



Abb. 3: Bohranlage mit Eisbarrieren

Effektiver Schutz für Offshore-Anlagen

EISBARRIEREN Aufgrund der Verknappung der Rohstoffe und des vorhandenen technischen Know-hows wird die Erschließung von Energieressourcen in eisbedeckten Flachwassergebieten zunehmend forciert. Die Installation entsprechender Eisbarrieren bietet hierbei technische und ökonomische Vorteile.

Joachim Berger

Der weltweit steigende Bedarf an Kohlenwasserstoffen erfordert das Vordringen der internationalen Explorations- und Produktionsaktivitäten in „schwierige“ Gebiete. Zu diesen „schwierigen“ Gebieten zählen neben extremen Tiefwasserbereichen auch Meere und Ozeane, die ganzjährig oder zeitweilig mit Eis be-

deckt sind. IMPaC Offshore Engineering GmbH ist bei Tiefwasserproblemen wie auch seit mehr als 20 Jahren bei Projekten in eisbedeckten Flachwassergebieten involviert. Ausgewählte Beispiele für den Eisschutz von Offshore-Anlagen sind nachfolgend beschrieben. In eisbedeckten Flachwassergebieten haben sich Eisbarrieren als

technisch und ökonomisch vorteilhafte Lösung erwiesen. So erlauben Eisbarrieren eine Bemessung der Explorations- und Produktionsplattformen für reduzierte Eiskräfte. Weitere wesentliche Vorteile ergeben sich aus den verbesserten operativen Bedingungen der Offshore-Anlagen, da die Eisbarrieren in den Wintermonaten eine durchgehende Platt-

formversorgung ermöglichen. In der eisfreien Zeit haben die Eisbarrieren bei geeigneter Ausbildung den Vorteil, dass die Wellenverhältnisse in dem Anlegebereich der Versorgungsschiffe verbessert werden.

Ohne die Installation von Eisbarrieren wäre zudem vielfach der Einsatz der Plattform-Evakuierungssysteme

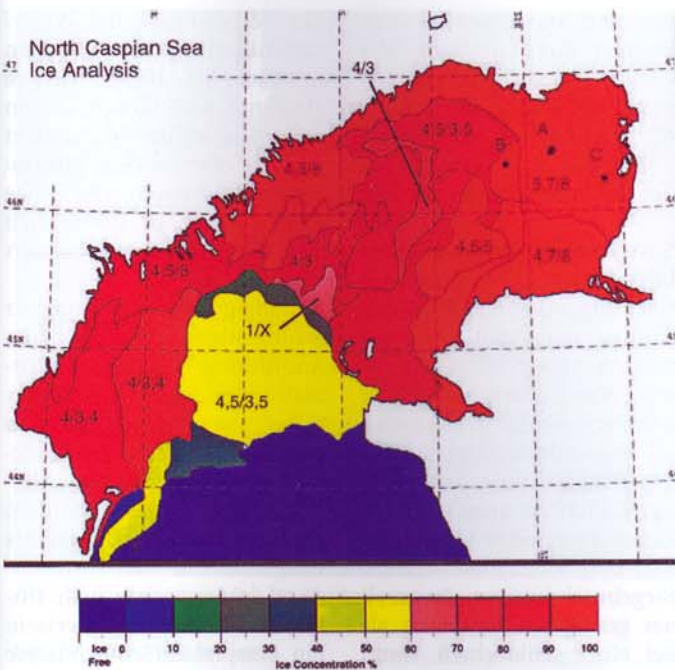


Abb. 1 Satellitenaufnahme der Eisentwicklung im Kaspischen Meer

stark begrenzt. Auch in diesem Fall ergeben sich durch die Verwendung von Eisbarrieren ökonomische Vorteile, da sämtliche Explorations- oder Produktionstätigkeiten auf der Plattform eingestellt werden müssen, wenn das Evakuierungssystem nicht einsatzbereit ist. Eisbarrieren können auch als Schutz von Hafeneinrichtungen und Verladeeinrichtungen sowie von Offshore-Windkraftanlagen eingesetzt werden.

Anforderungen an Eisbarrieren

Eine hohe technische Zuverlässigkeit verbunden mit geringem Materialeinsatz und einer einfachen Installationsmöglichkeit sind die wesentlichen Anforderungen an eine Eisbarriere. Bei dem Schutz von mobilen Anlagen, wie zum Beispiel schwimmenden und auf den Meersboden absehbaren Explorationsplattformen, sind auch die De-Installation und Wiederverwendbarkeit der Eisbarriere wesentliche Eigenschaften. Darüber hinaus ist eine gute Umweltverträglichkeit der Eisbarriere unabdingbar.

Bestimmung der Bemessungslast

Die technische Zuverlässigkeit der Eisbarriere ist verbun-

den mit der Bestimmung der zu erwartenden Eisbelastung. Bei einfachen geometrischen Formen der Eisbarriere können die Eislasten mit Hilfe von analytischen Methoden ausreichend genau bestimmt werden. In besonderen Fällen müssen Eis-Modellversuche durchgeführt werden, um die Bemessungslast zu erhalten. Vielfach sind jedoch die Methoden der Eislastbestimmung nicht die eigentliche Schwierigkeit, sondern die unzureichend vorhandenen Umweltdaten führen zu Unsicherheiten bei der Bemessung der Eisbarriere. So liegen selten ausreichend statistische Daten über das Auftreten der verschiedenen Eiserscheinungsformen vor, die eine optimierte Auslegung der Barriere ermöglichen würden. In verschiedenen Fällen ist daher versucht worden, die Häufigkeit des Auftretens von Eis aus Satellitendaten zu bestimmen. Die Satellitenbeobachtungen erlauben eine Abschätzung der prozentualen Eisbedeckung eines Seegebietes und lassen auch eine Aussage über die ungefähre Dicke von ebenen Eisdecken zu. Die Bemessungskräfte ergeben sich aber vielfach aus der Interaktion der Eisbarriere mit Presseisrücken, die nicht aus

den Satellitenaufnahmen mit ausreichender Genauigkeit abzuleiten sind. In solchen Fällen sind Naturbeobachtungen und -messungen von besonderem Wert.

Ein Beispiel einer Satellitenaufnahme ist in Abbildung 1 dargestellt. Die unterschiedlichen Farben bedeuten verschiedene Eiskonzentrationen, während die Zahlen innerhalb der farbigen dargestellten Bereiche Aufschlüsse über die Eisdicke zulassen.

Pfähle als Eisbarriere

Für den Eisschutz einer Bohranlage, die seit 1998 in den Flachwassergebieten des Nordkaspischen Meers eingesetzt ist, wurden bei ersten Bohrlokalationen Stahlpfähle für die Reduzierung der Eiskräfte verwendet. Diese Pfähle dienen gleichzeitig als Anlegeeinrichtung für die Versorgungsschiffe. Der optimale Durchmesser und Abstand der Pfähle ist in Modellversuchen bestimmt worden. Bei der letztlich gewählten Anordnung der Pfähle konnte eine Reduzierung der Eiskraft um 60 Prozent gegenüber der ungeschützten Situation erzielt werden. Abbildung 2 zeigt die gerammten Pfähle vor der Installation der Bohranlage. Nachteilig sind bei der Pfahllösung die relativ lange Vor-

laufzeit für das Rammen der Pfähle, die Mobilisierung des Offshore-Rammgerätes sowie das später notwendige Entfernen der Pfähle.

Einfache ballastierte Pontons als Eisbarrieren

Wegen der zuvor genannten Nachteile wurden bei späteren Bohrungen pontonartige Körper für den Eisschutz eingesetzt. Die Pontons werden schwimmend zur Lokation verholt und dann mit Meerwasser ballastiert. Die Eiskräfte konnten bei diesen einfachen Körpern rechnerisch ermittelt werden. Für die optimale Anordnung und Ausrichtung der Barrieren zur Plattform wurden anfänglich Eismodellversuche durchgeführt.

In Abbildung 3 sind zwei der insgesamt vier Eisbarrieren gezeigt, die den Schutz der Anlage übernehmen. In dem gezeigten Fall hat das Eis einen vorteilhaften Gewölbebogen zu beiden Barrieren gebildet, wodurch sich ein weiterer verbesserter Eisschutz ergibt. Aus zeitlichen Gründen konnten die ersten pontonartigen Eisbarrieren noch nicht in Hinblick auf ihren eigentlichen Zweck optimiert werden und bestanden weitgehend aus senkrechten Wänden mit der notwendigen Eisver-



Abb. 2: Gerammte Pfähle vor Installation der Anlage im Nordkaspischen Meer



Abb. 4: Vergrößerung der Eiswiderstandskapazität durch Sprüheis



Abb. 5: Eisbarriere mit einer geneigten Wand

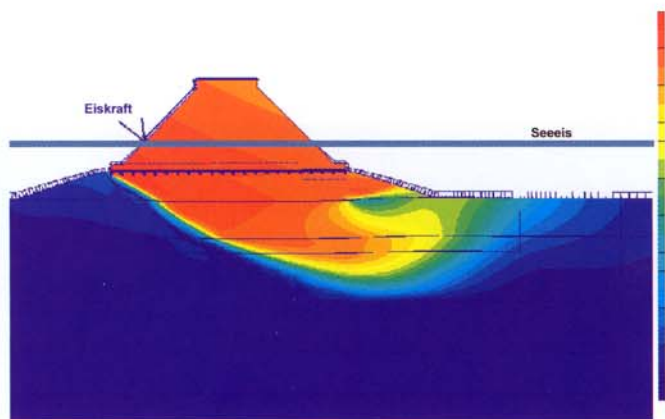


Abb. 6: Gründungssimulation von Eisbarriere mit Schürzenblechen auf Unterwasserberme

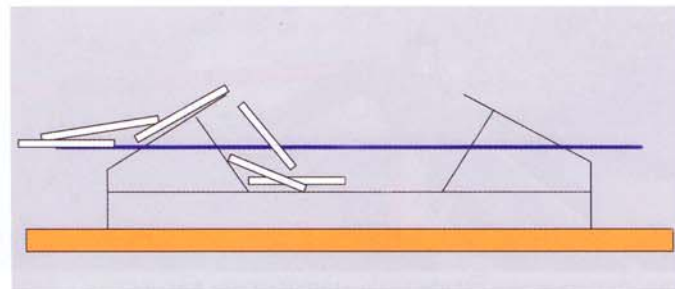


Abb. 7: Prinzip einer Leichtbau-Eisbarriere®IMPac

stärkung und einem flachen Boden. Zur Erhöhung des Gleitwiderstands wurde versucht, die Masse der Barriere mit Sprüheis zu vergrößern. Abbildung 4 zeigt die Phase der Sprüheisbildung.

Spezielle Pontons als Eisbarrieren

Nachfolgende Eisbarrieren wurden dann mit einer geneigten und einer senkrechten Wand ausgeführt. Die Barrieren werden im Verbund so angeordnet, dass immer die geneigte Seite den größten Eiskräften ausgesetzt ist. Durch die geneigte Oberfläche wird bei ebenen Eisdecken ein Biegebruch initiiert, der zu einer geringeren Belastung als bei einer senkrechten Wand führt. Dieser Vorteil fällt allerdings geringer aus, wenn sich die Eisbelastung aus der Interaktion mit Presseisrücken ergibt. Der tatsächliche Vorteil der geneigten Wand für die Stabilität der Eisbarriere gegen globalen Eisdruck ist letztlich abhängig von der Wahrscheinlichkeit des Auftretens der unterschiedlichen Eis-Versagensszenarien.

Für die Bemessung der Struktur sind die Last- und Bodenwiderstandsfaktoren maßgebend, die von der Auftretenswahrscheinlichkeit der verschiedenen möglichen Eisbelastungsarten abhängen.

Für die Bemessung der geneigten und senkrechten Wände der Eisbarriere sind die lokalen Eisdrücke von Bedeutung. Der lokale Eisdruck ist eine Funktion der betrachteten Belastungsfläche. Mit kleiner werdender Fläche vergrößert sich der zu betrachtende lokale Eisdruck. Aus Gründen der Wirtschaftlichkeit werden plastische Verformungen der Außenhaut der Eisbarriere akzeptiert.

Abbildung 5 zeigt eine Eisbarriere mit einer geneigten Wand während des Baus auf einer Werft in Russland.

Neuere Untersuchungen haben gezeigt, dass Eisbarrieren mit zwei geneigten langen Seiten Kostenvorteile gegenüber der in Abbildung 5 gezeigten Version haben können.

Zur Verbesserung der Widerstandskraft gegen globalen Eisdruck ist diese Barriere auch mit verschiedenen langen Schürzenblechen untersucht worden, die in den Meeresboden eindringen. Die Länge der Schürzen ist im Bereich von 2.5 m bis 0.2 m variiert worden.

Abhängig von der Länge der Schürzenbleche, von deren Anordnung an der Bodenplatte der Barriere und natürlich in Abhängigkeit von den Eigenschaften des Meeresbodens ergeben sich unterschiedliche Kapazitäten, dem Eisangriff zu widerstehen. Als vorteilhaft für den Eiswiderstand können sich auch Unterwasserbermen erweisen. Ein Beispiel für eine Analyse der Eisbarriere mit Unterwasserberme und Schürzenblechen ist in der Abbildung 6 dargestellt.

Das Eindringen der Schürzen in den Meeresboden oder in die Berme ist bei langen Blechen nicht mehr unter dem Eigen- und Ballastgewicht der Barriere möglich. In diesen Fällen ist es notwendig, mit Hilfe von speziellen Pumpen ein Unterdruck unter dem Boden der Struktur zu erzeugen, der eine zusätzliche Kraft für das Eindringen der Schürzenbleche bewirkt.

Für die Deinstallation der Barriere mit langen Schürzenblechen muss Wasser unter den Boden der Barriere gedrückt werden, da der natürliche Auftrieb der Barriere keine ausreichende Vertikalkraft für das Ziehen der Schürzenbleche garantiert. Lange Schürzenbleche erfordern in Flachwassergebieten auch die Verwendung von einem Luftpolster, das zwischen die Schürzen gepumpt wird, um den Tiefgang der Barriere beim Schlepp zu reduzieren.

Das Erzeugen des Unter- und Überdrucks am Boden der Barriere bei deren Installation und Deinstallation sowie das Luftpolster bei dem Schlepp erfordern einen erheblichen technischen Aufwand, der nicht in allen Fällen den verbesserten Widerstand gegen Eiskräfte rechtfertigt.

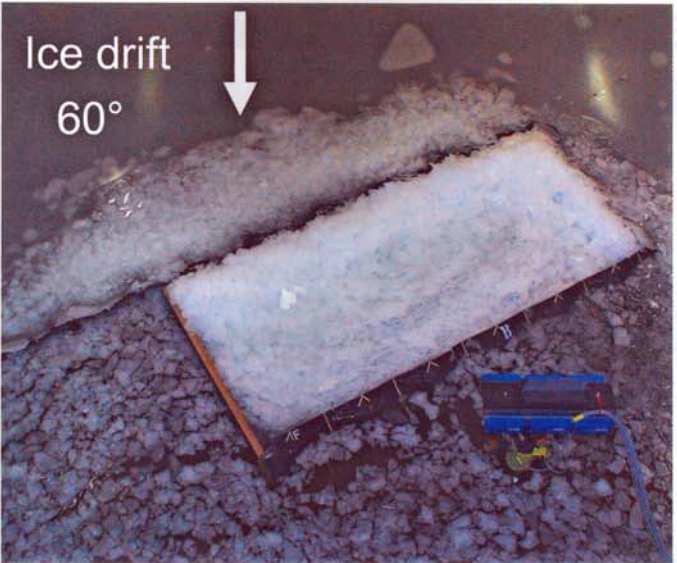


Abb. 8: Eisansammlung im Modellversuch

Leichtbau-Eisbarriere
 Im Rahmen des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF unterstützten Forschungs- und

Entwicklungsvorhaben „Marines Transportsystem für die Arktis“ wurde eine spezielle Leichtbau-Eisbarriere entwickelt. Dieser Typ von Eisbar-

riere basiert auf der Idee, die Masse des Widerstandskörpers durch das Ansammeln jungen Flächeneises zu Beginn der eisbildenden Jahreszeit zu erhöhen. Die Struktur selbst muss aus diesem Grund nur dem Angriff des noch verhältnismäßig dünnen Eises widerstehen können. Vor der Belastung durch Eis größerer Mächtigkeit wird das Gesamtgewicht der Struktur aus dem Eigengewicht und zusätzlich aus dem angesammelten Brucheis bestehen. Bei dem Forschungsvorhaben wurden die besten Ergebnisse mit einer Leichtbau-Eisbarriere erzielt, die eine durchgehend flach geneigte Wand besaß. Die Funktion dieses Prinzips konnte in Modellversuchen verifiziert werden. Abbildung 7 veranschaulicht die Situation, nach der sich das Brucheis innerhalb des Barrierenkör-

pers angesammelt hat und damit eine ausreichend große Widerstandskapazität erzielt worden ist, um später auftretendem dicken Eis standzuhalten. Abbildung 8 zeigt die Phase der Eisansammlung.

Ausblick
 Die zukünftigen Bohr- und Produktionsaktivitäten im Nordkaspischen Meer verlangen nach einer Vielzahl von Eisbarrieren, die in den kommenden Jahren gebaut und installiert werden müssen. Wie in der Vergangenheit wird IMPaC Offshore Engineering an führender Stelle bei der Verwirklichung dieser Projekte beteiligt sein. ☒

Der Autor:
 Joachim Berger, IMPaC Offshore Engineering, Hamburg