
Sachstandsbericht

zum

**Regelvorhaben KTA 2105:
Schutz von KKW gegen
anlageninterne Bruchstücke**

KTA-GS-64

Salzgitter, Juni 1994

Bearbeiter: Mani Pradhan

Digitalisierung und Nachbearbeitung: Kevin Maertens & Anke Köppert

GESCHÄFTSSTELLE DES KERntechnischen AUSSCHUSSES (KTA)

beim BUNDESAMT FÜR STRAHLENSCHUTZ

Postfach 10 01 49

38201 Salzgitter

Telefon: 01888/333-1623

Telefax: 01888/333-1625

Email: mpradhan@bfs.de

KTA-Sachstandsbericht
zum
Regelvorhaben KTA 2105:
Schutz von KKW gegen anlageninterne Bruchstücke

Inhalt

	Seite
Vorbemerkung.....	5
Nachtrag	5
0 Einleitung	7
0.1 KTA-Auftrag zum Vorbericht	7
0.2 KTA-Auftrag zur Regelentwurfsvorlage.....	7
0.3 Beschluss der 43. Sitzung des KTA	7
0.4 Stellungnahmen des Fraktionsdurchgangs zur Regelentwurfsvorlage.....	7
0.5 Konzept zur Beherrschung der Bruchstücke.....	7
1 Anwendungsbereich.....	9
2 Begriffe.....	9
3 Allgemeine Grundlagen.....	9
4 Allgemeine Schutzmaßnahmen	13
5 Detaillierte Analyse	13
5.1 Allgemeines	13
5.2 Bruchstücke	15
5.3 Auslegung, Nachweis der Auswirkungen	20
6 Maßnahmen zur Beherrschung der Bruchstücke.....	22
ANHANG A Ermittlung der auf das Bruchstück wirkenden Kraft bei ballistischen Bruchstücken	23
ANHANG B Ermittlung der Maximalgeschwindigkeit des Bruchstücks bei raketenartigen Bruchstücken	25
ANHANG C Rissöffnungsverhalten für Rohrleitungen.....	26
ANHANG D Verfahren zur Berechnung von äußeren Kräften auf gebrochene Rohrleitungen	27
ANHANG E Berechnungsmethoden und Annahmen zur Ermittlung von Aufpralllasten aus schlagenden Rohrleitungen	29
ANHANG F Nachweis der lokalen Auswirkungen für den Hartkörperstoß bei Beton- und Stahlzielkörpern.....	32
ANHANG G Nachweis der Biege- und Durchstantragfähigkeit für Bauteile aus Stahlbeton	34
ANHANG H Literaturzusammenstellung.....	35
ANHANG I Bestimmungen, auf die in diesem Bericht verwiesen wird	36
ANHANG K Begründungen zu fachlichen Aussagen	37
Anlage 1	47
Anlage 2	48
Anlage 3	49
Anlage 4	50
Anlage 5	51
Anlage zum Sachstandsbericht KTA-GS-64 Zusammenstellung der im Fraktionsumlauf eingereichten Stellungnahmen zu KTA 2105 "Schutz von KKW gegen anlageninterne Bruchstücke (Fassung Juni 1988).....	52

Vorbemerkung

Im Auftrag des Kerntechnischen Ausschusses hat die Kraftwerk Union AG (KWU), federführend den Regelentwurfsvorschlag

KTA 2105 Schutz von Kernkraftwerken gegen anlageninterne Bruchstücke
(einschließlich schlagende Rohrleitungen und abstürzende Lasten)

durch ein Arbeitsgremium vorbereitet. Dieser wurde im Auftrag des UA-AB von einem Redaktionskreis überarbeitet (siehe KTA-Dok. 2105/88/1, Stand Juni 1988).

Im Laufe der Erarbeitung der Regelentwurfsvorlage stellte der KTA-Unterausschuss Programm und Grundsatzfragen (UA-PG) und der für dieses Regelvorhaben zuständige KTA-Unterausschuss Anlagen- und Bautechnik (UA-AB) fest, dass ein erheblicher Aufwand für die Fertigstellung dieses Vorhabens erforderlich wäre. Außerdem sei, aufgrund der getroffenen Vorsorgemaßnahmen in den hier behandelten Reaktortypen das Regelvorhaben nicht mehr erforderlich. Die oben genannten Unterausschüsse empfahlen deshalb das Regelvorhaben einzustellen. Der KTA beschloss auf seiner 43. Sitzung am 27. Juni 1989, dem Vorschlag der Behördenfraktion folgend, hierzu von der KTA-GS in einem Bericht ein Konzept für diese Regel ausarbeiten zu lassen.

Der nun vorliegende Bericht gibt den Sachstand der bisherigen Regelerarbeitung zu KTA 2105 wieder. Die im Fraktionsdurchgang eingereichten Stellungnahmen (Beratungsunterlage zu TOP 6 der 67. Sitzung des UA-AB) wurden teilweise berücksichtigt. Dieser Bericht kann die Grundlage für eventuelle weitere Schritte sein.

Die Auswertung des IAEA Safety Guide Nr. 50-SG-D4 „Protection Against Internally Generated Missiles and their Secondary Effects in Nuclear Power Plants“ ergibt für die Schutzmaßnahmen im wesentlichen keine neuen Anforderungen. Bei der Prüfung der Notwendigkeit von Schutzmaßnahmen geht der IAEA Guide jedoch sehr stark von probabilistischen Betrachtungen aus. Diese Vorgehensweise entspricht nicht der bisherigen Praxis im KTA-Regelwerk. Eine Angleichung wäre zwar prinzipiell auch im KTA-Regelwerk möglich, ist aber sehr aufwendig. Daher erfordert auch der vorliegende Bericht keine andere Bewertung dieses Regelvorhabens. Die Dokumentation der bisherigen Arbeiten ist damit abgeschlossen.

März 1994

Nachtrag

Der UA-PG behandelte am 21.04.1994 den Sachstandsbericht. Er stellte fest, dass mit diesem Bericht der Auftrag des KTA erfüllt ist. Aufgrund der Ausführungen in diesem Bericht und insbesondere der Tatsache, dass zur Fertigstellung der Regel KTA 2105 noch ein erheblicher Aufwand von Nöten wäre, ein dringender Bedarf hierfür in der Praxis aber nicht vorhanden ist, empfiehlt der UA-PG dem KTA von einer Fortführung der Bearbeitung des Regelvorhabens derzeit abzusehen. Er stellt dem KTA den Antrag, die Arbeiten hierzu einzustellen.

Der KTA hat in seiner 48. Sitzung am 14. 06.1994 dem Antrag des UA-PG zugestimmt.

Juni 1994

0 Einleitung

0.1 KTA-Auftrag zum Vorbericht

Der Kerntechnische Ausschuss (KTA) hat auf seiner 16. Sitzung am 18.10.1977 die Kraftwerk Union AG beauftragt, federführend einen Vorbericht zum Thema

KTA 2105 "Lastannahmen bei Bruchstücken infolge innerer Störfälle"

durch ein Arbeitsgremium zu erstellen. Der Unterausschuss Anlagen- und Bautechnik (UA-AB) wurde beauftragt, den Vorbericht in Abstimmung mit dem Unterausschuss Koordinierung von Störfallfragen zu prüfen und einen Beschlussvorschlag für den KTA zu erarbeiten.

Das von der KWU einberufene Arbeitsgremium zur Durchführung des KTA-Auftrags erarbeitete einen Vorbericht zum KTA 2105. Der UA-AB prüfte den Bericht und stellte fest, dass er für die weitere Erarbeitung des Regelvorhabens geeignet ist.

Der Vorbericht enthält unter anderen die Bestandsaufnahme und die Bewertungen der zu diesem Thema bekannten Vorschriften, Richtlinien und Normen aus In- und Ausland sowie die aus den Versuchen und Forschungsarbeiten bekannten umfangreichen Literaturen. Die Vorschriften aus der USA (USNRC, ANS) und von IAEA (Safety Guide Nr. 50-SG-D4) sind im Detail diskutiert. Es werden weiterhin Aussagen zur Regel KTA 2105 gemacht und Empfehlungen zur Regelerarbeitung vorgeschlagen.

Der Vorbericht (KTA-Dok.-Nr. 2105/80/2, Stand April 1980) wurde vom KTA auf seiner 24. Sitzung am 10. Juni 1981 als geeignet für die Vorbereitung eines Regelentwurfs befunden.

0.2 KTA-Auftrag zur Regelentwurfsvorlage

Die KWU wurde vom KTA beauftragt, federführend eine Regelentwurfsvorlage zu KTA 2105 durch ein Arbeitsgremium zu erarbeiten. Der UA-AB wurde beauftragt, die Vorlage zu prüfen und einen Beschlussvorschlag für den KTA zu erarbeiten.

Schon im Jahr 1985 wurde im UA-AB und im Unterausschuss Programm (UA-PG) darüber diskutiert, ob infolge der technisch-wissenschaftlichen Entwicklung ein Bedarf an der Regel KTA 2105 noch bestehe. Seinerzeit wurde im UA-PG entschieden, dass die Arbeiten zur Erstellung des Regeltextes weitergeführt werden.

Der UA-AB beschließt daraufhin, den vom Arbeitsgremium erarbeiteten Regelentwurfsvorschlag durch einen Redaktionskreis überarbeiten zu lassen. Die überarbeitete Fassung sollte auch die Ergänzungen berücksichtigen, die verdeutlichen sollen, dass bei Vorhandensein von bestimmten Voraussetzungen (z. B. Vorsorgemaßnahmen, Einhaltung von Planungsgrundsätzen) auf eine umfangreiche Nachweisführung verzichtet werden kann.

0.3 Beschluss der 43. Sitzung des KTA

Zuletzt befasste sich der UA-AB am 20. Januar 1989 mit der Regelentwurfsvorlage KTA-Dok.-Nr. 2105/88/1 (Stand Juni 1988) - und den hierzu eingegangenen Stellungnahmen des Fraktionsdurchgangs. Er stellt fest, dass hier erheblicher Aufwand für die weitere Regelerstellung von Nöten wäre und schlägt deshalb vor, das Regelvorhaben einzustellen. Der UA-PG stimmte dieser Empfehlung zu, auch im Hinblick darauf, dass sich der Anwendungsbereich generell auf alle Kernkraftwerke erstrecken sollte. In der vorgelegten Regelentwurfsvorlage wurden dieser aber viel mehr auf die DWR neuerer Typen beschränkt, in denen die Gefahrenvorsorge durch andere Maßnahmen als die in dem Regelvorhaben behandelten Maßnahmen getroffen worden sind und deshalb in der Praxis kein Bedarf mehr besteht. Auf Antrag der Behördenfraktion beschließt der KTA in seiner 43. Sitzung am 23.06.1989 folgendes (Beschluss-Nr. 43/4.5/1).

Die Geschäftsstelle wird beauftragt, in einem Bericht ein Konzept für eine Regel "Schutz von Kernkraftwerken gegen Bruchstücke infolge innerer Störfälle" zu erarbeiten. Dabei sind der bei KTA 2105 erreichte Sachstand und der entsprechende IAEA-Safety Guide (50-SG-D4) zu berücksichtigen. Der Bericht ist innerhalb von zwei Jahren vorzulegen.

0.4 Stellungnahmen des Fraktionsdurchgangs zur Regelentwurfsvorlage

Im Rahmen des Fraktionsdurchgangs wurden von Siemens AG-KWU, Interatom GmbH, VdTÜV VGB und RSK Stellungnahmen zu der Regelentwurfsvorlage KTA 2105, Stand Juni 1988, eingereicht (siehe Anlage 1), die teilweise in diesem Bericht eingearbeitet wurden.

0.5 Konzept zur Beherrschung der Bruchstücke

Der vorliegende Bericht dokumentiert den erreichten Sachstand des Regelvorhabens.

Das Konzept zur Beherrschung der Bruchstückeeinwirkungen besteht darin, das Auftreten von anlageninternen Bruchstücken (einschließlich schlagende Rohrleitungen und abstürzende Lasten) vorbeugend durch Maßnahmen der Qualitätssicherung zu verhindern. Ist dies nicht oder nicht im vollen Umfang erreichbar, so werden als Schutzmaßnahmen vorrangig die räumliche Trennung von Redundanten und die Abtrennung von Redundanten durch ausreichende Schutzwände herangezogen. Darüber hinaus finden allgemeine Ausschlusskriterien für die Bruchstücksentstehung und Bruchstücksbeherrschung, basierend auf den Ergebnissen der Planungs- und Auslegungsgrundsätze bei Referenzanlagen, Anwendung. Das Vorgehenskonzept ist im Abschnitt 4 beschrieben. Sollten diese Maßnahmen nicht ausreichend sein, so sind hierzu detail-

lierte Analysen entsprechend dem Abschnitt 5 durchzuführen. Das Konzept zur Beherrschung der Bruchstückseinwirkungen ist in den Bildern 1.1 bis 1.3 dargestellt.

Für die getroffenen Aussagen bzw. Festlegungen wurden unter anderen folgenden Vorschriften bzw. Betrachtungen herangezogen:

- die Regulatory Guides von USNRC, ANS und IAEA-Safety Guide Nr. 50-SG-D4,
- die Druckwasser-Leitlinien und die Rahmenspezifikation Basissicherheit,
- die Erfahrungswerte bei konventionellen Anlagen,
- die Wahrscheinlichkeitsbetrachtungen des Versagens einer Komponente, Treffen des Schutzobjektes und eventueller Beschädigung des Schutzobjektes sowie
- die Ergebnisse der zahlreiche Versuche und Forschungsarbeiten.

Die noch offenen Punkte sind aufgelistet. Zur Klärung der offenen Punkte sowie der hier getroffenen Annahmen bedarf es noch Beratungen in Fachkreisen. Hierzu gehören insbesondere

- die Bruchausschlussannahmen, die zum Teil von der Rahmenspezifikation Basissicherheit abweichen und
- die Anwendung der Bruchausschlusskriterien gemäß der Rahmenspezifikation Basissicherheit auch an solchen Komponenten, die nicht gemäß der Rahmenspezifikation Basissicherheit ausgeführt sind:

Außerdem sind die Angaben über die folgenden Themen noch zu berücksichtigen:

- SWR-spezifische Angaben
- Versagen von gas führenden Rohrleitungen und
- Versagen von Druckgasbehältern bzw. Druckbehältern mit Gaspolster

1 Anwendungsbereich

Diese Bericht ist auf Kernkraftwerke mit Leichtwasserreaktoren anzuwenden: Sie trifft Festlegungen zum Schutz von sicherheitstechnisch wichtigen Anlagenteilen gegen anlageninterne Bruchstücke (einschließlich schlagende Rohrleitungen und abstürzende Lasten), wie sie als Folge von äußeren Einwirkungen und anlageninternen Störfällen innerhalb der die Anlagenteile umschließenden Bauwerke und Bauteile auftreten können. Brand als Folgewirkung der anlageninternen Bruchstücke wird hier nicht geregelt.

2 Begriffe

(1) Abplatzschurzdicke (Scabbingdicke)

Die Abplatzschurzdicke ist die Grenzwanddicke von Anlagenteilen aus Stahlbeton, bei der ein auftreffendes Bruchstück einer bestimmten Auftreffgeschwindigkeit gerade noch kein Abplatzen von Material auf der Rückseite des getroffenen Anlagenteils verursachen kann.

(2) Auslegungsbruchstück

Ein Auslegungsbruchstück ist das Bruchstück, gegen das das Schutzobjekt (Target, Ziel) ausgelegt werden muss und das ggf. auch ein Spektrum von Bruchstücken mit abdeckt.

(3) Basissicherheit

Unter Basissicherheit wird die Einhaltung der Anforderungen an Konstruktion, Auslegung, Werkstoffe, Herstellung und Prüfbarkeit von Anlagenteilen gemäß der Rahmenspezifikation Basissicherheit vom 25. April 1979 (Anhang 2 zu Kapitel 4.2 der RSK-Leitlinien für Druckwasserreaktoren) verstanden.

Hinweis:

Zusätzlich zur Rahmenspezifikation Basissicherheit gilt KTA 3211 1 bis KTA 3211 4.

(4) Bruchstück (Projektil, Missile)

Ein Bruchstück ist eine Masse mit kinetische Energie, die aufgrund eines anzunehmenden Ereignisses nicht an ihrem bestimmungsgemäßen Ort zurückgehalten wurde.

Hinweis:

Abstürzende Lasten und schlagende Rohrleitungen werden hier ebenfalls als Bruchstücke bezeichnet. Puffer- und Pendellasten werden nicht als Bruchstücke bezeichnet.

(5) Durchdringungsschutzdicke (Perforationsschutzdicke)

Die Durchdringungsschutzdicke ist die Grenzwanddicke eines Anlagenteils aus Stahlbeton, bei der ein Bruchstück einer bestimmten Auftreffgeschwindigkeit das getroffene Anlagenteil gerade noch nicht durchdringt.

(6) Eigenversagen (Primärversagen)

Das Eigenversagen ist ein postuliertes Versagen einer Komponente oder eines Bauteils.

(7) Eindringtiefe (Penetrationstiefe)

Die Eindringtiefe ist die Tiefe des Kraters, den ein Bruchstück bei Eindringen in ein Anlagenteil (Zielkörper, Target) auf dessen Vorderseite bildet.

Hinweis:

Für die Berechnung der Eindringtiefe in Stahlbeton muss das Ziel eine ausreichende Wanddicke haben, so dass beim Aufprall kein Material auf der Rückseite abplatzen kann.

(8) Folgeversagen (Sekundärversagen)

Ein Folgeversagen ist ein Versagen durch Fremdeinwirkungen.

(9) Fremdeinwirkung

Eine Fremdeinwirkung ist eine aus inneren Störfällen oder Einwirkungen von außen herrührende Belastung.

(10) Grenzplattenstärke von Stahl

Die Grenzplattenstärke von Stahl ist als die Targetdicke definiert, bei der ein Projektil einer bestimmten Auftreffgeschwindigkeit weder Projektil- noch Targetmaterial auf der Plattenrückseite austreten lässt. Sie entspricht der in den USA gebräuchlichen "Army limit" für Panzerungen.

(11) Qualitätssicherung

Qualitätssicherung ist die Gesamtheit aller organisatorischen und technischen Maßnahmen zur Sicherung der Qualität.

Hinweis:

Qualitätssicherung (gemäß KTA 1401) umfasst somit Qualitätsplanung, Qualitätsprüfung, die Sicherstellung der Erfüllung der Qualitätsforderung und die Dokumentation sowie den Erfahrungsrückfluss während der einzelnen Bearbeitungsphasen.

Bearbeitungsphasen sind z. B. sicherheitstechnische Konzeptbearbeitung, Planung und Auslegung, Beschaffung, Fertigung und Montage von Erzeugnisformen, Bauteilen, Komponenten und Systemen, Errichtung baulicher Anlagen, Inbetriebsetzung und bestimmungsgemäßer Betrieb mit den dazugehörigen Prüfungen.

3 Allgemeine Grundlagen

(1) Gemäß dem BMI-Kriterium 1.1 "Grundsätze der Sicherheitsvorsorge" der "Sicherheitskriterien für Kernkraftwerke", Stand Oktober 1977, sind die Kernkraftwerke gegen Störfällen so zu schützen dass die nachfolgenden Schutzziele sichergestellt werden:

- a) den Reaktor sicher abzuschalten und im abgeschalteten Zustand zu halten;
- b) die Nachwärme abzuführen;
- c) eine unzulässige Freisetzung radioaktiver Stoffe zu verhindern.

Der vorliegende Bericht hat das Ziel, die durch postulierte anlageninterne Bruchstücke, schlagende Rohrleitungen und abstürzende Lasten möglicherweise auftretenden Beschädigungen der baulichen Anlagen und der maschinen- und elektrotechnischen Anlagen zu verhindern oder so zu begrenzen, dass das Sicherheitskriterium 1.1 erfüllt wird.

(2) Alle Anlagenteile, die zur Erreichung der Schutzziele a) und b) notwendig sind, einschließlich der zugehörigen Hilfs- und Versorgungssysteme, sowie deren elektrotechnische und leittechnische Einrichtungen sind gegen anlageninterne Bruchstücke, einschließlich schlagende Rohrleitungen und abstürzende Lasten so zu schützen, dass die jeweils erforderlichen sicherheitstechnischen Aufgabenstellungen der Anlagenteile erfüllt werden. Diese Anlagenteile werden nachfolgend als Schutzobjekte bezeichnet.

Sicherheitstechnische Aufgabenstellungen der Anlagenteile, wie folgt, sind in KTA 2201.4 Abschnitt 3 aufgeführt:

- a) Standsicherheit,
- b) Integrität,
- c) Funktionsfähigkeit.

Anlagenteile, durch deren Beschädigung oder Versagen die vorgenannten Anlagenteile in ihrer sicherheitstechnischen Aufgabenstellung beeinträchtigt werden können, sind in das Schutzkonzept einzubeziehen.

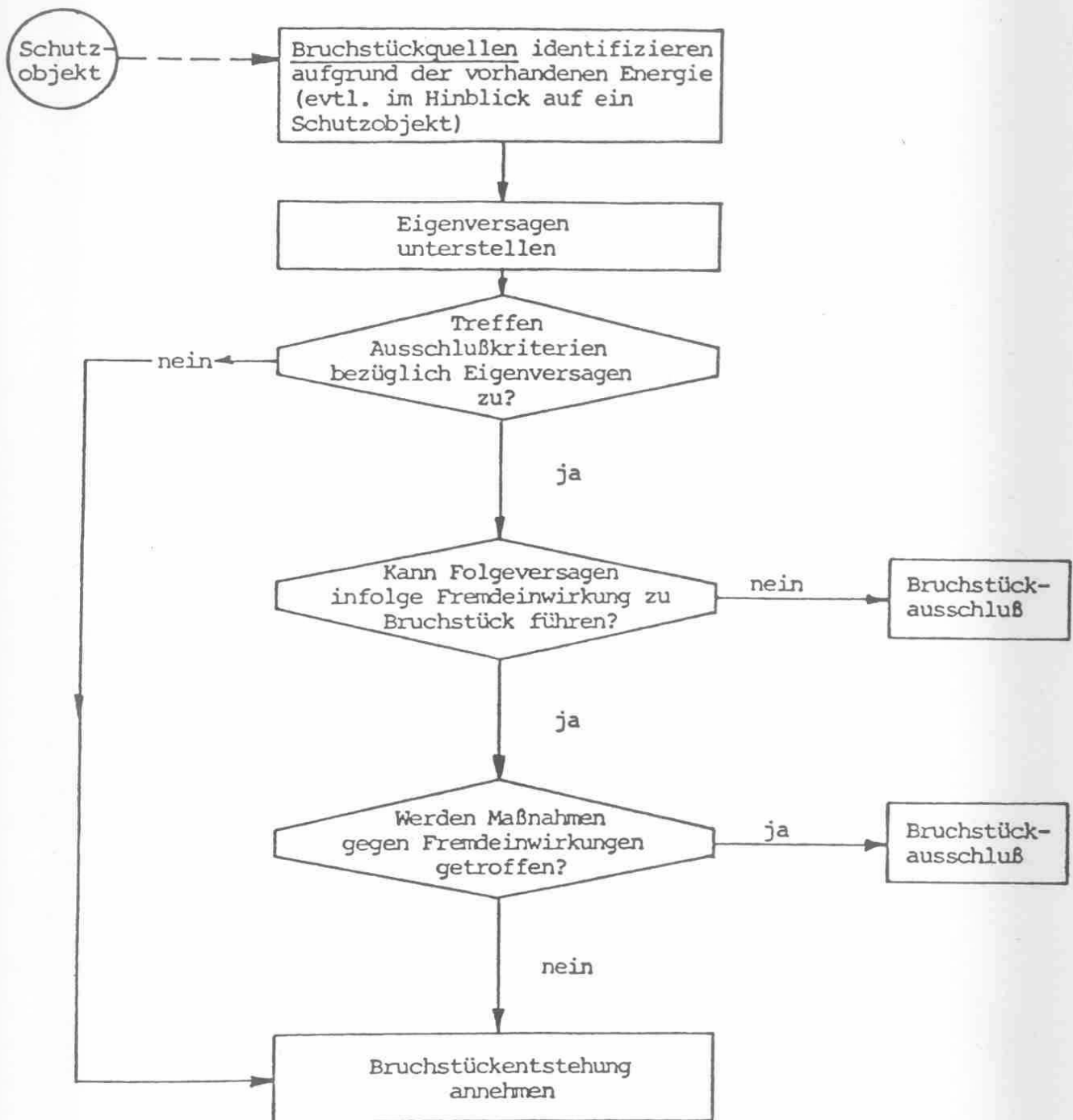


Bild 1-1: Schema für die Untersuchung zur Bruchstückerkennung

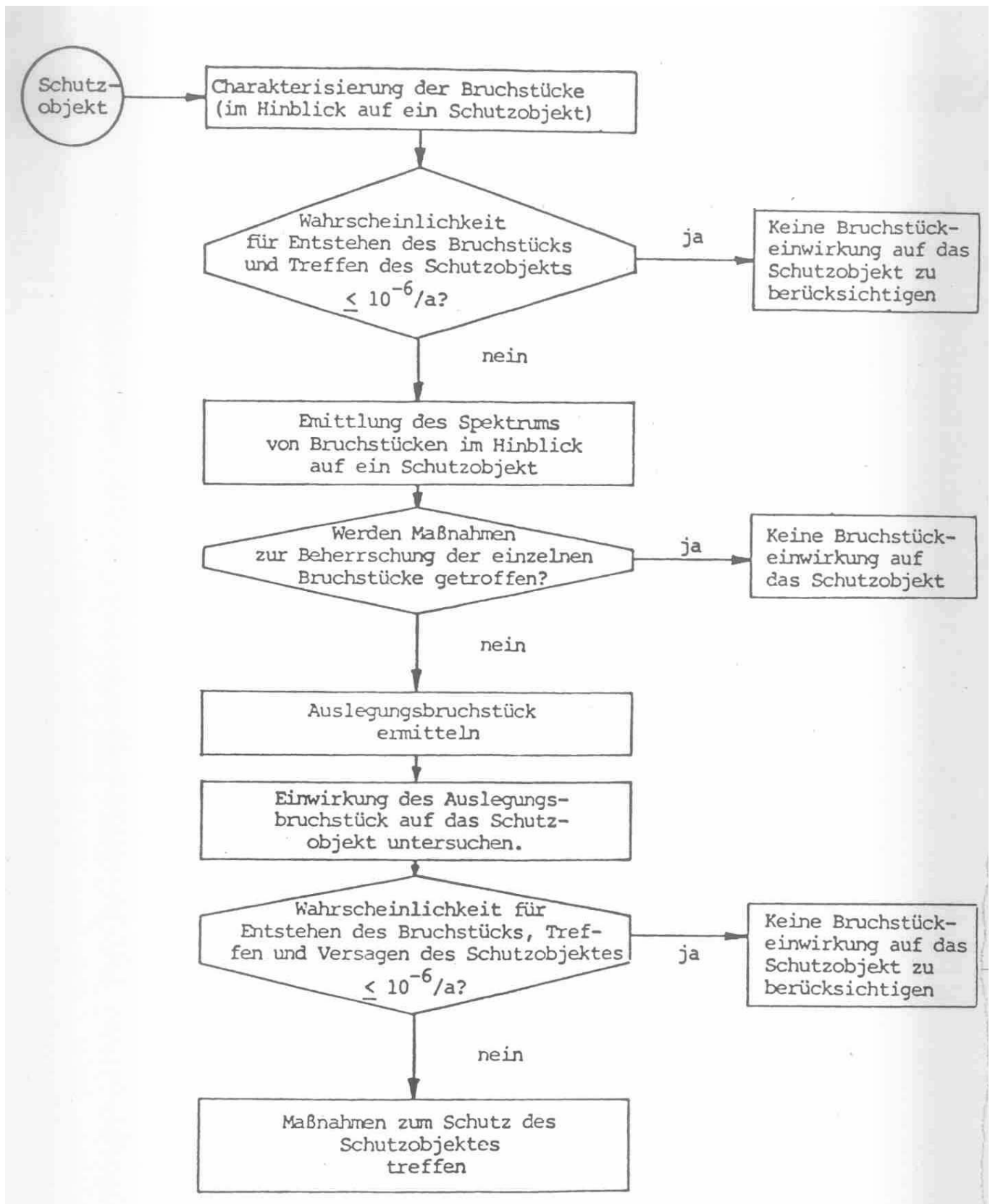


Bild 1-2: Schema für die Untersuchung zur Bruchstückbeherrschung

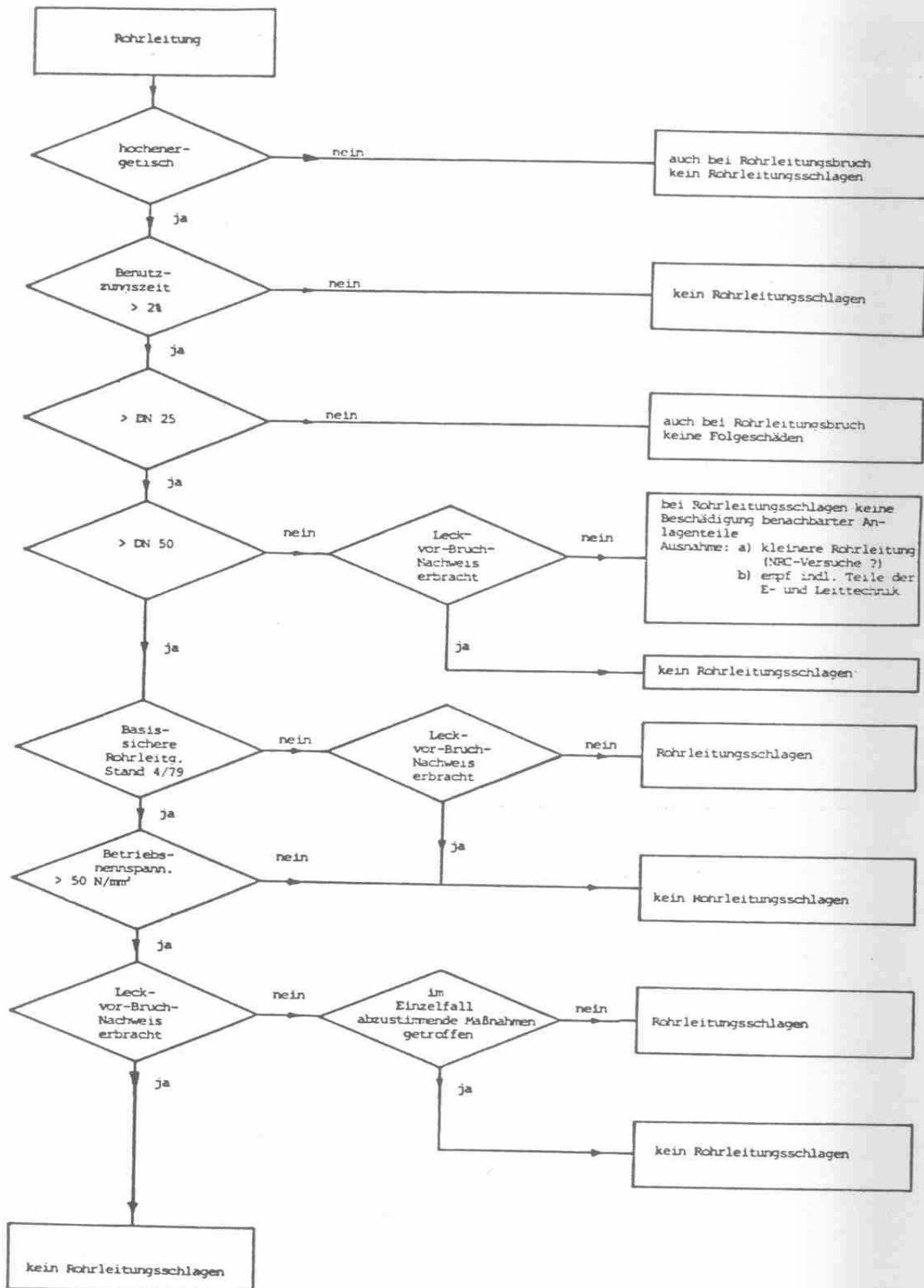


Bild 1-3: Versagenspostulate für Rohrleitungen

(3) Die zur Erreichung des Schutzzieles c) in Absatz 1 gültigen Randbedingungen und zutreffende Vorsorgemaßnahmen sind nicht Gegenstand dieses Berichts. Für DWR-Anlagen sind sie den Leitlinien zur Beurteilung der Auslegung von Kernkraftwerken gegen Störfälle im Sinne des § 28 Abs 3 StrlSch V zu entnehmen. Entsprechende Leitlinien des RSK für Siedewasserreaktoren sind in Vorbereitung, liegen aber als Entwurf mit Stand September 1980 vor.

(4) Der Schutz von Kernkraftwerken gegen anlageninterne Bruchstücke, schlagende Rohrleitungen und abstürzende Lasten ist vorzugsweise durch Anwendung der in Abschnitt 4 aufgeführten allgemeinen Schutzmaßnahmen sicherzustellen.

(5) Sind Anlagenteile vorhanden, für die die Kriterien in Abschnitt 4 nicht zutreffen oder ergibt sich die Notwendigkeit, von den Festlegungen in Abschnitt 4 abzuweichen (z. B. bei den Ausschlusskriterien andere Versagens- und Bruchannahmen zugrunde zu legen), so sind für diese Ausnahmefälle die Maßnahmen zum Bruchstückausschluss oder zur Bruchstückbeherrschung nach dem Konzept der detaillierten Analyse in Abschnitt 5 dieses Berichts im Einzelfall festzulegen und durchzuführen.

4 Allgemeine Schutzmaßnahmen

(1) Für sicherheitstechnisch wichtige Anlagenteile wird eine Qualitätssicherung gemäß KTA 1401 durchgeführt. In Verbindung mit den nachfolgend genannten Maßnahmen kann eine Bruchstückentstehung infolge Eigenversagen ausgeschlossen werden.

(2) Für den Primärkreis und die Äußeren Systeme sind spezielle Qualitätssicherungsmaßnahmen, die in den RSK-Leitlinien für Druckwasserreaktoren Abschnitte 4.1 und 4.2 sowie in KTA 3201.1 bis KTA 3201.4 und KTA 3211.1 bis KTA 3211.4 festgelegt sind, durchzuführen.

(3) Das Schwungrad der Hauptkühlmittelpumpe braucht als Bruchstückquelle nicht betrachtet zu werden. Dazu ist nachzuweisen, dass bei einem Leck der Hauptkühlmittelleitung der DWR-Anlage von 0,1 mal Querschnitt F (0,1 F-Bruch) die maximale Drehzahl des Schwungrades der Hauptkühlmittelpumpe kleiner ist als die durch 1,2 dividierte theoretische Berstdrehzahl, oder es ist eine Überdrehzahl-schutzeinrichtung vorzusehen, die die Drehzahl des Schwungrades auf den obengenannten Wert begrenzt.

(4) Wenn die Auslegung der Hebezeuge nach KTA 3902, der Lastanschlagpunkte nach KTA 3905 und der Abstützkonstruktionen nach KTA 3205.1 bis KTA 3205.3 erfolgt, sowie die Anforderungen an die Wiederholungsprüfung nach KTA 3903 eingehalten werden, braucht das Auftreten von Bruchstücken aus Lageenergie nicht unterstellt zu werden.

(5) Als Maßnahme zur Begrenzung der Bruchstückauswirkungen von nicht sicherheitstechnisch wichtigen Anlagenteilen auf sicherheitstechnisch wichtige Systeme ist die Aufteilung der sicherheitstechnisch wichtigen Systeme in zueinander redundante Stränge vorzunehmen. Die einzelnen Redundanten sind entweder räumlich voneinander zu trennen (Anordnung in getrennten Bereichen der Anlage so, dass die Zerstörung mehr als eines Systems aus der gleichen Ursache ausgeschlossen werden kann) oder durch Schutzeinrichtungen (z. B. Trennwände) zu sichern.

(6) Bei Trennwänden aus Beton brauchen redundanzübergreifende Wirkungen oder Sekundäreffekte nicht berücksichtigt zu werden, wenn diese Trennwände mindestens in Abplatzschuttdicke ausgeführt sind. Abplatzschuttdicken und Eindringtiefen für Betontrennwände dürfen nach /26/, die die Bewehrung der Baustuktur berücksichtigt, ermittelt werden. Bei vergleichbaren Bruchstücken dürfen die Abschätzungen auch nach Bild 4-1 durchgeführt werden.

Hinweis:

Das Bild 4-1 enthält Abplatzschuttdicken und Eindringtiefen für die Bruchstücke der DWR und SWR aufgrund des maximalen Temperatur- und Druckniveaus der Bruchstückquelle. Die in Bild 4-1 angelegten Bereiche decken die ungünstigsten Bruchstücke für DWR und SWR ab. Sie wurden ermittelt unter Verwendung der in Anhang F angegebenen Gleichungen. Folgende Randbedingungen werden abgedeckt:

- | | | |
|---------------|---|----------------------|
| a) Formfaktor | ≤ | 0.84 |
| b) β_R | ≤ | 25 MN/m ² |
| c) v | ≤ | 65 m/sec |
| d) Druck | ≤ | 160 bar |
| e) Temperatur | ≤ | 300 °C |

(7) Die Turbine sollte so aufgestellt werden, dass die zu schützenden Gebäude und Anlagenteile nicht innerhalb eines Streuwinkels von $\pm 20^\circ$ zur Rotationsebene angeordnet sind. Die Anordnung räumlich getrennter Gebäude und Anlagenteile in diesem Streubereich ist zulässig.

5 Detaillierte Analyse

5.1 Allgemeines

5.1.1 Grundsätze

(1) Zulässige Beschädigungen in der Anlage ergeben sich aus dem Sicherheitskonzept der Gesamtanlage. Hierbei ist das versagensauslösende Ereignis und die dabei aus sicherheitstechnischen Gründen noch notwendige Funktion zu ermitteln und daraus die zulässige Beschädigung abzuleiten, gegebenenfalls unter Berücksichtigung deterministischer Kriterien. (s. a. Bilder 1.1 bis 1.3).

(2) Zusätzlich zum auslösenden Ereignis sind im Rahmen des Einzelfehlerkonzeptes Bruchstücke nicht als Einzelfehler oder als Folge eines Einzelfehlers anzunehmen.

(3) Bei der Ermittlung des Auslegungsbruchstückes sind gegebenenfalls Bruchstücke als Folge von Bruchstücken zu betrachten.

5.1.2 Vorgehensweise

(1) Bei Vorliegen ausreichend detaillierter Planungskennnisse (z. B. aus Referenzanlagen) ist es unter Verwendung von Plausibilitätsnachweisen zulässig, das für die Auslegung maßgebende Bruchstück zu übernehmen oder aus einer Abschätzung zu ermitteln, und mittels einer einhüllenden Betrachtung zu zeigen, dass die in Abschnitt 3 (1), unter a) und b), genannten Schutzziele erreicht werden.

(2) Eine Betrachtung der möglichen Beschädigungen innerhalb einer Redundanz ist nicht erforderlich, wenn redundanzübergreifende Auswirkungen verhindert werden und mit den verbleibenden Redundanzen die in Abschnitt 3 (1) genannten Schutzziele eingehalten werden können.

Redundanzübergreifende Auswirkungen von Bruchstücken sind dabei durch eine in diesem Bericht entsprechende Auslegung der Redundanzabtrennung zu verhindern.

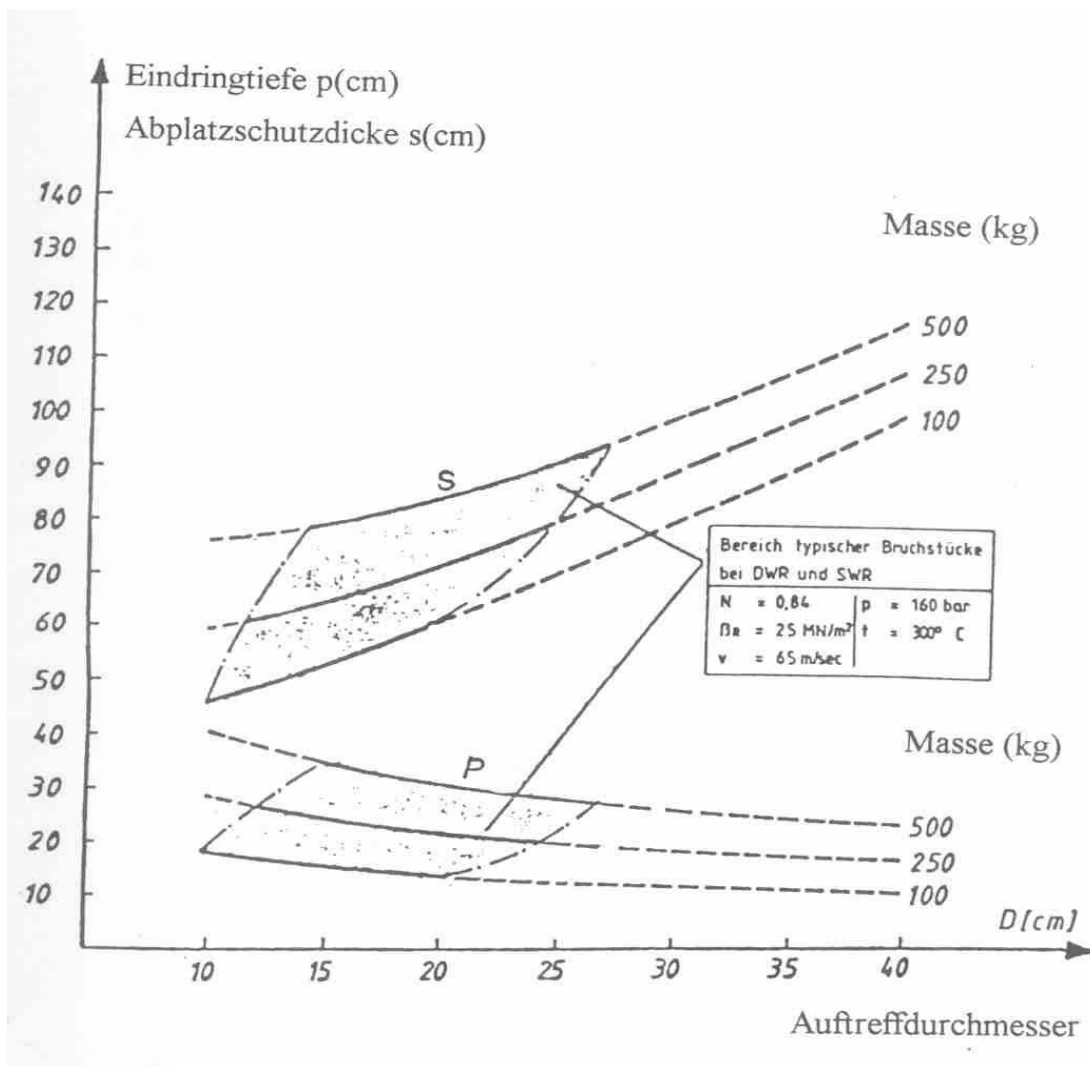


Bild 4-1: Eindringtiefe und Abplatzschutzdicke für DWR- und SWR-typische Bruchstücke

(3) Falls keines der vorgenannten Ausschlusskriterien zutrifft, ist zu untersuchen, welche Komponenten und Bauteile Bruchstücke erzeugen können und es sind Maßnahmen zum Bruchstückausschluss oder zur Bruchstückbeherrschung gemäß der nachfolgenden Abschnitte zu treffen.

(4) Die Einsortierung in die einzelnen nachfolgenden Kapitel der Bruchstückarten erfolgt unter Berücksichtigung der Energieart der Bruchstückquelle.

5.1.3 Beanspruchungsgrenzen

Bei der Auslegung der Schutzobjekte gegen Bruchstücke dürfen folgende Beanspruchungsgrenzen ausgenutzt werden;

- a) Maschinenbauteile: Beanspruchungsstufe D (KTA 3201.2, KTA 3204)
- b) Stahlbetonbauteile: Anforderungskategorie A (UN 25449)
- c) Stahlbauteile: Bemessungsklasse HS (KTA 3205.1)

5.1.4 Wahrscheinlichkeitsbetrachtungen

(1) Bei der Ermittlung des erforderlichen Schutzes gegen anlageninterne Bruchstücke dürfen unter Beachtung der unter Abschnitt 5.1.1 genannten Grundsätze auch Wahrscheinlichkeitsbetrachtungen angestellt werden.

(2) Zeigen für den Einzelfall geeignete Wahrscheinlichkeitsbetrachtungen der gesamten Ereigniskette (Bruchstückentstehung, Treffen von sicherheitstechnisch wichtigen Anlagenteilen und Versagen dieser Teile) für die Eintrittshäufigkeit Werte auf, die jenseits der Grenze kerntechnischer Auslegungspraxis liegen (Richtwert: ca. $10^{-6}/a$), so kann auf die weitere Berücksichtigung dieser Ereigniskette verzichtet werden.

(3) Gleiches gilt auch für die Kombination von kausal mit den anlageninternen Bruchstücken verbundenen Belastungen bei entsprechender Anordnung oder Auslegung der Anlagen.

(4) Für das Eigenversagen darf dabei von folgenden Eintrittshäufigkeiten ausgegangen werden:

Hinweis:

Die angeführten Werte sind Erfahrungswerte aus dem konventionellen Bereich und berücksichtigen nicht den höheren Qualitätsstandard von Komponenten in Kernkraftwerken. Beim Vorliegen gesonderte Nachweise können auch kleinere Werte angenommen werden. Werte für Rohrleitungen und Einwirkungen von außen können der Literatur, z. B. der deutschen Risikostudie, entnommen werden.

Druckbehälter (nicht Druckgasbehälter)	10^{-5} /Jahr
Hebezeuge	10^{-4} /Jahr
Dampfturbinen	10^{-5} /Jahr

5.1.5 Lastkombinationen

(1) Kausal mit dem auslösenden Ereignis verbundene dynamische Folgelasten dürfen mit der Quadratwurzel der Summe der Quadrate der Einzellasten überlagert werden, sofern die Erregungen stochastisch und unabhängig sind.

(2) Das gleichzeitige Eintreten von Belastungen aus anlageninternen Bruchstücken und aus sonstigen unabhängigen Störfällen oder Einwirkungen von außen ist nicht zu unterstellen. Mehrere Bruchstücke ohne Kausalzusammenhang sind nicht anzunehmen.

(3) Die Lasten infolge anlageninterner Bruchstücke sind mit den Betriebslasten (100% stationärer Lastpunkt) zu kombinieren. Nicht ständige Lasten dürfen dabei vernachlässigt werden, wenn die durch sie verursachte Belastung kleiner oder gleich 2% eines Jahres wirkt.

(4) Sind Einwirkungen von außen als das auslösende Ereignis anzunehmen, so ist lediglich für den Lastfall Bemessungserdbeben eine Überlagerung gemäß Absatz 1 durchzuführen.

Hinweis:

Aufgrund der kurzen Lasteinwirkungsdauer bei Flugzeugabsturz und äußerer Explosion ist keine Überlagerung mit eventuell damit verbundenen Lasten aus Folgeversagen vorzunehmen.

Externe Brände und Hochwasser sind in diesem Zusammenhang keine relevanten Einwirkungen von außen.

5.1.6 Sicherheitszuschläge

Sicherheitszuschläge auf die Lastseite sind nicht erforderlich, wenn die Randbedingungen und Vorgehensweise entsprechend den nachfolgenden Abschnitten gewählt werden.

5.1.7 Einwirkungen auf das Schutzobjekt

(1) Alle in dem Abschnitt 5.2 genannten Bruchstückquellen, für die nicht die dort und in Abschnitt 5.1.4 genannten Ausschlusskriterien zutreffen, sind auf mögliche Bruchstücke infolge Eigen- oder Fremdversagen zu untersuchen.

(2) Wirkungen von Bruchstücken auf sicherheitstechnisch wichtige Systeme und Anlagenteile, deren einzelne Redundanten durch bauliche Schutzmaßnahmen getrennt sind, sind dann nicht mehr weiter zu verfolgen, wenn gezeigt werden kann, dass die übertragene Energie, unter Berücksichtigung sowohl des Impuls als auch der kinetischen Energie und die Verformbarkeit des Bruchstücks beim Aufprall und die Auftrefffläche, geringere Werte ergeben, als sie der Auslegung dieser baulichen Schutzmaßnahmen (herrührend aus anderen Ereignissen) bereits zugrunde gelegt wurden.

(3) Effekte von Bruchstücken, die von außerhalb auf sicherheitstechnisch wichtige Bauwerke wirken, müssen dann nicht weiter betrachtet werden, wenn die übertragene Energie (siehe Absatz 2) kleinere Werte ergibt, als sie der Auslegung dieser Bauwerke zugrunde gelegt wurde.

(4) Es darf davon ausgegangen werden, dass sich Effekte aus mehreren Bruchstücken aus einer Bruchstückquelle weder zeit- noch ortsgleich überlagern.

5.2 Bruchstücke

5.2.1 Bruchstücke aus drucktragenden Teilen

5.2.1.1 Bruchstückquellen

(1) Als Bruchstückquellen sind druckführende Komponenten und Bauteile zu behandeln, deren Fluidkräfte bei einem angenommenen Versagen der drucktragenden Wand Bruchstücke beschleunigen können.

(2) Druckführende Komponenten und Bauteile, in denen der Druck nur durch Flüssigkeiten, deren Temperatur die Siede-Temperatur bei Atmosphärendruck nicht überschreitet, ausgeübt wird, brauchen nicht als Bruchstückquelle betrachtet zu werden.

5.2.1.2 Bruchstückentstehung und Ausschlusskriterien

5.2.1.2.1 Eigenversagen (Primärversagen)

(1) Bei Vorliegen eines der folgenden Kriterien braucht eine Bruchstückentstehung infolge Eigenversagens nicht angenommen zu werden:

- Rohrleitungen Bei Rohrleitungsbrüchen (Längs- und Rundriss) sind keine Teilbruchstücke zu unterstellen. Die Auswirkungen werden nur als schlagende Rohrleitung gemäß Abschnitt 5.2.6 betrachtet.
- Druckführende Umschließung des Reaktorkühlmittels gemäß KTA 3201.1 bis KTA 3201.4.

Hinweis:

Der Bruch eines Steuerelementgehäuserohres oder Steuerelementantriebs, wie er in den RSK-LL-DWR 3.1.2 (11) aus Gründen der Sicherheit gegen unzulässige Reaktivitätsänderungen gefordert wird, wird hier nicht unterstellt.

- Druckführende Umschließungen aus Stahlbeton oder Spannbeton, die die Anforderungen nach DIN E 25 459 erfüllen oder vergleichbar ausgelegt sind.
- Komponenten, die gemäß den Anforderungen der Rahmenspezifikation Basissicherheit oder gemäß vergleichbaren Anforderungen ausgelegt sind.
- Armaturen und Flansche kleiner gleich DN 50.
- Gehäuse von Pumpen, Verdichtern und Turbinen.
- Druckgasflaschen, die den Bestimmungen der deutschen Druckbehälterverordnung und der IRG genügen.
- Komponenten, deren Betriebsdruck kleiner 20 bar und bei denen die Betriebstemperatur der flüssigen Medien kleiner der Verdampfungstemperatur bei Umgebungsdruck ist.
- Komponenten, deren Benutzungszeit kleiner gleich 2 % der Lebensdauer der Gesamtanlage (z.B. 40 Jahre) bei Überschreiten der Betriebszustände in Absatz h) ist.
- Komponenten, deren Betriebsnennspannungen kleiner gleich 50 N/mm^2 sind.
- Komponenten, für die ein Leck- vor Bruch-Nachweis mit Lecküberwachung erbracht wird.

(2) Druckführende Komponenten und Bauteile, die im Abschnitt 5.2.1.2 nicht aufgeführt sind und die dort aufge-

fürten Anforderungen nicht entsprechen, sind auf mögliche Bruchstückentstehung infolge Eigenversagens zu untersuchen. Es ist dabei das Eigenversagen an einer der druckführenden Wand oder einer lösbaren Verbindung zu unterstellen.

5.2.1.2.2 Folgeversagen (Sekundärversagen)

(1) Folgende Möglichkeiten der Fremdeinwirkung sind in Betracht zu ziehen:

- a) Innere Störfälle (z. B. Druckwellen, Differenzdrücke, Bruchstücke, Strahlkräfte, Reaktionskräfte),
- b) Einwirkungen von außen (z. B. Erdbeben).

(2) Soll ein Folgeversagen von druckführenden Komponenten mit Bruchstückentstehung in folge der in Absatz 1 genannten Fremdeinwirkungen ausgeschlossen werden, so sind geeignete Maßnahmen (Schutz oder Auslegung) zu treffen.

(3) Folgebruchstücke aus Komponenten, deren Betriebsdruck kleiner 20 bar und bei denen die Betriebstemperatur der flüssigen Medien kleiner der Verdampfungstemperatur bei Umgebungsdruck ist, sowie aus Komponenten, deren Benutzungszeit kleiner gleich 2 % der Lebensdauer der Gesamtanlage (z. B. 40 Jahre) bei überschreiten der vorgeannten Betriebszustände ist, sind nicht zu betrachten.

(4) Alle druckführenden Komponenten, die die in Absatz 3 angeführten Bedingungen nicht erfüllen und deren Versagen nicht durch andere Ereignisse schon abgedeckt ist, müssen als Bruchstückquellen durch Folgeversagen untersucht werden.

(5) Aus einem Umstürzen von Druckgasflaschen sind lediglich Auswirkungen aus dem Abschlagen des Ventils DN 4 zu analysieren, wenn diese der deutschen Druckbehälterverordnung und der TRG genügen.

5.2.1.3 Charakterisierung der Bruchstücke

5.2.1.3.1 Ausgangszustände

(1) Als thermodynamischer Ausgangszustand (z. B. Druck, Temperatur) darf der 100 stationäre Lastpunkt der Anlage den Analysen zugrunde gelegt werden.

(2) Für Bereitschaftssysteme, deren Benutzungszeit größer als 2 % der Lebensdauer der Gesamtanlage (z. B. 40 Jahre) ist, muss der 100 % stationäre Lastpunkt des jeweiligen Systems zugrunde gelegt werden.

(3) Der oben genannte Ausgangszustand ist so wohl hinsichtlich Eigenversagen als auch hinsichtlich Folgeversagen zugrunde zu legen.

5.2.1.3.2 Rissbildung

(1) Eine Rissbildung im ungestörten Werkstoff ist nur bei Folgeversagen zu untersuchen.

(2) Die Bildung von Wandbruchstücken bei drucktragenden Komponenten ist bei ferritischen Werkstoffen, deren Wandtemperatur größer $RT_{NDT} + 33 \text{ K}$ ist und bei Komponenten aus austenitischen Werkstoffen, deren Sprödbuch-sicherheit nachgewiesen wird (z. B. in Anlehnung an KTA 3201.2 Abschnitt 7.9), nicht zu unterstellen.

(3) Ist Eigenversagen zu unterstellen, so sind vollständige Umfangsrisse in einer Schweißnaht anzunehmen.

(4) Bei Längsrissen in Behältern sind keine Teilbruchstücke zu unterstellen.

(5) Ohne weitere Nachweise dürfen folgende Rissgeschwindigkeitsbereiche angesetzt werden:

zähes Werkstoffverhalten	80 - 200 m/s
sprödes Werkstoffverhalten (Betrieb unterhalb der NDT-Temperatur)	600 - 800 m/s

Die Rissgeschwindigkeit ist definiert als die Fortpflanzungsgeschwindigkeit einer Risssspitze.

(6) Das gleichzeitige unabhängige Versagen mehrerer Schrauben einer Schraubverbindung ist nicht zu unterstellen

5.2.1.3.3 Einteilung der Bruchstücke

5.2.1.3.3.1 Allgemeines

Die Bruchstücke sind wie folgt zu unterscheiden:

a) Ballistische Bruchstücke

Das sind Bruchstücke, die nur aufgrund von außen auf sie einwirkender Kräfte beschleunigt werden (z. B. Blindstutzen an großen Behältern, Ventilschindel, Behälterkalotte, Ventildeckel).

b) Raketenartige Bruchstücke

Das sind Bruchstücke, die unter Mitnahme von Fluidmasse und durch deren Freisetzung aus dem Bruchstück heraus beschleunigt werden (z. B. Behälter nach Abriss des Mannlochdeckels, Behälter nach Rundriss oder Längsriss).

5.2.1.3.3.2 Ballistisches Bruchstück

(1) Für die Flugbahn des Bruchstücks ist zu unterscheiden zwischen folgenden Phasen:

- a) innendruckbeschleunigte Phase,
- b) freistrahlsbeschleunigte Phase,
- c) Phase ohne Fluidkräfte

(2) Die innendruckbeschleunigte Phase des Bruchstücks darf durch den Ansatz eines konstanten Innendrucks erfasst werden.

(3) Für die freistrahlsbeschleunigte Phase sind zur Ermittlung der Strahlkraft und der Druck- und Geschwindigkeitsverteilung im Freistrahls geeignete Modelle anzuwenden.

Hinweis:

Zur Berechnung der Reaktionskraft bei Dampf-, Gas-, Zweiphasen- oder Wasserausströmung kann die in Anhang H/1/ bis /5/ aufgeführte Literatur verwendet werden.

(4) Zur Bestimmung der Fluidkraft auf das Bruchstück ist die Anfangsprojektionsfläche normal zur Flugrichtung anzusetzen.

(5) Bei der Ermittlung der Bruchstückbeschleunigung darf die Relativgeschwindigkeit zwischen Freistrahls und Bruchstück berücksichtigt werden. Der Einfluss der Schwerkraft darf vernachlässigt werden.

(6) Der Streuwinkel ist mit $\pm 5^\circ$ zur Flugachse bei in der ersten Beschleunigungsphase geführten Bruchstücken (z. B. Ventileinsätze) unabhängig von der Länge des Beschleunigungsweges anzunehmen.

(7) Bei nicht geführten Bruchstücken ist der Streuwinkel mit $\pm 5^\circ$ zur Flugachse anzunehmen, wenn der wesentliche Beschleunigungsweg weniger als das 2fache der größten Bruchstückabmessung beträgt.

(8) Bei nicht geführten Bruchstücken mit einem Flugweg größer als das 2fache der größten Bruchstückabmessung ist der Streuwinkel im Einzelfall festzulegen.

(9) Bei langen Flugwegen ist ein eventuelles Taumeln des Bruchstücks zu beachten.

(10) Werden in der Analyse gekrümmte Flugbahnen berücksichtigt, so darf die Abnahme der auf das Bruchstück wirkenden Strahlkraft berücksichtigt werden. Der Auftreffwinkel folgt dann aus der berechneten Flugbahn.

(11) Die auf das Bruchstück wirkende Kraft F darf für die Medien Wasser, Dampf, Gas für die innendruckbeschleunigte Phase und für die freistrahldeschleunigte Phase gemäß Anhang A ermittelt werden. Dabei wird in der Beschleunigungsphase kein Taumeln des Bruchstücks unterstellt.

5.2.1.3.3.3 Raketenartiges Bruchstück

(1) Die Abminderung von Druck und Geschwindigkeit durch den begrenzten Nachströmquerschnitt zum Leck sowie durch die Druckabnahme auf der Behälterinnenwand infolge der Bewegung des Behälters darf berücksichtigt werden.

(2) Die Maximalgeschwindigkeit des Bruchstücks darf nach Anhang B ermittelt werden.

(3) Die Flugachse ist bei zylindrischen Behältern und einem Verlauf der Reaktionskraft in der Zylinderachse in Richtung dieser Achse mit einem Streuwinkel von $\pm 5^\circ$ anzunehmen. Bei anderen geometrischen Bedingungen ist der Streuwinkel im Einzelfall festzulegen.

5.2.1.3.4 Aufprall

(1) Für die Berechnung der Auswirkungen des Bruchstücks auf das Ziel sind gemäß den Abschnitten 5.2.1.3.1, und 5.2.1.3.3 die folgenden Kenngrößen zu bestimmen:

- Form des Projektils und der Projektilspitze (Formfaktor),
- Aufprallfläche und Aufprallmasse des Bruchstückes,
- Aufprallgeschwindigkeit oder Energieinhalt,
- Aufprallwinkel,
- Aufprallstelle am Zielkörper,
- Verformungs- und Stabilitätsverhalten des Bruchstückes.

(2) Der Aufprallwinkel darf unter Berücksichtigung des Abflugwinkels, der möglichen Flugbahnen sowie der räumlichen Anordnung des Zieles ermittelt werden. Der Aufprallwinkel ist der Winkel zwischen der Tangentialebene an dem getroffenen Anlagenteil und der Tangente an die Flugbahn im Auftreffpunkt.

(3) Die zugrunde zulegende Aufprallfläche ergibt sich aus der Aufpralllage und dem Aufprallwinkel. Die Aufpralllage ist bei kürzeren Flugwegen identisch mit der Ausgangslage des Bruchstückes. Bei langen Flugwegen darf die Aufpralllage unter Berücksichtigung von Wahrscheinlichkeitsbetrachtungen festgelegt werden.

(4) Als Aufprallmasse ist grundsätzlich die Masse des Bruchstücks im Auftreffpunkt ohne Masse des Inhalts anzusetzen. Bei raketenartigen Bruchstücken ist der Behälterinhalt im Auftreffpunkt im Einzelfall zu berücksichtigen.

(5) Für raketenartige Bruchstücke ist die Kraft aus dem Innendruck zum Zeitpunkt des Aufpralls zu berücksichtigen. Die Kraft darf entweder konstant angesetzt werden, oder es ist ein begründeter Zeitverlauf anzusetzen.

5.2.2 Bruchstücke aus chemischen Reaktionen

(1) Bei Einhaltung der Anforderungen von KTA 2103 braucht eine Entstehung von Bruchstücken infolge chemischer Reaktionen nicht unterstellt zu werden.

(2) Die Entstehung von Bruchstücken infolge einer Wasserstoffexplosion (z. B. nach einem Kühlmittelverluststörfall) braucht nicht betrachtet zu werden, wenn die Anforderungen der RSK-Leitlinien für Druckwasserreaktoren Abschnitt 24 eingehalten werden.

5.2.3 Bruchstücke aus Maschinenteilen mit kinetischer Energie

5.2.3.1 Bruchstückquellen

(1) Als Bruchstückquellen sind rotierende Teile oder Teile mit translatorischer Bewegung folgender maschinentechnischer Komponenten zu betrachten:

Turbinen, Kupplungen, Schwungräder, Motoren, Pumpen, Lüfter, Verdichter und Generatoren.

(2) Folgende Arten von Bruchstücken sind zu unterstellen:

- Turbinen: Turbinenschaufeln, Scheibensegmente, Läuferferteile,
- Kupplungen, Schwungräder: Teile oder Segmente,
- Elektromotoren, Generatoren: Läuferferteile,
- Lagerdeckel als Folge von versagenden Anlagenteilen mit kinetischer Energie.

(3) Für alle Anlagenteile mit kinetischer Energie, die im Abschnitt 5.2.3.2.1 nicht aufgelistet sind und die keine der dort aufgeführten Bedingungen erfüllen, sind Bruchstücke infolge Eigenversagens zu unterstellen.

5.2.3.2 Bruchstückentstehung und Ausschlusskriterien

5.2.3.2.1 Eigenversagen (Primärversagen)

Hinsichtlich des Eigenversagens braucht eine Wirkung von Bruchstücken für folgende Komponenten nicht angenommen zu werden:

- Läufer vom Hochdruck- und Mitteldruck- Turbinenteil,
- Läufer von Pumpen, Verdichtern und Lüftern,
- Läufer von Elektromotoren, Generatoren innerhalb der Ständerwicklung,
- Pleuel, Kolben, Teile der Pleuellagerung von Verbrennungsmotoren, Pleuellagerpumpen und Pleuellagerverdichter,
- Komponenten, deren Benutzungszeit kleiner 2 % der Lebensdauer der Gesamtanlage (40 Jahre) ist,
- Komponenten, deren Primärspannung kleiner 50 N/mm² ist,
- Komponenten mit nachfolgenden QS-Maßnahmen:
 - geeigneten Werkstoffen/Werkstoffpaarungen,
 - geeigneten Wellen-Nabenverbindungen (Begrenzung der Druckeigenstressspannungen, Vermeidung von Spannungsspitzen),
 - geeigneten Schmierstoffen,
 - zuverlässigen Hilfssystemen (z.B. Überdrehzahl-schutzvorrichtungen)

Hinweis:

Spezielle Anforderungen hierzu sind Stand der Technik und kommen im konventionellen Maschinenbau zur Anwendung.

5.2.3.2.2 Folgeversagen (Sekundärversagen)

(1) Folgende Möglichkeiten der Fremdeinwirkung sind in Betracht zu ziehen:

- a) Innere Störfälle (z. B. Druckwellen, Differenzdruck, Bruchstücke, Strahlkräfte, Reaktionskräfte),
- b) Einwirkungen von außen (z. B. Erdbeben, Flugzeugabsturz, Druckwelle aus chemischen Reaktionen).

(2) Als Bruchstück nicht zu betrachten sind Komponenten gemäß Abschnitt 5.2.3.2.1 Absatz 1 a) bis e) sowie Komponenten, die gegen Fremdeinwirkung geschützt oder ausgelegt sind, oder Komponenten, die als Folge von anzunehmenden Fremdeinwirkungen eine Drehzahlerhöhung erleiden und deren maximale Drehzahl dabei kleiner ist als die theoretische Berstdrehzahl /1,2.

(3) Alle Komponenten, die die in Absatz 2 genannten Bedingungen nicht erfüllen und deren Versagen nicht durch andere Ereignisse schon abgedeckt ist, müssen als Bruchstückquelle durch Folgeversagen untersucht werden.

5.2.3.3 Charakterisierung der Bruchstücke

5.2.3.3.1 Ausgangszustände

(1) Bei einem Eigenversagen ist als Ausgangszustand grundsätzlich die maximal mögliche Drehzahl bis zur Berstdrehzahl anzusetzen.

(2) Wird die Drehzahl durch mechanische Überdrehzahlschutzeinrichtungen oder leittechnische Schutzeinrichtungen begrenzt, so ist dieser Grenzwert der Analyse dann zugrunde zu legen, wenn deren Funktion oder Zuverlässigkeit durch analytische oder experimentelle Nachweise erbracht ist.

(3) Bei der Analyse der Bruchstückbildung infolge Fremdeinwirkung (Folgeversagen) darf von der Nenndrehzahl ausgegangen werden, sofern als kausale Folge der Fremdeinwirkung nicht gleichzeitig eine Oberdrehzahl und ein Versagen der Überdrehzahlschutzeinrichtungen angenommen werden muss. Andernfalls ist die maximal mögliche Drehzahl der Analyse zugrunde zu legen.

(4) Für Bereitschaftssysteme, die unter Beachtung des Kriteriums in Abschnitt 5.2.3.2.1 Absatz 1 e) noch zu berücksichtigen sind, ist die Nenndrehzahl der jeweiligen Komponente zugrunde zu legen.

(5) Bei Bruchstücken aus Anlagenteilen mit kinetischer Energie ist grundsätzlich die gesamte in das Bruchstück eingetragene kinetische Energie als translatorische Energie anzusetzen. Wird eine Aufteilung der in das Bruchstück eingetragenen kinetischen Energie in Rotations- und translatorische Energie vorgenommen, so ist diese zu begründen.

(6) Energieverluste, wie z. B. Anstreifvorgänge, Durchdringen von Gehäusen und anderen Hindernissen, Deformation von Bruchstück und Hindernis dürfen in Ansatz gebracht werden.

(7) Die Anzahl und Masse der zu unterstellenden Bruchstücke ist anhand des unterstellten Schadensbildes abzuleiten. Dies gilt für Bruchstücke, bei denen Abmessungen und Maße durch eindeutig bestimmbare Bruchlinien definiert sind (z. B. Schweißnähte, Turbinenschaufeln). Bei Bruchstücken, für die eine Vorhersage der Bruchlinien nicht möglich ist (z. B. Kupplungen, Schwungrad) dürfen drei Segmente mit je 120° als Ersatzbruchstücke angesetzt werden.

5.2.3.3.2 Flugbahn

(1) Die Charakterisierung der Bruchstücke erfolgt aufgrund eines unterstellten Schadensmechanismus im Einzelfall unter Berücksichtigung von

- a) Bruchstückentstehung (Ablöse- und Beschleunigungsvorgänge),
- b) Flugbahn,
- c) Aufprall (Aufpralldurchmesser, Formfaktor des Bruchstückes, Verformungsverhalten, Masse, Geschwindigkeit, Anzahl).

(2) Für Bruchstücke aus rotierenden Teilen ist beim Auftreten von Anstreifvorgängen ein Streuwinkel von $\pm 20^\circ$ zur Rotationsebene und von $\pm 5^\circ$ ohne deren Auftreten anzusetzen.

(3) Für Bruchstücke aus Teilen mit translatorischer Bewegung ist ein Streuwinkel von $\pm 5^\circ$ zur Führungsschse zu berücksichtigen.

5.2.3.3.3 Aufprall

Bezüglich der Bestimmung der erforderlichen Kerngrößen gelten die Aussagen in Abschnitt 5.2.1.3.4 Absätze 1 bis 3.

5.2.4 Bruchstücke aus Anlagenteilen mit elastisch gespeicherter Energie

(1) Bruchstücke aus elastisch vorgespannten Teilen sind nur dann zu behandeln, wenn durch sie Anlagenteile der E- und Leittechnik gefährdet werden können.

(2) Schrauben und die Spannsysteme eines Spannbetonbehälters (Einzelspannglieder, Wickelvorspannung) brauchen nicht betrachtet zu werden.

(3) Die Untersuchung der Bruchstücke darf sinngemäß nach Abschnitt 5.2.3 durchgeführt werden. 5.2.5 Bruchstücke mit potentieller Energie.

5.2.5 Bruchstücke mit potenzieller Energie

(1) folgende Arten von Bruchstücken sind zu betrachten:

- a) Lasten an Hebezeugen, Lasten auf Hebebühnen und Hubfahrzeugen, Hebezeuge (im Sinne von KTA 3902),
- b) fallende Anlagenteile (z. B. Schließgewichte von Armaturen, aufgehängte Komponenten, Abdeckriegel und Setzsteinwände),
- c) kippende Anlagenteile (z. B. Setzsteinwände, Behälter),
- d) abrutschende Anlagenteile (rutschende Anlagenteile auf nicht horizontaler Ebene).

(2) Hinsichtlich des Eigenversagens braucht eine Bruchstückentstehung nicht angenommen zu werden:

- a) für Hebezeuge, die gemäß KTA 3902 ausgelegt sind.
- b) für Lasten an Hebezeugen, deren Anschlagpunkte KTA 3905 genügen.
- e) für Anlagenteile (z.B. Setzsteinwände) mit nachgewiesener Kippsicherheit.
- d) für Anlagenteile mit Abstützkonstruktionen, deren Versagen nicht zu unterstellen ist (z.B. bei einer Auslegung gemäß KTA 3205.1).
- e) infolge Rutschen von Komponenten.

(3) Bei Einhaltung von Absatz 2 brauchen die Lasten an Hebezeugen hinsichtlich Folgeversagen nicht als Bruchstücke unterstellt zu werden.

(4) Ebenso braucht das Folgeversagen von Hebezeugen, deren Verweildauer kleiner 2 % der Lebensdauer der Gesamtanlage (40 Jahre) an kritischer Position beträgt, nicht betrachtet zu werden.

(5) Die Untersuchung der Bruchstücke darf sinngemäß nach Abschnitt 5.2.3 durchgeführt werden.

5.2.6 Schlagende Rohrleitungen

5.2.6.1 Bruchstückquellen

(1) Als schlagende Rohrleitungen sind Rohrleitungen zu behandeln, die aufgrund der vorhandenen Fluidkräfte bei einem angenommenen Versagen der drucktragenden Wand Bewegungen mit möglichem Anprall ausführen können.

(2) Hochenergetische Rohrleitungen müssen als Bruchstückquelle betrachtet werden. Hochenergetische Rohrleitungen sind Rohrleitungen, deren maximaler Betriebsdruck größer oder gleich 20 bar und bei denen die Betriebstemperatur der flüssigen Medien größer oder gleich der Verdampfungstemperatur bei Umgebungsdruck ist.

5.2.6.2 Bruchstückentstehung und Ausschlusskriterien

5.2.6.2.1 Eigenversagen (Primärversagen)

(1) Für folgende hochenergetische Rohrleitungen darf bei Vorliegen eines der folgenden Kriterien ein Schlagen infolge Eigenversagens ausgeschlossen werden:

- Rohrleitungen gemäß KTA 3201.1 bis KTA 3201.4.
- Benutzungszeit der Rohrleitung im hochenergetischen Zustand ist kleiner als 2 % der Betriebszeit der Gesamtanlage (40 Jahre).
- Rohrleitungen kleiner gleich DN 25.
- Rohrleitungen, die den Anforderungen der Basissicherheit genügen, falls die Betriebsnennspannungen kleiner oder gleich 50 N/mm^2 ist. Betriebsnennspannung bedeutet hierbei primäre Membranspannung in Umfangsrichtung bei Nennbetriebszustand.
- Falls ein Leck-vor-Bruch-Nachweis mit Lecküberwachung erbracht wurde.

(2) Hochenergetische Rohrleitungen, die den vorstehenden Anforderungen nicht entsprechen, sind auf mögliches Schlagen infolge Eigenversagen zu untersuchen, falls nicht im Einzelfall abzustimmende Maßnahmen, wie z. B. zusätzliche Qualitätssicherungsmaßnahmen, verfahrenstechnische Maßnahmen, sekundäre Schutzmaßnahmen oder zusätzliche, absichernde Maßnahmen zum Bruchabschluss getroffen werden.

Hinweis:

Aussagen zur räumlichen Trennung siehe Abschnitt 5.1.7

(3) Es darf angenommen werden, dass durch Rohrleitungen mit $25 < \text{DN} < 50$ benachbarte Anlagenteile nicht beschädigt werden, sofern es sich bei diesen Anlagenteilen nicht um

- kleinere Rohrleitungen als die versagende oder
- empfindliche Teile der E- und Leittechnik handelt.

5.2.6.2.2 Folgeversagen (Sekundärversagen)

(1) Folgende Möglichkeiten der Fremdeinwirkung sind in Betracht zu ziehen:

a) Innere Störfälle (Bruchstücke, schlagende Rohrleitungen, Strahlkräfte, Temperatureinflüsse, Druckstöße, Druckwellen),

b) Einwirkungen von außen (z.B. Erdbeben).

(2) Soll ein Folgeversagen einer Rohrleitung infolge der obengenannten Fremdeinwirkungen ausgeschlossen werden, so sind geeignete Maßnahmen (Schutz oder Auslegung) zu treffen.

(3) Alle hochenergetischen Rohrleitungen, falls die Benutzungszeit der Rohrleitung im hochenergetischen Zustand größer ist als 2 % der Lebensdauer der Gesamtanlage (40 Jahre), sind als mögliche schlagende Rohrleitungen zu behandeln, wenn sie durch Fremdeinwirkung zerstört werden können. Das Folgeversagen von Rohrleitungen mit $\text{DN} < 25$ und diejenigen Rohrleitungen mit $25 < \text{DN} < 50$, die keine benachbarten kleineren Rohrleitungen oder empfindliche Teile der E- und Leittechnik beschädigen können, brauchen nicht betrachtet zu werden.

(4) Hochenergetische Rohrleitungen, die nicht gegen die oben aufgeführten Fremdeinwirkungen geschützt oder ausgelegt sind und die nicht durch andere Ereignisse schon abgedeckt sind, müssen als schlagende Rohrleitung durch Folgeversagen untersucht werden.

Hinweis:

Aussagen zur räumlichen Trennung siehe Abschnitt 5.1.7

(5) Ohne gesonderten Nachweis kann davon ausgegangen werden, dass ein Schlagen einer gebrochenen Rohrleitung gegen Leitungen mit gleichem oder größerem Außendurchmesser nicht zum Rohrbruch führt. Hierbei sind die Auswirkungen der Wandstärke und die Werkstoffeigenschaften zu berücksichtigen.

5.2.6.3 Charakterisierung der schlagenden Rohrleitung

5.2.6.3.1 Ausgangszustände

Die zugrunde zu legenden thermodynamischen Ausgangszustände sind gemäß Abschnitt 5.2.1.3 anzusetzen.

5.2.6.3.2 Versagensannahmen

(1) Bei der Ermittlung der Bruchflächen sind Längs- und Rundrisse zu untersuchen.

a) Längsrisse

Längsrisse verlaufen parallel zur Rohrachse und können an beliebiger Stelle des Umfanges auftreten. Längsrisse sind für das Anlegen von Rohrleitungen an benachbarte Strukturen zu untersuchen.

b) Rundrisse

Rundrisse liegen rechtwinklig zur Rohrachse.

(2) Bei Rohrleitungen, die gemäß der Rahmenspezifikation ausgeführt sind und bei welchen ein Schlagen infolge Eigenversagens gemäß Abschnitt 5.2.6.2.1 nicht ausgeschlossen werden kann, sind nur Rundrisse mit anschließendem Rohrschlagen anzunehmen.

(3) Bei nicht basissicheren Rohrleitungen und bei Rohrleitungen ohne Leck-vor-Bruch-Nachweis sind Längs- und Rundrisse grundsätzlich anzunehmen. Bei Rundrissen innerhalb eines geraden Rohrleitungsabschnittes ist eine Analyse an den beiden Enden des betreffenden Abschnittes abdeckend. Die Lage des Längsrisse ist im Einzelfall im Hinblick auf das Schutzobjekt festzulegen.

(4) Zur Ermittlung der Kräfte kann das Rissöffnungsverhalten für Rund- und Längsrisse gemäß Anhang C bestimmt

werden. Dabei darf im Einzelfall zusätzlich eine Behinderung der Bruchöffnungsfläche in Ansatz gebracht werden.

5.2.6.3.3 Äußere Kräfte auf gebrochene Rohrleitungen

Die Kräfte, die nach dem Bruch einer Rohrleitung auf gerade Rohrleitungssegmente wirken, sind gemäß Anhang D zu berechnen.

5.2.6.3.4 Aufprall

(1) Die Ermittlung von Aufpralllasten aus schlagenden Rohrleitungen kann aufgrund von Versuchen oder durch Berechnungen ermittelt werden. Es ist zulässig, beide Methoden in geeigneter Weise zu kombinieren.

(2) Die im Anhang E beschriebenen Berechnungsmethoden und die dort aufgeführten Annahmen dürfen zur Ermittlung der Aufpralllasten aus schlagenden Rohrleitungen angewendet werden.

5.3 Auslegung, Nachweis der Auswirkungen

5.3.1 Schutz vor Auswirkungen

5.3.1.1 Allgemeines

(1) Die für eine Auslegung oder für die Nachweise anzunehmenden Bruchstücke sowie ihre entstehungsbezogene Charakterisierung sind gemäß den Abschnitten 5.2.1 bis 5.2.6 zu bestimmen.

(2) Kann ein zu untersuchendes Anlagenteil von mehreren Bruchstücken aus verschiedenen Bruchstückquellen getroffen werden, so sind die im folgenden aufgeführten Nachweise für jedes Bruchstück zu führen, wenn sich nicht eines der Projektilen bereits aufgrund einer Abschätzung als maßgebend für die Auslegung erweist (z. B. Vergleich von Impuls, Energieinhalt, Nasenformfaktor).

(3) Alle in der Flugbahn liegenden Hindernisse dürfen bezüglich ihrer Masse und ihres Penetrationswiderstandes als Schutzstruktur herangezogen werden.

(4) Die lokalen Auswirkungen eines Bruchstückaufpralls sind nachzuweisen, und gegebenenfalls ist die Standsicherheit der getroffenen Anlagenteile sicherzustellen.

(5) Beim Nachweis der Standsicherheit sind die Lasten gemäß Abschnitt 5.1.4 zu kombinieren.

(6) Die Erfüllung der gemäß Abschnitt 5.1.2 festgelegten sicherheitstechnischen Aufgabenstellungen der zu untersuchenden Anlagenteile kann durch Auslegung des jeweiligen Anlagenteils selbst oder durch die Schutzwirkung vorgelagerter Barrieren erreicht werden oder durch die Kombination aus beiden Möglichkeiten.

(7) Liegen Anlagenteile als Barrieren zwischen Bruchstückquelle und einem Schutzobjekt, so darf angenommen werden, dass sie einzeln oder bei mehreren hintereinander angeordneten Anlagenteilen gemeinsam zum Schutz des Schutzobjektes beitragen (Durchdringungs-, Abplatzschutz). Die Schutzwirkung der einem Schutzobjekt vorgelagerten Anlagenteile ist nachzuweisen, falls diese in das Schutzkonzept einbezogen werden.

(8) Wenn nach den Festlegungen der folgenden Abschnitte verfahren wird, ist der Abplatz- und Durchdringungsschutz sowie eine ausreichende Tragfähigkeit sichergestellt. Das Entstehen bleibender Verformungen sowie Rissbildungen an den untersuchten Zielkörpern ist dabei, auch bei Einhaltung des Abplatzschutzes, nicht auszuschließen.

Weitergehende Anforderungen an Anlagenteile, z.B. hinsichtlich Verformungs- oder Rissbreitenbegrenzung, Dichtfunktionsfunktionen, sind im Einzelfall gesondert nachzuweisen.

5.3.1.2 Lokale Auswirkungen

5.3.1.2.1 Perforation von Anlagenteilen

(1) Einzelne als Barrieren wirkende Anlagenteile dürfen perforiert werden, wenn die sicherheitstechnische Aufgabenstellung des betrachteten Schutzobjektes insgesamt sichergestellt ist. Hinter der perforierten Barriere liegende Anlagenteile sind für die Restgeschwindigkeit durchgedrungener Bruchstücke zu untersuchen.

(2) Wenn nachgewiesen werden kann, dass sich die Masse des Bruchstückes während des Durchdringens vermindert, so darf für die weiteren Nachweise die Restmasse angesetzt werden.

(3) Die Wirkung von Zielkörpermaterial, das aus der Rückseite von Barrieren austritt, ist zu untersuchen.

5.3.1.2.2 Perforations- und Abplatzschutz, Grenzplattendicke

(1) Wird für Zielkörper aus Stahlbeton der Perforationsschutz nach Abschnitt 5.3.2.2 nachgewiesen, so ist das dahinterliegende Anlagenteil nur auf die Wirkung abplatzender Teile zu untersuchen. Hiervon kann abgesehen werden, wenn für Zielkörper aus Stahlbeton ergänzende konstruktive Maßnahmen, wie z.B. das Anbringen von Schutzblechen auf der Rückseite oder eine engmaschige, mit zusätzlichen Bügeln rückverankerte Netzbewehrung vorgesehen werden.

(2) Sind die Bedingungen des Abplatzschutzes gemäß Abschnitt 5.3.2.2 eingehalten, so erübrigt sich jeder weitere Nachweis für alle dahinterliegenden, nicht unmittelbar am getroffenen Zielkörper befestigten Anlagenteile.

(3) Für Anlagenteile aus Stahl darf bei Einhaltung der Grenzplattendicke nach Abschnitt 5.3.2.2 das Austreten von Projektil- und Zielkörpermaterial ausgeschlossen werden.

5.3.1.2.3 Ablösungen vom getroffenen Anlagenteil

(1) Es darf angenommen werden, dass die Geschwindigkeit abplatzender Teile auf der Zielkörperrückseite kleiner ist als die Projektilaufprallgeschwindigkeit, und dass ihre Abmessungen bei Zielkörpern aus Stahlbeton durch den Abstand der Bewehrung und die Dicke der Betonüberdeckung begrenzt werden.

(2) Die Geschwindigkeit eines vom Projektil im Falle einer Perforation durchgedrückten Pfropfens aus Zielkörpermaterial darf mit der Restgeschwindigkeit des Projektils gleichgesetzt werden.

(3) Sind auf der Rückseite von Barrieren, die die Bedingungen für den Abplatzschutz oder für die Grenzplattendicke gemäß Abschnitt 5.3.2.2 nicht sicherstellen, Anlagenteile im direkten Aufprallbereich befestigt, so ist das Ablösen der Befestigung im direkten Aufprallbereich zu unterstellen. Für sich ablösende Anlagenteile ist ein Anteil an kinetischer Energie anzusetzen.

(4) Die Wirkung abplatzender Teile aus der Zielkörper-Vorderseite braucht nicht verfolgt zu werden.

5.3.1.3 Induzierte Erschütterungen

Die Übertragung von Erschütterungen eines Zielkörpers auf bauliche Anlagenteile braucht nicht verfolgt zu werden. In Einzelfällen kann jedoch eine Untersuchung für maschinen- und elektrotechnische Anlagenteile, die an einem von einem Bruchstück getroffenen Zielkörper befestigt sind, erforderlich sein.

5.3.2 Nachweis für bauliche Anlagenteile

5.3.2.1 Aufprallbedingungen

(1) Bei der Untersuchung der Auswirkungen eines Bruchstückanpralls ist nach den zugrunde zu legenden Verformungscharakteristiken aus anprallendem Bruchstück und getroffener Zielkörper gemäß **Tabelle 5.3-1** zu differenzieren.

Bruchstück	Ziel	Klassifizierung
weich	weich	-
starr	weich	Hartkörperstoß
weich	starr	Weichkörperstoß

Hinweis:

Beim allgemeinen Fall weich-weich treten sowohl am Projektil als auch am Zielkörper Verformungen in der gleichen Größenordnung auf. In den beiden Grenzfällen starr-weich (harter Stoßkörper/Hartkörperstoß) und weich-starr (weicher Stoßkörper/ Weichkörperstoß) überwiegt der Verformungsanteil eines der am Stoß beteiligten Körper um mehr als eine Zehnerpotenz.

Tabelle 5.3-1: Klassifizierung nach der Verformungscharakteristik von Bruchstück und Ziel

(2) Für den Hartkörperstoß ist der Nachweis der lokalen Auswirkungen nach Abschnitt 5.3.2.2 sowie gegebenenfalls der Nachweis der Standsicherheit gemäß den Abschnitten 5.3.2.3.1 und 5.3.2.3.2 zu führen.

(3) Für den Weichkörperstoß ist nur der Nachweis der Standsicherheit nach den Abschnitten 5.3.2.3.1 und 5.3.2.3.3 erforderlich.

(4) Im Fall weich-weich sind im Einzelfall gesonderte Untersuchungen zu führen.

(5) Konservativ darf für den Weichkörperstoß und für den Fall weich-weich auch nach den Regelungen des Hartkörperstoßes verfahren werden.

(6) Für den Aufprall einer schlagenden Rohrleitung dürfen die Festlegungen der Abschnitte 5.3.2.3.1 und 5.3.2.3.3 angewendet werden. Nachweise der lokalen Auswirkung brauchen nicht geführt zu werden.

(7) Die für den Aufprall wesentlichen Kenngrößen der zu untersuchenden Bruchstücke sind gemäß Abschnitt 5.2.1.3.4 Absatz 1 zu bestimmen.

(8) Weist das Projektil in der für den Anprall maßgebenden Richtung nichtkreisförmige Querschnitte auf, so dürfen diese durch flächengleiche Kreise und flächengleiche Kreise unter Berücksichtigung der Wanddicke angenähert werden.

(9) Bei einer Behandlung als Weichkörperstoß sind Angaben bezüglich der Verformungseigenschaften und der Masseverteilung des Projektils in der für den Anprall maßgebenden Projektilrichtung erforderlich. Dabei darf der statisch

ermittelte, axiale Knautschwiderstand (Berstlast) zugrunde gelegt werden.

(10) Eine bei raketartigen Bruchstücken gegebenenfalls beim Aufprall noch vorhandene Restschubkraft ist bei den Standsicherheitsnachweisen nach Abschnitt 5.3.2.3 zu berücksichtigen. Hierbei ist die Restschubkraft mit dem für den Bruchstückanprall selbst maßgebenden Lastverlauf zu überlagern.

(11) Für eine schiefe Aufprallrichtung (Anprall unter dem Winkel α zur Zielkörperoberfläche) darf wie folgt verfahren werden: Zunächst ist anhand der Aufprallgeschwindigkeit eine Ersatz-Penetrationstiefe $\bar{p}$ gemäß Abschnitt 5.3.2.2 zu bestimmen. Für die Ermittlung der jeweils erforderlichen Mindestdicke der Zielkörper braucht jedoch nur die Komponente der Penetrationstiefe in Richtung der Zielkörperrnormalen.

$$\bar{p} = p \sin \alpha \quad (5-1)$$

zugrunde gelegt zu werden (siehe **Bild 5-1**). Hierbei sind die Bruchstückparameter in Aufprallrichtung als maßgebend für die Ermittlung der Eindringtiefe p zu unterstellen. Bei der Ermittlung von Stoßkraftverläufen darf analog verfahren werden.

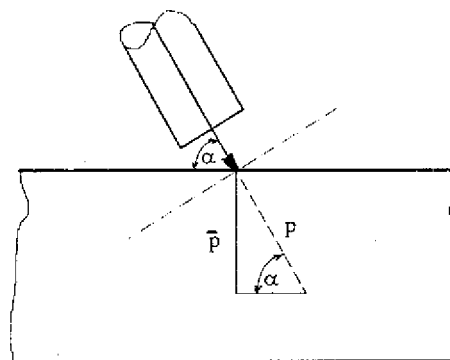


Bild 5-1: Komponente $\bar{p}$ der Penetrationstiefe

(12) Können zu den Parametern des Bruchstücks keine Angaben gemacht werden, z. B. zur Lage der Projektilspitze oder zur Verformbarkeit der Bruchstücke, dann ist für diese Parameter folgendes für die weitere Untersuchung zugrunde zu legen:

- Aufprall eines ideal harten Projektils mit der jeweils ungünstigsten Spitze,
- Aufprall in Richtung der größten Projektilsteifigkeit,
- Aufprallrichtung senkrecht zur Tangentialebene des Zielkörpers.

5.3.2.2 Nachweis der lokalen Auswirkungen

(1) Der Nachweis der lokalen Auswirkungen (Penetration usw.) ist für den Hartkörperstoß nach den in Anhang F angegebenen Gleichungen für Zielkörper aus Stahlbeton und Stahl zu führen. Für den Weichkörperstoß darf der Nachweis der lokalen Auswirkungen entfallen.

Hinweis:

Die Gleichungen in Anhang F wurden für senkrechten Aufprall von Projektilen mit kreisförmigen Querschnitten auf ebene, flächige Tragwerke abgeleitet, die keine wesentlichen Spannungszustände aus anderen Lastfällen aufweisen. Bei Betonzielkörpern treffen die Formeln außerdem nur dann zu, wenn der Mindestabstand des Auftreffpunktes von einem Tragwerksrand etwa das Fünffache des größten Projektil-Durchmessers beträgt.

(2) Ein anderes Vorgehen als nach den angegebenen Beziehungen oder eine Anwendung außerhalb des genannten Gültigkeitsbereiches ist im Einzelfall zu begründen.

5.3.2.3 Nachweis der Standsicherheit und Tragfähigkeit

5.3.2.3.1 Allgemeines

(1) Die Bauteile müssen ausreichende Biege- und Durchstantragfähigkeiten aufweisen unter Einhaltung der vom Schutzkonzept vorgegebenen Anforderungen. Dabei sind dynamische Rechenverfahren zu verwenden, die das nicht-lineare Materialverhalten unter Berücksichtigung von Rissbildung und Plastifizierung einbeziehen. Verformungs- und Dehnungsgrenzwerte sind einzuhalten.

(2) Bezüglich der Nachweise für die Biege- und Durchstantragfähigkeit sowie für die einzuhaltenden Dehnungsgrenzwerte können bei Bauteilen aus Stahlbeton die Festlegungen des Anhangs G angewendet werden, unter Beachtung der in den folgenden Abschnitten gemachten besonderen Angaben.

(3) Für stabilitätsgefährdete Bauteile ist DIN 25 449 Abschnitt 6.3 Anforderungskategorie A anzuwenden.

(4) Für einen vereinfachten Nachweis der Bauteile darf für die Schnittkraftermittlung auf Rechenverfahren zurückgegriffen werden, die ein rein linearelastisches Materialverhalten voraussetzen.

(5) Die Tragfähigkeitsuntersuchung des Bauteils darf unter Ansatz einer Lastzeitfunktion erfolgen.

(6) Verfahren unter Zuhilfenahme dynamischer Lastfaktoren dürfen herangezogen werden.

5.3.2.3.2 Hartkörperstoß

(1) Eine Last-Zeitfunktion kann anhand des Impulses des Projektils für den vollplastischen Stoß bei Betonzielkörper unter Abschätzung des zeitlichen Verlaufs der Eindringtiefe bestimmt werden. Dabei dürfen die nach Abschnitt 5.3.2.2 berechneten Eindringtiefen verwendet werden.

Hinweis:

Eine Beziehung für die Stoßlastermittlung aufgrund einer derartigen Vorgehensweise ist z. B. angegeben in /15/ und /16/ von Anhang H.

(2) Bei Ansatz einer im wesentlichen konstanten Verzögerung längs des Penetrationsweges sind die derartig ermittelten Stoßkräfte zur Abdeckung unberücksichtigter Lastspitzen über den gesamten Verlauf um 50 % zu vergrößern.

(3) Rückkopplungen aus globalen Bauteilverformungen auf die Stoßkraft dürfen vernachlässigt werden.

(4) Energieverluste infolge Eigenverformungen des Bruchstückes dürfen in dem Maß, wie sie als gesichert angesehen werden können, berücksichtigt werden.

(5) Beim Nachweis der Tragfähigkeit für flächige Bauteile (Platten, Schalen), deren Dicke den Abplatzschutz sicherstellt, braucht keine Schwächung durch einen Penetrationskrater berücksichtigt zu werden.

5.3.2.3.3 Weichkörperstoß

(1) Der Anprall stark deformierbarer und daher penetration unfähiger Bruchstücke, einschließlich schlagender Rohrleitungen, kann zu einem Ablösen von Betonteilen aus der Bauteilrückseite führen. Dies wird durch Einhalten von Mindestdicken verhindert, die wenigstens 25 % der nach Abschnitt 5.3.2.2 ermittelten Abplatzschuttdicken bei Betrachtung des Weichkörperstoßes als Hartkörperstoß betragen. Eine Schwächung des Bauteils im Auftreffbereich darf dann vernachlässigt werden.

(2) Zur Ermittlung eines Stoßkraft-Zeitverlaufes sind Verfahren (z. B. Stoßkörper-Modelle) zu verwenden, die die Verformungen des Projektils berücksichtigen.

Hinweis:

Die Beschreibung derartiger Verfahren findet sich beispielsweise in /17/ und /18/ von Anhang H.

Dabei dürfen die üblichen, anhand einer statischen Materialprüfung ermittelten Festigkeitskennwerte für das Projektmaterial zugrunde gelegt werden.

(3) Im allgemeinen darf ohne besondere Nachweise eine Aufweitung des Projektildurchmessers um 20 % unterstellt werden.

(4) Die Aufpralllast für den Schlag einer Rohrleitung ist gemäß Abschnitt 5.2.6.3.4 zu bestimmen. Wird nur der Maximalwert der Aufpralllast angegeben, so ist für die getroffene Struktur zusätzlich ein dynamischer Lastfaktor zu berücksichtigen.

5.3.3 Erdüberdeckte Anlagenteile

Bei Eindringen eines Bruchstückes in Erdschichten, die einem Schutzobjekt vorgelagert sind, darf die auf das Anlagenteil noch einwirkende Restbelastung anhand der Eindringtiefe abgeschätzt werden. Bei deren Ermittlung darf auf Penetrationsformeln zurückgegriffen werden, die für starre Projektile entwickelt wurden.

Hinweis:

Penetrationsformeln sind in /19/ bis /25/ von Anhang H angegeben.

6 Maßnahmen zur Beherrschung der Bruchstücke

Falls eine Bruchstückwirkung auf das Schutzobjekt angenommen werden muss und das Schutzobjekt unzulässig beeinträchtigt würde, sind folgende Maßnahmen einzeln oder in Kombination zu treffen:

- a) Nachweis von Rückhaltekonstruktionen, die Bruchstücke unmittelbar nach ihrer Abtrennung auffangen, wie z. B. Rücksitzdichtung bei Armaturen, Berücksichtigung anschließender Rohrleitungen oder vorhandener Auflagerkonstruktionen.
- b) Errichtung und Nachweis von Schutzeinrichtungen, welche die möglichen Bruchstückquellen von den zu schützenden Anlagenteilen trennen (eventuell in Verbindung mit Dämpfungselementen zur Reduktion der Aufprallkraft).

ANHANG A

Ermittlung der auf das Bruchstück wirkenden Kraft bei ballistischen Bruchstücken

A1 Innendruckbeschleunigte Phase

Für die Ermittlung der Kraft auf das Bruchstück gilt:

$$F = \Delta p \cdot A_L \quad (\text{A 1-1})$$

mit

Δp Druckdifferenz N/m²

A_L Leckquerschnitt m²

A2 Freistrahldeschleunigte Phase**A2.1 Ausgangsgleichung**

Für die Ermittlung der Kraft auf das Bruchstück gilt:

$$F = c_w \cdot s \cdot p_o \cdot A_L \cdot \left(\frac{w_s - u}{w_s} \right)^2 \cdot f_p \cdot f_{pp} \quad (\text{A 2-1})$$

mit

A_L Leckquerschnitt m²

f_p, f_{pp} Peaking-Faktoren (siehe Abschnitt A 2.4) -

p_o Anfangsdruck N/m²

s Strahlschubfaktor -

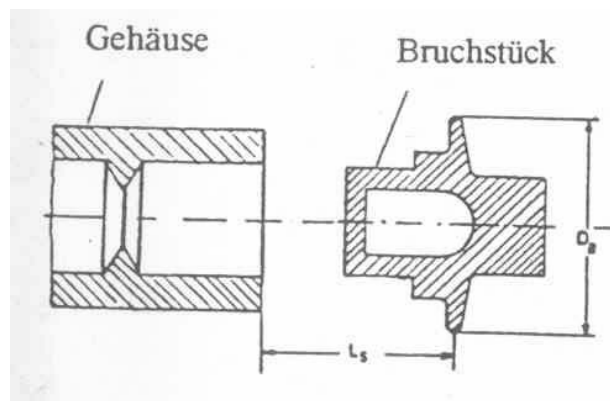
w_s Freistrahlggeschwindigkeit m/s

u Bruchstücksgeschwindigkeit m/s

c_w Widerstandsbeiwert bezogen auf das antreibende Medium -

A2.2 Ermittlung des Strahlschubfaktors

Bei dem zeitabhängigen Strahlschubfaktor $s = s(t - L_s/w_s)$ wird berücksichtigt, dass zeitliche Änderungen des Strahlschubfaktors im Leckquerschnitt um L_s/w_s zeitverzögert das Bruchstück erreichen.



D_B idealisierter Durchmesser des Bruchstücks mit der wirksamen Querschnittsfläche A_B m

L_s Flugweg m

Bild A 2-1: Bruchstück im Freistrahld

Hinweis:

Die Höhe und der zeitliche Verlauf von Strahlschubfaktoren können der Literatur /6/ in Anhang G entnommen werden.

A2.3 Ermittlung der Strahlggeschwindigkeit

(1) Durch den Ausdruck $((w_s - u)/w_s)^2$ wird berücksichtigt, dass die Impulsaufnahme des Bruchstücks null wird, wenn $u = w_s$.

(2) Die Strahlggeschwindigkeit w_s folgt aus der isentropen Expansion von P_o auf Umgebungsdruck p_u .

$$w_s = \sqrt{2(h_o - h_u)} \quad (\text{A 2-2})$$

mit

h_o Anfangserthalpie kJ/Kg

h_u Enthalpie nach Expansion auf Umgebungsdruck 10/Kg

(3) Bei Entspannung ins Nassdampfgebiet gilt:

$$h_u = h + x(h'' - h') \quad (\text{A 2-3})$$

$$x = \frac{s_o - s'}{s'' - s'} \quad (\text{A 2-4})$$

mit

h' Enthalpie von Sattwasser bei p_u 10/Kg

h'' Enthalpie von Sattdampf bei P_u kJ/Kg

x Dampfqualität -

s_o Entropie bei P_o kJ/KgK

s' Entropie von Sattwasser bei p_u kJ/KgK

s'' Entropie von Sattdampf bei p_u kJ/KgK

A2.4 Berechnung der Peaking-Faktoren f_p, f_{pp}

(1) Folgende Berechnungsgrößen werden verwendet:

A_B maximal wirksame Fläche des Bruchstücks m²

A_s Strahlquerschnitt m²

F_s Gesamtstrahlkraft ($F_s = s \cdot p_o \cdot A_L$) N

L_s Flugweg des Bruchstücks

D_s Strahldurchmesser

D_B idealisierter Durchmesser des Bruchstücks mit der wirksamen Querschnittsfläche A_B

DM kleinerer Durchmesser des kegelstumpfförmigen Druckprofils m

DL Durchmesser des idealisierten Leckquerschnitts m

p Strahldruck N/m²

(2) Der Faktor f_p berücksichtigt ein nicht homogenes Strahldruckprofil. Er gibt das Verhältnis der Kraft auf das

Bruchstück (kleine Platte) bei ungleichmäßigem Profil zur Kraft bei homogenem Strahldruckprofil an.

Für $A_B \geq A_S$ darf

$$f_p = 1$$

(A 2-5)

gesetzt werden.

Für $A_B < A_S$ gilt:

$$f = \frac{A_B \int p \cdot dA}{\frac{F_S}{A_S} \cdot A_B} \quad (\text{A 2-6})$$

(3) Der Faktor f_{pp} reduziert die Gesamtstrahlkraft um das Verhältnis der maximal wirksamen Fläche des Bruchstücks zum Strahlquerschnitt, wenn nur ein Teil des Strahls auf das Bruchstück wirkt.

Für $A_B \geq A_S$ darf

$$f_{pp} = 1$$

gesetzt werden.

Für $A_B < A_S$ gilt

$$f_p = \frac{A_B}{A_S} \quad (\text{A 2-7})$$

(4) f_p, f_{pp} für Dampf oder Gas

Der Strahldurchmesser D_S darf gemäß Bild A 2-2 ermittelt werden.

Für $D_B > D_S$ gilt

$$f_p = 1$$

$$f_{pp} = 1$$

Für $D_B \leq D_S$ gilt

$$f_p = 3 - 2 \cdot \frac{D_B}{D_S} \quad (\text{A 2-8})$$

$$f_{pp} = \left(\frac{D_B}{D_S} \right)^2 \quad (\text{A 2-9})$$

(5) f_p, f_{pp} für Wasser (2-Phasenstrahl)

(noch offen)

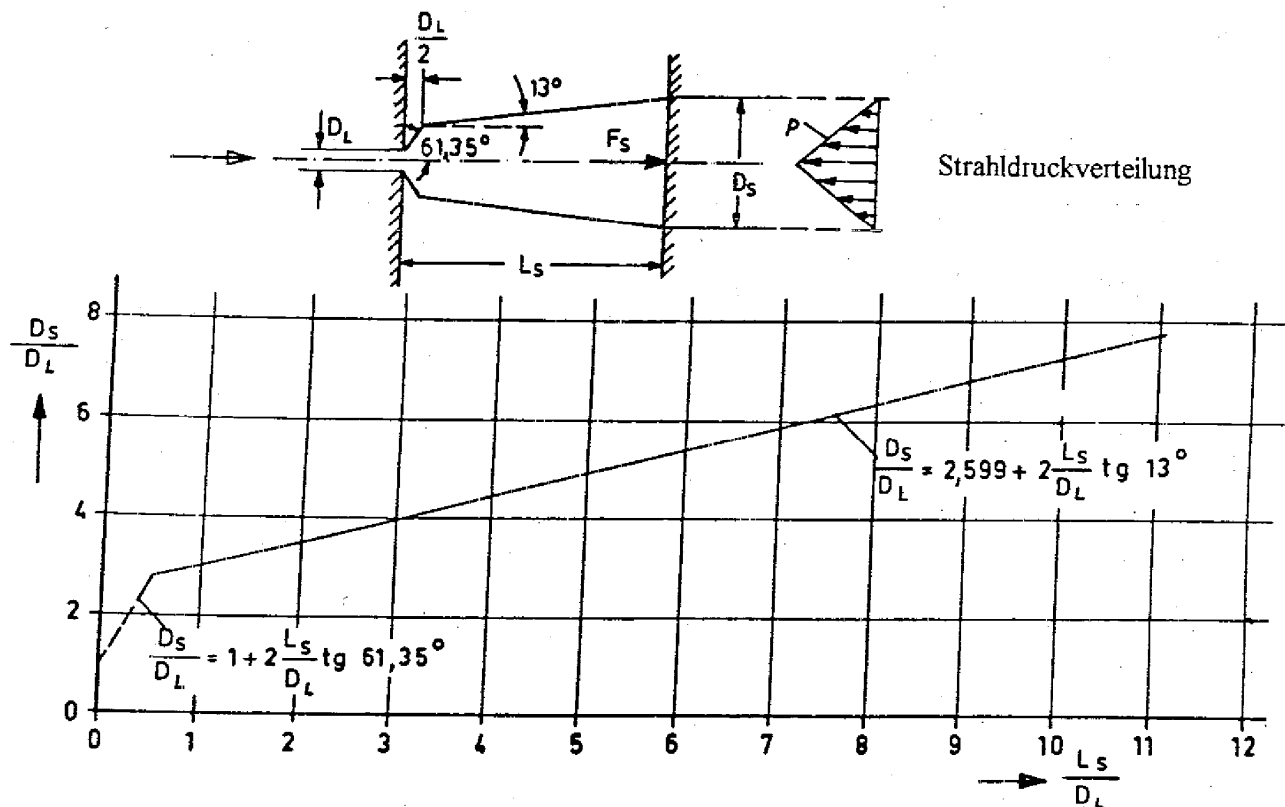


Bild A 2-2: Ausbreitung eines Dampfstrahles bei Aufprall auf eine Platte

ANHANG B

Ermittlung der Maximalgeschwindigkeit des Bruchstücks bei raketenartigen Bruchstücken

Die Maximalgeschwindigkeit des Bruchstücks darf nach Gleichung (B-1) ermittelt werden.

$$W_{\max} = \frac{P_O}{m_O^x} \cdot \ln \frac{m_B + m_{FO}}{m_B} \tag{B-1}$$

mit

$w_{\max}$	Maximalgeschwindigkeit des Behälters	m/s
m_O^x	Spezifischer stationärer Massenstrom bei Anfangszustand	kg/s m ²
p_O	Anfangsüberdruck im Behälter	N/m ²
m_B	Behälterleermasse	kg
m_{FO}	Anfangsmasse des Behälterinhalts	kg

Die zeitabhängige Geschwindigkeit vor Erreichen des Maximalwertes darf nach Gleichung (B-1) unter Zugrundelegung folgender Beziehung (B-2) für die zeitlich veränderliche Masse des Behälterinhalts ermittelt werden

$$m_F(t) = m_{FO} - m_O^x \cdot A_L \cdot t \tag{B-2}$$

mit

$m_F(t)$	zeitlich veränderliche Masse des Behälters	kg
A_L	Leckquerschnitt	m ²
t	Zeit	s

ANHANG C

Rissöffnungsverhalten für Rohrleitungen

C1 Rundriss

Ohne Nachweis darf bei Rundrissen von folgender quadratischer Bruchöffnungsfunktion für den Versatz der Rohrenden ausgegangen werden. Dabei sind die Werte für t_B aus Tabelle C 1-1 zu entnehmen.

$$\frac{A(t)}{A_R} = \left(\frac{t}{t_B} \right)^2 \quad \text{für } t < t_B$$

$$A(t) = A \quad \text{für } t \geq t_B$$

mit

$A(t)$ Bruchöffnungsfläche eines Rohrendes m^2

A_R Querseinleitungsfläche der Rohrleitung m^2

t_B Bruchöffnungszeit (d. h. Rissbildungszeit + Versatzzeit) aus Tabelle (C 1-1) ms

t Zeit ms

DN	Bruchöffnungszeit t_B
$\leq 50 \text{ mm}$	1 ms
$> 50 \leq 250 \text{ mm}$	5 ms
$> 250 \text{ mm}$	15 ms

Tabelle C 1-1: Bruchöffnungszeit t_B

Bei der Ermittlung einer anderen Bruchöffnungsfunktion ist von der Beschleunigung der getrennten Bruchenden unter Einwirkung der instationären Reaktionskräfte auszugehen.

C2 Längsriss

Für den Längsriss ist in Anlehnung an die Rissgeschwindigkeit (Definition siehe Abschnitt 5.2.1.3.2) eine Bruchöffnungsfläche zu bestimmen. Es kann dabei von einer Rissgeschwindigkeit von 200 m/sec und einer Bruchöffnungsfläche, die linear mit der Risslänge über 6 Leitungsdurchmesser zu einer Bruchfläche von $2A$ anwächst, gemäß Gleichung (C 2-1) ausgegangen werden.

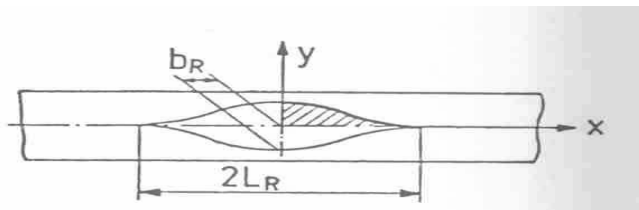


Bild C 2-1: Längsriss

$$y = \frac{1}{2} b_R \left(1 + \cos \left(\frac{\pi'}{L_R} x \right) \right) \quad (\text{C2-1})$$

mit

$$b_R = \frac{1}{4} \cdot \frac{d_i^2 \cdot \pi}{L_R}$$

$$2 \cdot L_R = 6 d_i$$

d_i Rohrrinnendurchmesser m

L_R halbe Risslänge m

b_R halbe Rissbreite m

ANHANG D

Verfahren zur Berechnung von äußeren Kräften auf gebrochene Rohrleitungen

D1 Allgemeine Berechnungsweise

(1) Auf gerade Rohrleitungssegmente, die durch zwei Krümmer begrenzt sind, wirken als äußere Kräfte nur Wellenschubkräfte, die aus der zeitlichen Änderung des Massenstromes resultieren (Newtonsches Kraft-Gesetz), die aber vernachlässigbar sind.

(2) Auf das Bruchsegment wirkt bei Vernachlässigung der Reibung die Reaktionskraft

$$F_R = (p - p_{00} + p \cdot u^2) \cdot A \quad (D11)$$

mit

p	Druck am Krümmer vor der Bruchstelle	N/m ²
p ₀₀	Umgebungsdruck	N/m ²
ρ	Dichte am Krümmer vor der Bruchstelle ^	Kg/m ³
u	Geschwindigkeit am Krümmer vor der Bruchstelle	m/s
A	lichter Rohrquerschnitt	m ²

(3) Im folgenden werden verschiedene Lösungsmöglichkeiten der Reaktionskrallgleichungen wiedergegeben.

D2 Vollständige Lösung

(1) Bei der Anwendung von Rechenprogrammen ist das Rohrleitungssystem (Geometrie, Reibungsverluste) zu modellieren, die thermohydraulischen Anfangsbedingungen des Fluids zu definieren und die Bruchöffnungscharakteristik an-zugeben. Es werden dann einer oder mehrere der Erhaltungssätze (Masse, Energie, Impuls) zeitabhängig gelöst. Die Kräfte auf die Rohrleitung werden als eine Zeit-Funktion aus den transienten thermohydraulischen Bedingungen des Fluids berechnet.

(2) Eine Betrachtung des Bruchöffnungsvorganges erübrigt sich meistens, weil der Zeitablauf bei schlagender Rohrleitung groß ist im Vergleich mit der zu erwartenden Bruchöffnungszeit. In den Fällen, in denen der Flugweg der Rohrleitung auf geringe Entfernung be grenzt bleibt, ist der Bruch-öffnungsvorgang bei der thermohydraulischen Kräfteermittlung in abdeckender Weise zu berücksichtigen.

(3) Zur Bestimmung der physikalischen Größen p, ρ und u in Gleichung (D 1-1) sind für die verschiedenen Zustände des Fluids geeignete Ausströmmodelle anzusetzen. Dabei ist zu unterscheiden zwischen:

- kaltem Wasser (T < 100° C)
- unterkühltem Wasser
(p_s/p₀ < 1: p_s = Sättigungsdruck:
p₀ = Ausgangsdruck im Ereignisfall)
- Sattwasser, Nassdampf
- gesättigter Dampf
- Überhitzter Dampf und ideale Gase.

(4) Zur Berechnung von Ausströmvorgängen sind geeignete Ausströmmodelle zu verwenden.

Hinweis:

Literatur siehe Anhang H:

Beispiele für Ausström-Modelle werden gegeben in Henry/Fauske /2/, modifizierte Bernoulli Gleichung /8/, homogene Gleichgewichtsströmung, Moody /3/ und Zoloudek /4/. Untersuchungen zum Gültigkeitsbereich siehe /11/ bis /13/ und /7/.

(5) Das Modell der homogenen Gleichgewichtsströmung soll in Systemen mit geringen Strömungswiderständen nicht angewendet werden.

(6) Für überhitzten Wasserdampf oder ideale Gase sind die Gleichungen für isentrope Zustandsänderung anzusetzen.

D3 Vereinfachte instationäre Lösung

(1) Bei Systemen, die angenähert als Rohr mit angeschloss-nem großem Behälter angesehen werden können, darf eine vereinfachte instationäre Lösung verwendet werden.

Hinweis:

Literatur siehe Anhang H /6/.

(2) Überschreitet der stationäre Endwert den Anfangswert, so ist im ganzen Zeitbereich mit dem stationären Endwert zu rechnen.

D4 Stationäre Lösung

(1) Die Berechnung der Reaktionskräfte darf für alle Systeme unter Verwendung von Schubfaktoren wie folgt durchgeführt werden:

$$F_R = s \cdot p_0 A \quad (D 4-1)$$

mit

s	Schubfaktor	-
p ₀	zugrunde zu legender Ausgangsdruck im Ereignisfall	N/m ²
A	Rohrinnenquerschnitt	m ²

(2) Hierbei sind die Schubfaktoren für Rundrisse zu ermitteln für:

a) Kaltes Wasser

$$s = \frac{2}{1 + \zeta} \quad (D 4-2)$$

mit

ζ	Widerstandsbeiwert des relevanten Rohrleitungsabschnitts	-
---	--	---

b) Unterkühltes Wasser

Hinweis:

Siehe Literatur Anhang H /6/, /9/ und /14/.

c) Sattwasser, Nassdampf

Hinweis:

Siehe Literatur Anhang H /2/, /6/ und /9/.

d) Gesättigter Dampf, überhitzter Dampf und ideale Gase

Bei konstantem Isentropenexponenten dürfen die Schubfaktoren aus **Bild D 4-1** ermittelt werden. Die Berücksichtigung von Reibungsverlusten kann nach der Fanno-Theorie erfolgen.

(3) Schubfaktor für Längsrisse

Hinweis

Siehe Literatur Anhang H /10/.

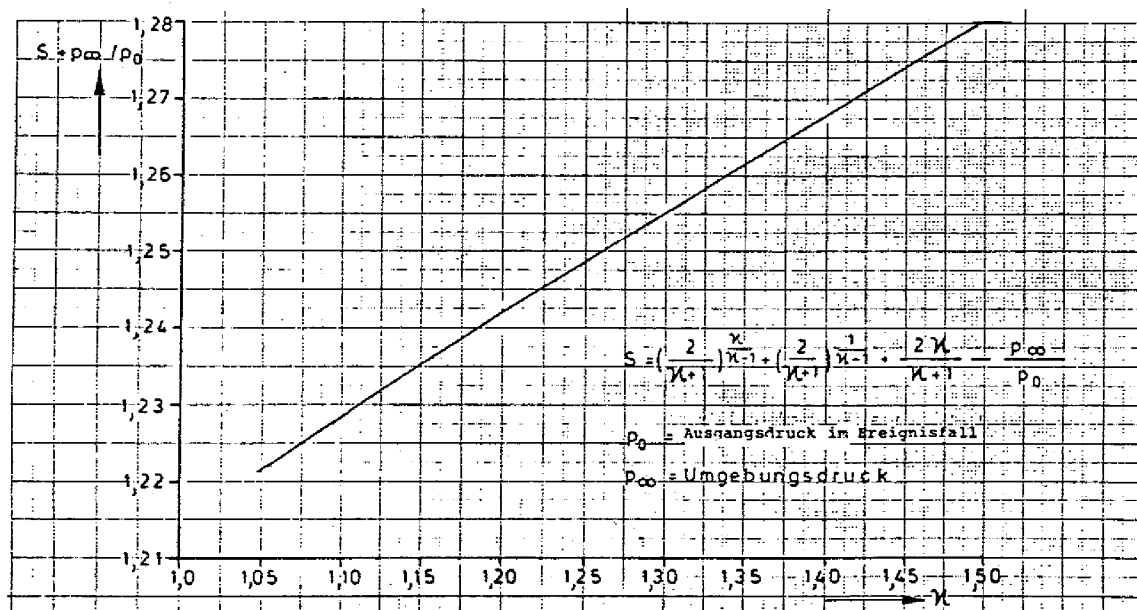


Bild D 4-1: Reibungsfreier Strahlschubfaktor s als Funktion des Isentropenexponenten

ANHANG E

Berechnungsmethoden und Annahmen zur Ermittlung von Aufpralllasten aus schlagenden Rohrleitungen

E1 Zulässige Annahmen

E1.1 Lokales Verformungsverhalten

(1) Als lokales Verformungsverhalten eines geraden Rohrstückes darf eine Kraft - Weg - Kernlinie angenommen werden, wie sie sich für einen Rohrabchnitt, der quasistatisch zwischen planparallelen Platten belastet und plastisch verformt wird, ergibt.

Dazu darf folgendes Kraft - Weg - Verhalten angenommen werden:

$$p(z) = \frac{2}{2+n} \cdot \sigma_0 \cdot s^{2+n} \cdot b \cdot \frac{(d_m - z)^n + z^n}{d_m^n \cdot (d_m - z)^{1+n}} \quad (\text{E 1-1})$$

mit

n, σ_0 Werkstoffkonstanten gemäß

$$\text{Werkstoffgesetz } \bar{\sigma} = \sigma_0 \cdot \bar{\varepsilon}^{-n}$$

z Verformungsweg (siehe Bild E 1-2) mm

b Länge des abgeplatteten Rohrabchnitts mm

s Wandstärke mm

d_m mittlerer Rohrdurchmesser mm

Die Ermittlung von σ_0, n kann analog der schematischen Darstellung nach **Bild E 1-1** erfolgen.

mit

$$\bar{\varepsilon} = \ln(1 + \varepsilon) \quad (\text{wahre Dehnung})$$

$$\bar{\sigma} = \sigma(1 + \varepsilon) \quad (\text{wahre Spannung})$$

σ Spannung bezogen auf den Ausgangsquerschnitt einer Zugprobe

ε Dehnung bezogen auf den Ausgangsquerschnitt einer Zugprobe

σ_0 ist die zu $\bar{\varepsilon} = 1$ gehörende Spannung

n ist die Steigung der Ausgleichsgeraden durch die Messpunkte

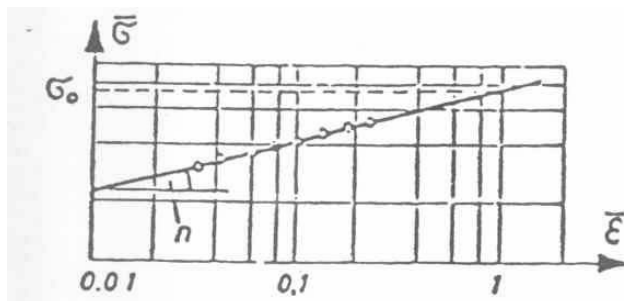


Bild E 1-1: Graphisches Verfahren zur Ermittlung von σ_0 und n

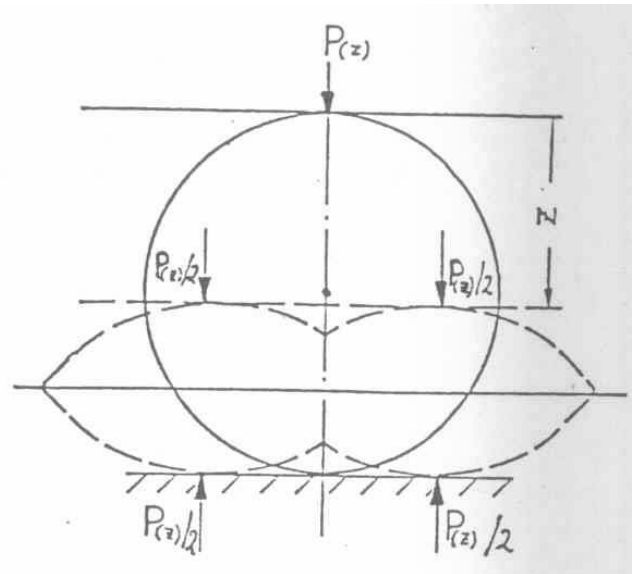


Bild E 1-2: Plastisches Verformungsverhalten eines geraden Rohrstückes zwischen planparallelen Platten

(2) Für das lokale Verhalten von Krümmern sind die Verfahren im Einzelfall abzustimmen.

(3) Der Einfluß des Innendruckes auf das Verformungsverhalten ist gegebenenfalls zu berücksichtigen.

(4) Eine dynamische Verfestigung des Werkstoffes darf vernachlässigt werden.

E1.2 Einfluss von Unterstüzungen

Unterstützungen dürfen berücksichtigt werden, wenn sie die bei einem Rohrleitungsschlagen auftretenden Kräfte aufnehmen können; andernfalls sind sie nicht in Ansatz zu bringen.

E1.3 Einfluss der Isolierung auf den Freiflugsieg

Bei Isolierwerkstoffen mit hohen Druckfestigkeiten darf die Isolierstärke vom Freiflugweg abgezogen werden; dabei ist das Verformungsverhalten der Isolierung zu berücksichtigen.

E1.4 Rohrleitungs-Verhalten bei Biegung

Hinweis:

Schlagende Rohrleitungen werden in der Regel bereits vor dem Aufprall große Verformungen erfahren. Damit verbunden ist die Ausbildung von Fließgelenken.

(1) Die Abhängigkeit des übertragbaren Biegemomentes M vom Endtangentialwinkel φ (siehe **Bild E 1-3**) darf bei plastischer Verformung gemäß Gleichung (E1-2) ermittelt werden.

$$M(\varphi) = \left(\frac{4\sigma_0}{n+3} \right) \cdot \left(\frac{2}{3} \right)^3 \cdot (r_a^{n+3} - r_i^{n+3}) \quad (\text{E 1-2})$$

$$\cdot \left(1 - 0,291 \cdot n + 0,076 \cdot n^2 \right) \cdot \left(\frac{\varphi}{r_m} \right)^n$$

$$\cdot \left(1 - \frac{n}{1+n} \cdot \frac{\varphi}{\varphi^x} \right)$$

$$\text{für } \varphi \leq \varphi^x \text{ mit } \varphi^x = \frac{3}{2} \frac{s}{r_m}$$

mit

 n, σ_0 Werkstoffkonstanten, entsprechend -dem Werkstoffgesetz $\bar{\sigma} = \sigma_0 \bar{\varepsilon}^{-n}$
(siehe Bild E 1-1) r_a äußerer Rohrradius mm r_i innerer Rohrradius mm r_m mittlerer Rohrradius mm

$$r_m = \frac{1}{2}(r_a + r_i)$$

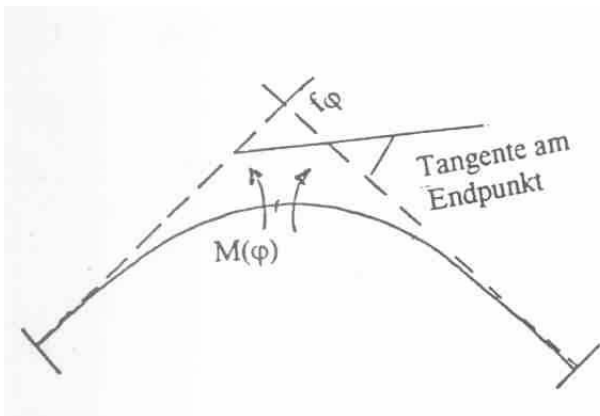
 s Wandstärke mm $x =$ Verdrehung, bei der das maximale Biegemoment auftritt. Für Werte größer φ^x ist mit Instabilitäten des Querschnittes zu rechnen

Bild E 1-3: Abhängigkeit des übertragbaren Biegemomentes $M(\varphi)$ vom Endtangentialwinkel

Hinweis:

Bei Überschreitung von φ^x tritt eine zunehmende Querschnittsverflachung oder bei relativ dünnwandigen Rohren auch plastische Instabilität auf. Beide Effekte führen zu einer Verengung des Querschnittes und damit zu einer beträchtlichen Reduzierung des Nachströmquerschnittes.

(2) Bei $\varphi > \varphi^x$ ist es zulässig, das Biegemoment als konstant anzunehmen, falls die Abnahme der Strahlkraft infolge Verengung des Querschnittes nicht in Ansatz gebracht wird (siehe **Bild E 1-4**).

E1.5 Dämpfung

Die Annahmen sind im Einzelfall zu begründen.

E1.6 Festigkeitstoleranzen

Liegen keine bauteilspezifischen Werkstoffkennwerte vor, so dürfen die genormten Mindestanforderungen oder, falls

Streubänder angegeben werden, deren Mittelwerte verwendet werden.

(2)

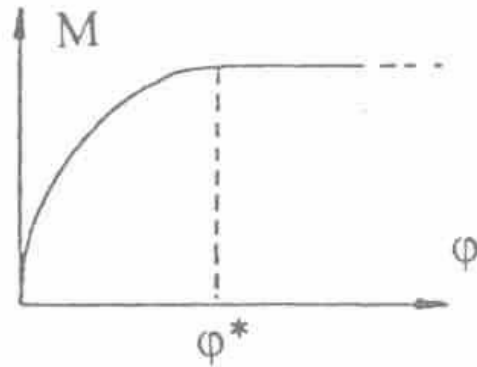


Bild E 1-4: Biegemoment in Abhängigkeit vom Endtangentialwinkel

E1.7 Rohrtoleranzen

Zur Ermittlung der Querschnittsdaten einer schlagenden Rohrleitung darf die mittlere Wandstärke, d. h. der Mittelwert des zugelassenen Streubandes, verwendet werden

E1.8 Querschnittsannahmen bei Längsrissen

Sofern schlagende Rohrleitungen infolge von Längsbrüchen zu analysieren sind, darf auch im Rissbereich der ungestörte, d. h. kreisrunde Querschnitt angenommen werden.

E1.9 Zusatzmassen

Die Wirkung von Zusatzmassen ist bei der Analyse zu berücksichtigen

E2 Berechnungsmethoden zur Ermittlung der Aufpralllasten

E2.1 Vollständige dynamische Analyse

Die betrachtete Rohrleitung ist mit ihrem Verlauf vollständig zu modellieren. Das lokale Verformungsverhalten des Rohrquerschnittes an der Aufprallstelle ist zu berücksichtigen. Zusätzlich kann die Verformung der getroffenen Struktur in Ansatz gebracht werden.

E2.2 Vereinfachte dynamische Analyse

(1) Im Gegensatz zu Abschnitt E 2.1 ist nicht die gesamte Rohrleitung zu modellieren, sondern nur der interessierende Teil bis zum Auftreten der ersten Fließgelenke. Der abgekoppelte Teil ist durch entsprechende Randbedingungen (Lagerbedingungen und/oder Ersatzschnittkräfte) zu berücksichtigen.

(2) Die stationäre Lage der Fließgelenke darf ohne weitere Nachweise mit folgenden Abständen $X_{L,Q}$ von der Bruchstelle angenommen werden

Längsbrüche: $X_L = 12 \text{ Mp/F}$

Querbrüche: $X_Q = 3 \text{ Mp/F}$

M_p ist das vollplastische Biegemoment und F die näherungsweise als konstant angenommene Reaktionskraft an der Bruchstelle.

E2.3 Quasidynamische Analyse

Die quasi-dynamische Analyse ist an Ersatzmodellen so durchzuführen, dass der reale Rohrleitungsverlauf und dessen wesentliche Eigenschaften erhalten bleiben.

E2.4 Energie-Ausgleichsverfahren

Bei diesem Verfahren ist ein Vergleich der von außen (Strahlreaktionskraft) geleisteten Arbeit und der von der

Rohrleitung global und lokal absorbierten Energie zu dem Zeitpunkt, an dem die Rohrleitungsgeschwindigkeit gerade Null ist, durchzuführen.

Das Ergebnis ist der Maximalwert der Aufprallbelastung der getroffenen Struktur.

E2.5 Statisches Ersatzlastverfahren

Bei diesem Verfahren ist das Ergebnis einer dynamischen Berechnung durch das Produkt aus einem Faktor, welcher das Verformungsverhalten des Rohres erfasst, multipliziert mit dem Spitzenwert der Strahlreaktionskraft zu ersetzen. Das Ergebnis ist wie beim Energie-Ausgleichsverfahren der Maximalwert der Aufprallbelastung der getroffenen Struktur.

ANHANG F

Nachweis der lokalen Auswirkungen für den Hartkörperstoß bei Beton- und Stahlzielkörpern

F1 Betonzielkörper

(1) Die Eindringtiefe p in einen Zielkörper ergibt sich zu:

für kleine Eindringtiefen $0 \leq p/D' \leq 2,0$

$$p = 2D' \sqrt{G} \quad (\text{F 1-1})$$

für große $p/D' \geq 2,0$

$$p = D' (G+1) \quad (\text{F 1-2})$$

Die Größe G ergibt sich für Vollprojekteile nach der HN-NDRC-Formel zu

$$G = \frac{0,0165 \cdot N \cdot m \cdot v^{18}}{\sqrt{\beta_R} D^{2,8}} \quad (\text{F 1-3})$$

und für Hohlprojekteile aus Stahl nach Kar zu

$$G = \frac{0,0165 \cdot N \cdot m \cdot v^{18}}{\bar{\beta}_R \cdot D \cdot D^{18}} \quad (\text{F 1-4})$$

Hinweis:

Literatur zur HN-NDRC-Formel findet sich in /15/, /16/ und zu Kar in /23/ von Anhang H

(2) Aus der Eindringtiefe der Stahlprojekteile sind die jeweiligen Schutzdicken wie folgt zu ermitteln:

Druchdringungsschutzdicke (Perforations dicke) e :

$$p/D' \leq 1,35 \quad e/D' = 3,19 p/D' - 0,718 (p/D')^2 \quad (\text{F 1-5})$$

$$3 \leq e/D' \leq 18 \quad e/D' = 1,32 + 1,24 p/D' \quad (\text{F 1-6})$$

Abplatzschutzdicke (Scabbingdicke) s :

$$p/D' \leq 0,65 \quad s/D' = 7,91 p/D' - 5,06 (p/D')^2 \quad (\text{F 1-7})$$

$$3 \leq s/D' \leq 18 \quad s/D' = 2,12 + 1,36 p/D' \quad (\text{F 1-8})$$

Die in den Beziehungen verwendeten Größen sind folgendermaßen definiert:

p	Penetrationstiefe	cm
D'	Durchmesser eines gedachten Projektils das die gleiche Kontaktfläche besitzt wie das reale Projektil (Beispiele siehe Bild F 1-1)	cm
D	Durchmesser entsprechend Bild F 1-1	cm
A	repräsentative, für das Eindringen wirk-same Querschnittfläche (siehe Bild F 1-1)	cm ²
v	Aufprallgeschwindigkeit	m/s
m	Projektilmasse	kg
$\bar{\beta}_R$	Rechenwert der Betondruckfestigkeit	$\frac{\text{MN}}{\text{m}^2}$
N	Formfaktor der Projektilspitze (siehe Tabelle 1 1-1)	-

Form-faktor N für	Vollpro-jektil mit Form der Spitze	flach	stumpf	kugel-förmig	scharf spitz
Hohl-projektil		0,72	0,84	1,0	1,14
		$0,72 + 0,0306 \left[\left(\frac{D'}{D} \right)^2 - 1 \right] \leq 1,17$			

Tabelle F 1-1: Formfaktor N gemäß /15/ und /23/ von Anhang H

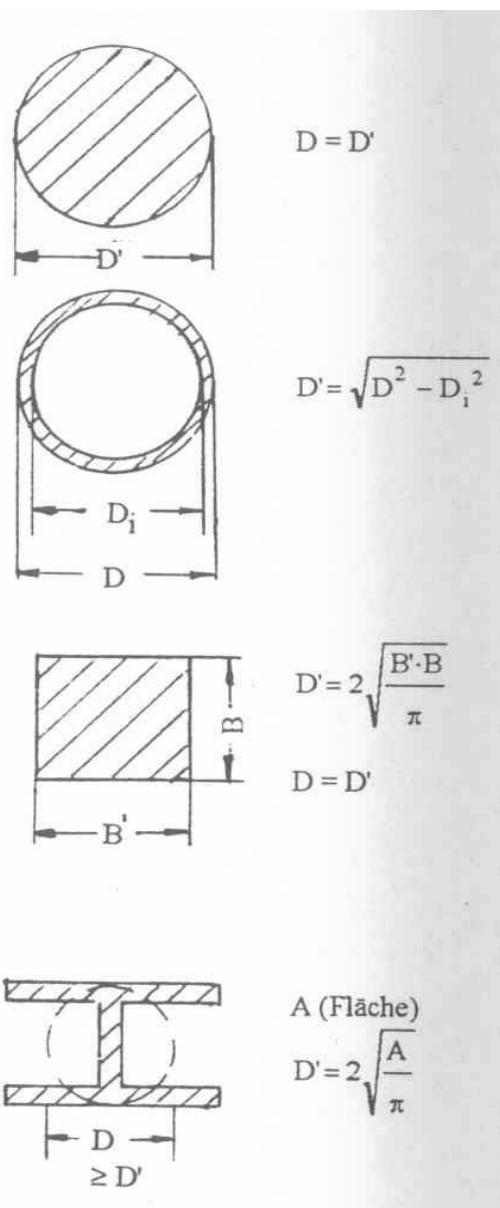


Bild F 1-1: Beispiele zur Ermittlung von D und D'

(3) Als Rechenwert der Betondruckfestigkeit ist $\bar{\beta}_R = \beta_{WN}$ einzusetzen Für Bauteile die zum Zeitpunkt der Beanspruchung älter als 3 Jahre sind, darf ohne weitere Nachweise die Nacherhärtung mit $\bar{\beta}_R = 1,15 \beta_{WN}$ berücksichtigt werden.

mit

β_W	Würfeldruckfestigkeit des Betons	MN/m ²
β_{WN}	Nennfestigkeit des Betons nach 28 Tagen	MN/m ²

(4) Der experimentell abgesicherte Bereich der Formeln beschränkt sich:

für Vollprojekte auf

$$0,8 \leq D \leq 40,6 \text{ cm}$$

$$0,02 \leq m \leq 454 \text{ kg}$$

$$6 \leq \beta_W \leq 7 \text{ MN/m}^2$$

$$80 \leq v \leq 960 \text{ m/s}$$

Hinweis:

Neue EPR1-Versuchsergebnisse zeigen, dass auch bei Anprallgeschwindigkeiten von 30 m/s die Formel konservative Ergebnisse bringt.

und für Hohlprojekte auf

$$2,5 \leq D \leq 35 \text{ cm}$$

$$3,6 \leq m \leq 680 \text{ kg}$$

$$\beta_W = 30 \text{ MN/m}^2$$

$$28 \leq v \leq 92 \text{ m/s}^2$$

$$\text{Zielkörperdicke} \geq 30 \text{ cm}$$

F2 Stahlzielkörper

Die Ermittlung der Grenzplattendicke darf gemäß Gleichung (F 2-1) (BRL-Formel) erfolgen:

$$t' = 0,005 \cdot \frac{m^{0,67} v^{1,33}}{D} \tag{F 2-1}$$

mit

t'	Grenzplattendicke eines Stahlzielkörpers	cm
m	Projektilmasse	kg
D	Projektildurchmesser	cm
v	Aufprallgeschwindigkeit	m/s

ANHANG G

Nachweis der Biege- und Durchstanztragfähigkeit für Bauteile aus Stahlbeton

G1 Allgemeines

Die mechanischen Werkstoffkennwerte (z. B. Fließgrenze, Bruchverformung) dürfen den Vorschriften für vorwiegend ruhende Lasten entnommen werden. Soweit eine von der Verformungsgeschwindigkeit abhängige Veränderung der Werkstoffkennwerte nachgewiesen ist, darf diese berücksichtigt werden.

G2 Bemessung für Biegung, Biegung mit Längskraft und Längskraft allein

(1) Als Rechenwerte der Materialfestigkeiten dürfen angesetzt werden

a) für die Betondruckfestigkeit

$$\bar{\beta}_R = 0,9 \beta_{WN}, \quad (\text{G 2-1})$$

b) für die Streckgrenze des Betonstahls

$$\bar{\beta}_S = 1,0 \beta_S \quad (\text{G 2-2})$$

(2) Der rechnerische Sicherheitsbeiwert ist mit $\gamma = 1,0$ anzusetzen.

(3) Bei Biegung mit geringer Druckkraft ist zusätzlich ein Nachweis mit der 0,9-fachen Normalkraft zu erbringen. Bei nichtlinearen Berechnungsverfahren ist der entlastende Einfluß der Normalkraft gleichwertig abgemindert anzusetzen.

(4) Die Spannungsdehnungslinien der **Bilder G 2-1** und **G 2-2** sind zugrunde zu legen. Die Dehnungen bei überwiegend auf Biegung beanspruchten Bauteilen dürfen die Werte.

$$\text{zul. } \varepsilon_b = -5\% \quad \text{und} \quad \text{zul. } \varepsilon_s^{pl} \leq 2,5\%$$

nicht überschreiten

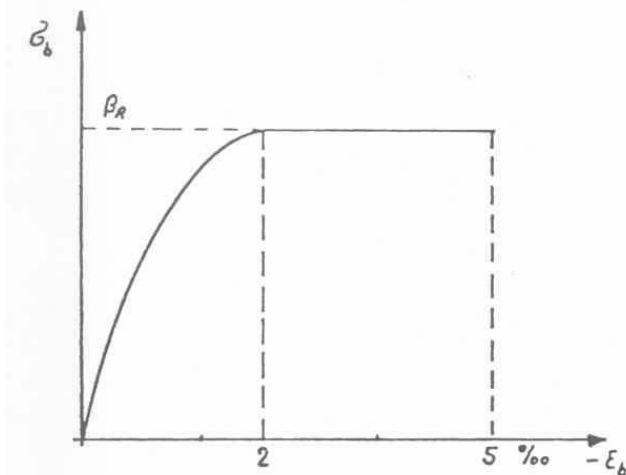


Bild G 2-1: Rechenwerte für die Spannungsdehnungslinie des Betons bei überwiegend auf Biegung beanspruchten Bauteilen

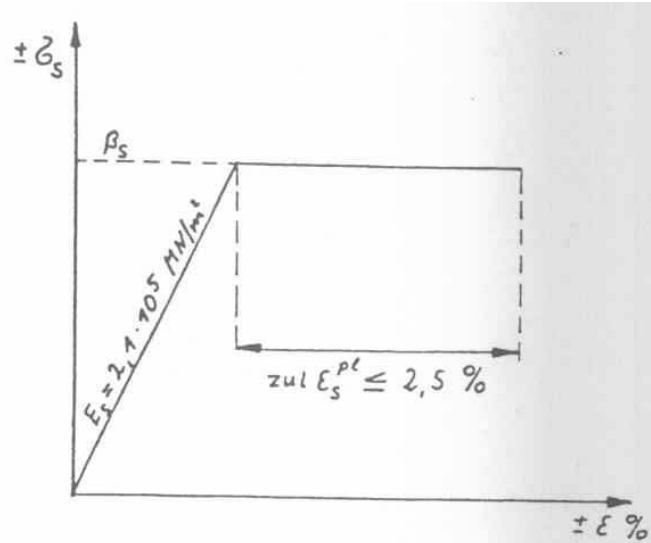


Bild G 2-2: Rechenwerte für die Spannungsdehnungslinien der Betonstähle

G3 Durchstanznachweis

Der Nachweis einer ausreichenden Bewehrung, die Durchstanzen und Schubversagen verhindert, darf mit Berechnungsverfahren erbracht werden, die das elastisch-plastische Materialverhalten erfassen.

Näherungsweise darf für den Nachweis der Tragfähigkeit gegen Durchstanzen statisch mit dem Maximalwert der Stoßkraft im Stoßkraft-Zeit-Diagramm gerechnet werden. Dabei dürfen diejenigen Bügel für den rechnerischen Nachweis herangezogen werden, die von einem gedachten Kegelstumpf um den jeweiligen Auftreffpunkt geschnitten werden, dessen Innendurchmesser D und dessen Außendurchmesser.

$$D_a = D + 3,3 h \quad (\text{G31})$$

beträgt.

ANHANG H

Literaturzusammenstellung

- | | |
|--|---|
| <p>/1/ R.T. Lahey, Jr. F. J. Moody
The Thermal-hydraulics of a Boiling Water Nuclear Reactor, Published by The American Nuclear Society, 244 East Ogden Avenue, Hinsdale, Illinois 60521, USA</p> <p>/2/ R.E. Henry, H.K. Fauske
The Two-Phase Critical Flow of One-Component Mixtures in Nozzles, Orifices and Short Tubes, ASME Paper 70-WA/HT-5, 1971</p> <p>/3/ F.J. Moody
Maximum Flow-Rate of a Single-Component Two-Phase Mixture, Transactions ASME, Journal of Heat Transfer 87e, 1965, Pp. 134</p> <p>/4/ F.R. Zaloudek
The Critical Flow of Hot Water through Short Tubes, General Electric Company, Report HW-77594, Hanford Works, 1963</p> <p>/5/ V. Linzer
Das Ausströmen von Siedewasser und Sattdampf aus Behältern, Zeitschrift Brennstoff, Wärme, Kraft, Jahrgang 22, 1970, Heft Nr. 10</p> <p>/6/ F.J. Moocly
Fluid Reaction and Impingement Loads, American Society of Civil Engineers, New York, December 1973</p> <p>/7/ Forschungsprogramm Reaktorsicherheit, Abschlussbericht, Förderungsvorhaben BMFT RS 93 A, Kennwort: Rohrleitungslecks II</p> <p>/8/ P. Pana
Eine modifizierte Bernoulli-Gleichung für die Berechnung der Strömungsvorgänge im unterkühlten Wassergebiet, IRS-W-18, Dezember 1975</p> <p>/9/ P. Pana
Berechnung der stationären Massenstromdichte von Wasserdampfgemischen und der auftretenden Rückstoßkräfte, ERS Köln, November 1976</p> <p>/10/ P. Pana
Rechenmodell für Rückstoßkräfte bei Längsrissen in Rohrleitungen, GRS-A-270, Februar 1979</p> <p>/11/ K. H. Ardron, R.A. Furnes
A Study of the critical Flow Models used in Reactor Blowdown Analysis, Nuclear Engineering and Design, 39, 1976, 257- 266</p> <p>/12/ P. Saha
Review of two-phase steam-water critical flow models with emphasis on thermal nonequilibrium, Brookhaven National Lab., NUREG/CR-0417, December 1977</p> <p>/13/ T. Siikonen
A Study of critical two-phase flow Models, Nuclear Engineering and Design, 73, 1982, 293 - 302</p> <p>/14/ S.W. Webb
Evaluation of Subcooled Water Thrust Forces, Nuclear Technology, Vol. 31. October 1976</p> | <p>/15/ R.P. Kennedy
A Review of Procedures for the Analysis and Design of Concrete Structures to Resist Missile Impact Effects, Nuclear Engineering and Design, 37, 1976</p> <p>/16/ G.E. Sliter
Assesment of Empirical Concrete Impact Formulas, Journal of the Structural Division, May 1980, ST5, 1023 - 1045</p> <p>/17/ J.D. Riera
On the Stress Analysis of Structures Subjected to Aircraft Impact Forces, Nuclear Engineering and Design, 8, 1968</p> <p>/18/ K. Dittler, P. Gruner
Zur Auslegung kerntechnischer Anlagen gegen Einwirkungen von außen;
Teilaspekt: Berechnung von Kraft-Zeit- Verläufen beim Aufprall deformierbarer Flugkörper auf eine starre Wand, Wissenschaftliche Berichte IRS-W-14, April 1975</p> <p>/19/ Handbuch der Waffenwirkung für die Bemessung von Schutzbauten, Bundesamt für Zivilschutz, Bern</p> <p>/20/ Corps of Engineers, Military Protective Construction War Dep., Technical Manual S-310, June 1946 (unclassified)</p> <p>/21/ A. AmiriKTAn
Design of Protective Structures, Bureau of Yards and Docks, Departement of the Navy, Washington, D. C. August 1950</p> <p>/22/ H. Schardin, H. Molitz, G. Schöner
Wirkungen von Spreng- und Atombomben auf Bauwerke, Ziviler Luftschutz, Heft 12, 1954, 283-289</p> <p>/23/ A. Kar
Projectile Penetration into Buried Structures, Journal of the Structural Divisions, Januar 1978, STI, 125 - 139</p> <p>/24/ C. W. Young
Depth Predictions for Earth-Penetrating Projektils, Journal of the Soil Mechanics and Foundation Divisions, May 1969, SM3, 803 - 817</p> <p>/25/ C. W. Young
Empirical Equations for Predicting Penetration Performance in Layered Earth Materials for Complex Penetrator Configurations, SC-DR-72 0523, Sandia Lab., Dec. 1972</p> <p>/26/ Barr, P
Guidelines for the Design and Assessment of Concrete Structures Subjected to Impact, 1988 Edition, SRD R 439, UK Atomic Energy Authority, Safety and Reliability Directorate, 1988</p> |
|--|---|

ANHANG I**Bestimmungen, auf die in diesem Bericht verwiesen wird**

(Die Verweise beziehen sich nur auf die in diesem Anhang angegebenen Fassung
Darin enthaltene Zitate von Bestimmungen beziehen sich jeweils auf die Fassung, die vorlag, als die verweisende
Bestimmung aufgestellt oder ausgegeben wurde.)

Druckbehälter- verordnung		Verordnung über Druckbehälter, Druckgasbehälter und Füllanlagen (Druckbe- hälterverordnung- Druckbeh V) vom 21. April 1989 (BGBl 1, 1989 S. 843)
KTA 2103	(06/89)	Explosionsschutz in Kernkraftwerken mit Leichtwasser- und Hochtemperaturre- aktoren
KTA 3201.1	(06/90)	Komponenten des Primärkreises von Leichtwasserreaktoren: Teil 1: Werkstoffe und Erzeugnisformen
KTA 3201.2	(03/84)	Komponenten des Primärkreises von Leichtwasserreaktoren: Teil 2: Auslegung, Konstruktion und Berechnung
KTA 3201.3	(12/87)	Komponenten des Primärkreises von Leichtwasserreaktoren: Teil 3: Herstellung
K TA 3201.4	(06/90)	Komponenten des Primärkreises von Leichtwasserreaktoren: Teil 4: Wiederkehrende Prüfungen und Betriebsüberwachung
KTA 3204	(03/84)	Reaktordruckbehälter-Einbauten
KTA 3205.1	(06/91)	Komponentenstützkonstruktionen mit nichtintegralen Anschlüssen: Teil 1: Komponentenstützkonstruktionen mit nichtintegralen Anschlüssen für Primärkreiskomponenten
KTA 3205.2	(06/90)	Komponentenstützkonstruktionen mit nichtintegralen Anschlüssen: Teil2: Komponentenstützkonstruktionen mit nichtintegralen Anschlüssen für druck- und aktivitätsführende Komponenten in Systemen außerhalb des Pri- märkreises
KTA 3502.3	(06/89)	Komponentenstützkonstruktionen mit nichtintegralen Anschlüssen: Teil 3: Serienmäßige Standardhalterungen
KTA 3211.1	(06/91)	Druck- und aktivitätsführende Komponenten von Systemen außerhalb des Pri- märkreises Teil 1: Werkstoffe und Erzeugnisformen
KTA 3211.2	(06/92)	Druck- und aktivitätsführende Komponenten von Systemen außerhalb des Pri- märkreises: Teil 2: Auslegung, Konstruktion und Berechnung
KTA 3211.3	(06/90)	Druck- und aktivitätsführende Komponenten von Systemen außerhalb des Pri- märkreises: Teil 3: Herstellung
KTA 3211.4 (Regelentwurf)	(06/90)	Druck- und aktivitätsführende Komponenten NOM Systemen außerhalb des Primärkreises: Teil 4: Wiederkehrende Prüfungen und Betriebsüberwachung
KTA 3902	(06/92)	Auslegung von Hebezeugen in Kernkraftwerken
KTA 3905	(06/94)	Lastanschlagpunkte an Lasten in Kernkraftwerken
TRG		Technische Regeln Druckgase
DIN 25 449	(05/87)	Auslegung der Stahlbetonbauteile von Kernkraftwerken unter Belastung aus in- neren Störfällen
DIN V 25 459	(04/90)	Sicherheitsumschließung aus Stahlbeton und Spannbeton für Kernkraftwerke
Deutsche Risikostu- die Kernkraftwerke		Studie der Gesellschaft für Reaktorsicherheit im Auftrage des Bundesministeri- ums für Forschung und Technologie, Bonn 1979, Verlag TÜV Rheinland GmbH, Köln

ANHANG K

Begründungen zu fachlichen Aussagen

Zu Abschnitt 1 "Anwendungsbereich"

Statische oder quasistatische Lasten aus Bruchstücken sollen, gemäß dem Vorbericht, in KTA 2105 nicht behandelt werden. Somit ist das statische Anliegen einer Rohrleitung nicht Gegenstand der Regel.

Abgrenzung zu KTA 3205.1

KTA 2105 behandelt schlagende Rohrleitungen, die nicht oder nicht vollständig durch Rohrausschlagsicherungen abgefangen sind sowie die Rohrleitungsbewegungen bis zum Auftreffen auf die Ausschlagsicherung (Konstruktion und Werkstofflagen sind in KTA 3205.1 behandelt).

Zu Abschnitt 5.1.1 "Grundsätze", Absatz 2

Ein Einzelfehler ist auch an passiven Anlagenteilen in gewissen Sicherheitssystemen (siehe BMI-Interpretation vom 2.3.1984 zum Einzelfehlerkriterium) und unter gewissen Randbedingungen anzusetzen. Durch entsprechende QS-Maßnahmen kann die Versagensart eingeschränkt bzw. ausgeschlossen werden. Es ist Genehmigungspraxis, als Einzelfehlerannahme bei Systemen nur den Medienverlust zu unterstellen. Dies bedeutet, dass eine Untersuchung der Auswirkungen von Bruchstücken im Rahmen von Einzelfehlerpostulaten zusätzlich zum auslösenden Ereignis nicht erfolgt.

Zu Abschnitt 5.2.1.2.1 "Eigenversagen (Primärversagen), Absatz 1

Punkt f: Gehäuse von Pumpen, Verdichtern und Turbinen:

Hierzu wurde im Vorbericht bei Anhörung eines Vertreters einer Versicherungsgesellschaft über die Folgen aus Turbinen- und Rohrleitungsschäden durch Innendruck berichtet. In diesem Zusammenhang ist kein Fall bekannt, bei dem schwere Turbinenteile weggefliegen sind.

Allgemein wurde festgestellt, dass mit einem Austritt von Bruchstücken hoher Restenergie nur aus den Niederdruckteilen und aus den Stirnflächen der Generatoren zu rechnen ist.

Siehe auch:

Großschäden an Dampfturbosätzen, Allianz Technische Information des Podiumsgesprächs anlässlich des 9. Allianz-Forums "Technik und Versicherung" am 18. und 19. Mai 1976 in München.

Punkt g: Druckgasflaschen

Das AG hat bei umfangreichen Recherchen festgestellt, dass bei den Druckgasflaschen, die den deutschen Normen genügen (Druckbehälterverordnung, TRG) ein plötzlicher Zerknall praktisch ausgeschlossen ist. Die in Deutschland sich im Umlauf befindlichen Gasflaschen werden gemäß der deutschen Druckbehälterverordnung für ortsbewegliche und ortsfeste Druckgasbehälter hergestellt. Der Einsatz von ausländischen Druckgasflaschen, die nicht der deutschen Druckbehälterverordnung entsprechen; ist in deutschen Kernkraftwerken nicht zulässig und somit auszuschließen.

Aus einem Umkippen einer Druckgasflasche kann kein Folgeversagen resultieren, sondern nur ein Abschlagen des Ventils.

Zu Abschnitt 5,22 "Bruchstücke aus chemischen Reaktionen"

Ein vom Arbeitsgremium KTA 2105 eingesetzter Arbeitskreis hat das genannte Thema mit Fachleuten von BASF, IA, RW-TÜV, ICT und HRB diskutiert und kam zu dem Erkenntnis, dass für Bruchstücke aus chemischen Reaktionen allgemeine qualitative Aussagen gemacht werden können, jedoch z. Z. kein Regeltext mit wesentlichen quantitativen Aussagen erstellt werden kann.

Die Extrapolierbarkeit von Gesetzmäßigkeiten, die an kleineren Komponenten ermittelt wurden, ist noch nicht sichergestellt. Eine Charakterisierung von möglichen Bruchstücken und ihres typischen Verhaltens ist noch offen.

Maßnahmen des Explosionsschutzes werden in KTA 2103 geregelt.

Zu Abschnitt 5.2.3.2.1 "Eigenversagen (Primärversagen)", Absatz 1

Punkt a - c: Aufgrund der Konstruktionsausführungen und Dimensionierung kann durch einen Läufer erzeugte Bruchstück das Gehäuse nicht durchdringen.

Punkt f: Der Wert 50 N/mm² wurde in Anlehnung an die Rahmenspezifikation Basissicherheit festgelegt.

Zu Abschnitt 5.2.3.2.2 "Folgeversagen (Sekundärversagen)", Absatz 2Sicherheitsabstand zur Berstdrehzahl rotierender Scheiben

Eine gelochte Scheibe mit den Radien r_i und r_a und konstanter Dicke erfährt infolge der Drehzahl die Spannungen:

$$\sigma_r = \frac{3+\nu}{8} \left(1 + \psi^2 - \frac{\psi^2}{\varphi^2} - \varphi^2 \right) \cdot \rho \cdot r_a^2 \cdot \omega^2 \quad (1) \quad (\text{radial})$$

$$\sigma_t = \frac{3+\nu}{8} \left(1 + \psi^2 - \frac{\psi^2}{\varphi^2} - \frac{1+3\nu}{3+\nu} \varphi^2 \right) \cdot \rho \cdot r_a^2 \cdot \omega^2 \quad (2) \quad (\text{tangential})$$

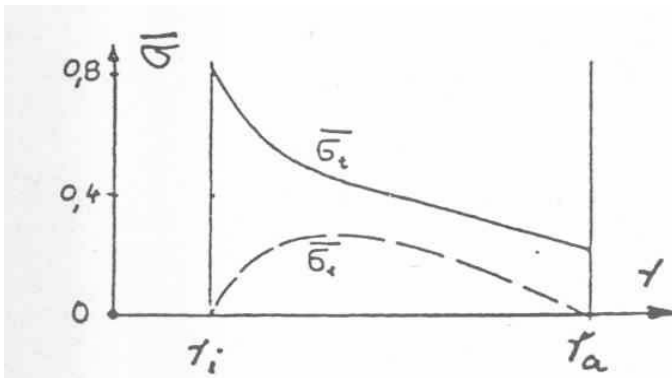
ν = Querkontraktionszahl

ρ = Dichte

ω = Drehzahl

mit $\varphi = \frac{r}{r_a}$ $\psi = \frac{r_i}{r_a}$

Für $r = r_i$ und $r = r_a$ wird die Radialspannung gleich Null. Die maximale Vergleichsspannung entsprechend dem MISES-Fließkriterium tritt am Innenrand, d. h. für $r = r_i$ bzw. $\omega = \psi$ auf.



$$\bar{\sigma}_r = \frac{\sigma_r}{\rho \omega^2 r_a^2}$$

$$\bar{\sigma}_t = \frac{\sigma_t}{\rho \omega^2 r_a^2}$$

Bild 1: Tangentiale und radiale Spannungsverteilung

Bei einer ganz bestimmten Winkelgeschwindigkeit ω_1 erreicht $\sigma_t(r_i)$ die Fließgrenze σ_F , während für $r > r_i$ die Spannungen unterhalb von σ_F liegen.

Steigert man ω weiter bis auf ω^* , so ist die Spannung im Bereich $r_i - r^*$ gleich der Fließgrenze, wobei ideal plastisches Werkstoffverhalten vorausgesetzt wird.

Die Scheibe beginnt demnach vom Innenrand her nach außen durchzuplastizieren.

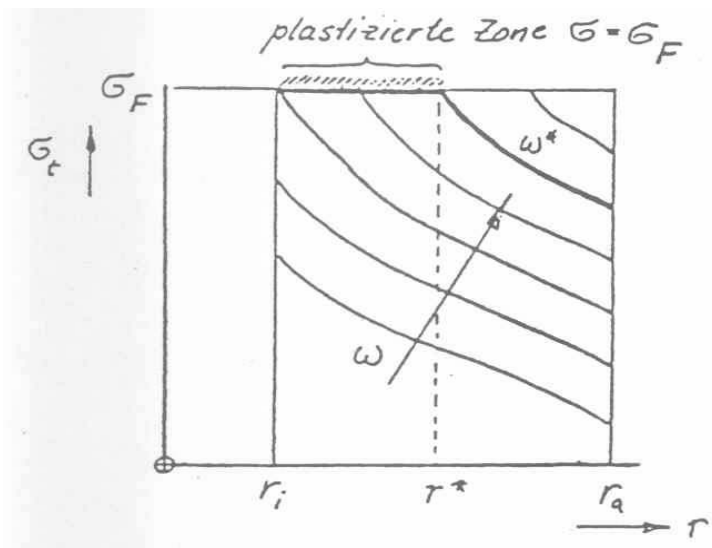


Bild 2: Kreisringscheibe im teilplastizierten Zustand

Im vollständig durchplastizierten Zustand kann am infinitesimalen Segment Kräftegleichgewicht formuliert werden.

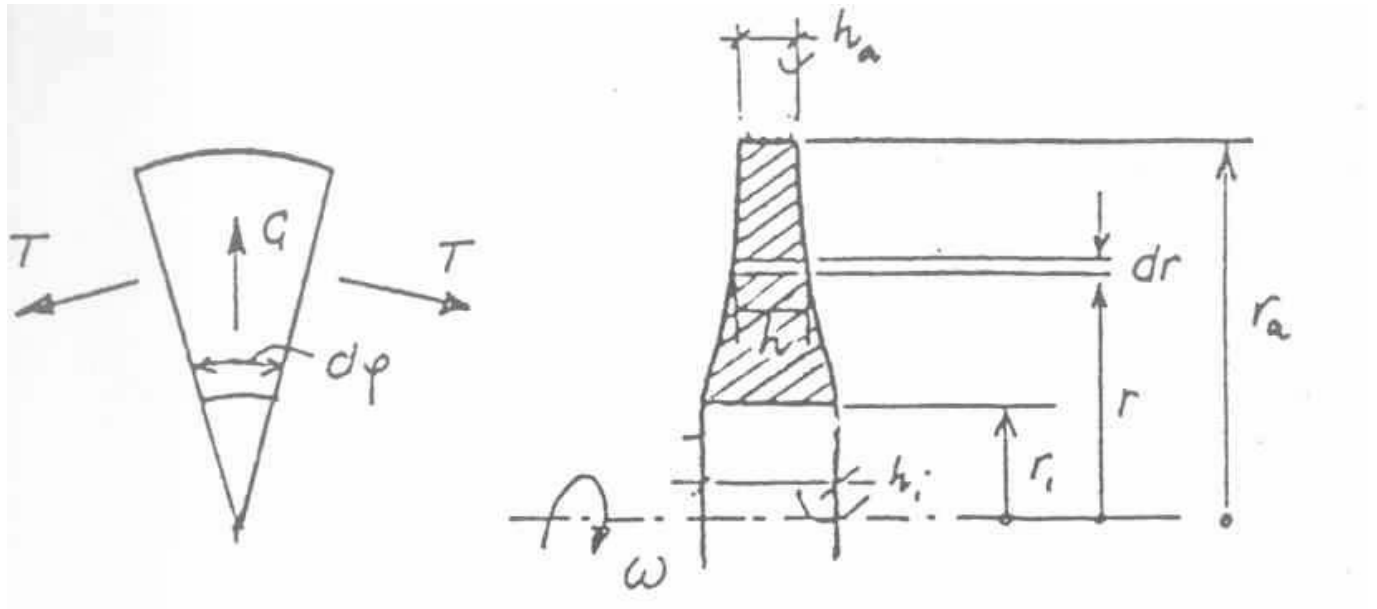


Bild 3: Kräfte am Scheibensegment

$$Z - T \, d = 0 \quad (3)$$

$$Z = \int_{r_i}^{r_a} \rho \cdot h \cdot dr \cdot r \cdot d\varphi \cdot r \cdot \omega^2 = \sigma \cdot d\varphi \cdot \omega^2 \int_{r_i}^{r_a} h \cdot r^2 dr \quad (4)$$

$$Z = \rho \cdot d\varphi \cdot \omega^2 \cdot j \quad \text{mit} \quad j = \int_{r_i}^{r_a} h \cdot r^2 \cdot dr = A \cdot i^2 \quad (4.1)$$

$$T = \int_{r_i}^{r_a} \sigma_t \cdot h \cdot dr = \sigma_F \int_{r_i}^{r_a} h \cdot r^2 \cdot dr = \sigma_F \cdot A \quad (5)$$

Gleichung (4.1) und (5) in (3) eingesetzt liefert:

$$\rho \cdot \omega^2 \cdot j - \sigma_F \cdot A = 0 \quad (6)$$

mit

$$J = A \cdot i^2 \quad i = \text{Trägheitsradius}$$

ergibt sich als Berstdrehzahl ω_2

$$\omega_2 = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\sigma_F}{\rho}} \quad (7)$$

Für den Sonderfall der gelochten Scheibe mit konstanter Dicke h erhält man nach (2) für $r = r_i$ bzw. $\rho = \psi$ die Tangentialspannung:

$$\sigma_t = \frac{1}{4} [3 + \nu + (1 - \nu)\psi^2] \cdot \rho \cdot r_a^2 \cdot \omega^2 \quad (8)$$

und bei Fließbeginn:

$$\omega_1^2 = \frac{4\sigma_F}{[3 + \nu(1 - \nu)\psi^2] \cdot \rho \cdot r_a^2} \quad (9)$$

Das Trägheitsmoment J bzw. der Trägheitsradius i betragen:

$$J = \frac{1}{12} h(r_a - r_i)^3 + h(r_a - r_i) \left(\frac{r_a + r_i}{2} \right)^2 \quad (10)$$

$$i^2 = J/A \quad \text{mit } A = h(r_a - r_i) \quad (11)$$

$$\left(\frac{i}{r_a} \right)^2 = \frac{1}{3} \left[1 + \frac{r_i}{r_a} + \left(\frac{r_i}{r_a} \right)^2 \right] \quad (12)$$

$$\left(\frac{r_a}{i} \right)^2 = \frac{3}{1 + \psi + \psi^2} \quad (12.1)$$

Für die Drehzahlsicherheit ω_2 / ω_1 ergibt sich in Abhängigkeit von Scheibengeometrie ψ :

$$\frac{\omega_2}{\omega_1} = \sqrt{\frac{3}{4} \cdot \frac{3 + \nu + (1 - \nu)\psi^2}{1 + \psi + \psi^2}} \quad (13)$$

Gleichung (13) ist im folgenden Bild - 4 dargestellt.

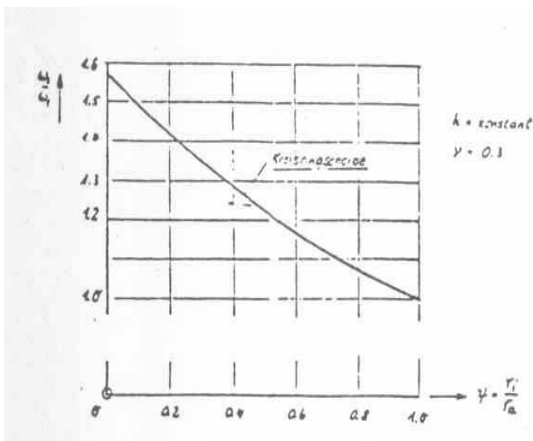


Bild 4: Drehzahlsicherheit ω_2 / ω_1 für die Kreisscheibe konstanter Dicke

Daraus ergeben sich folgende Konsequenzen:

1. Unter der Voraussetzung, dass im Normalbetrieb an der am höchsten beanspruchten Stelle (Innenrand) bereits Fließen eintritt, kann bei ideal plastischem Werkstoff die Drehzahl bis zu 60 % gesteigert werden, bevor Versagen eintritt. Diese Drehzahlsteigerung ist nur durch das Durchplastizieren des Querschnittes von innen nach außen möglich.
2. Bei allen Zuständen, d. h. elastisch oder vollplastisch ist die Vergleichsspannung proportional zu ω^2 (Gleichungen (1), (2), (7)).

Bei einer Spannungsreserve von $R_{mT} / 0,7 R_{mT}$ beträgt demnach die Drehzahlreserve $\sqrt{1/0,7} = 1,2$ mit $0,7 R_{mT}$ = zulässige Spannung für die Betriebsstufe D gemäß KTA 3201.2.

- 3 Die Gesamtsicherheit gegen Bersten, d. h. gegen Bruchstückbildung beträgt demnach in Abhängigkeit von verschiedenen Scheibengeometrien:

Scheibe mit kleiner Bohrung	$\psi = 0,2 : S = 14 \cdot 12 = 17$
Scheibe mit großer Bohrung	$\psi = 0,5 : S = 12 \cdot 12 = 14$
Scheibe mit extrem großer Bohrung	$\psi = 0,8 : S = 107 \cdot 12 = 13$

Zu Abschnitt 5.2.5 "Bruchstücke mit potentieller Energie", Absatz 2 c)

Der Standsicherheitsnachweis für Setzsteinwände und Abstützkonstruktionen ist von den rechnerischen Annahmen (insbesondere Lastannahmen) her so abgesichert, dass eine Gefährdung derselben und damit Eigenversagen ausgeschlossen werden kann. Dies ist Genehmigungspraxis.

Zu Abschnitt 5.2.6.2.2 "Folgeversagen (Sekundärversagen)", Absatz 5

Versuche, die bei der NRC durchgeführt wurden, belegen zur Zeit den Regeltext (Stand September 1984). Endgültige Ergebnisse werden beobachtet, da die Versuche noch nicht abgeschlossen sind.

Falls sich aus den derzeit laufenden Forschungsprogrammen der NRC noch Änderungen des Regeltextes ergeben sollten, so werden diese später eingearbeitet.

Zu Abschnitt 5.2.6.3.4 "Aufprall", Absatz 2

Zu dem unter E 2.2 "Vereinfachte dynamische Analyse" aufgeführten Verfahren können z. B. Angaben entnommen werden aus

W. Johnson, Impact Strength of Materials, Edward Arnold-Verlag 41 Madox Street, London W1R 0AN.

Zu Abschnitt 5.3.3 "Erdüberdeckte Anlagenteile"

Zur Berechnung des Eindringweges massiver Bruchstücke, die ohne wesentliche eigene Verformung in den Boden eindringen, können empirische Formeln (z. B. von Poncelet, Petry, Schardin /22/, Kar /23/, Young /24/, /25/) verwendet werden. Diese Formeln wurden aus Versuchen mit nichtdeformierbaren Geschossen aus dem militärischen Bereich für einen relativ engen Parameterbereich entwickelt und berücksichtigen Masse, Form und Auftreffgeschwindigkeit des Projektils sowie Erdbodeneigenschaften über einen Materialkennwert.

Das Problem der Berechnung des Eindringweges stark deformierbarer Bruchstücke in Erdreich ist bisher weder theoretisch noch durch entsprechende experimentelle Untersuchungen gelöst worden. Die Anwendung der Eindringformeln auch auf deformierbare Bruchstücke werden in der Regel sehr konservative Werte ergeben. Über Beanspruchungen von Konstruktionen, die mit Erde überdeckt sind, ist aus diesen Werten keine verlässliche Aussage möglich.

Zu Abschnitt A 2.4 "Berechnung der Peaking-Faktoren f_p , f_{pp} "

- Zu Absatz (5):
Für den unterkühlten Zustand von Wasser liegen bezüglich der Strahlaufweitung noch keine gesicherten Ergebnisse vor. Die Angaben hierzu sollten deswegen später nachgetragen werden.
- Zu Bild A 2-2:
Nähere Angaben über das Bild A 2-2 können dem KWU-Bericht R11 3650 entnommen werden.

Zu Abschnitt C 1 "Rundriss"

Der Gleichung (C 1-1) liegt folgende Literatur zugrunde:

M. Schramm, Analysis of Break Opening Times for Circumferential Break in Piping Systems, B 4/7, 6 SMIRT 1981.

Die Gleichung im Regeltext weicht insofern von der Literatur ab, als hier nur die Querschnittsfläche eines Rohrendes in Betracht kommt und deswegen die 2 im Nenner entfällt. Die Bruchöffnungszeiten wurden ebenfalls o. g. Literatur entnommen.

Zu Abschnitt D 4 "Stationäre Lösung"

Ableitung des stationären, reibungsfreien Strahlschubfaktors für ideales Gas:

Es wird für die Strahlhülle folgender Ansatz gemacht:

$$F_s = (p_k - p_\infty + p \cdot w_k^2) \cdot A = s \cdot p_0 \cdot A$$

daraus folgt:

$$S = \frac{p_k}{p_o} + \frac{p_k \cdot w_k^2}{p_o} - \frac{p_\infty}{p_o}$$

Die kritischen Größen p_k , ρ_k , w_k werden mit Hilfe folgender Beziehungen aus der Gasdynamik berechnet, siehe z. B. /1/.

$$\frac{p_k}{p_o} = \left(\frac{2}{\chi + 1} \right)^{\frac{\chi}{\chi - 1}}$$

$$\frac{p_k}{p_o} = \left(\frac{\rho_k}{\rho_o} \right)^{\frac{1}{\chi}} = \left(\frac{2}{\chi + 1} \right)^{\frac{1}{\chi - 1}}$$

$$w_k = \sqrt{2 \frac{\chi}{\chi + 1} \cdot p_o \cdot v_o}; p_o \cdot v_o = \frac{c_o^2}{\chi}$$

$$\frac{w_k}{c_o} = \sqrt{\frac{2}{\chi + 1}}$$

Durch Einsetzen der Größen p_k , ρ_k , w_k aus o. g. Beziehungen in Gleichung (1) erhält man nach einigen Umformungen

$$S = \left(\frac{2}{\chi + 1} \right)^{\frac{\chi}{\chi - 1}} + \left(\frac{2}{\chi + 1} \right)^{\frac{1}{\chi - 1}} \cdot \left(\frac{2 \cdot \chi}{\chi + 1} \right) - \frac{p_\infty}{p_o}$$

Die Formelzeichen haben folgende Bedeutung:

A	=	Rohrquerschnitt
F _s	=	Strahlkraft
p _o	=	Anfangsdruck
p _k	=	kritischer Druck
p _∞	=	Umgebungsdruck
S	=	Strahlschubfaktor
v _o	=	spez. Volumen bei Po
w _k	=	kritische Geschwindigkeit
ρ _o	=	Dichte bei Po
ρ _k	=	kritische Dichte
χ	=	Isentropenexponent

Die Gleichung (2) ist in Bild D 4-1 im Regeltext ausgewertet.

Literatur:

/1/ E. Schmidt, Thermodynamik, 10, Auflage, Springer-Verlag, Berlin - Göttingen - Heidelberg, 1963

Zu Abschnitt E 1.1 "Lokales Verformungsverhalten", Absatz 1

Näherungsweise Berechnung der Querfalkennlinien von Rohren

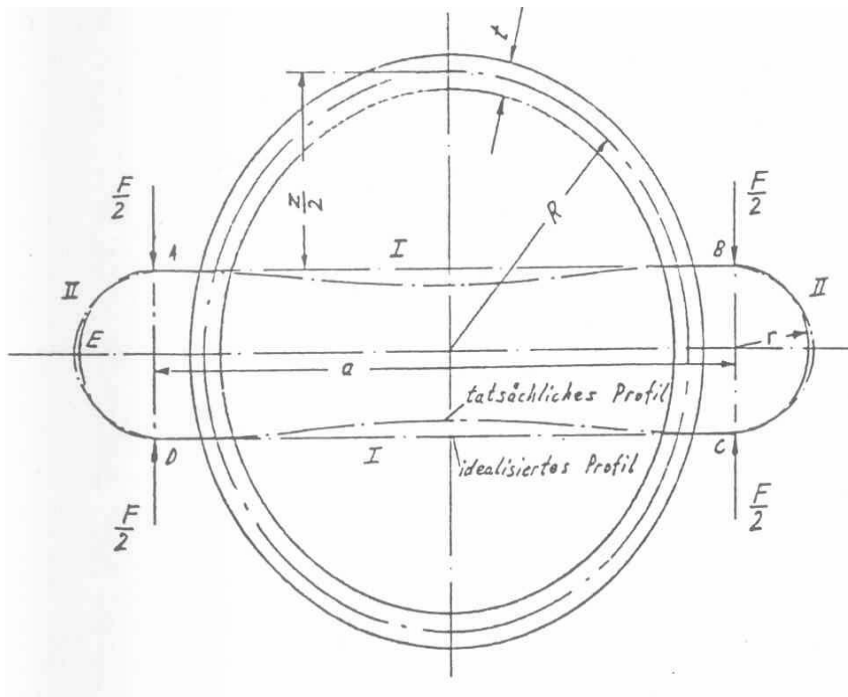


Bild 5: Querschnittskennlinien von Rohren

Erläuterungen der Formelzeichen:

Formelzeichen im Regeltext	$\hat{=}$	Formelzeichen im Dok.-U.
s		t
P(z)		F
d _m		D
b		1
z		z/2

Rohrlänge:

L

Werkstoffgesetz:

$$\sigma = \sigma_0 \cdot \varepsilon^n$$

Ersatz-"E"-Modul

$$E_r = \frac{3 \cdot \sigma_0}{2+n} \cdot \varepsilon^{n-1}$$

im gesamten Dehnungsbereich:

Verformungsbereich I:

$\overline{AB}$ und $\overline{CD}$

Verformungsbereich II:

$\overline{BC}$ und $\overline{DA}$

$$D = 2R = z + 2r$$

$$r = R - \frac{z}{2}$$

Verformungsbereich I:

$$M_I = \frac{E_r \cdot I}{R} = \frac{3\sigma_0 \cdot 1 \cdot t^3}{(2+n)12 \cdot R} \varepsilon_1^{n-1}$$

$$\varepsilon_1 = \frac{t}{2R}$$

Verformungsbereich II:

$$M_{II} = E_R \cdot I \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{R} \right) = \frac{3\sigma_0 \cdot 1 \cdot t^3 \cdot \epsilon_{II}^{n-1}}{(2+n)12} \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{R} \right)$$

$$\epsilon_{II} = \frac{\frac{R}{r} \left(r \pm \frac{t}{2} \right) - \left(R \pm \frac{t}{2} \right)}{R \pm \frac{t}{2}} = \frac{\pm \frac{t}{2} \left(\frac{R}{r} - 1 \right)}{r \pm \frac{t}{2}}$$

$$|\epsilon_{II}| = \frac{t(R-r)}{2rR}$$

$$M_{II} \frac{\sigma_0 \cdot 1 \cdot t^3}{4(2+n)R} \left(\frac{R-r}{rR} \right) \left(\frac{t(R-r)}{2rR} \right)^{n-1} = \frac{\sigma_0 \cdot 1 \cdot t^{2+n}}{4(2+n)2^{n-1}} \left(\frac{R-r}{rR} \right)^n$$

Σ am Bogen F.A:

$$\frac{F}{2}r = M_I + M_{II}$$

$$F = \frac{2}{r} (M_I + M_{II}) = \frac{4}{D-z} (M_I + M_{II})$$

$$F = \frac{2\sigma_0 \cdot 1 \cdot t^{2+n}}{(2+n)(D-z)} \left(\frac{1}{D^n} + \left(\frac{z}{D(D-z)} \right)^n \right)$$

$$F = \frac{2\sigma_0 \cdot 1 \cdot t^{2+n}}{(2+n)} \left(\frac{(D-z)^n + z^n}{D^n(D-z)^{n+1}} + \right)$$

Die Formel (E1-1) liefert immer zu große Werte, was im wesentlichen daran liegt, dass das Biegemoment im Bereich II der Ableitung nicht konstant ist. Daraus resultiert eine Biegelinie, die eher ellipsenförmig aussieht und größere Hebelarme, d. h. eine kleinere Last F zur Folge hat.

.Dieser Effekt wird anhand von Versuchen belegt:

- Anlage 1: Verformungsbilder eines abgeplatteten Rohres im Versuch
- Anlage 2: Zugehörige FE-Berechnung und -auswertung der Hebelarme L_B
- Anlagen 3 und 4: Kraft-Verformungskurve für 3 verschiedene Rohre
- Anlage 5: Zugehörige Werkstoffkennwerte

Zusammenfassend kann die Genauigkeit von Gleichung (E1-1) als ausreichend angesehen werden Ihre Anwendung führt zu konservativen Ergebnissen in dem Sinne, dass die damit errechneten Kräfte zu groß sind

Zu Abschnitt E 1.4 "Rohrleitungserhalten bei Biegung"

Zu Gleichung (E 1-2): Diese Gleichung ergibt sich, wenn man in Gleichung 22 aus der. Literaturstelle T.L. Gerber: Plastic Deformation of Piping Due to Pipe-Whip Loading (ASME-Paper 74-NE-1) die Gleichungen 18, 16 und 12 einsetzt.

Zu Abschnitt E 2.2 "Vereinfachte dynamische Analyse"

Herleitung der Lage von Fließgelenken X_Q und X_L in einem Rohr großer Länge:

Die dynamische Belastung eines Rohres führt dazu, dass bei ausreichend hoher Last sich Fließgelenke unabhängig von den statischen Lagerbedingungen ausbilden.

Die Lage dieser Fließgelenke kann für eine Abschätzung der Rückstellkraft der Rohrleitung verwendet werden Sie unterscheidet sich grundsätzlich bei Unterstellung von Längs- bzw. Querbrüchen.

1. Querbrüche

/1/ C. Burducea und G. Habedank, Ausschlagsicherungen für Rohrleitungen in Kernkraftwerken, 17. Jahrgang, Heft 12, Dezember 1978

Unter Vernachlässigung der Krümmermasse stellt sich nach Gleichung (14) in /1/ das Gelenk im Abstand

$$L_Q = 3 \frac{M_p}{F}$$

ein.

Wird der Krümmer bzw. die anschließende Rohrleitung mit berücksichtigt, wird nach /1/ L_Q größer und damit die Rückstellkraft kleiner. Dieser nichtkonservative Effekt kann in einer vereinfachten Analyse jedoch vernachlässigt werden, da L_Q die stationäre Lage des Fließgelenkes darstellt und das Wandern des Gelenkes von Null bis L_Q nicht berücksichtigt wird.

2. Längsbrüche

Der Mechanismus der Fließgelenkbildung ist so, dass ein erstes Gelenk unter der Last entsteht. Zwei weitere Gelenke entstehen zeitlich versetzt links und rechts von der Lasteinleitstelle in einer stationären Lage. Diese ist insofern wichtig, als sie eine gute Abschätzung für die Rückstellkraft der Rohrleitung erlaubt.

W. Johnson /2/ untersuchte bereits für eine ähnliche Problemstellung, bei der der unendlich lange Balken durch eine mit der Geschwindigkeit v auftreffende Masse belastet wird, den Vorgang der Fließgelenkbildung.

Im folgenden werden die Bewegungsgleichungen für den Fall der Belastung durch eine äußere Kraft abgeleitet. Dazu sind einige Annahmen bzw. Vereinfachungen erforderlich, die für die weiteren Herleitungen gelten sollen.

- I. Die auf den Balken wirkende Kraft F ist über die Zeit konstant.
- II. Der Werkstoff hat ein ideal plastisches Verhalten.
- III. Es treten nur kleine Verformungen auf.
- IV. Die Massenbelegung des Balkens ist konstant.

Bild 6 stellt eine Rohrleitung dar, die durch die äußere Kraft F belastet wird und in der sich im Abstand x von der Lasteinleitstelle Fließgelenke eingestellt haben.

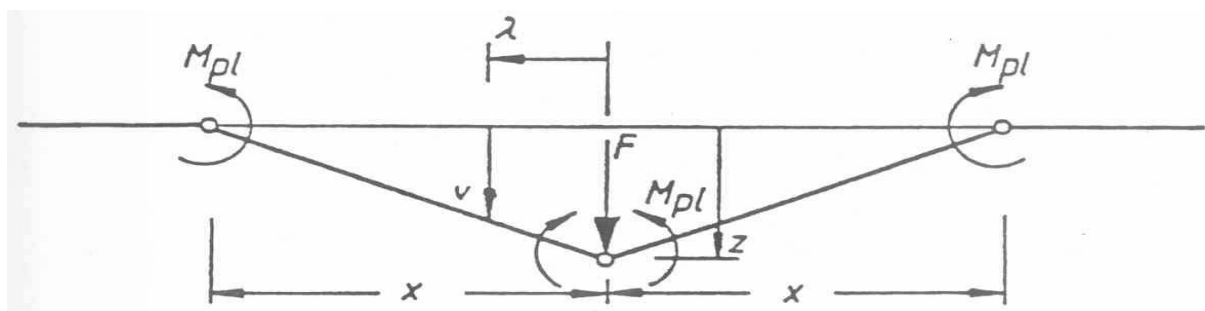


Bild 6: Ausbildung von Fließgelenken am unendlich langen Balken

/2/ W. Johnson, Impact Strength of Materials, Edward Arnold 41 Madox Street London WIR OAN

Mit den getroffenen Annahmen beträgt die Geschwindigkeit v im Abstand λ von der Lasteinleitstelle:

$$v = z \left(1 - \frac{\lambda}{x} \right) \quad (4.4)$$

Abgeleitet nach der Zeit ergibt sich für die Beschleunigung

$$\frac{dv}{dt} = \ddot{z} \left(1 - \frac{\lambda}{x} \right) + z \left(\frac{\lambda \cdot \dot{x}}{x^2} \right) \quad (4.5)$$

Die Forderung nach Kräftegleichgewicht an einem Balkenstück zwischen zwei Fließgelenken führt zu Gleichung (4.6).

$$\int_0^x \mu(\lambda) \frac{dv}{dt} d\lambda = \frac{1}{2} F \quad (4.6)$$

Darin ist $\mu(\lambda)$ die Massenbelegung des Balkens, die im allgemeinen Fall eine Funktion von λ sein kann. Im Hinblick auf ein ungestörtes Rohr kann aber unterstellt werden, dass λ konstant ist.

$$\mu \int_0^x \left(\ddot{z} \left(1 - \frac{\lambda}{x} \right) + z \left(\frac{\lambda \cdot \dot{x}}{x^2} \right) \right) d\lambda = \frac{1}{2} F \quad (4.7)$$

Gleichung (4.7) integriert liefert nach wenigen Umformungen

$$\mu x^2 \cdot \ddot{z} + x \dot{x} \dot{z} = F \cdot x \quad (4.8)$$

Neben dem Kräftegleichgewicht wird zusätzlich gefordert, dass ebenso die Momente im Gleichgewicht stehen.

$$\mu \int_0^x \frac{dv}{dt} \lambda d\lambda = 2M_p \quad (4.9)$$

$$\mu \int_0^x \lambda \ddot{z} d\lambda - \frac{\lambda}{x} + \dot{z} \frac{\lambda \cdot x}{x^2} d\lambda = 2M_p \quad (4.10)$$

Gleichung (4.10) wird ebenfalls integriert und zweckentsprechend umgeformt.

$$\mu \epsilon x^2 \ddot{z} + 2x \dot{z} \dot{\phi} = 12M_p \quad (4.11)$$

Aus Gleichung (4.11) wird die Beschleunigung $\ddot{z}$ substituiert und in Gleichung (4.8) eingesetzt. Fordert man zusätzlich, dass die Geschwindigkeit $\dot{x}$, mit der sich das Fließgelenk bewegt, zu Null wird, ergibt sich die stationäre Lage für x .

$$\ddot{z} = \frac{12M_p - 2x \dot{z} \dot{\phi}}{\mu x^2} \quad (4.12)$$

$$x_{\dot{x}=0} = \frac{12M_p}{F} \quad (4.13)$$

Die Bestimmung der Rückstellfunktion $P_{T,R}$ liegt auf der sicheren Seite, wenn sofort die stationäre Lage der Fließgelenke angenommen wird. Dann ergibt sich für $P_{T,R}$:

$$P_{T,R} = \frac{4M_p}{x_{\dot{x}=0}} = \frac{1}{3} F$$

Das heißt, die Rückstellkraft $P_{T,R}$ beträgt 1/3 der auf den Balken wirkenden äußeren Kraft F .

Zu Abschnitt F 1 "Betonzielkörper"

Aus den Formeln zur Berechnung der Eindringtiefe p wurden die Größen

a = Korngrößenradius

$\beta = (E_m/E)^{0,2}$

herausgenommen.

Da es sich bei den Projektilen in Kernkraftwerken ausschließlich um Stahlprojekte handelt ist $\beta = 1$.

Die Korngröße ist im Rahmen der Genauigkeit vernachlässigbar.

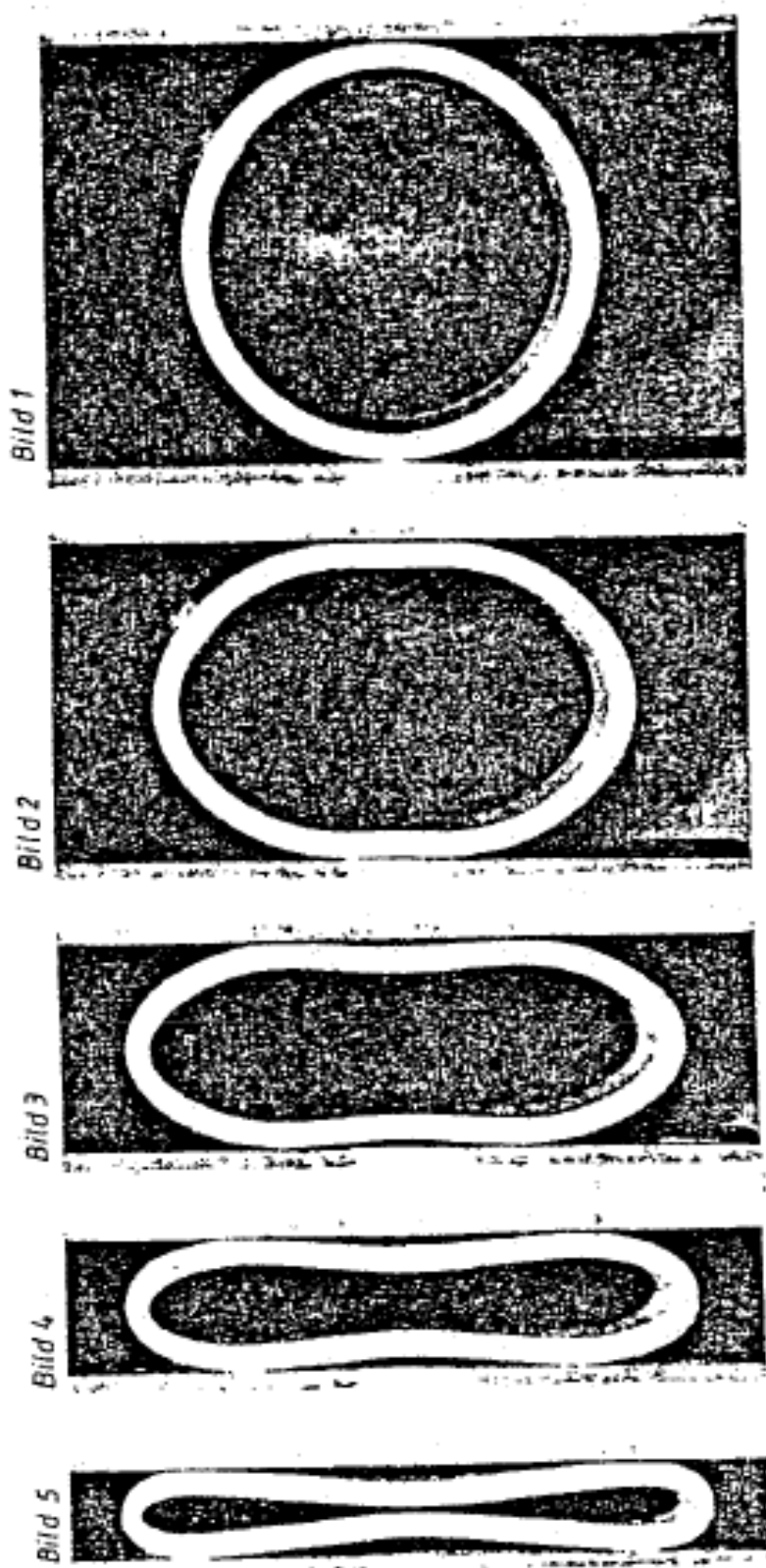
Zu Abschnitt F 2 "Stahlzielkörper"

Die BRL-Formel wird international angewendet und liefert wegen ihrer militärischen Herkunft nach Meinung des Arbeitsgremiums konservative Ergebnisse für reale Bruchstücke.

Zur Abschätzung der Grenzplattenstärke von Stahlzielen stehen lediglich empirische Formeln zur Verfügung, die aus Beschussversuchen mit schwer verformbaren (massiven) zylindrischen Projektilen kleiner Durchmesser und großer Länge auf sehr dünne Stahltargets im hohen Geschwindigkeitsbereich für den militärischen Bereich entwickelt wurden. Ihre Gültigkeitsgrenzen sind nicht explizit angegeben.

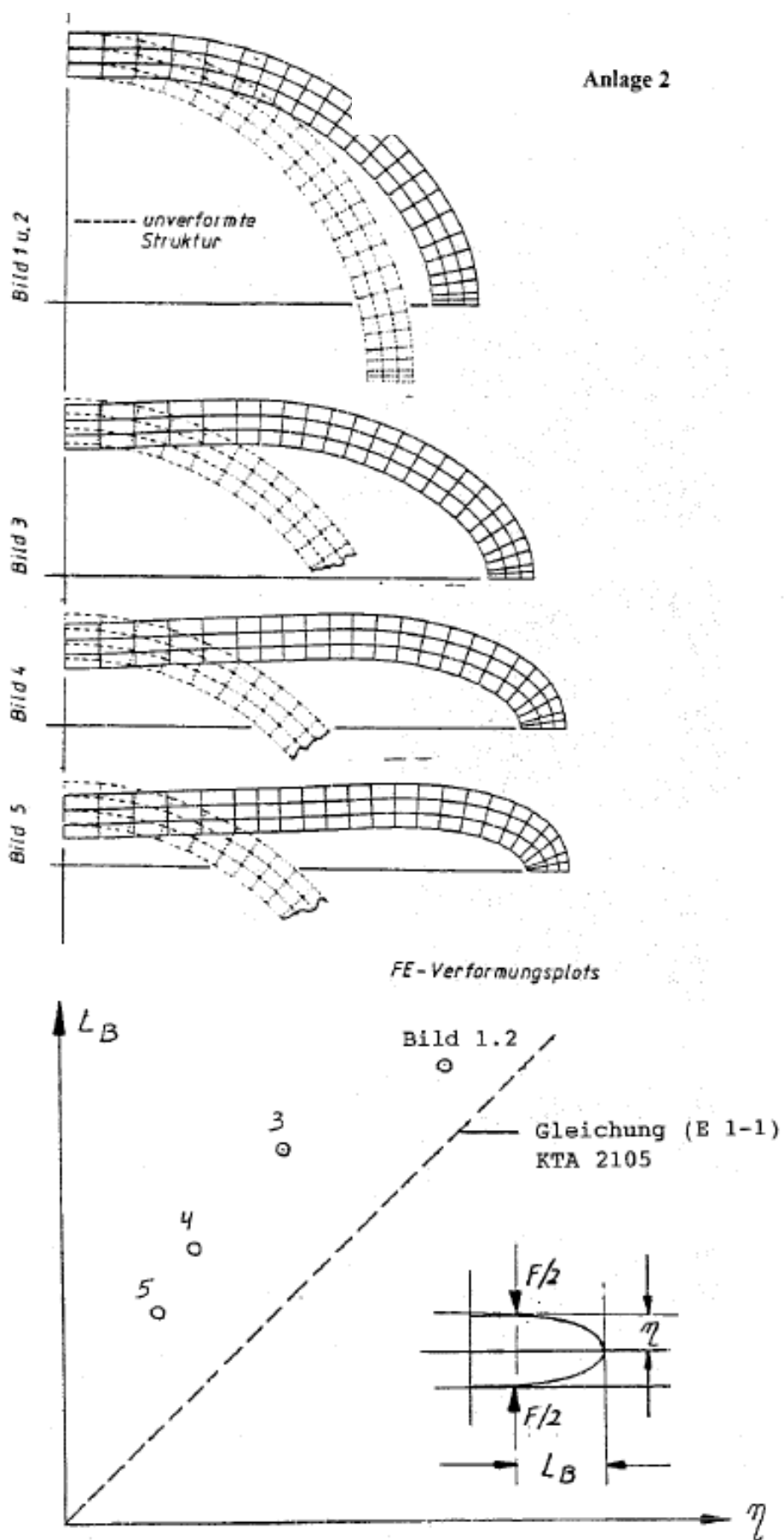
Eine Überprüfung der Formeln anhand von Experimenten mit massiven Stahlzylindern (Werkstoff: C 110 W 1) mit einem Längen/Durchmesser-Verhältnis von $L/D = 1$ bei Projektildurchmessern von 1,5 - 4,0 cm und Massen von 20 - 390 g auf Targets aus Stahl St 52, St 37 und Reaktorbaustahl 22 NiMoCr 37 bei Auftreffgeschwindigkeiten von 350 - 950 m/s ergab die beste Übereinstimmung mit Berechnungen nach der BRL-Formel (Ballistic Research Laboratories), nach der konservative Grenzplattenstärken in diesem Parameterbereich berechnet wurden.

Anlage 1



Verformungsbilder
 $d_0 \times s \times L: 170 \times 11 \times 100 \text{ mm}$
Werkstoff: 15Mo3

Anlage 2



Anlage 3

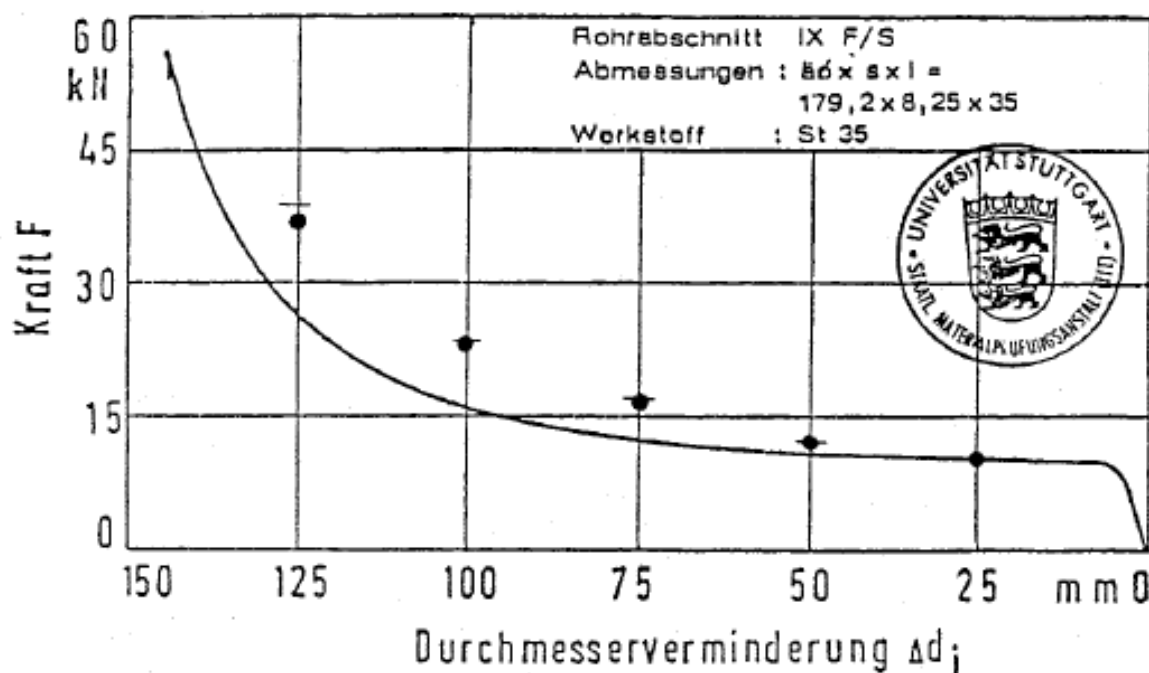


Bild 27: Kraft-Durchmessererminderungs-Diagramm (Maschinendiagramm) für Rohrabschnitte IX E und IX F/S

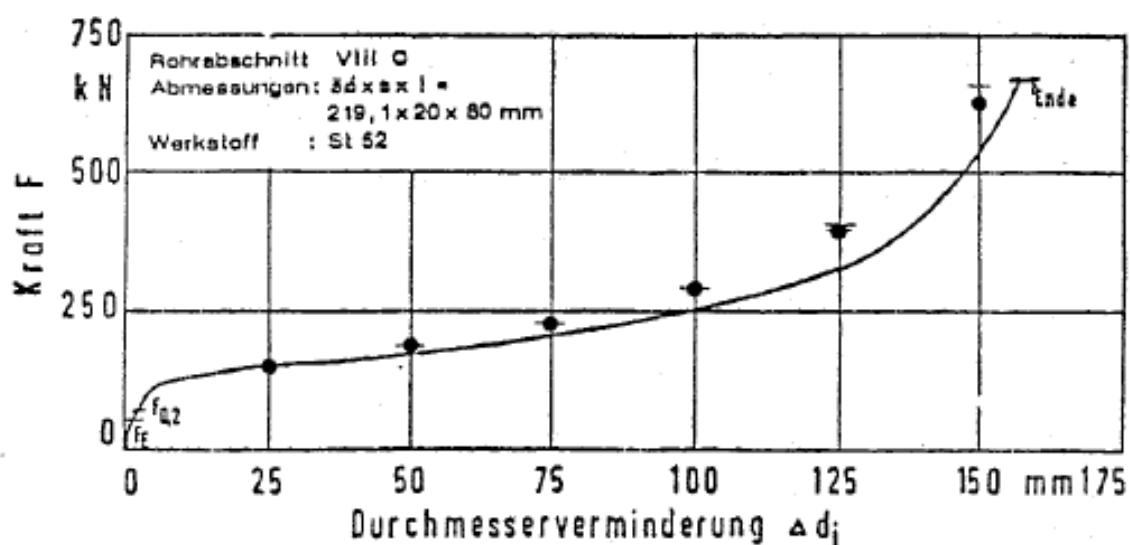


Bild 22: Kraft-Durchmessererminderungs-Diagramm (Maschinendiagramm) für Rohrabschnitt VIII A, VIII B und VIII C



Anlage 4

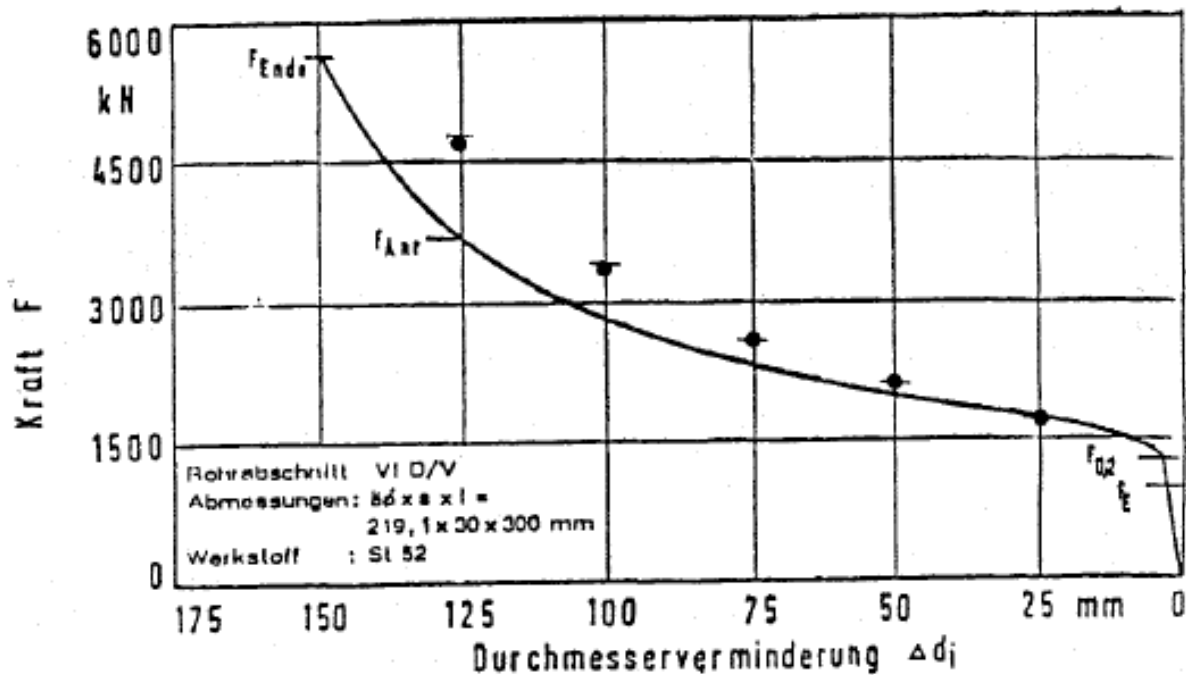


Bild 20: Kraft-Durchmesser-Vermindeungs-Diagramm (Maschinendiagramm) für Rohrabschnitt VI C/V und VI D/V



$$F = \frac{2}{2+n} \sigma_0 l s^{n+2} \frac{(D-z)^n + z^n}{D^n (D-z)^{n+1}} + F = \frac{2}{2+n} \sigma_0 l s^{n+2} \frac{D^n + z^n}{D^n (D-z)^{n+1}} \quad (\text{GE-Formel})$$

Bild	n [/]	σ_0 [N/mm ²]
20	0,046	611
22	0,081	573
27	0,109	492

$$n = \log\left(\frac{\sigma_0}{\sigma_{0,2}}\right) / \log\left(\frac{\epsilon_0 E}{\sigma_{0,2}}\right)$$

$$\sigma_0 = \sigma_0 \epsilon_0^{-n}$$

$$E = 210000 \text{ N/mm}^2$$

Anlage 5

Tafel 7: Werkstoffkennwerte der Rohre V und VI aus Werkstoff St 52
bei Einlieferung und nach Wärmebehandlung
(Probenentnahme in Umfangsrichtung)

Rohrbezeichnung und Werkstoffzustand	Werkstoffkennwerte ¹⁾ bei 20 °C				
	$\sigma_{0,2}$ N/mm ²	σ_B N/mm ²	δ_5 %	γ %	$a_{k-ISO-V}$ J/cm ²
VI vergütet ³⁾	460	574	26	60	82,5 76

³⁾ Vergüten: 880 °C, 1/2 h/Wasser; 700 °C, 1 h/Luft



Tafel 8: Werkstoffkennwerte der Rohre VII und VIII aus
Werkstoff St 52 bei Einlieferung
(Probenentnahme in Umfangsrichtung)

Rohr	Werkstoffkennwerte ¹⁾ bei 20 °C				
	$\sigma_{0,2}$ N/mm ²	σ_B N/mm ²	δ_5 %	ψ %	$a_{k-ISO-V}$ J/cm ²
VIII	340	517	28	29	-

¹⁾ bei Zugversuchen
Probenform B10 x 50 DIN 50 125

Tafel 9: Werkstoffkennwerte der MPA-Rohre IX aus
Werkstoff St 35
(Probenentnahme in Längsrichtung
Mittelwerte aus 10 Versuchen)

Rohr	Werkstoffkennwerte ¹⁾ bei 20 °C		
	σ_B N/mm ²	σ_B N/mm ²	δ_5 %
IX	235	428	28

¹⁾ Flachzugproben E5 x 10 x 50 DIN 50 125

Anlage zum Sachstandsbericht KTA-GS-64

**Zusammenstellung der im Fraktionsumlauf eingereichten Stellungnahmen zu
KTA 2105 "Schutz von KKW gegen anlageninterne Bruchstücke (Fassung Juni 1988)**

Firma/Behörde	eingegangen am:
1. Vereinigung der Technischen Überwachungs-Vereine e.V. (VdTÜV)	07.11.1988
2. INTERATOM GmbH	10.11.1988
3. Vereinigung der Großkraftwerksbetreiber e.V. (VGB)	07.12.1988
4. Siemens AG, UB KWU	12.12.1988
5. RSK	10.04.1989

SIEMENS

Blatt 2 zum Brief vom 07.12.1988

an Geschäftsstelle des KTA
KölnUnsere Zeichen
U7 223/Hb-Deh

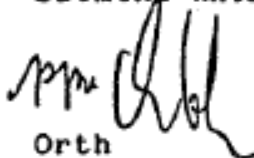
- Da ein nicht wesentlicher Teil des Regelvorhabens Aspekte betrifft, für die es bisher weder RSK-Empfehlungen noch Leitlinien gibt und man sich somit im Vorfeld sicherheitstechnischer Festlegungen befindet, stellt sich zudem die Frage, ob dieses Gebiet im Sinne des § 2 der Bekanntmachung über die Bildung des Kerntechnischen Ausschusses z.Z. überhaupt einer KTA-Regelung zugänglich ist.

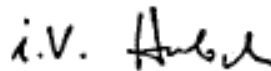
Auch wäre zu prüfen, ob derartige Festlegungen im Regelwerk überhaupt notwendig sind. Zumindest für Leichtwasserreaktoren heutiger Ausführung wird von uns ein praktischer Bedarf für dieses Regelvorhaben nicht gesehen, da hier aufgrund der getroffenen Vorsorgemaßnahmen und Planungsgrundsätze (Basissicherheit, bauliche Maßnahmen und räumliche Trennung der Redundanten) Nachweise im Sinne dieser Regel nicht erforderlich sind. Dieser im Regelvorhaben in den Grundlagen und im Abschnitt 4 formulierte unstrittige Sachverhalt bedarf jedoch keiner eigenständigen KTA-Regel, da hierfür auf die RSK-Leitlinie und die Rahmenspezifikation Basissicherheit sowie auf die in den individuellen Genehmigungsverfahren getroffenen Festlegungen zurückgegriffen werden kann.

Aus diesem Sachverhalt, dem nicht absehbaren Konsens und dem zu erwartenden hohen weiteren Erarbeitungsaufwand ohne konkreten Bedarf begründet sich unsere Empfehlung, das Regelvorhaben einzustellen.

Ergänzend zu diesen mehr allgemeinen Darlegungen sind als Anlage einige Beispiele wiedergegeben, die diese Aussagen konkretisieren. Auf eine abdeckende Bearbeitung wurde aufgrund des unfertigen Zustandes des Regelvorhabens verzichtet. Sollte jedoch - entgegen unserer Auffassung - die Weiterbearbeitung des Regelvorhabens erforderlich werden, würden wir umgehend unsere Änderungswünsche nachreichen.

Mit freundlichen Grüßen
Siemens Aktiengesellschaft


Orth

i.V. 
Dr. Hubert

Anlage

z.K.:
Siemens ZTP TVN-E

ANLAGE

zum Schreiben U7 223/Hb-Deh vom 07.12.1988

KTA 12. DEZ. 1988	
Abi. Nr.	7.12.88
Abi. 2	43 223/Hb-Deh
Abi. Nr.	2105
Registr.	☐ Erg. Nr.

KTA 2105

Schutz von Kernkraftwerken gegen anlageninterne Bruchstücke

(Regelentwurfsvorlage, Juni 1988)

Beispiele für noch zu diskutierende Punkte

- Konzept der Regel

In der Dokumentationsunterlage wird in den Diagrammen 1 und 2 sowie in Bild 5 das Konzept dieser Regel dargestellt, leider kommt es im Regeltext kaum zum Ausdruck. Auch beeinträchtigt die starke und sich teilweise wiederholende Gliederung die Transparenz und die Verständlichkeit.

- 3. Grundsätze

Im Absatz 3(1) werden drei Schutzziele genannt, das dritte Schutzziel, "Verhinderung der unzulässigen Freisetzung von Radioaktivität", wird in der Regel jedoch nicht behandelt; eine Vervollständigung ist mit großem Aufwand verbunden.

- 4. Allgemeine Schutzmaßnahmen

Abschnitt 4 ist teilweise mißverständlich und müßte präzisiert werden; z.B.:

- . stärkere Einbeziehung des SWR und anderer Reaktorbauarten;
- . KTA 3903 legt Prüfungen für Hebezeuge nicht aber für Stützkonstruktionen oder für Lastanschlagpunkte fest.
- . Die in Absatz 4(5) geforderte Strangtrennung widerspricht der bisherigen Schutzphilosophie (Interpretationen zum Einzelfehlerkriterium und KTA 3301) und steht auch im Widerspruch zu Absatz (3) des Abschnitts "Grundlagen", wo die räumliche Trennung nur gefordert wird, wenn die Bruchstückentstehung nicht durch qualitätssichernde Maßnahmen verhindert wird.

...

- 5.2.1.2.1 Bruchstücke aus drucktragenden Teilen
- Eigenversagen

In Absatz (1) werden Ausschlußkriterien formuliert, die punktuell im Widerspruch zu den RSK-Leitlinien stehen. Außerdem werden diese Kriterien ohne erkennbare Einschränkungen auf nicht-basisichere Komponenten übertragen.

Ein Konsens zu diesen Bruchausschlußkriterien ist nicht erkennbar.

- 5.2.1.3.2 Bruchstücke aus drucktragenden Teilen
- Rißbildung

Hier wäre zu prüfen, ob Aussagen zu Pumpen, Armaturen und Rohrleitungen zu ergänzen sind.

- 5.2.3.2.1 Bruchstücke aus Maschinenteilen mit kinetischer Energie, - Eigenversagen

Hier treffen die gleichen Aussagen wie zu 5.2.1.2.1 zu.

- 5.2.6.1 Schlagende Rohrleitungen, - Bruchstückquellen

Es wäre zu prüfen, ob Aussagen für nichthochenergetische Rohrleitungen zu ergänzen sind.

- 5.2.6.2.1 Schlagende Rohrleitungen, - Eigenversagen

Vgl. hierzu die Ausführungen zu 5.2.1.2.1 und 5.2.3.2.1. U.a. werden hier Kriterien der RSK-Leitlinien über die dort festgelegten Durchmessergrößen hinaus angewendet.

Zu diskutieren wäre, ob der Leck-vor-Bruch-Nachweis als alleiniges Ausschlußkriterium ausreicht oder ob nicht ein Bezug zur Qualität der Komponente hergestellt werden muß. Auch bleibt offen, wie der Leck-vor-Bruch-Nachweis zu führen ist.

...

Absatz (2) spricht von "zusätzlichen, absichernden Maßnahmen zum Bruchausschluß". Dieser Hinweis stellt eine Öffnung für mögliche andere Bruchkonzepte dar. Es fehlen dann aber Angaben, welche Kriterien, Maßnahmen oder Nachweise dafür erforderlich wären.

- Dokumentationsunterlage

Auf Seite D-11 wird zu Abschnitt 5.2.6.2.2 ausgeführt, daß der Regeltext auf den Zwischenergebnissen einer noch laufenden Versuchsserie der NRC beruht und daß die Endergebnisse möglicherweise eine Korrektur erforderlich machen. Diese, mittlerweile 4 Jahre zurückliegende, Aussage müßte bewertet und aktualisiert werden.

VGB

TECHNISCHE VEREINIGUNG DER GROSSKRAFTWERKS BETREIBER E.V.

VGB-Geschäftsstelle Postfach 103932

An die
KTA-Geschäftsstelle
bei der GRS
Postfach 10 16 50
5000 Köln 1

Eintrag: 7. 12. 88	zur Kenntnis
gesehen:	
z. Bearb.: [Signature]	
erschügt:	
Anzahl:	
Einheit:	
Abl. Nr. (ad)	V105

Ihre Zeichen:

Ihre Nachricht vom:

Unsere Zeichen: Dr. Ke/Ge/Beh

Bearbeiter: Dr. Kelber

Durchwahl: (0201) 8128-254

Datum: 01.12.88

Wir haben gleiche Arbeitszeit

in der Kernzeit

von 9.00 Uhr — 12.00 Uhr

und 13.00 Uhr — 15.30 Uhr

sind unsere Mitarbeiter zu erreichen.

Regelentwurfsvorlage KTA 2105 "Schutz von Kernkraftwerken gegen anlageninterne Bruchstücke (einschließlich schlagende Rohrleitungen und abstürzende Lasten)"

Sehr geehrte Damen und Herren,

zu der Regelentwurfsvorlage KTA 2105 nehmen die Betreiber wie folgt Stellung:

1. Die Formulierung im Abschnitt 5.1.1 "Grundsätze" (2) ist mißverständlich. Die im Dokumentationsteil auf Seite D-6 gewählte Formulierung bringt den Sachverhalt besser zum Ausdruck. Es wird vorgeschlagen, (2) durch Anfügen des folgenden Satzes zu ergänzen: "Eine Untersuchung der Auswirkungen von Bruchstücken im Rahmen von Einzelfehlerpostulaten zusätzlich zum auslösenden Ereignis erfolgt nicht."
 2. Im Abschnitt 5.1.2 "Vorgehensweise" (2) muß es richtig heißen: "... die im Abschnitt 3 (1) unter a) und b) genannten Schutzziele ..."
- Das dort unter c) genannte Schutzziel wird in der Regel ausdrücklich nicht behandelt.

VGB-Geschäftsstelle
Klinkestraße 27-31
Postfach 103932
D-4300 Essen 1

Telekopierer
(0201) 8128-286
Drahtwort
Grosskraftwerke Essen

Fernruf
(0201) 81281
Fernschreiber
857 507 vgb d

Konten
Post giro Essen Nr. 53320-438 BLZ 360 100 43
Sparkasse Essen Nr. 216 101 BLZ 360 501 05
Dresdner Bank Nr. 4 061 044 BLZ 360 800 80

Blatt 2 zum Schreiben vom 01.12.1988 der
VGB TECHNISCHE VEREINIGUNG DER GROSSKRAFTWERKS BETREIBER E.V. ESSEN

3. Um die Regel in einem wichtigen Teilbereich (Abschnitt 5.1.4) anwendbar zu machen, sind detaillierte und umfassende Angaben zu Eintrittshäufigkeiten für das Eigenversagen von Komponenten und Systemen notwendig. Die in dem Textentwurf aufgeführten Werte sind nicht vollständig und berücksichtigen auch nicht (wie aus dem Hinweis hervorgeht), den höheren Qualitätsstandard von Komponenten der Kerntechnik. Werte für Rohrleitungen und für Einwirkungen von außen sollten zur Eindeutigkeit und Klarstellung in diesen Abschnitt der Regel ebenfalls aufgenommen werden.
4. Im Abschnitt 5.2.1.2.2 "Folgeversagen (Sekundärversagen)", (1) b) sind als Beispiele in der Klammer Flugzeugabsturz und Druckwellen aus chemischen Reaktionen aufgeführt. Beide Beispiele sind dem Restrisikobereich zuzuordnen, so daß sie gestrichen werden müssen.
5. Im Abschnitt 5.2.1.3.3.2 "Ballistisches Bruchstück" sollte es in (7) und (8) jeweils Beschleunigungsweg heißen.

Wir dürfen Sie bitten, diese Vorschläge bei der weiteren Bearbeitung des Regeltextes zu berücksichtigen.

Mit freundlichen Grüßen

VGB TECHNISCHE VEREINIGUNG
DER GROSSKRAFTWERKS BETREIBER E.V.

Jacobs

White

ke

INTERATOM

KTA-Geschäftsstelle
bei der Gesellschaft
für Reaktorsicherheit
Postfach 10 16 50

5000 Köln 1

T017, Dr. Schulte
(0 22 04) 84-23 12
tvs145233
09.11.88

KTA 2105 Regelentwurfsvorlage Juni 1988

Sehr geehrte Damen und Herren,

zu der Regelentwurfsvorlage Juni 1988

Schutz von Kernkraftwerken gegen anlageninterne
Bruchstücke

möchten wir Ihnen unsere Stellungnahme übermitteln.

Wir bitten um Berücksichtigung und grüßen Sie freundlich.

Mit freundlichen Grüßen
Interatom GmbH
T01 Qualitätssicherung

Dr. Paetz

Dr. Schulte

Anlage

KTA		12
Eing. 19. 11. 88		zur Kenntnis
Gedr.		
z. B. 10.11.		Bork
abgekl.		il
Anlagen	Anlagen	1
Abi. Nr. (n)	2105	

Interatom GmbH
Postfach, Friedrich-Ebert-Strasse
D-5060 Bergisch Gladbach 1

Telefon (02204) 84-8
Telefax (02204) 84-3045
Tele. 8 678 457 - 8 678 492
Telex 22045001

Vorsitzender
des Aufsichtsrates
Wolfgang Keller

Geschäftsführung
Claus Bork (Vorsitzender)
Amandus Brandstetter
Wulf Bork
Rainer Conrady
Siegfried Kestrows

Sitz der Gesellschaft
Bergisch Gladbach
Registernummer
Bergisch Gladbach HRB 1047

INTERATOM

KTA 2105: Schutz von Kernkraftwerken gegen anlageninterne
Bruchstücke (Juni 1988)
Stellungnahme

Die Regelentwurfsvorlage hat noch gravierende Mängel, die eine gründliche Überarbeitung durch das Arbeitsgremium erforderlich machen. Es erscheint fraglich, ob dies bis zur 43. KTA-Sitzung möglich ist. Im Hinblick auf eine Weiterbearbeitung dieser Regel ist auch zu prüfen, ob Genehmigungsverfahren abzusehen sind, bei denen aus dieser Regel ein Nutzen gezogen werden kann, der den weiteren Erarbeitungsaufwand rechtfertigt.

Die Mängel dieser Regel stellen sich aus unserer Sicht wie folgt dar:

1. Aufbau und Konzept

Der vorliegende Regelentwurfsvorschlag versucht, den Schutz gegen interne Bruchstücke zu regeln. Das in der Dokumentation vorgestellte Konzept (Diagramm 1 und 2) weist für die Problemstellung eine vernünftige Vorgehensweise aus. Bedauerlicherweise ist jedoch dieses Konzept im vorliegenden Vorschlag nicht oder fast nicht mehr wiederzufinden; die tief gestaffelte Untergliederung trägt auch nicht zu mehr Übersichtlichkeit bei.

So sind die Bruchstückquellen über die Unterabschnitte von Abschnitt 5.2 verteilt. Bspw. sagt Abschnitt 5.2.1.1, Absatz 1, welche Bruchstückquellen zu behandeln sind, Abschnitt 5.2.1.2.1, Absatz 2, fordert Eigenversagen zu unterstellen. Die dazwischen angeordneten Absätze geben Ausschlußkriterien an, andere Ausschlußkriterien sind allerdings auch schon in Kapitel 4, Absatz 3 und 4, zu finden.

KTA	10. NOV. 1988
Anteil:	
z. H. v.	Interatom 9.11.88
Abg. ZT	17. Dr. Schulte
Abg. Nr.	2105
Regist.	☐ 15. Nov.

111088
 T017/tvsl45233

INTERATOM

2. Anwendungsbereich

Die Regel soll für Kernkraftwerke jeden Typs gültig sein. Warum wird dann nicht zunächst die allgemeine Forderung niedergeschrieben, und dann das spezielle DWR-Vorgehen? Im vorliegenden Text wird aber - wo es paßt - die DWR-Vorgangsweise angegeben, teilweise nur erkennbar durch die herangezogenen Zitate, wie LSK-Leitlinien für Druckwasserreaktor oder KTA 3205, die in ihren ersten beiden Teilen nur für Leichtwasserreaktoren gilt. Auf diese Art werden andere Reaktortypen nicht angemessen erfaßt.

3. Verweis auf andere Regeln

Der Verweis auf nicht verabschiedete Regeln im vorliegenden Text ist problematisch, da damit die Regelaussage auf Papiere abgestützt wird, die ihrem Status nach in Veränderung begriffen sind. Unmöglich ist es, einen Regelentwurf in Vorbereitung zu zitieren, der noch nicht einmal durch ein Ausgabedatum zu identifizieren ist. Hier müßte so umformuliert werden, daß solche Papiere nur in den informierenden, aber nicht regulierenden Hinweisen angesprochen würden.

4. Weitere Anmerkungen

Mit den folgenden Anmerkungen werden nur beispielhaft einige Stellen herausgegriffen, da der recht unfertige Zustand der Vorlage eine abdeckende Bearbeitung aus unserer Sicht nicht rechtfertigt,

- 4.1 In Kapitel 2 "Begriffe", Absatz 1, 5, 7 und 10 fehlt mindestens die Masse des auftretenden Bruchstücks.
- 4.2 Zu Kapitel 4, Absatz 4, und unter Abschnitt 5.2.5, Absatz 2a: KTA 3902 schließt einen Lastabsturz nicht aus; lediglich bei Hebezeugen nach Abschnitt 4.3 dieser Regel (erhöhte Anforderungen) wird ein Lastabsturz als Unfall dem Restrisiko zugeordnet.

INTERATOM

4.3 Zu Abschnitt 5.2.1.2.1, Absatz 1 e:

Wir schlagen vor, statt DN 50 Armaturen und Flansche $\leq$ DN 50 Armaturen und Flansche $\leq$ DN 80 als sicher gegen Eigenversagen festzulegen.

Im HTR-Modul-Kernkraftwerk tritt DN 65 häufig auf. In Gesprächen wurde vom TÜV vorgeschlagen, als Grenze im o. g. Sinne DN 80 anzusetzen.

4.4 Die in Abschnitt 5.2.3.2.1g angegebenen QS-Maßnahmen treffen für alle Komponenten zu, da sie wenig präzise sind.

4.5 Die in Abschnitt 5.2.6.2.2, Absatz 5, aufgestellte Behauptung kann nur zutreffen, wenn über Wandstärke und Materialeigenschaften beider Rohrleitungen Annahmen getroffen werden.

4.6 Nach der Festlegung in Abschnitt 5.2.6.1, Absatz 2, wären bei natrium-führenden Rohrleitungen Schneller Brüter schlagende Rohrleitungen nicht zu unterstellen. Die Genehmigungspraxis ist jedoch anders. Es ist im übrigen auch physikalisch nicht sinnvoll, unter hochenergetisch nur die Druckhaltung durch Nachverdampfung des Mediums zu verstehen und eine externe Druckhaltung z. B. durch Gaspolster nicht zu beachten.

4.7 Die Qualität der druckführenden Umschließung des Reaktorkühlmittels wird nicht nur durch die Berechnung nach KTA 3201, Teil 2, herbeigeführt, sondern auch durch die Forderungen der anderen Teile hinsichtlich Werkstoff, Herstellung und Betrieb.

4.8 Anhang A ist unvollständig; Absatz 5 in A.2.4 wird noch erarbeitet.

4.9 Anhang B

- Überschrift trifft nicht zu, da Gleichung B-2 auch die zeitabhängige Geschwindigkeit zu ermitteln vorgibt.

INTERATOM

- Nach Gleichung B-2 nimmt der Behälterinhalt linear auf Null ab. Da nach Gleichung B-1 die Geschwindigkeit monoton mit dem Behälterinhalt zunimmt, erhält man nach der vorgeschlagenen Rechnung zum Zeitpunkt 0 die Maximalgeschwindigkeit und nach einiger Zeit die Geschwindigkeit 0. In Wirklichkeit ist eine - in der ersten Phase etwa gleichförmige - Beschleunigung des Bruchstücks aus der Ruhe zu erwarten.

Vereinigung der
Technischen Überwachungs-Vereine e. V.

Vereinigung der Technischen Überwachungs-Vereine Postf. 10 38 34 4300 Essen 1

Kerntechnischer Ausschuß (KTA)
bei der Gesellschaft für
Reaktorsicherheit (GRS) mbH
Postfach 10 16 50

5000 Köln 1

Erm - 1. 11. 88		Vd TÜV
28/p1		
Anlage-Nr.		
Ablage-Nr.		

Essen, 4. November 1988

Unsere Zeichen 28/p1 305/469
17.4.19
Referent Dornis
Tel.-Durchwahl 8111-147

Regelentwurfsvorlage KTA 2105
"Schutz von Kernkraftwerken gegen anlageninterne Bruchstücke ..."

Sehr geehrte Damen und Herren,

als Anlage übersenden wir Ihnen die Stellungnahme der TÜV-Leit-
stelle Kerntechnik bei der VdTÜV zu der Regelentwurfsvorlage
KTA 2105.

Mit freundlichen Grüßen

Vereinigung der
Technischen Überwachungs-Vereine
Abt. Kerntechnik/Strahlenschutz

Quirrenbach
Quirrenbach

Anlage

KTA		zur Kenntnis
Erm - 1. 11. 88		
Geschäft:		Barkel
m.B. erb.		
Anlage A		1
Anlage E		1
Anlage G		2105

Anlage zum Schreiben
der VdTÜV vom 04.11.88

Stellungnahme der TÜV-Leitstelle Kerntechnik bei der VdTÜV zu

KTA 2105

"Schutz von Kernkraftwerken gegen anlageninterne Bruchstücke (einschließlich Rohrleitungen und abstürzende Lasten)"

(Regelentwurfsvorlage Juni 88 - KTA-Dok.-Nr. 2105/88/1)

Zu der Regelentwurfsvorlage KTA 2105 sind aus Sicht der Leitstelle Kerntechnik einige grundsätzliche Bemerkungen zu machen.

Wesentliche Abschnitte der Regel behandeln den Ausschluß einer Bruchstückentstehung. Hierbei entsteht der Eindruck, daß der Ausschluß einer Bruchstückentstehung verschiedentlich ohne Begründung postuliert wurde bzw. ein Ausschluß bereits unter Voraussetzungen erfolgt, die sich nicht in Einklang mit bestehenden Regelwerken befinden. Unseres Erachtens ist die Entstehung von Bruchstücken grundsätzlich in direktem Zusammenhang mit der Rahmenspezifikation Basissicherheit zu sehen. In einer Reihe von Fällen sind im Regelentwurf zum Bruchausschluß jedoch nur Teilanforderungen der Rahmenspezifikation Basissicherheit zu erfüllen. In anderen Fällen werden keinerlei Anforderungen an die versagende Komponente gestellt. Wir möchten dies anhand einiger Beispiele näher erläutern:

KTA	7. NOV. 1988
2105	VdTÜV 4.11.88
28/PL	305/469
2105	
Regist.	

- 4 (3) Es ist nicht nachzuvollziehen, aufgrund welcher Überlegungen bei einem 0,1 F-Bruch der HKL die max. Drehzahl der HKP noch nahezu 83 % (Divisor 1,2) der theoretischen Berstdrehzahl betragen darf. Dies sollte, evtl. in d. Dok.-unt., begründet werden.
- 2(3), 5.2.1.2.1(1)b,
5.2.6.2.1(1)a Hier müßte auf die Regeln KTA 3201 und 3211 insgesamt verwiesen werden, da die Teile 2 dieser Regeln nur Teilaspekte der Qualitätssicherung enthalten.
- 5.2.1.2.1(1)a Hier wird ein Bruchstückausschluß bei Rohrleitungen ohne jegliche Qualitätsanforderung an die Rohrleitungen postuliert.
- d,f,i,j Bei der Rahmenspezifikation ist ein Bruchausschluß nur möglich bei Einhaltung der Basisssicherheit und Vorliegen zusätzlicher Kriterien. Im Regelentwurf wird im Gegensatz zur Rahmenspezifikation bereits ein Bruchausschluß postuliert, wenn nur eine Bedingung erfüllt ist.
- x Die Anforderung ist nicht vollständig. Zusätzlich muß ein geeignetes Lecküberwachungssystem vorhanden sein.
- 5.2.1.2.1(2) Es wird nicht begründet, warum sich das Eigenversagen nur auf Schweißnähte oder lösba-re Verbindungen beschränken soll (vgl. auch 5.2.6.3.2(3)).

5.2.6.3.2(3) Hier wird ein Versagen von Rohrleitungen nur in Schweißnahtbereichen unterstellt. Für die übrigen Bereiche erfolgt ein Bruchausschluß ohne jegliche Qualitätsanforderung an die Rohrleitung (vgl. 5.2.1.2.1(1)a) .

5.2.3.2.1(c) Worauf beruht die Aussage, daß die hier genannten Teile das Gehäuse nicht durchdringen?

Ferner ergeben sich unseres Erachtens weitere grundsätzliche Abweichungen von Regelungen für die Konvoi-Anlagen, die als letztgebaute Anlagen gleichbedeutend mit den in Abschnitt Grundlagen (3) erwähnten Referenz-Anlagen sein sollten:

5.2.6.1(2) Die Definition von "hochenergetisch" widerspricht der Rahmenspezifikation Basissicherheit und der Konvoi-Regelung. Dort gelten $p > 20 \text{ bar}$ oder $t > 100^\circ\text{C}$. Gasleitungen sind generell als hochenergetisch einzustufen (Konvoi-Vereinbarung).

5.2.6.2.1(1) c) und (3) b) Hinsichtlich der Auswirkungen auf Einzelkabel werden bei Konvoi-Anlagen Leitungen aller Nennweiten betrachtet.

2
5.2.6.2.1(5) Lt. Regulatory Guide 1.46 (gleiche Festlegung auch für Konvoi) kann ein Folgebruch nur bei gleichem/größerem Durchmesser und gleicher Wandstärke ausgeschlossen werden. Bei geringerer Wandstärke sind Lecks/Risse zu unterstellen (Konvoi-Regelung).

Wir schlagen vor, die Regelentwurfsvorlage noch einmal zu überdenken.

PROF. DR.-ING. JOSEF EIBL
Lehrstuhl für Massivbau
Universität Karlsruhe (TH)

7500 KARLSRUHE 1. den 05.04.89
Institut für Massivbau und Baustofftechnologie
Univ.-KA Postfach 6980 Telefon (0721) 608 2263

KTA-Geschäftsstelle
Gesellschaft für Reaktorsicherheit
Postfach 10 16 50

5000 Köln 1

KTA	
Eing.: 10.04.89	zur Ken: [Handwritten]
gelesen: [Handwritten]	
z. Erarb.: [Handwritten]	
erledigt:	
Anlagen: Anzahl:	
E: Anzahl:	
Abl. Nr. 60	2105

KTA-Regelentwurfsvorlage 2105, Juni 1988
Schutz von Kernkraftwerken gegen anlageninterne Bruchstücke (einschließlich
schlagende Rohrleitungen und abstürzende Lasten)

Sehr geehrter Damen und Herren,

in meiner Eigenschaft als Vorsitzender des RSK-Ausschusses BAUTECHNIK
weise ich darauf hin, daß der Ausschuß in seiner Sitzung vom 28.11.1988 folgende
Stellungnahme zu o.g. Regelentwurfsvorschlag abgibt:

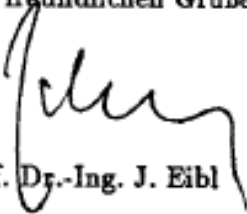
Zu Abschnitt 4 und Anhang F weist der Ausschuß darauf hin, daß bei Be-
tontrennwänden Eindringtiefe und Schutzdicke für auftreffende Bruchstücke u.a.
auch von der Bewehrung dieser Trennwände abhängt. In Bild 4-1 bzw. in den For-
meln im Anhang F sind Eindringtiefe und Schutzdicken bewehrungsunabhängig
dargestellt, was nicht dem neuesten Stand der Erkenntnis entspricht. Als Ergeb-
nis zahlreicher Impact-Versuche sind z.B. in [1] empirische Formeln angegeben,
die u.a. den Einflusses der Bewehrung bzgl. Perforation von Stahlbetonplatten
berücksichtigen.

Der Anhang G steht in einem gewissen Widerspruch zu Abschnitt 4 und
Anhang F. Hier wird ein Durchstanznachweis bei Stoßeinwirkung — physi-
kalisch handelt es sich um dasselbe Phänomen wie in Abschnitt 4 — ge-
fordert, in dem die Bewehrung maßgeblich eingeht. In diesem Zusammen-
hang wird außerdem darauf hingewiesen, daß bei den heute auf dem Markt

erhältlichen Betonstählen nicht immer eine plastische Dehnung von $\max \epsilon_s^{pl} = 2.5\%$ erreicht werden kann.

Der KTA-Unterausschuß „Anlagen- und Bautechnik“ hat speziell um eine Stellungnahme zum Abschnitt 5.1.7 (2) gebeten. Der RSK-Ausschuß stimmt diesem Absatz im Grundsatz zu, weist aber darauf hin, daß die Wirkung eines Bruchstückes auf bauliche Schutzeinrichtungen nicht allein von seinem Impuls und seiner kinetischen Energie abhängt, sondern auch von seiner Verformbarkeit beim Aufprall und seiner Auftrefffläche. Dies müßte berücksichtigt werden, wenn diese Parameter der zu unterstellenden Bruchstücke wesentlich von den der Auslegung der baulichen Schutzeinrichtung zugrunde gelegten abweichen.

Mit freundlichen Grüßen



Prof. Dr.-Ing. J. Eibl

- [1] Barr, P.: Guidelines for the Design and Assessment of Concrete Structures Subjected to Impact. 1988 Edition. SRD R 439. UK Atomic Energy Authority, Safety and Reliability Directorate, 1988