziotechnischen Systeme, in welchen die Menschen handeln, an sich verändernde Bedingungen (vgl. z. B. Hollnagel [27]). Diese Mechanismen betreffen alle Akteure vom Betreiber über die Aufsichtsbehörde bzw. die politischen Instanzen bis hin zur Gesellschaft. Es ist Verantwortung und Aufgabe von allen Akteuren der Nuklearindustrie (Betreibern von Kernanlagen, Regierungen, Aufsichtsbehörden, Expertenorganisationen etc.), die potenziellen und tatsächlichen Wirkungen dieser Mechanismen zu verstehen und ihnen in ihren Organisationen durch angemessene Strukturen und Abläufe sowie eine sicherheitsgerichtete und achtsame Kultur Rechnung zu tragen. Die Mechanismen lassen sich nicht durch einfache und für einen bestimmten Fall spezifische Massnahmen wie beispielsweise neue Vorschriften oder die weitere Automatisierung technischer Systeme eliminieren, denn es wird immer wieder neue unerwartete Situationen geben, welche von keinem Ingenieur und keiner Aufsichtsbehörde vorhergesehen wurden. Die Organisationen müssen vielmehr die Fähigkeit haben, mit Unerwartetem umzugehen. Sie müssen resilient sein, das heisst fähig, sich vor, während und nach Veränderungen und Störungen anzupassen, so dass sie jederzeit, sowohl unter erwarteten, als auch unter unerwarteten Bedingungen, die Kontrolle aufrecht erhalten können [28]. Obschon sich die Wirksamkeit vieler der beschriebenen Mechanismen im konkreten Fall nicht einwandfrei belegen lassen wird, ist es dennoch wichtig, sich im Zuge der weiteren Analyse des Unfalls in Fukushima mit ihnen auseinander zu setzen. Nur so können eine vollständige Übertragbarkeitsbetrachtung des Unfalls auf die Schweiz durchgeführt und die entsprechenden Lehren für die Schweiz gezogen werden.

## 5 Weiteres Vorgehen

Aus den (mutmasslichen) beitragenden Faktoren des Bereichs Mensch und Organisation wurden untenstehende Handlungsfelder zu den Themen Sicherheitskultur und Notfallmanagement identifiziert. Im Rahmen seiner Aufsichtstätigkeit wird das ENSI die Situation in der Schweiz für diese Handlungsfelder speziell überprüfen. Das ENSI hat dazu eine Reihe von konkreten Erkenntnissen formuliert. Der Vergleich mit der Ist-Situation in der Schweiz wird zeigen, welche dieser Erkenntnisse auf die Schweiz übertragbar sind und welche Massnahmen sich gegebenenfalls daraus ergeben.

Zu den radiologischen Auswirkungen des Unfalls besteht weiterhin Klärungsbedarf (siehe Frage 3). Das ENSI wird in einem separaten Bericht genauer darauf eingehen. Nach Vorliegen der Personendosimetriedaten wird das ENSI auch eine Analyse zu den tatsächlich aufgetretenen Strahlenexpositionen durchführen.

### **Sicherheitskultur (Unfallentstehung, siehe Frage 1)**

Die organisatorischen, behördlichen, politischen und gesellschaftlichen Rahmenbedingungen sowie die grundlegenden Mechanismen menschlichen Handelns und des Funktionierens von Organisationen müssen bei der Beurteilung der Ereignisse in Japan berücksichtigt und in die Überlegungen zur Übertragbarkeit dieser Ereignisse auf die Situation in der Schweiz mit einbezogen werden. Deren Wirkungsart und (potenzielle) Auswirkungen auf die Sicherheit von Kernanlagen müssen identifiziert und verstanden werden. Es ist Verantwortung und Aufgabe jeglicher Organisation im nuklearen Bereich, namentlich von Betreibern von Kernanlagen und der Aufsichtsbehörden, die potenziellen und tatsächlichen Wirkungen dieser Mechanismen zu verstehen und ihnen in ihren Organisationen bzw. in ihrem Handeln durch angemessene Strukturen und Abläufe sowie eine sicherheitsgerichtete und achtsame Kultur Rechnung zu tragen.

Das ENSI überprüft im Detail, ob sich aus den Ereignissen in Japan neue Erkenntnisse bezüglich einer sicherheitsgerichteten Entwicklung von Organisationen ergeben, welche in der bisherigen Aufsichtspraxis, im Regelwerk des ENSI, aber auch in der Organisation des ENSI noch unzureichend berücksichtigt wurden. Dabei muss die Beschaffenheit und Wirkung des Gesamtsystems (d. h. des Zusammenspiels aller involvierten Akteure, von den Organisationen auf Seiten der Industrie, über die Aufsichtsbehörde, die politischen Instanzen bis hin zur Gesellschaft) mitberücksichtigt werden.

**Notfallmanagement  
(Unfallbewältigung und -konsequenzen,  
siehe Frage 2 und 3)**

Die Ereignisse in Fukushima haben deutlich gezeigt, dass dem Notfallmanagement bei der Beeinflussung des Verlaufs eines schweren Störfalls eine entscheidende Rolle zukommt. Dem Notfallmanagement von Betreibern und Behörden (Aufsichtsbehörden, lokalen Behörden, aber auch internationalen Organisationen) ist deshalb bei allen beteiligten Instanzen ein entsprechend hoher Stellenwert einzuräumen. Neben den technischen Aspekten des Notfallmanagements (z. B. der Verfügbarkeit technischer Ausrüstungen für die Einleitung von Notfallmassnahmen) kommt dabei den menschlichen und organisatorischen Aspekten (z. B. Notfallabläufen, Prozeduren, Entscheidungs- und Kommunikationswegen, Ausbildung und Einsatz des Personals etc.) eine zentrale Bedeutung zu. Es ist insbesondere auch den organisatorischen Massnahmen zum Schutz des Personals vor Ort vor unzulässiger Strahlenexposition während der Bewältigung des Störfalls die notwendige Aufmerksamkeit zu schenken. Zentral ist dabei, dass nicht nur die Planung und Vorbereitung von Massnahmen für ein möglichst umfassendes Spektrum von zu erwartenden Ereignissen angestrebt wird.

Es muss auch die Fähigkeit der beteiligten Organisationen, mit unvorhergesehenen Ereignissen umzugehen, in welchen die vorgesehenen Massnahmen nicht funktionieren, in die Überlegungen mit einbezogen werden. Die bisher vorliegenden Erkenntnisse deuten zudem darauf hin, dass die Arbeitsbedingungen für das sich nach dem Unfall in Fukushima vor Ort befindliche Personal, physisch wie psychisch äusserst schwierig waren. Der Einfluss derartiger Bedingungen auf die Leistungsfähigkeit von Personen in einer Notfallsituation muss vertieft reflektiert und bei der Notfallplanung von Betreibern der Kernanlagen sowie der Aufsichtsbehörden berücksichtigt werden.

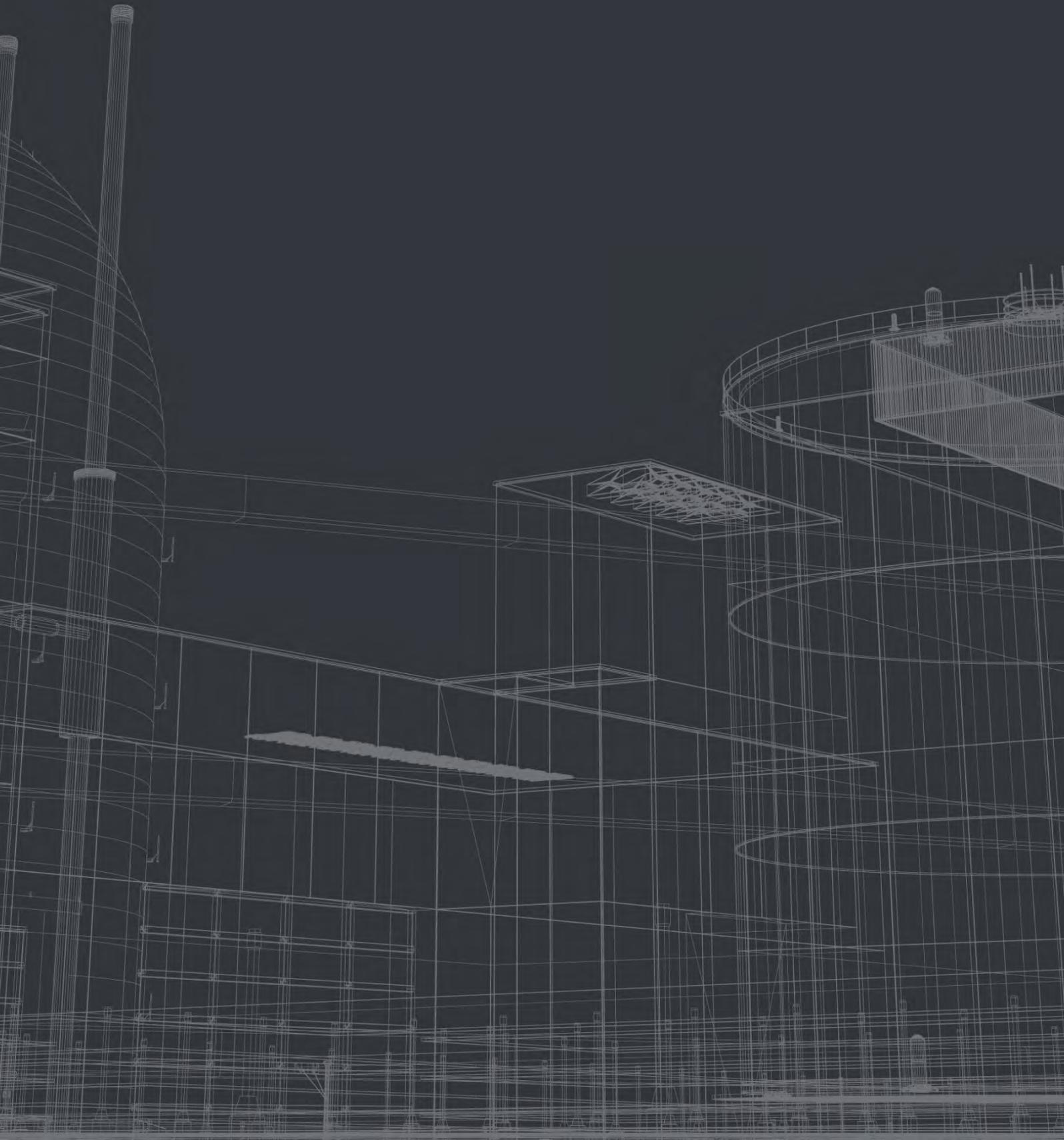
Das ENSI wird im Sinne der Unterstellung eines „Worst Case Szenarios“ überprüfen, inwiefern die Erkenntnisse aus der Bewältigung des Unfalls in Fukushima die bisherigen Anforderungen an das Notfallmanagement von Betreibern und des ENSI beeinflussen und wenn nötig Verbesserungsmaßnahmen einleiten.

## 6 Abkürzungsverzeichnis

AEC	Atomic Energy Commission
AESJ	Atomic Energy Society of Japan
AN	Aktennotiz
ANRE	Agency for Natural Resources and Energy
ENSI	Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat
IAEA	International Atomic Energy Agency
ICRP	International Commission on Radiological Protection
INES	International Nuclear and Radiological Event Scale
IRRS	Integrated Regulatory Review Service
JAIF	Japan Atomic Industrial Forum, Inc.
JANTI	Japan Nuclear Technology Institute
JINED	International Nuclear Energy Development of Japan
JNES	Japan Nuclear Energy Safety Organization
JSCE	Japan Society of Civil Engineers
METI	Ministry of Economy, Trade & Industry
MEXT	Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology
NERHQ	Nuclear Emergency Response Headquarters
NHK	Nippon Hosokyokai, Japan Broadcasting Corporation
NISA	Nuclear and Industrial Safety Agency
NRC oder U.S.NRC	United States Nuclear Regulatory Commission
NSC	Nuclear Safety Commission
NYT	New York Times
ODL	Ortsdosisleistung
PSA	Probabilistischen Sicherheitsanalysen
SAMG	Severe Accident Management Guidelines
SBO	Station Blackout
SPEEDI	System for Prediction of Environment Emergency Dose Information
STPB	Science and Technology Policy Bureau
TEPCO	Tokyo Electric Power Company

# Fukushima

37° 25' 26.57" N, 141° 1' 56.87" E  
11.03.2011



## 7 Referenzen

- 1 Ereignisabläufe Fukushima Dai-ichi und Daini infolge des Tohoku-Chihou-Taiheiy-ou-Oki Erdbebens vom 11.03.2011, ENSI-AN-7614 Rev. 1, Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI, 2011-08-26
- 2 Report of Japanese Government to the IAEA Ministerial Conference on Nuclear Safety, - The Accident at TEPCO's Fukushima Nuclear Power Stations -, Nuclear Emergency Response Headquarters, Government of Japan, 2011-06-18  
[kantei.go.jp/foreign/kan/topics/201106/iaea\\_houkokusho\\_e.html](http://kantei.go.jp/foreign/kan/topics/201106/iaea_houkokusho_e.html)
- 3 Convention on Nuclear Safety, National Report of Japan, Fifth Review Meeting, Government of Japan, September 2010
- 4 Das schwere Tohoku-Seebeben in Japan und die Auswirkungen auf das Kernkraftwerk Fukushima-Dai-ichi, Bernhard Kuczera, Internationale Zeitschrift für Kernenergie, Sonderdruck aus Jahrgang 56 (2011) Heft4/5, April/Mai
- 5 Lessons Learned from TEPCO Nuclear Power Scandal, Speech and Presentation-Tokyo Electric Power Company (TEPCO), 2004-03-25 [tepcoco.jp/en/news/presentation/pdf-1/040325-s-e.pdf](http://tepcoco.jp/en/news/presentation/pdf-1/040325-s-e.pdf)
- 6 Annual Report 2010, Optimal Energy Services, Our Focus in Value Creation, Tokyo Electric Power Company (TEPCO), Juli 2010 [tepcoco.jp/en/corpinfo/ir/tool/annual/pdf/ar2010-e.pdf](http://tepcoco.jp/en/corpinfo/ir/tool/annual/pdf/ar2010-e.pdf)
- 7 JAIF Earthquake Report No. 77: 18:00, May 10, Japan Atomic Industrial Forum Inc. (JAIF), 2011-05-10  
[jaif.or.jp/english/news\\_images/pdf/ENGNEWS01\\_1305023353P.pdf](http://jaif.or.jp/english/news_images/pdf/ENGNEWS01_1305023353P.pdf)
- 8 IAEA: "Integrated Regulatory Review Service (IRRS) to Japan", Bericht IAEA-NSNI-IRRS, 2007-12-20
- 9 IAEA International Fact Finding Expert Mission of the Nuclear Accident Following the Great East Japan Earthquake and Tsunami, International Atomic Energy Agency (IAEA), 2011-06-01  
[iaea.org/newscenter/focus/fukushima/missionsummary010611.pdf](http://iaea.org/newscenter/focus/fukushima/missionsummary010611.pdf)
- 10 Sozialpsychologie, Aronson, E. , Wilson, T. D. & Akert, R. M., 4. Auflage. München, Pearson Studium, 2004
- 11 Convention on Nuclear Safety National Report of Japan for the Fifth Review Meeting, Government of Japan, September 2010 [nsc.go.jp/anzen/shidai/genan2010/genan053/siry02-3.pdf](http://nsc.go.jp/anzen/shidai/genan2010/genan053/siry02-3.pdf)
- 12 Presentation "Summary of Safety Regulation in Japan", Nuclear and Industrial Safety Agency (NISA), 2011-05-24  
[nisa.meti.go.jp/english/files/en20110526-1-1.pdf](http://nisa.meti.go.jp/english/files/en20110526-1-1.pdf)
- 13 JAIF Earthquake Report No. 104 18:00 June 06, Japan Atomic Industrial Forum Inc. (JAIF), 2011-06-06  
[jaif.or.jp/english/news\\_images/pdf/ENGNEWS01\\_1307352120P.pdf](http://jaif.or.jp/english/news_images/pdf/ENGNEWS01_1307352120P.pdf)
- 14 Press Release (May 02,2011), Report on investigation of cause and development of preventive measures regarding exposure exceeding dose limit to radiation dose engaged person at Fukushima Daiichi Nuclear Power Station to NISA, Tokyo Electric Power Company (TEPCO), 2011-05-02 [tepcoco.jp/en/press/corpcorp-com/release/11050211-e.html](http://tepcoco.jp/en/press/corpcorp-com/release/11050211-e.html)
- 15 JAIF Earthquake Report No. 105 18:00 June 07, Japan Atomic Industrial Forum Inc. (JAIF), 2011-06-07  
[jaif.or.jp/english/news\\_images/pdf/ENGNEWS01\\_1307442268P.pdf](http://jaif.or.jp/english/news_images/pdf/ENGNEWS01_1307442268P.pdf)

- 16 JAIF Earthquake Report No. 98 18:00 May 31, Japan Atomic Industrial Forum Inc. (JAIF), 2011-05-31 [jaif.or.jp/english/news\\_images/pdf/ENGNEWS01\\_1306833181P.pdf](http://jaif.or.jp/english/news_images/pdf/ENGNEWS01_1306833181P.pdf)
- 17 Seismic Damage Information (the 92nd Release), Nuclear and Industrial Safety Agency (NISA), 2011-04-14 [nisa.meti.go.jp/english/files/en20110416-7-1.pdf](http://nisa.meti.go.jp/english/files/en20110416-7-1.pdf)
- 18 Tsunami Information (Estimated Tsunami arrival time and Height), Japan Meteorological Agency, 2011-03-11, 14:49 [jma.go.jp/en/tsunami/info\\_04\\_20110311145026.html](http://jma.go.jp/en/tsunami/info_04_20110311145026.html)
- 19 Press Release (Jun 03,2011), Status of Evaluation Exposure Dose limits of TEPCO employees at Fukushima Daiichi Nuclear Power Station (Continued Releases), Tokyo Electric Power Company (TEPCO), 2011-06-03 [tepcoco.jp/en/press/corp-com/release/11060311-e.html](http://tepcoco.jp/en/press/corp-com/release/11060311-e.html)
- 20 JAIF Earthquake Report No. 116 18:00 June 18, Japan Atomic Industrial Forum Inc. (JAIF), 2011-06-18 [jaif.or.jp/english/news\\_images/pdf/ENGNEWS01\\_1308388162P.pdf](http://jaif.or.jp/english/news_images/pdf/ENGNEWS01_1308388162P.pdf)
- 21 JAIF Earthquake Report No. 100 18:00 June 2, Japan Atomic Industrial Forum Inc. (JAIF), 2011-06-02 [jaif.or.jp/english/news\\_images/pdf/ENGNEWS01\\_1307006763P.pdf](http://jaif.or.jp/english/news_images/pdf/ENGNEWS01_1307006763P.pdf)
- 22 Press Release (Mar 25,2011), Result of the investigation on exposure to radiation of workers from cooperative companies at Unit3 in Fukushima Daiichi Nuclear Power Station(March 25, 2011), Tokyo Electric Power Company (TEPCO), 2011-03-25 [tepcoco.jp/en/press/corp-com/release/11032503-e.html](http://tepcoco.jp/en/press/corp-com/release/11032503-e.html)
- 23 JAIF Earthquake Report No. 112 18:00 June 14, Japan Atomic Industrial Forum Inc. (JAIF), 2011-06-14 [jaif.or.jp/english/news\\_images/pdf/ENGNEWS01\\_1308042843P.pdf](http://jaif.or.jp/english/news_images/pdf/ENGNEWS01_1308042843P.pdf)
- 24 JAIF Earthquake Report No. 175 12:00 August 16, Japan Atomic Industrial Forum Inc. (JAIF), 2011-08-16 [jaif.or.jp/english/news\\_images/pdf/ENGNEWS01\\_1313463676P.pdf](http://jaif.or.jp/english/news_images/pdf/ENGNEWS01_1313463676P.pdf)
- 25 Management in a Dynamic Society: A Modelling Problem Rasmussen, Jens Safety Science, 27 (2/3), pp. 183-213 (1997)
- 26 Drift into Failure, From hunting broken components to understanding complex systems, Dekker, S.W.A., Aldershot, UK: Ashgate (2011)
- 27 Barriers and Accident Prevention, Hollnagel, Erik, Aldershot, UK: Ashgate (2004)
- 28 European Organisation for the Safety of Air Navigation (EUROCONTROL), A White Paper on Resilience Engineering for ATM, 2009 [eurocontrol.int/esp/gallery/content/public/library/A%20White%20Paper%20Resilience%20Engineering/A\\_White\\_Paper\\_Resilience\\_Engineering.pdf](http://eurocontrol.int/esp/gallery/content/public/library/A%20White%20Paper%20Resilience%20Engineering/A_White_Paper_Resilience_Engineering.pdf)
- 29 Japan Extended Reactor's Life, Despite Warning, New York Times, 2011-03-21 [nytimes.com/2011/03/22/world/asia/22nuclear.html](http://nytimes.com/2011/03/22/world/asia/22nuclear.html)
- 30 Culture of Complicity Tied to Stricken Nuclear Plant, New York Times, 2011-04-26 [nytimes.com/2011/04/27/world/asia/27collusion.html](http://nytimes.com/2011/04/27/world/asia/27collusion.html)

- 31 Japanese Officials Ignored or Concealed Dangers, New York Times, 2011-05-16 [nytimes.com/2011/05/17/world/asia/17japan.html?ref=japan](http://nytimes.com/2011/05/17/world/asia/17japan.html?ref=japan)
- 32 In Japan, a Culture That Promotes Nuclear Dependency, New York Times, 2011-05-30 [nytimes.com/2011/05/31/world/asia/31japan.html](http://nytimes.com/2011/05/31/world/asia/31japan.html)
- 33 AP Exclusive: Fukushima tsunami plan a single page, Associated Press, 2011-05-27
- 34 Forscher: Japan schätzte Bebengefahr falsch ein, Österreichischer Rundfunk ORF, 2011-04-14 [science.orf.at/stories/1681378/](http://science.orf.at/stories/1681378/)
- 35 Nuclear Rules in Japan Relied on Old Science, New York Times, 2011-03-26 [nytimes.com/2011/03/27/world/asia/27nuke.html?\\_r=3&hp](http://nytimes.com/2011/03/27/world/asia/27nuke.html?_r=3&hp)
- 36 AP IMPACT: Nuclear plant downplayed tsunami risk, YAHOO! News, 2011-03-27
- 37 Die Warner, die nicht gehört wurden - Ausland: Japan im Ausnahmezustand, Tagesanzeiger, 2011-03-28 [tagesanzeiger.ch/ausland/die-tsunami-katastrophe/Die-Warner-die-nicht-ge-hoert-wurden/story/20980711?dossier\\_id=885](http://tagesanzeiger.ch/ausland/die-tsunami-katastrophe/Die-Warner-die-nicht-ge-hoert-wurden/story/20980711?dossier_id=885)
- 38 The geologist who predicted Japan's tsunami, The Week, 2011-04-12 [theweek.com/article/index/214132/the-geologist-who-predicted-japans-tsunami](http://theweek.com/article/index/214132/the-geologist-who-predicted-japans-tsunami)
- 39 Madarame: Plant guidelines should be fully revised, NHK World, 2011-06-05 [www3.nhk.or.jp/daily/english/05\\_23.html](http://www3.nhk.or.jp/daily/english/05_23.html)
- 40 'Safety Myth' Left Japan Ripe for Nuclear Crisis, New York Times, 2011-06-24 [nytimes.com/2011/06/25/world/asia/25myth.html?ref=japan](http://nytimes.com/2011/06/25/world/asia/25myth.html?ref=japan)
- 41 In Nuclear Crisis, Crippling Mistrust, New York Times, 2011-06-12 [nytimes.com/2011/06/13/world/asia/13japan.html?ref=japan](http://nytimes.com/2011/06/13/world/asia/13japan.html?ref=japan)
- 42 Letters From Fukushima: Tepco Worker Emails, Wall Street Journal, 2011-03-28 [blogs.wsj.com/japanrealtime/2011/03/28/letters-from-fukushima-tepco-worker-emails/](http://blogs.wsj.com/japanrealtime/2011/03/28/letters-from-fukushima-tepco-worker-emails/)
- 43 Economy Sends Japanese to Fukushima for Jobs, New York Times, 2011-06-08 [nytimes.com/2011/06/09/world/asia/09japan.html](http://nytimes.com/2011/06/09/world/asia/09japan.html)
- 44 Tepco weiss nicht, was abläuft, Tagesanzeiger, 2011-03-22 [tagesanzeiger.ch/ausland/die-tsunami-katastrophe/Tepco-weiss-nicht-was-ablaeuft/story/24725993?dossier\\_id=885](http://tagesanzeiger.ch/ausland/die-tsunami-katastrophe/Tepco-weiss-nicht-was-ablaeuft/story/24725993?dossier_id=885)
- 45 Core of reactor 1 melted 16 hours after quake, The Japan Times, 2011-05-16 [search.japantimes.co.jp/cgi-bin/n20110516a1.html](http://search.japantimes.co.jp/cgi-bin/n20110516a1.html)





Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

**Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI**

**Herausgeber**

Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI  
Informationsdienst  
CH-5200 Brugg  
Telefon 0041 (0)56 460 84 00  
Telefax 0041 (0)56 460 84 99  
info@ensi.ch  
www.ensi.ch

ENSI-AN-7669  
Herausgegeben am 29.08.2011

