

Article, Online First

**Krebs, Verena; Ziesen, Nenja; Wöffler, Theide; Häußling, Roger;
Schüttrumpf, Holger**

Teilstationäre Hochwasserschutzmaßnahmen als kurzfristige Strategie zum Schutz der nordfriesischen Halligen – Einsatztests unter praxisnahen Bedingungen und Berücksichtigung sozialer Bedürfnisse der Bewohner*innen

Die Küste, 89 (Online First)

Zur Verfügung gestellt in Kooperation mit/Provided in Cooperation with:

KFKI - Kuratorium für Forschung im Küsteningenieurwesen (Hg.)

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/108277>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Krebs, Verena; Ziesen, Nenja; Wöffler, Theide; Häußling, Roger; Schüttrumpf, Holger (2021):
Teilstationäre Hochwasserschutzmaßnahmen als kurzfristige Strategie zum Schutz der
nordfriesischen Halligen – Einsatztests unter praxisnahen Bedingungen und
Berücksichtigung sozialer Bedürfnisse der Bewohner*innen. In: Die Küste, 89 (Online First).
<https://doi.org/10.18171/1.089111>.

Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



Teilstationäre Hochwasserschutzmaßnahmen als kurzfristige Strategie zum Schutz der nordfriesischen Halligen – Einsatztests unter praxisnahen Bedingungen und Berücksichtigung sozialer Bedürfnisse der Bewohner*innen

Verena Krebs¹, Nenja Ziesen¹, Theide Wöffler¹, Roger Häußling² und Holger Schüttrumpf¹

¹ RWTH Aachen University, Lehrstuhl und Institut für Wasserbau und Wasserrwirtschaft

² RWTH Aachen University, Institut für Soziologie

Zusammenfassung

Jensen et al. (2016) definierten zwei Zeitskalen, die bei der Entwicklung von Strategien für den Küstenschutz und das Küstenmanagement der schleswig-holsteinischen Halligen berücksichtigt werden müssen: (i) kurzfristige Schutzmaßnahmen für die Bewohner*innen, die sofort umgesetzt werden könnten, und (ii) langfristige Strategien zur Verbesserung der natürlichen Anpassungsfähigkeit an den Klimawandel.

Der vorliegende Beitrag beschäftigt sich mit der Frage, welche kurzfristigen Küstenschutzmaßnahmen und -strategien von den Hallig-Bewohner*innen als sinnvoll erachtet werden, welche (technisch) umsetzbar sind und welche zentralen Aspekte dabei zu berücksichtigen sind. Hierzu wurde die Wirksamkeit kurzfristiger Maßnahmen im Labor unter Berücksichtigung von Vorschlägen bewertet, die im Vorläuferprojekt *ZukunftHallig (KfKI-Projekt mit Fördernummern 03KIS093-096, Laufzeit 2011-2013)* gemeinsam mit den Hallig-Bewohner*innen entwickelt wurden. Im Zentrum standen innovative, mobile Hochwasserschutzmaßnahmen, die bislang vorwiegend im Binnenbereich Anwendung finden. Zur Untersuchung der Anwendbarkeit auf den Halligen wurden zwei Anwendungsfälle betrachtet: das Verschließen von Stöpen im Ringdeich der Warften und der Objektschutz auf der Warft. Die Maßnahmen wurden im Labor unter fünf Belastungsfällen (Einstau, Anströmen, Wellenanprall, Überströmen, Treibgutanprall) getestet und zusätzlich hinsichtlich der für die Hallig-Bewohner*innen elementaren Kriterien (Platzbedarf, Wartungsaufwand, Aufbauzeit etc.) bewertet.

Die Berücksichtigung sozialer Aspekte (Bedürfnisse, Erwartungen, Anforderungen seitens der Bewohner*innen) erfolgte durch einen Mixed-Method-Ansatz, bestehend aus qualitativen Interviews mit Bewohner*innen und Zukunftswerkstätten (Ergebnisse aus *ZukunftHallig*), Expert*innen-Interviews und Gruppendiskussionen. Die Zusammenführung der hieraus hervorgehenden Anforderungen mit technischen Aspekten (technisch umsetzbare Maßnahmen) ermöglichten eine ganzheitliche soziotechnische Perspektive.

Alle untersuchten mobilen Hochwasserschutzmaßnahmen erwiesen sich unter den küstenspezifischen Belastungen generell als hydrodynamisch wirksam und die meisten der Maßnahmen erscheinen für den Einsatz auf den Warften geeignet. Sie verfügen über das Potenzial, als kurzfristige Maßnahmen den bestehenden Sturmflutschutz zu ergänzen, an

Schwachstellen zu verbessern und so die Zeit bis zu einer langfristig notwendigen Warftverstärkung zu überbrücken. In Gruppendiskussionen auf den Halligen wurden die Ergebnisse der Laboruntersuchungen vorgestellt. Meinungsbilder hinsichtlich der Akzeptanz der Maßnahmen seitens der Bewohner*innen fielen heterogen – hallig- sowie warftspezifisch divers – aus.

Schlagwörter

Halligen, kurzfristige Küstenschutzstrategien, mobile Hochwasserschutzsysteme, teilstationäre Küstenschutzmaßnahmen, soziotechnischer Ansatz, partizipativer Technikgestaltungs- und Entwicklungsprozess

Summary

Jensen et al. (2016) defined two-time scales that have to be considered developing strategies for coastal protection and coastal management of the North Frisian Hallig islands: (i) short-term protection measures for the inhabitants, which could be implemented immediately, and (ii) long-term strategies to improve the natural adaptability of the islands to climate change.

This paper deals with the question which short-term coastal protection measures and strategies are considered reasonable by the islands' inhabitants, which ones are (technically) feasible and which central aspects have to be considered. For this purpose, the effectiveness of short-term measures was evaluated in the laboratory, considering suggestions that were developed together with the inhabitants in the predecessor project ZukunftHallig. The focus was on innovative, mobile flood protection systems, which have so far mainly been used in inland areas. To investigate the applicability of these systems, two application cases were considered: the closing of apertures in the ring dike of the dwelling mounds and the protection of objects on the dwelling mounds. The systems were tested in the laboratory under five load cases (pondage, upstream flow, wave impact, overflow, debris impact) and additionally evaluated with regard to criteria elementary for the islands' inhabitants (space requirement, maintenance effort, construction time, etc.).

The consideration of social aspects (needs, expectations, requirements on the part of the residents) was carried out by a mixed-method approach, consisting of qualitative interviews with residents and future workshops (results from ZukunftHallig), expert interviews and group discussions. The combination of the resulting requirements with technical aspects (technically feasible measures) enabled a holistic socio-technical perspective.

All investigated mobile flood protection measures proved to be hydrodynamically effective under the coast-specific loads and most of the measures appear to be suitable for the use on the Hallig islands. As short-term measures, they have the potential to complement existing storm surge protection, to improve at potentially weak points, and thus to bridge the time span until long-term reinforcements of the mounds are implemented. The results of the laboratory investigations were presented in group discussions on the Hallig islands. Opinions regarding the acceptance of the measures by the residents were heterogeneous – island and mound specific diverse.

Keywords

Hallig islands, short-term coastal protection strategies, mobile flood protection systems, semi-stationary coastal protection measures, socio-technical approach, participatory technology design and development process

1 Einleitung

Der besondere Lebensraum der Halligen ist geprägt durch eine einzigartige und exponierte Lage mit Sturmflut- und Landunterrisiken, die sich im Kontext des Klimawandels verstärken werden. Bereits im Verbundprojekt „Entwicklung von nachhaltigen Küstenschutz- und Bewirtschaftungsstrategien für die Halligen unter Berücksichtigung des Klimawandels – *ZukunftHallig*“ wurde deutlich, dass – infolge regelmäßiger Überflutungen – auf den Halligen verbleibende Sedimentablagerungen zwar ein vertikales Anwachsen der Geländehöhen begünstigen, jedoch gleichzeitig ein stärkerer Trend im Anstieg der mittleren und extremen Wasserstände beobachtet werden kann (Jensen et al. 2016). Es ist nicht davon auszugehen, dass die natürlichen Sedimentablagerungen die Anstiege dauerhaft kompensieren, sodass zum dauerhaften Schutz der Halligen langfristige wie auch kurzfristige Schutzmaßnahmen ergriffen werden müssen.

Um einen partizipativen Technikgestaltungs- und Entwicklungsprozess zu gewährleisten, ist eine interaktive Beteiligung der Bewohner*innen unabdingbar (vgl. u. a. Weyer 1997, Abels und Bora 2004, Haug et al. 2017). Mit einem solchen partizipativen Verfahren wird durch eine Integration der Bürger*innen in den Lösungsprozess das kommunikative, diskursive Handeln in den Mittelpunkt der Technikgestaltung gestellt – in diesem Fall der Gestaltung von Küstenschutzmaßnahmen. Vor allem, wenn räumliche Aspekte berührt werden und Bürger*innen selbst betroffen sind, bieten sich partizipative Verfahren an, um eine Perspektivenvielfalt und Akzeptanz späterer Anwender*innen zu erhalten (vgl. Schmidt 2003: 159, Haug et al. 2017: 582 ff.).

In Zukunft-Workshops wurde im Jahr 2013 gemeinsam mit den Bewohner*innen der Halligen ein umfangreicher Katalog möglicher Maßnahmen zum langfristigen Schutz und Erhalt der Halligen erarbeitet (Häußling et al. 2016), im Anschluss fand eine Bewertung ausgewählter Maßnahmen aus wasserbaulicher Perspektive statt (Wöffler und Schüttrumpf 2016). Bei der Evaluation der einzelnen Maßnahmen waren insbesondere Faktoren wie die Wirkung auf den Wellenüberlauf an der Warft, die Betriebssicherheit, der Bauaufwand, der Einfluss auf das Landschaftsbild sowie der Naturschutz ausschlaggebend. Neben Warftverstärkungen und der Errichtung geeigneter Schutzräume, die als wirkungsvollste Maßnahme für den langfristigen Schutz der Halligbewohner*innen und -häuser identifiziert wurden, konnte auch für eine mobile Schutzmaßnahme („mobiler Deichschlauch“) eine hohe hydrodynamische Wirksamkeit gezeigt werden. Die Betriebssicherheit des sich automatisch aufbauenden, wassergefüllten Schlauchsystems wurde jedoch als fehleranfällig beurteilt (Wöffler und Schüttrumpf 2016). Die Bewertung der Maßnahmen fußte dabei auf numerischen Simulationen sowie theoretischen Betrachtungen, praktische Untersuchungen unter Berücksichtigung der hallig-spezifischen Bedingungen und zur Praktikabilität der Maßnahmen lagen bislang nicht vor.

Im Rahmen des Folgeprojekts *Living CoastLab Halligen (KfKI-Projekt mit Förderkennzeichen: 03F0759B, Laufzeit: 2016-2019)* wurden die vorausgegangenen theoretischen Betrachtungen nun um praktische Untersuchungen ergänzt. Während Warftverstärkungen als erforderliche Maßnahmen zum langfristigen Schutz der Halligen unstrittig sind und deren Umsetzung mit Beschluss des 30 Mio. € schweren Warftverstärkungsprogramms bereits begonnen hat (MELUND SH, 2016), stehen hier mobile Hochwasserschutzsysteme (HWS-Systeme) als kurzfristige Schutzmaßnahmen im Fokus. Zentral sind dabei die Fragen: Verfügen mobile HWS-Systeme über das Potential, den Küstenschutz kurzfristig zu verbessern? Wie können sie existierende Schwachstellen verstärken, um die Zeit bis zu einer Warftverstärkung zu überbrücken? Im Rahmen der Untersuchungen wurden vier mobile HWS-Systeme in hydraulischen Modellversuchen unter realitätsnahen, küstenspezifischen Belastungen getestet und ihre Eignung für einen Einsatz auf den Halligen anhand acht verschiedener Kriterien bewertet.

Die begleitende soziologische Teilstudie forciert eine Verknüpfung zwischen wissenschaftlichen Konzepten und sozialen Bedürfnissen. Ziel ist die Entwicklung eines Anforderungskatalogs zur Bewertung technisch möglicher Maßnahmen unter Einbezug der Bedürfnisse, Erfahrungen und Erwartungen der Hallig-Bewohner*innen. Das Vorgehen folgt dabei der Leitfrage: Welche Küstenschutzmaßnahmen und -strategien werden von den Bewohner*innen als sinnvoll erachtet, welche sind (technisch) umsetzbar und was sind zentral zu berücksichtigende Aspekte? Zudem werden aus soziologischer Perspektive erfahrungsgeneriertes Wissen sowie stattfindende Wandlungsprozesse betrachtet.

2 Mobile Hochwasserschutzsysteme

2.1 Definition und Eigenschaften

Mobile HWS-Systeme sind temporär aufgestellte, wasserdichte Konstruktionen aus Stahl, Holz, Leichtmetall, Kunststoff oder Gummi. Sie werden dort installiert, wo das Landschaftsbild nicht beeinträchtigt werden soll, wo kein Platz zur Verfügung steht oder Verkehrsbeziehungen beibehalten werden sollen. Gegenüber stationären HWS-Systemen (z. B. Deiche, Warften, Mauern) besteht ein erhöhtes Risiko: Da die Systeme erst im Hochwasser- bzw. Sturmflutfall manuell aufgestellt werden, besteht bereits vor dem eigentlichen Einsatz die Gefahr des Versagens von Mensch und/oder Technik. Zudem sind mobile Konstruktionen meist leichter als stationäre Systeme. Dadurch sind sie unter Umständen bei gleichen Abmessungen weniger widerstandsfähig. Es wird in planmäßige und notfallmäßige Systeme unterschieden (BWK 2005).

Planmäßige (oder auch teilstationäre) HWS-Systeme sind örtlich gebunden, da sie stationäre, feste Installationen benötigen. Sie bedürfen einer Genehmigung durch die örtlichen Aufsichtsbehörden, unterliegen deren Sicherheitskriterien und werden für die Anforderungen und Rahmenbedingungen des spezifischen Orts bemessen. Es wird in Standardsysteme (S-Systeme), welche sich durch häufigen Einsatz unter verschiedenen Bedingungen bewährt haben, und Sondersysteme (So-Systeme) unterschieden. Sondersysteme sollten nur errichtet werden, falls sie zuvor an einem Funktionsmodell unter gleichen Bedingungen wie denen des Einsatzes getestet worden sind (BWK 2005).

Notfallmäßige HWS-Systeme (auch: Sandsackersatzsysteme) sind flexibel und ortsunabhängig. Primäres Einsatzgebiet ist der Katastrophenschutz, in besonderen Fällen kann eine

stationäre Verwendung erfolgen, um z. B. Genehmigungszeiträume von planmäßigen Systemen zu überbrücken. Sie werden auf allgemeine Anforderungen bemessen und in verschiedenen Ausführungen angeboten.

Das Merkblatt BWK (2005) beschreibt die Planung und den Einsatz von mobilen HWS-Systemen und stellt Grundlagen zu Standsicherheitsnachweisen für die verschiedenen Systeme zusammen. Technische Anforderungen und Vorschriften zur Zertifizierung mobiler HWS-Systeme liegen in Deutschland jedoch im Gegensatz zum englischsprachigen Raum (z. B. FM Approvals 2014) bislang nur bedingt vor. Der Europaverband Hochwasserschutz e.V. (2014) legt zwar Güte- und Prüfbestimmungen zur Klassifizierung mobiler Hochwasserschutzsysteme fest, als Kriterium zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit der Anlagen wird jedoch lediglich die Dichtigkeit herangezogen. Wagenhuber (2016) fordert eine Zertifizierung mit weitreichenderen Tests, die neben der abdichtenden Wirkung auch die Standsicherheit bei Treibgutanprall, Strömung und Wellen sowie die Überströmbarkeit der Systeme sicherstellen. Ferner gilt es, Qualität bzw. Lebensdauer und eine Mindestsicherheit gegen Vandalismus zu prüfen.

2.2 Einsatzmöglichkeiten auf den Halligen

Auf den Halligen bzw. insbesondere den Warften existieren verschiedene Möglichkeiten zum Einsatz mobiler HWS-Maßnahmen. Im Folgenden werden insbesondere zwei Einsatzorte betrachtet: Warften, die über einen Ringdeich mit Stöpen verfügen, können im Bereich der Stöpen durch mobile HWS-Systeme vor Wellenüberlauf geschützt werden (Abbildung 1). In diesem Bereich des Warftrandes setzt sich die zu erwartende Belastung der HWS-Systeme aus *Einzelwellen* und *Windlast* zusammen.



Abbildung 1: Möglicher Einsatz einer mobilen HWS-Maßnahme zum Verschluss einer Stöpe.

Der zweite Einsatzbereich befindet sich im zentralen Bereich der Warft: Hier können die mobilen HWS-Maßnahmen als Objektschutz eingesetzt werden und die Gebäude vor Wasser schützen, das in Folge von Wellenüberlauf auf die Warft gelangt (Abbildung 2). Neben der Windlast ist im zentralen Warftbereich vor allem mit den Lastfällen „*Einstau*“ und „*Anströmen*“ zu rechnen. In beiden Einsatzbereichen ist zusätzlich der Lastfall „*Treibgutanprall*“ möglich.

H_s	Signifikante Wellenhöhe am Warftfuß	[m]
HW	Wasserstand	[m]
α	Böschungswinkel	[°]
R_c	Freibordhöhe	[m]
h_{Warft}	Wassertiefe auf der Warft	[m]
q	Wellenüberlauf rate	[l/(s·m)]
h_k	Kronenhöhe	[m]
$h_{\text{Tür}}$	Höhe der Türschwelle	[m]

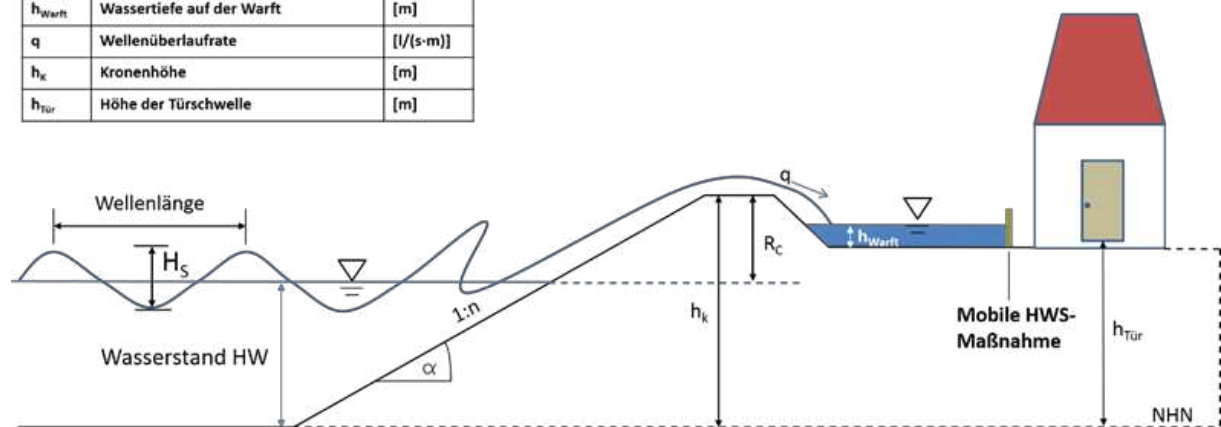


Abbildung 2: Mobile HWS-Maßnahme als Objektschutz im zentralen Warftbereich sowie geometrische und hydraulische Parameter an einer Warft (nach Wöffler und Schüttrumpf 2017).

2.3 Betrachtete mobile HWS-Systeme

Im Rahmen des Projektes werden zwei planmäßige (*Aquawand* und *HWS-mobil*) sowie zwei notfallmäßige (*Hydrobaffle* und *Sandsackdeich*) HWS-Systeme hinsichtlich ihrer Einsatzfähigkeit auf einer Hallig bewertet. Bei den Systemen handelt es sich außer bei den Sandsäcken um Sonderlösungen, die von den herstellenden Unternehmen für hydraulische Tests kostenlos zur Verfügung gestellt wurden. Tabelle 1 stellt die wesentlichen Merkmale der untersuchten Systeme zusammen, Abbildung 3 zeigt die für Praxistests in einer Versuchsrinne des IWW eingesetzten Maßnahmen. Zusätzlich wurde auf Wunsch der Hallig-Bewohner*innen ein planmäßiges, vollautomatisches System (*Klappschott*) in die Bewertung aufgenommen. Hierzu fanden jedoch keine Praxistests statt.



Abbildung 3: Untersuchte mobile Hochwasser- bzw. Küstenschutzmaßnahmen während der Testphase in der wasserbaulichen Versuchshalle.

Tabelle 1: Für den Einsatz auf einer Hallig-Warft betrachtete mobile HWS-Systeme (alle Angaben zur Aufbauzeit sind Herstellerangaben).

Planmäßige mobile HWS-Systeme	
Aquawand <i>Aquaburg Hochwasserschutz GmbH, Münster</i>	System aus Kunststoffplane, Edelstahlnetz, Edelstahlpfosten, alle Bestandteile miteinander verbunden und vor Ort in einer im Boden installierten Betonrinne versenkbar, Höhen von 0,7–2 m verfügbar, Aufbauzeit: 100 m in 45 Minuten (2 Personen)
HWS-mobil <i>HOWATEC GmbH, Siegen</i>	Montage der Stützen an im Boden betonierte Anschlussdüsen, Einbau gewölbter, verzinkter Stahlbleche zwischen Stützen, Höhen von 0,64–1,3 m verfügbar (ab 0,7 m zusätzliche Abstützung erforderlich), Aufbauzeit: 100 m in ca. 7–12 h (2 Personen)
CHT-Klappschott <i>Chiemgauer Hochwasser Technik Hochwasserschutz Reitthaler GmbH, Bergen/Bernhaupten</i>	vollautomatischer Aufbau bei ansteigendem Wasserstand mittels Gasdruckzylinder, geeignet zur Abdichtung von Türen und Garageneinfahrten, bis 50 cm Einstauhöhe verfügbar Aufbauzeit: < 1 Minute
Notfallmäßige mobile HWS-Systeme	
Hydrobaffle <i>Hochwasserschutz Agentur, Frankfurt</i>	mit Wasser befülltes Schlauchsystem (gewebte Polyestermembran, PVC-beschichtet) mit internem Stabilisierungsglied, in Höhen von 0,31–2,44 m verfügbar, max. Wassertiefe (1,83 m) Aufbauzeit abhängig von Wasserförderleistung
Sandsackdeich	mit Sand gefüllte Kunststoffgewebesäcke, Höhe, Breite und Form variabel, für 100 m Länge (1 m Höhe) ca. 350 m ³ Sand erforderlich, Aufbauzeit: 100 m (0,5 m hoch) in 1 h (20 Personen)

3 Vorgehen zur Bewertung der mobilen HWS-Maßnahmen

3.1 Bewertungskriterien

Die Bewertung der mobilen HWS-Systeme hinsichtlich ihrer Einsatzfähigkeit zur Verbesserung des Küstenschutzes auf den Halligen erfolgt anhand von acht Kriterien (Tabelle 1). Für den Einsatzfall zum *Verschließen der Stöpen* werden jeweils Systeme mit 20 m Breite und 1 m Schutzhöhe verglichen. Für den *Objektschutz* wird ein Haus mit drei zu verschließenden Türöffnungen betrachtet. Ziel ist ein möglichst objektiver Vergleich der Maßnahmen, wozu sie für jedes Kriterium analog zu Wöffler (2017) auf einer Skala von 0 (schlechteste) bis 1 (beste Bewertung) bewertet werden. Die Gesamtbewertung erfolgt durch Bildung des geometrischen Mittels, sodass eine Maßnahme, die in einem Kriterium mit 0 Punkten bewertet wird, eine Gesamtbewertung von 0 Punkten erhält. Aufgrund ihrer hohen Bedeutung gehen die *hydrodynamische Wirksamkeit* sowie die *Betriebssicherheit* jeweils mit doppelter Gewichtung in die Bewertung ein.

Tabelle 2: Bewertungskriterien und -schema zum Vergleich der mobilen HWS-Systeme.

		Bewertung				
		0	0,25	0,5	0,75	1
Bewertungskriterien	Hydrodynamische Wirksamkeit (1) Reduzierung Wassertiefe auf Warft (2) Leckagerate	<0 % sehr hoch	1–25 % hoch	26–50 % mittel	51–75 % niedrig	76–100 % keine
	Betriebssicherheit	Mittelwert der Bewertungen aller Gefährdungsszenarien (vgl. Tabelle 3)				
	Bauaufwand System-, Bau- + Planungskosten [€/m ²]	>5.000 €/m ²	2.000–5.000 €/m ²	1.000–2.000 €/m ²	500–1.000 €/m ²	<500 €/m ²
	Landschaftsbild/ Naturschutz	hohe Beeinträchtigung		niedrige Beeinträchtigung		keine
	Wartungsaufwand (in Abbildung 4 erreichte Punktzahl)	sehr hoch (0–5)	hoch (6–10)	mittel (11–15)	niedrig (16–20)	sehr niedrig (>20)
	Bereitstellungszeit [h] für die zwei Anwendungsfälle	>20 h (zu groß)	5–20 h (groß)	1–5 h (mittel)	0–1 h (niedrig)	keine
	Lagerung Platzbedarf in [m ³] (1) Verschluss der Stöpen (2) Objektschutz	>20 m ³ >10 m ³	10–20 m ³ 5–10 m ³	5–10 m ³ 3–5 m ³	0–5 m ³ 0–3 m ³	–
	Akzeptanz	Bewertung erfolgt durch soziologische Teilstudie (vgl. Abschnitt 4.3)				

Die Bewertung der *hydrodynamischen Wirksamkeit* erfolgt auf Grundlage des in Wöffler und Schüttrumpf (2017) vorgeschlagenen Sicherheitskriteriums: die maximale, während eines Sturmflutereignisses auftretende Wassertiefe an den Türschwellen der Warft ($h_{\text{Warft,max}}$). Hierzu wird beispielhaft die Süderhörn-Warft auf Langeneß betrachtet, auf der sich im Osten zwei niedrig gelegene Toreinfahrten befinden, die durch mobile HWS-Maßnahmen verschlossen werden können. Der Einbau der mobilen HWS-Systeme wird durch eine Erhöhung der Warft im Bereich der Stöpen berücksichtigt und die Maßnahmen gehen als Kronenmauer in die Formeln zur Berechnung des Wellenüberlaufs (gemäß EurOtop 2016) ein. Die veränderten Wellenüberlauraten werden in ein numerisches Modell (Software: *Delft3D*, für Modellaufbau siehe Wöffler und Schüttrumpf 2017) der Warft als Randbedingungen eingesteuert, der Verlauf des Wasserstands an den Türschwellen ausgewertet und mit dem Wasserstand des Referenzzustands (Stöpen unverschlossen) verglichen. Für den Objektschutz ist die Dichtigkeit der Maßnahmen (Leckagerate) entscheidend, die Beurteilung erfolgt hier qualitativ aus den Ergebnissen der Laborversuche (Kapitel 3.2).

Die Beurteilung der *Betriebssicherheit* erfolgt anhand der Bewertung verschiedener Gefährdungsszenarien (nach BWK 2005) unter Berücksichtigung ihrer Eintrittswahrscheinlichkeit sowie der Vulnerabilität des Systems gegenüber der jeweiligen Gefährdung (Tabelle 3). Zur Ermittlung der Vulnerabilität der Systeme erfolgt die Durchführung von Belastungstests an den Maßnahmen (vgl. Abschnitt 3.2 und 4.1).

Tabelle 3: Betrachtete Gefährdungsszenarien und Vorgehen zur Bewertung der *Betriebssicherheit*.

Gefährdungsszenarien		Bewertung				
<u>Äußere Einwirkungen:</u> Treibgutanprall (A), Schiffsanprall (B), Fahrzeuganprall (C), Überströmen (D) <u>System:</u> Geschiebe/Verlegung (E), Korrosion/Alterung (F), technischer Ausfall (G) <u>Sicherheit:</u> Sabotage/Diebstahl (H) <u>Logistik:</u> Aufbau/Abbau (I), Transport (J)		<u>HWS-System</u>		Vulnerabilität		
				gering	mittel	hoch
		Exposition	Marginal	1	1	0,75
			Gering	1	0,75	0,5
			Mittel	0,75	0,5	0,25
			Hoch	0,5	0,25	0

Eine Beeinträchtigung von *Landschaftsbild* und *Naturschutz* ist durch mobile HWS-Systeme nur sehr geringfügig gegeben, die Bewertung wird daher an dieser Stelle nicht weiter erläutert. Zur Beurteilung des *Wartungsaufwands* wird eine einmal jährlich stattfindende Überprüfung betrachtet, die Bewertung der Systeme erfolgt dabei nach Abbildung 4.

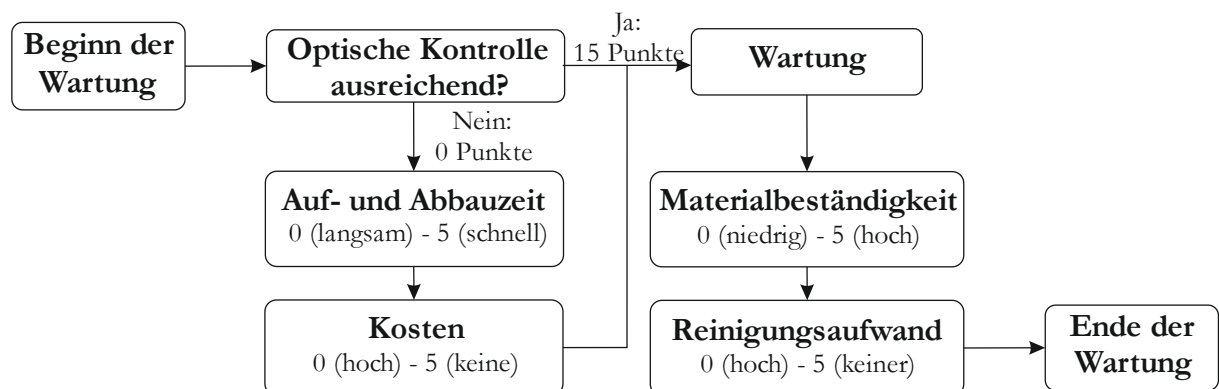


Abbildung 4: Fließdiagramm zur Bewertung des *Wartungsaufwands*, Punkte sind zu summieren.

3.2 Laboruntersuchungen zur Betriebssicherheit mobiler HWS-Systeme

Zur Bewertung der Betriebssicherheit unter möglichst realitätsnahen Bedingungen fanden Versuche zur hydraulischen Belastbarkeit der mobilen HWS-Systeme in einer Strömungsrinne in der wasserbaulichen Versuchshalle des IWW statt (Abbildung 5). Insgesamt wurden die Maßnahmen fünf Belastungen unterzogen: *Einstau*, *Anströmen*, *Überströmen*, *Einzelwellen* und *Treibgutanprall* (vgl. Tabelle 4).

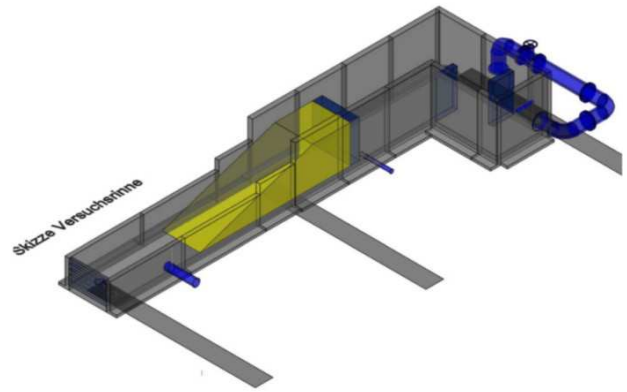


Abbildung 5: Versuchstand in der wasserbaulichen Versuchshalle des IWW.

Die Maßnahmen werden für die Untersuchungen im Bereich des Deichfußes eingebaut (Abbildung 6). Die Strömungsrinne verfügt über 2,00 m lichte Breite und der Deich über ein überströmsicheres Deckwerk. Der Zufluss in den Einlaufbereich kann mittels eines elektronisch steuerbaren Schiebers reguliert werden, übersteigt der Wasserstand im Einlaufbereich die Kronenhöhe des Deiches (2,00 m) fließt das Wasser über die Deichböschung in den Versuchstand, an dessen Ende die mobilen HWS-Systeme eingebaut sind. Ein Bodenablauf hinter der Maßnahme dient dazu, austretendes oder überströmendes Wasser abzuführen. Vor der Maßnahme ist ein seitlicher Ablauf vorhanden, der für die Lastfälle „Einstau“ und „Überströmen“ mit einem Deckel verschlossen wird. Für den Lastfall „Einzelwellen“ wird das Wasser durch eine Klappe bis zu 35 cm oberhalb der Deichkrone zurückgestaut, bevor die mit Elektromagneten gehaltene Klappe schlagartig geöffnet wird (Abbildung 7).

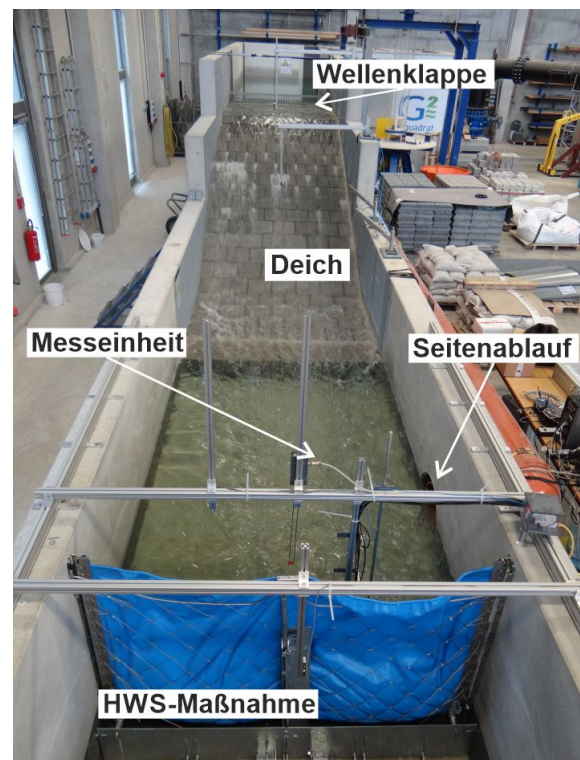


Abbildung 6: Versuchstand (links: Blickrichtung von Deichkrone, rechts: polderseitiger Blick).



Abbildung 7: Wellenklappe in geschlossenem (links) und geöffnetem (rechts) Zustand.

An den HWS-Systemen werden folgende Messgrößen aufgezeichnet:

- Druck in fünf verschiedenen Höhen,
- Strömungsgeschwindigkeit,
- Pegelstand jeweils vor dem HWS-System sowie
- die Auslenkung des HWS-Systems.

Die Druckmessung erfolgt durch fünf Druckmessdosen (Messbereich: 0 bis 400 mbar). Diese sind senkrecht an einer Stange im Abstand von 0,25 m montiert, die unterste Dose befindet sich 0,024 m über dem Rinnenboden. Die Anströmgeschwindigkeit wird auf Höhe der untersten Druckmessdose über einen Messflügel (Modell *Mini Water6 Micro*) bestimmt. Die Bestimmung des Pegelstandes erfolgt für Testphase 1 bis 3 über eine Ultraschallsonde, aufgrund der zu erwartenden schnellen Veränderung der Wasseroberfläche wird in Testphase 4 ein Wellenpegelmesser *GHM Wave Height Meter* verwendet.

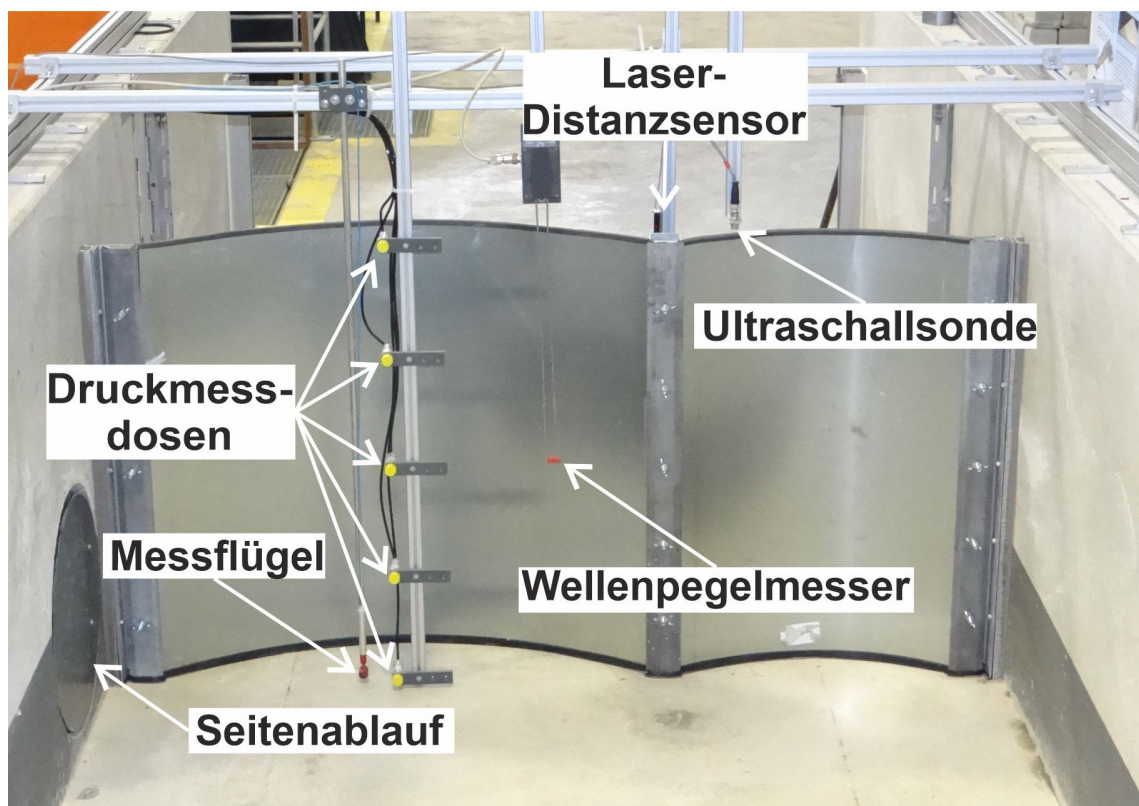


Abbildung 8: Anordnung der Messgeräte.

Die Verschiebung bzw. Rotation der HWS-Systeme wird mit Hilfe eines Laser-Distanzsensors gemessen (Abbildung 9). Der Laser ist hinter der Maßnahme angebracht und misst die Verschiebung Δx . Die Versuche werden zusätzlich durch drei Videokameras aufgezeichnet.

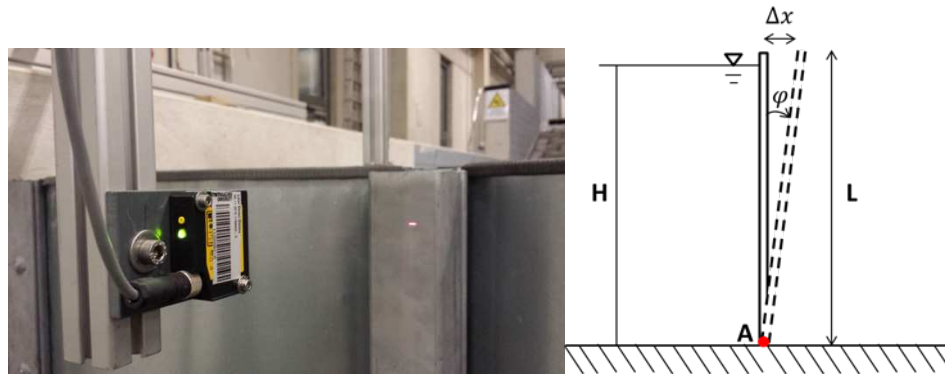


Abbildung 9: Laser-Distanzsensor zur Bestimmung der Verschiebung bzw. Rotation.

Testphase 5 erfolgt mit einem Anprallkörper aus Holz (Abbildung 13). Mit Hilfe der angebrachten Markierungen kann aus den Videoaufnahmen die Geschwindigkeit des Anprallkörpers ermittelt werden. Während der Anpralltests ist das HWS-System eingestaut, der Anprallkörper wird auf die Wasseroberfläche gebracht und mit einem Seil gegen die instabilste Stelle der Maßnahme gezogen. Tabelle 4 stellt die Versuchsbedingungen für alle Testphasen zusammen. Abbildung 10 bis Abbildung 13 zeigen Eindrücke der fünf Testphasen an den verschiedenen HWS-Systemen.

Tabelle 4: Versuchsbedingungen für die fünf Testphasen.

Testphase	Versuchsbedingungen
1: Einstau 	- linearer Anstieg des Wasserspiegels - bis zum Versagen oder Volleinstau - je drei Wiederholungen
2: Anströmen 	- senkrechte Anströmung - Steigerung des Abflussvolumens in fünf Stufen von 820 l/s auf 1.730 l/s - Belastungsdauer je Stufe: 3 Minuten
3: Überströmen 	- max. Überströmhöhen von 5–26 cm - Steigerung der Überströmhöhen für <i>HWS-mobil</i> und <i>Aquawand</i> bis OK Versuchsrinne, für <i>Sandsackdeich</i> und <i>Hydrobaffle</i> bis zum Versagen
4: Einzelwellen 	- je acht Schwallwellen mit bis zu 35 cm Schwallhöhe - vor Belastung ca. 20 cm Einstauhöhe
5: Treibgutanprall 	- nur für <i>HWS-mobil</i> und <i>Aquawand</i> durchgeführt 80 kg Anprallkörper, Anprallgeschwindigkeit bis zu 2,1 m/s 20 cm Freibordhöhe während Versuch - je fünf Wiederholungen



Abbildung 10: Testphase 1 und 2 – Einstau und Anströmen an *HWS-mobil* und *Aquawand*.



Abbildung 11: Testphase 3 – Überströmen von *Sandsackdeich*, *HWS-mobil* und *Aquawand*.



Abbildung 12: Testphase 4 – Wellenanprall auf *HWS-mobil*, *Hydrobaffle* und *Aquawand*.



Abbildung 13: Anprallkörper (links) und Anprallversuch an der *Aquawand* (rechts).

3.3 Einbindung der Hallig-Bewohner*innen durch Mixed-Method-Ansatz

Das soziologische Vorhaben setzte sich insgesamt aus den folgenden Bestandteilen zusammen:

- qualitative Analyse der Erhebungen und des Datenmaterials aus dem Vorgängerprojekt *ZukunftHallig* zur Filtrierung zentraler Aspekte für Küstenschutzmaßnahmen (Analyse von qualitativen Interviews und Zukunftswerkstätten mit Bewohner*innen),
- qualitative Expert*innen-Befragung zu Wandlungsprozessen auf den Halligen sowie zu bestehenden und potenziellen Küstenschutzmaßnahmen,
- Gruppendiskussionen mit den Hallig-Bewohner*innen und Expert*innen, um verschiedene Perspektiven bezüglich einer Evaluation getesteter Hochwasserschutzsysteme einzubeziehen.

Anschließend wurden die wissenschaftlichen Erkenntnisse zu den getesteten Maßnahmen, zu der Akzeptanz der Bevölkerung und der Übertragbarkeit zusammengeführt. Ziel des Vorgehens war ein Anforderungskatalog, der zentrale Aspekte (Bedürfnisse, Erwartungen, Akzeptanz) zu Küstenschutzmaßnahmen beinhaltet.

Der auf den lokalen Kontext zugeschnittene Ansatz ermöglichte eine Berücksichtigung sozialer Aspekte (Bedürfnisse, Erwartungen, Anforderungen) und deren Zusammenführung mit technischen Aspekten (technisch umsetzbare Maßnahmen) im Rahmen einer Evaluation seitens des Küsteningenieurwesens, im Sinne einer ganzheitlichen interdisziplinären, soziotechnischen Perspektive. Im Folgenden werden als zwei zentrale Facetten des soziologischen Vorhabens die durchgeführten Expert*innen-Interviews und die Gruppendiskussionen herausgegriffen und zentrale Erkenntnisse dargestellt.

3.3.1 Expert*innen-Interviews

Die Auswahl der Expert*innen für die qualitativen Interviews erfolgte im Hinblick auf deren vorhandene Expertise vor Ort, da diese, als Teil des zu untersuchenden Handlungsfeldes, über repräsentative, besondere Informationen verfügen (vgl. Meuser 1989, Meuser und Nagel 2005). So leben die Interviewten auf einer der Halligen und/oder sind diesen aus beruflichen Gründen, beispielsweise durch eine Tätigkeit im Küstenschutz, stark verbunden.

Insgesamt wurden 18 Expert*innen angefragt und es konnten 16 Interviews realisiert werden. Eine angefragte Person hat eine Gesprächsteilnahme verweigert, bei einer Person konnte das Interview aufgrund technischer Schwierigkeiten (fehlender Telefonanschluss) nicht umgesetzt werden. Unter Rücksprache mit Vertreter*innen der Halligen sowie Projektpartner*innen wurde der folgende Expert*innen-Kreis ausgewählt: Sieben Gemeindevertreter*innen der Halligen; fünf Vorarbeiter*innen im Küstenschutz; vier Personen aus der Verwaltung und/oder aus Projekten zum Biosphärenreservat der Halligen.

Die Expert*innen wurden zweimalig via E-Mail Anfang sowie Mitte November 2017 angefragt. Bei ausbleibender Rückmeldung wurde telefonisch Kontakt aufgenommen. An diese Kontakt- und Akquisezeit schloss dann die Interviewphase ab Dezember 2017 an. Die Interviews wurden telefonisch durchgeführt und aufgezeichnet, wobei die Zustimmung zur Gesprächsaufzeichnung zu Anfang des Interviews abgefragt wurde, unter

Zusicherung eines Schutzes der Daten durch eine vertrauliche Behandlung sowie eine Anonymisierung. Insgesamt fanden die Telefoninterviews in einem Zeitfenster von circa 26 Minuten bis zu einer Stunde statt.

3.3.2 Gruppendiskussionen

Um eine Partizipation seitens der Hallig-Bewohner*innen zu gewährleisten, wurden zwei Gruppendiskussionen auf der Hallig Hooe (27.08.2018) und der Hallig Langeneß (28.08.2018) in enger Kooperation mit den dortigen Vertreter*innen initiiert.

Als eine Erhebungsmethode der empirischen Sozialforschung bieten Gruppendiskussionen eine Möglichkeit, um thematische Aussagen, Meinungen, Sichtweisen und Einstellungen, aber auch die Kommunikation, Geschichten und Selbstrepräsentationen in einem kulturellen sowie kollektiven Kontext zu erfassen (vgl. Mäder 2013: 24). Zentrale Charakteristiken von solch qualitativen Methoden sind die *Offenheit, Kommunikativität, Naturalisizität* und *Interpretativität* (vgl. Lamnek 1995: 17 ff.). Gruppendiskussionen geben zudem einen Einblick in die Konstitution und Konstruktion von Wirklichkeit sowie in den Prozesscharakter von Alltagsinteraktionen (vgl. Kutscher 2002: 59). Dabei sind Meinungsbildungsprozesse und Gruppendynamiken – nachvollziehbar anhand des Diskussionsverlaufs – von zentralem Interesse (vgl. Lamnek 2005: 69–77) sowie die Rekonstruktion von deutungs- und handlungsgenerierenden Strukturen (vgl. Mruck und Mey 2005: 7). So stellt die Gruppendiskussion eine Erhebungsmethode dar, um Fragestellungen sowie sensible bzw. komplexe Themen aus der Perspektive zentraler Beteiligter zu untersuchen oder neue Forschungsgebiete zu explorieren (vgl. Mäder 2013: 29). Entsprechend ist hiermit eine Gleichwertigkeit sowie Ergänzung in Mixed-Methods-Ansätzen – mit (Expert*innen-) Interviews (vgl. Kutscher 2002: 75) und/oder (teilnehmenden) Beobachtungen, aber auch mit quantitativen Ansätzen – gegeben (vgl. Mäder 2013: 29 ff.).

Da die Entstehung eines Meinungsbildes – vor dem Hintergrund eines geteilten Erfahrungskontexts und auf Basis eines Austauschs bzw. der Rekonstruktion eines Diskussionsverlaufs – zu sensiblen und komplexen Themen mittels Gruppendiskussionen erfassbar ist, wurden entsprechend der hier dargelegten Methodik die Gruppendiskussionen auf der Hallig Hooe und der Hallig Langeneß durchgeführt und ausgewertet. Besonders der Aspekt, dass hiermit eine Partizipation von Betroffenen gewährleistet sein kann, begründet den Einbezug dieses Erhebungsinstruments in das Forschungsdesign. Zudem erscheint vorteilhaft, dass es sich bei den Teilnehmer*innen um eine *Realgruppe* handelt und eine Übertragbarkeit auf weitere Prozesse gegeben ist.

Für die geplanten Diskussionen auf der Hallig Hooe und der Hallig Langeneß wurden Flyer als Einladung und Information für die Bewohner*innen erstellt sowie in enger Kooperation mit den Vertreter*innen der Halligen abgestimmt und in Umlauf gebracht. An dieser Stelle gilt besonderer Dank den Kooperationspartner*innen auf den Halligen für die gegenüber der Soziologie entgegengebrachte Offenheit und Unterstützung.

Zu Beginn der Gruppendiskussionen wurden das *Projekt Living CoastLab Halligen* vorgestellt und Bezüge zu dem Vorgängerprojekt *ZukunftHallig* seitens der Soziologin Nenja Ziesen hergestellt, mit einem kurzen Rekurs auf zentrale Ergebnisse. Dabei wurde auch um eine kritische Diskussion gebeten. Zudem wurde betont, dass jegliche Anmerkungen, Überlegungen und Kritikpunkte offen geäußert werden können. Anschließend wurde der

Ablauf der Gruppendiskussion erläutert: Zunächst stellte die Geologie aus Göttingen, vertreten durch Ingo Hache, Ergebnisse zur Sedimentation vor. Im Anschluss präsentierte Theide Wöffler, als Vertreter des *Instituts für Wasserbau und Wasserwirtschaft (IWW)* der *RWTH Aachen University*, Naturmessungen auf Hooge sowie mobile Hochwasserschutzsysteme, die in der Versuchshalle des *IWW* getestet wurden. Nach Verständnisfragen zu den jeweiligen Vorträgen konnten kritische Aspekte diskutiert werden.

Insgesamt dienten beide Vorträge als *Grundreiß* und Grundlage für die folgende Diskussion. Abschließend wurde um eine Bewertung gebeten bezüglich zentraler Aspekte, die Schutzmaßnahmen auf den Halligen erfüllen sollten, sowie der vom *IWW* vorgestellten Maßnahmen. Dabei wurde ein eigens erstelltes Bewertungssystem erläutert und auf die seitens der Soziologie durchgeführten Interviews im November/Dezember 2017 mit Expert*innen verwiesen, aus denen die benannten zentralen Aspekte hervorgingen. So wurde für eine explizite Bewertung durch die Bewohner*innen eine Tabelle erstellt, welche eine Bewertung der Maßnahmen anhand der – in den Interviews bestätigten – zentralen Aspekte gewährleistet. Zudem wurden Aspekte in die Tabelle aufgenommen, die für die Testung der Maßnahmen seitens des *IWW* bedeutsam sind (hydrodynamische Wirksamkeit, Betriebssicherheit, Wartungsaufwand und Bereitstellungszeit). Den Bewohner*innen wurde die Möglichkeit gegeben, jeder Maßnahme für jeden Aspekt einen Wert von 0 bis 4 zuzuordnen (0 = Der Aspekt wird gar nicht erfüllt; 1 = Der Aspekt wird eher nicht erfüllt; 2 = Der Aspekt wird teils erfüllt und teils nicht; 3 = Der Aspekt wird eher erfüllt; 4 = Volle Erfüllung des Aspektes). Während der abschließenden Bewertungsphase konnten die Bewohner*innen weiterhin frei miteinander diskutieren sowie den anwesenden Expert*innen Fragen stellen.

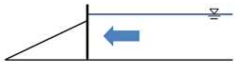
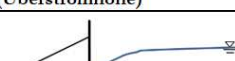
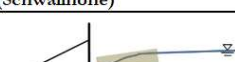
4 Ergebnisse

4.1 Auswertung der hydraulischen Belastungstests

Im Rahmen der Modellversuche wurden die mobilen HWS-Maßnahmen hinsichtlich ihrer Vulnerabilität gegenüber verschiedenen Belastungen bzw. Gefährdungsszenarien untersucht. Die Ergebnisse der Modellversuche sind in Tabelle 5 zusammengefasst.

Für die Maßnahmen *Aquawand* und *HWS-mobil* ist ein Einstau (Testphase 1) bis zur Oberkante der Maßnahme möglich, ohne dass es zu einer erhöhten Leckage durch die Maßnahmen kommt. Leichte Undichtigkeiten zeigen sich hier jedoch im unteren Bereich der Wand- und Stützenanschlüsse sowie für das System *HWS-mobil* zwischen Blech und Boden. Auch der *Sandsackdeich* hält einem Volleinstau stand, allerdings ergeben sich hier im Vergleich deutlich höhere Sickerwassermengen. Der *Hydrobaffle* konnte über die vom Hersteller angegebene Einstauhöhe hinaus belastet werden, ohne dass es zu einem Versagen kam. Eine Freibordhöhe von 10–20 % der Gesamthöhe ist jedoch in jedem Fall einzuhalten: Bei einer weiteren Erhöhung des Wasserspiegels nimmt die Lageänderung des *Hydrobaffle* derart zu, dass dieser durch Wegrollen plötzlich versagt. Beim *Hydrobaffle* zeigten sich Undichtigkeiten an den Seitenwänden der Betonrinne. Dieser Modelleffekt wird jedoch je nach Einsatzort in der Natur weniger stark ins Gewicht fallen, wenn die Anschlussflächen im Verhältnis zur Gesamtlänge der Maßnahme geringer sind.

Tabelle 5: Ergebnisse der Belastungstests für die untersuchten mobilen HWS-Maßnahmen; ein grüner Haken bedeutet, dass das System die Belastung unbeschadet überstanden hat, die Zeile darunter gibt die maximal getestete Belastung an, ein Kreuz steht für ein Versagen der Maßnahme während der Belastungstests, ein Kreis für eine eingeschränkte Leistungsfähigkeit.

	Aquawand	Hydrobaffle	HWS-mobil	Sandsackdeich*
				
 Testphase 1: Einstau (erforderliches Freibord)	✓ Volleinstau (100 mbar)	○ 10 % Freibord erforderlich	✓ Volleinstau (100 mbar)	○ Volleinstau, hohe Leckagerate
 Testphase 2: Anströmen (Anströmvolumina)	✓ $0,85 \text{ m}^3/(\text{s}\cdot\text{m})$	✓ $0,85 \text{ m}^3/(\text{s}\cdot\text{m})$	✓ $0,85 \text{ m}^3/(\text{s}\cdot\text{m})$	✓ $0,85 \text{ m}^3/(\text{s}\cdot\text{m})$
 Testphase 3: Überströmen (Überströmhöhe)	✓ mind. 0,15 m	✗ Überströmung bei Kombination mehrerer Elemente möglich	✓ mind. 0,11 m	○ < 0,16 m, danach Versagen
 Testphase 4: Einzelwellen (Schwallhöhe)	✓ 0,35 m	✗ Wellenanprall stabil, Versagen inf. anchl. Überströmung	✓ 0,35 m	✗ Wellenanprall stabil, Versagen inf. anchl. Überströmung
 Testphase 5: Anprall (max. Impuls)	✓ $\approx 160 \text{ (kg}\cdot\text{m)}/\text{s}$	✗ nicht durchgeführt, da Versagen erwartbar	✓ $\approx 160 \text{ (kg}\cdot\text{m)}/\text{s}$	✗ nicht durchgeführt, da Versagen erwartbar

* Für den Sandsackdeich wurden drei verschiedene Aufbauten getestet. Gezeigt sind hier nur die Ergebnisse des stabilsten Aufbaus. Entscheidend insbesondere für den Widerstand während Überströmung ist die Lage der oberen Sandsackreihen; die Aufbauten mit einer Längsausrichtung der Sandsäcke waren stabiler, erfordern jedoch auch eine höhere Anzahl an Sandsäcken.

Einer Anströmung (Testphase 2) konnten alle Maßnahmen widerstehen, sofern es nicht in ihrer Folge zu einer zu starken Erhöhung des Wasserspiegels oder einer Überströmung kam, die zumindest für *Sandsackdeich* und *Hydrobaffle* eine kritische Belastung darstellen können (vgl. Testphase 1 und 3).

Eine Überströmung (Testphase 3) war für *Aquawand* und *HWS-mobil* ohne Beeinträchtigung der Funktionstüchtigkeit möglich. Eine Erhöhung der maximal getesteten Überfallhöhen (vgl. Tabelle 5) war im Versuchsaufbau nicht möglich, da das Wasser sonst über die seitlichen Wände der Versuchsrinne geströmt wäre. Die Auswertung der Videoaufnahmen sowie der Daten des Laserscanners zeigt, dass beide Maßnahmen während der Überströmung weder in Schwingung geraten noch die Auslenkung der Mittelstützen durch die Überströmung verstärkt wird. Beim Überströmen des *Hydrobaffle* kam es durch eine Drehbewegung zum schlagartigen Versagen und damit einem plötzlichen Wegfall der wasserrückhaltenden Funktion. Die Kombination aus zwei hintereinander gereihten *Hydrobaffle* hat hingegen einer Überströmhöhe von 0,26 m standhalten können.

Während der Wellenanprallversuche konnte der *Hydrobaffle* den Belastungen des Wellenanpralls standhalten, die anschließend stattfindende Überströmung ließ die Maßnahme

jedoch wie oben beschrieben versagen. Das gleiche Verhalten ließ sich bei der Schwallwellenbelastung des Sandsackdeichs beobachten. Die Maßnahmen *HWS-mobil* und *Aquawand* hielten dem Wellenanprall ohne Probleme stand. Während der dynamischen Belastung ließ sich aus der Distanzmessung an der Mittelstütze eine Auslenkung der Systeme von bis zu 10 mm (*HWS-mobil* ohne zusätzliche Abstützung) und bis zu 20 mm (*Aquawand*) beobachten (Abbildung 14), nach der Belastung kehrten beide Systeme wieder in ihren Ausgangszustand zurück und zeigten keine Beeinträchtigung der Gebrauchstauglichkeit.

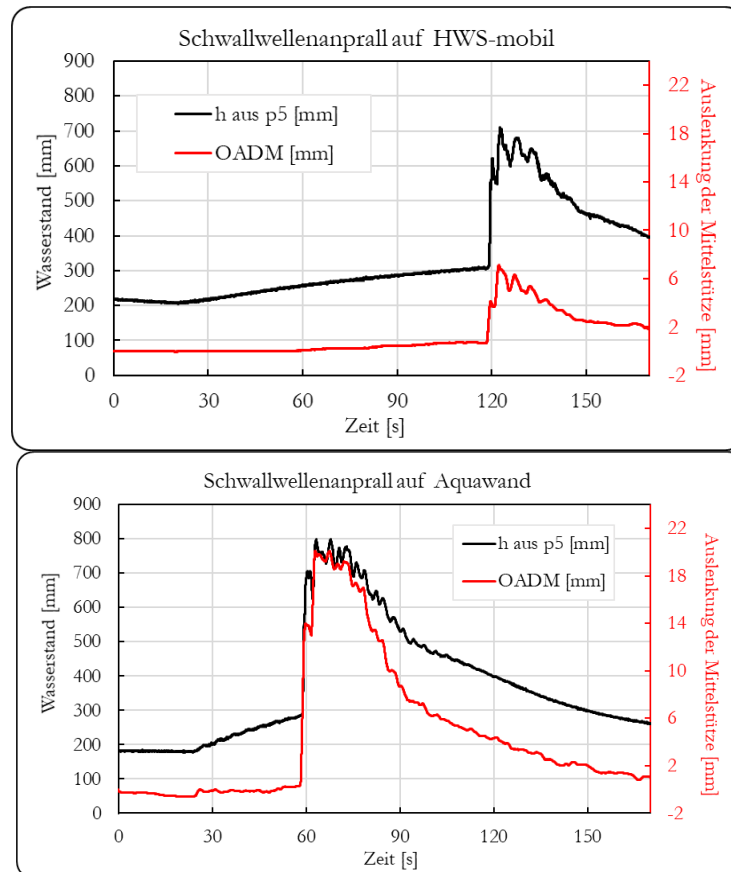


Abbildung 14: Verlauf des Wasserstands unmittelbar vor dem System und Auslenkung der Mittelstütze während Wellenanprall auf die Maßnahmen *HWS-mobil* (ohne zusätzliche Abstützung, links) und *Aquawand* (rechts).

Die durchgeführten Anpralltests verursachten bei der Maßnahme *HWS-mobil* eine Lageveränderung der Stütze, die sich mit jedem Anprall vergrößerte (bis zu 20 mm, vgl. Abbildung 15). Traf der Anprallkörper anstelle der Stütze auf die gebogenen Stahlbleche, wurde der Anprall gedämpft, hier kam es jedoch teils zu irreversiblen Verformungen (Beulen im Blech, Abbildung 15 rechts). Weder die Standsicherheit noch die Funktionstüchtigkeit des Systems wurden durch die Verschiebungen und Verformungen beeinträchtigt. Auch an der *Aquawand* führten die Anpralltests zu einer deutlichen Verschiebung der Stütze (bis zu 10 cm). Traf der Anprallkörper anstelle der Stütze auf die Plane, so kam es an einer Stelle zu einem Riss im Stahlnetz, dies hatte jedoch kein Versagen der Maßnahme zur Folge, da die Plane unbeschädigt blieb. Auch nach den Anpralltests verlief ein erneuter Auf- und Abbau beider Systeme ohne Schwierigkeiten und beide Systeme waren weiterhin funktionstüchtig.

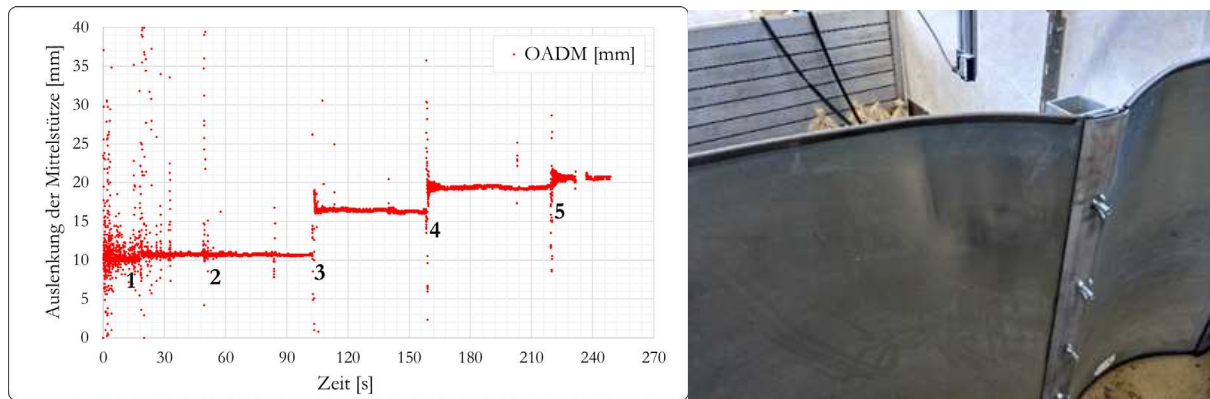


Abbildung 15: Auslenkung der Mittelstütze infolge Treibgutanprall an der Maßnahme *HWS-mobil* (ohne zusätzliche Abstützung) und Verformungen am Stahlblech nach Abschluss der Anprallversuche.

Für die Maßnahme *HWS-mobil* kann eine erhöhte Stabilität durch den Einbau einer zusätzlichen Abstützung (vom Hersteller ab einer Höhe von 0,7 m empfohlen) erreicht werden. Alle Testphasen wurden mit und ohne Zusatzstütze durchgeführt. Das System ohne Zusatzstütze wurde zwar stärker ausgelenkt, diese Auslenkung hatte jedoch keine Auswirkungen auf die Standsicherheit. Das System ist somit auch ohne die Zusatzstütze standsicher und gebrauchstauglich.

Die Ergebnisse der Modellversuche erlauben eine Bewertung der Vulnerabilität der Maßnahmen gegenüber Treibgutanprall und Überströmung, welche in die Ermittlung der Betriebssicherheit der Maßnahmen eingeht (Tabelle 6). Die Dichtigkeit der Maßnahmen sowie die Widerstandsfähigkeit gegenüber Wellenanprall ist für die Ermittlung der hydrodynamischen Wirksamkeit relevant (vgl. Abschnitt 3.1). Ferner wurde im Rahmen der Untersuchungen die Aufbauzeit der einzelnen Maßnahmen überprüft, die im Wesentlichen mit den Angaben der Hersteller (Tabelle 1) übereinstimmte.

Tabelle 6: Einschätzung der Vulnerabilität gegenüber ausgewählten Gefährdungsszenarien. Die Bewertung ergibt sich jeweils aus der Kombination von Exposition und Vulnerabilität (s. Tabelle 3), die Gesamtbewertung der Betriebssicherheit (unterste Zeile) bildet sich aus dem geometrischen Mittel der Einzelbewertungen aller Gefährdungsszenarien nach Tabelle 3. Auf eine Darstellung aller Einzelbewertungen wird aus Platzgründen verzichtet.

Gefährdungsszenario Exposition	Aquawand	HWS-mobil	Klappschott*	Hydrobaffle	Sandsäcke
Treibgutanprall (A) mittel	mittel / 0,5	gering / 0,75	gering / 0,75	hoch / 0,25	mittel / 0,5
Überströmen (D) gering	gering / 1,00	gering / 1,00	gering / 1,00	hoch / 0,5	mittel / 0,75
Verlegung (E) mittel	gering / 0,75	gering / 0,75	hoch / 0,25	gering / 0,75	gering / 0,75
...	...	...	...	...	...
Gesamtbewertung Betriebssicherheit	0,70	0,75	0,67	0,63	0,63

* Maßnahme wurde nicht getestet, die Bewertung erfolgt auf einer Einschätzung auf Grundlage der zum System öffentlich zugänglichen Informationen.

4.2 Bewertung der mobilen HWS-Systeme

Die Bewertung der *hydrodynamischen Wirksamkeit* bei Einsatz der mobilen Maßnahmen zum *Verschluss von Stöpen* im Ringdeich erfolgt für alle Maßnahmen identisch und wie unter Abschnitt 3.1 erläutert. Im Folgenden wird hierzu sowohl das HW_{100} als auch das HW_{20} betrachtet. Abbildung 16 zeigt beispielhaft das Ergebnis der Berechnung für die Warft Süderhorn auf Langeneß.

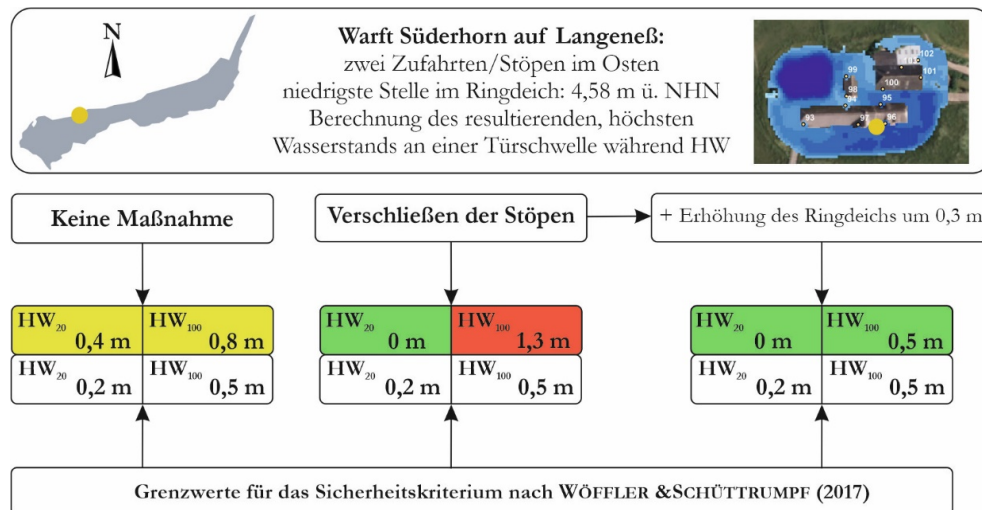


Abbildung 16: Während HW_{20} und HW_{100} maximal berechnete Wasserstände an den Türschwellen ($h_{\text{Warft,max}}$) am Beispiel der Warft Süderhorn auf Langeneß für den Ist-Zustand, bei Verschließen der Stöpen mit einer 1 m hohen mobilen HWS-Maßnahme und einem Stöpenverschluss bei gleichzeitiger Ringdeicherhöhung im Süden, Südosten und Südwesten der Warft.

Im Ist-Zustand ohne Maßnahme werden die Grenzwerte für das Sicherheitskriterium nach Wöffler und Schüttrumpf (2017) (für HW_{20} : $h_{\text{Warft,max}} < 0,2$ m, für HW_{100} : $h_{\text{Warft,max}} < 0,5$ m) für beide Hochwasserereignisse nicht erfüllt. Durch ein Verschließen der Stöpen mit einer 1 m hohen mobilen HWS-Maßnahme wird der resultierende Wasserstand an der Türschwelle während eines 20-jährlichen Hochwassers auf 0 m gesenkt, für das 100-jährliche Hochwasser zeigt sich jedoch eine Erhöhung des berechneten Wasserstands, da sich das durch Wellenüberlauf auf die Warft gelangte Wasser höher einstauen kann. Während auch hier im Bereich der nun verschlossenen Stöpen die Wellenüberlauraten auf 0 l/s reduziert werden können, läuft die Warft durch den an anderen Stellen unveränderten Wellenüberlauf voll. Der Verschluss der Stöpen bewirkt, dass das Wasser nur bedingt ablaufen kann, resultiert so in einer Erhöhung der Wasserstände auf der Warft und hat in diesem Beispiel einen negativen Einfluss. Eine iterative Berechnung ergibt, dass für die betrachtete Warft eine Erhöhung des Ringdeichs im Süden der Warft um 0,3 m erforderlich ist, damit durch Verschließen der Stöpen die Wasserstände an den Türschwellen während eines HW_{100} soweit gesenkt werden können, dass das Sicherheitskriterium eingehalten wird.

Die Berechnungen sind nicht auf andere Warften übertragbar und die Warften sind in Abhängigkeit ihrer jeweiligen Geometrie und hydrodynamischen Belastung einzeln zu betrachten. Dennoch zeigten Berechnungen für andere Warften einen ähnlichen Trend und es wird deutlich, dass die abschnittsweise Verwendung von mobilen HWS-Systemen für extreme Hochwasserereignisse nur bei gleichzeitiger Warftverstärkung erfolgsversprechend ist. Die hydrodynamische Wirksamkeit der mobilen Maßnahmen für ein HW_{100} wird somit für alle betrachteten Systeme mit „0 (keine hydrodynamische Wirksamkeit)“ bewertet,

woraus ein Ausschluss aller Maßnahmen für diesen Anwendungsfall folgt. Die Maßnahmen eignen sich jedoch für die Abwehr kleinerer Hochwässer, wie das hier betrachtete HW₂₀. Bei diesem kann die mobile Maßnahme den Wellenaufbau in der Stöpe erfolgreich kehren (die hydraulischen Belastungstests bestätigen eine Stabilität gegenüber Wellenanprall für alle Maßnahmen), ein Volllaufen der Warft verhindern und den resultierenden Wasserstand auf der Warft signifikant reduzieren. Die Wirksamkeit der Maßnahmen wird für ein HW₂₀ mit „1“ bewertet. Damit erfüllen die Maßnahmen die angestrebte kurzfristige Schutzwirkung: Durch mobile HWS-Maßnahmen kann ein Schutz vor Hochwässern mit niedriger Jährlichkeit geschaffen werden, bis langfristige Warftverstärkungen zur Abwehr von seltenen Extremereignissen abgeschlossen sind.

Bei Einsatz als *Objektschutz* (zum Verschließen von Tür- und Fensteröffnungen oder umlaufend) sind die Maßnahmen auch während eines HW₁₀₀ wirksam. Entscheidend für die Wirksamkeit ist hier die Dichtigkeit sowie die Standsicherheit der Systeme bei Volleinstau, weshalb die Bewertung für die verschiedenen Maßnahmen getrennt (und auf Grundlage während der Belastungstests gesammelter Erfahrungen) erfolgt. Hier können mobile Maßnahmen dazu beitragen die Güter auf der Hallig bereits vor Abschluss der Warftverstärkungen auch vor extremen Ereignissen zu schützen.

Tabelle 7: Bewertung der mobilen HWS-Systeme für die Anwendungsfälle Stöpenverschluss/Objektschutz (1 – beste Bewertung, 0 – schlechteste Bewertung) für alle Bewertungskriterien sowie Gesamtbewertung (durch Bildung des geometrischen Mittels, hydrodynamische Wirksamkeit und Betriebssicherheit mit doppelter Gewichtung).

Stöpenverschluss*/ Objektschutz	Aquawand	HWS-mobil	Klappschott	Hydrobaffle	Sandsäcke
Hydrodynamische Wirksamkeit	1 / 0,75	1 / 0,75	1 / 0,75	1 / 0,5	1 / 0,25
Betriebssicherheit	0,7	0,75	0,67	0,63	0,63
Bauaufwand	0,75	0,5	0,25	1	1
Landschaftsbild bzw. Naturschutz	0,89 / 1	0,94 / 1	0,89 / 1	1 / 1	1 / 1
Wartungsaufwand	0,75	1	0,75	1	0,75
Zeitaufwand	0,75 / 0,75	0,5 / 0,75	1 / 1	0,25 / 0,5	0,25 / 0,5
Lagerung	1 / 1	0,75 / 0,75	1 / 1	0,75 / 0,75	0 / 0,25
Gesamtbewertung (Stöpenverschluss*/ Objektschutz)	0,83 / 0,78	0,77 / 0,77	0,75 / 0,71	0,75 / 0,69	0 / 0,5
Akzeptanz** (Hooge/Langeneß)	–/–	+/–	+/–	–/–	+/+

* Der Anwendungsfall Stöpenverschluss bezieht sich, wie oben dargestellt, nur auf Hochwässer geringer Jährlichkeit (HW₂₀).

** Die Bewertung (– negative / + positive Beurteilung) erfolgt auf Grundlage der im August 2018 stattgefundenen Gruppendiskussion auf Hooge und Langeneß (vgl. Kapitel 4.3).

Die resultierende Bewertung der betrachteten Maßnahmen für alle Kriterien ist in Tabelle 7 zusammengefasst; für die hydrodynamische Wirksamkeit, für Landschaftsbild/Naturschutz sowie Zeitaufwand und Lagerung ergeben sich je nach Anwendungsfall (Stöpenverschluss/Objektschutz) unterschiedliche Bewertungen.

Aus technischer Sicht (hydrodynamische Wirksamkeit, Betriebssicherheit) können insbesondere die Systeme *HWS-mobil* und *Aquawand*, aber auch das *Klappschott* (keine hydraulischen Belastungstests, die Bewertung stützt sich nur auf öffentlich zugängliche Informationen des Herstellers) für den Einsatz auf der Hallig empfohlen werden. Auch bei Berücksichtigung weiterer hallig-spezifischer Aspekte können die drei Systeme überzeugen. Unterschiede ergeben sich hier hinsichtlich des Bauaufwands (Kosten) sowie der Lagerung und des Wartungsaufwands: Die Systeme *Klappschott* und *Aquawand* werden vor Ort im Boden gelagert. Dies ist zwar hinsichtlich des Zeitaufwands und möglicher Fehlerquellen bei Transport und Aufbau (unter Betriebssicherheit berücksichtigt) positiv zu beurteilen, kritisch wirkt sich dies jedoch auf Alterung und Korrosion (ebenfalls unter Betriebssicherheit berücksichtigt) sowie auf den Wartungsaufwand aus. Die etwas schlechtere Gesamtbewertung des Klappschotts lässt sich auf die hohen Investitionskosten sowie die Gefahr des Versagens der automatischen Teile (z. B. infolge Verlegung, schlägt sich in der Bewertung der Betriebssicherheit nieder) zurückführen. Für das System *HWS-mobil* müssen die Bauteile erst zum Einsatzort transportiert werden. Die gebogenen Stahlbleche sind sehr leicht und können unter normalen Witterungsverhältnissen ohne Schwierigkeiten von 1–2 Personen getragen und aufgebaut werden. Während eines starken Sturms könnten Transport und Aufbau der Stahlbleche herausfordernd sein. Aufgrund fehlender Praxistests vor Ort kann hierzu jedoch keine fundierte Einschätzung gegeben werden.

Auch der *Hydrobaffle* eignet sich prinzipiell zu einer temporären Freiborderhöhung und damit zum Schutz vor Wellenanprall und -überlauf, sein Einsatz ist allerdings nur zu empfehlen, wenn ein erhöhter Einstau ausgeschlossen oder der *Hydrobaffle* zusätzlich durch andere Maßnahmen vor Wegrollen geschützt werden kann. Die Verwendung einer Dichtungsfolie auf der Oberseite des wassergefüllten Systems, wie in Wagenhuber (2016) beschrieben, empfiehlt sich für einen Einsatz auf den Halligen aufgrund der hohen zu erwartenden Windgeschwindigkeiten nicht. Der Vorteil des *Hydrobaffle* liegt in seiner flexiblen und mobilen Anwendungsmöglichkeit, da keine Anschlüsse im Boden oder an angrenzender Bebauung erforderlich sind. Es ist allerdings in jedem Fall zu klären, woher das Füllwasser für den *Hydrobaffle* bezogen werden kann. Eine Bezugsmöglichkeit bilden gegebenenfalls nahegelegene Priele sowie die Fethinge. Sollte das Füllwasser hier entnommen werden, so ist für einen ausreichenden Schutz gegen Verstopfen der Schläuche und der Pumpe zu sorgen. Zusätzlich sollte eine Ersatzpumpe zur Verfügung stehen, da bei Ausfall der Pumpe das gesamte System nicht einsatzfähig ist. Eine Befüllung über die Hausanschlüsse auf einer Warft wird zu langen Füllzeiten führen. Ferner ist unklar, wie sich das gleichzeitige Befüllen mehrerer *Hydrobaffles* auf einer Warft oder Hallig auswirkt.

Als konventionelle mobile Schutzmaßnahme ist zusätzlich ein *Sandsackdeich* betrachtet worden. Hinsichtlich der Betriebssicherheit und hydrodynamischen Wirksamkeit ist diese Maßnahme mit dem *Hydrobaffle* vergleichbar. Allerdings besteht hier eine geringere Gefahr des schlagartigen Versagens, dafür kommt es bei einem Volleinstau zu höherer Leckage. Für den betrachteten Anwendungsfall *Stöpenverschluss* scheidet die Maßnahme aufgrund des hohen Platzbedarfs für die Lagerung aus. Ein Einsatz im *Objektschutz* ist denkbar, allerdings müssen die hohen Leckageraten in Kauf genommen werden. Ferner gilt stets zu bedenken, dass für größere Sandsackmengen eine hohe Anzahl an einsatzfähigen Helfern für den Aufbau erforderlich sind. Als zusätzliche Verstärkung oder zur schnellen Abdichtung von Fehlstellen bieten Sandsäcke jedoch eine sinnvolle Ergänzung.

4.3 Auswertung der soziologischen Teilstudie

4.3.1 Expert*innen-Interviews

Die Transkription und Auswertung der Interviews verlief ohne die Personalien in pseudonymisierter Form, sodass alle Expert*innen ein Kürzel erhielten (E1 bis E16). Die verschriftlichten Transkripte umfassen insgesamt circa 236 Seiten und dienten als Basis für die qualitative Auswertung mittels der Software MaxQDA (Kuckartz 2012). Im Folgenden sind die zentralen Ergebnisse der qualitativen Interviewauswertung entlang der vier Themenblöcke aus dem konzipierten Leitfaden wiedergegeben.

Themenblock 1: Eigene Erfahrungswerte

- **Merkmale der Halligen:** einzigartige geografische Lage, Leben mit der Natur und den Gezeiten, Leben auf Warften, Ruhe.
- **Besonderheiten des alltäglichen Lebens:** durch geografische Lage und Verkehrsanbindungen geprägt, an Wetter sowie Gezeiten angepasste Struktur, mit Einschränkungen verbunden, Gleichzeitigkeit von regelmäßiger Planung und Flexibilität, Arbeit vor allem bezogen auf Küstenschutz, Tourismus und Land- bzw. Viehwirtschaft.
- **Umgang mit den vorherrschenden Bedingungen:** Unterscheidung zwischen *normalen* Landunter-Situationen und Sturmfluten, Gewohnheit und gelassener Umgang bei Landunter, größere Sorge und Vorsicht bei Sturmfluten.
- **Charakterisierung der Hallig-Bewohner*innen:** heterogen und dennoch gemeinsame Grundmerkmale wie Gelassenheit, Besonnenheit, Naturverbundenheit, Bodenständigkeit und Stolz sowie Unterscheidung zwischen *Zugezogenen* und *Alteingesessenen* (begründet mit unterschiedlichen Erfahrungswerten).
- **Spezifische Wissens- und Erfahrungsbestände:** implizites *Halligwissen*, verbunden mit Erfahrungen aus Natur- und Wetterbeobachtungen, sowie generationenübergreifende Traditionen, angepasst an die exponierte Lage.

Themenblock 2: Einschätzung der Entwicklungen und Wandlungsprozesse

- **Entwicklungen auf den Halligen:** Meeresspiegelanstieg, Veränderungen in der Häufigkeit und Intensität von Landunter und Sturmfluten, Wandlungsprozesse im Watt, in der Tierwelt und in der Vegetation.
- **Weitere (zukünftige) Entwicklungen:** unterschiedliche Antizipationen, keine konkreten zukünftigen Prognosen, demografischer Wandel und Sorge bezüglich der Umsetzung von Schutzmaßnahmen.
- **Umgang mit Entwicklungen und Reaktionen:** heterogene Umgangsweisen mit den klimatischen Entwicklungen, Gelassenheit und Ruhe-Bewahren, Sensibilisierung und Fokussierung auf (präventive) Schutzmaßnahmen, Differenzen in der Perspektive (Kurzfristigkeit vs. Langfristigkeit).
- **Einlassen auf Wandlungsprozesse:** heterogen/divers, Einbezug der Bewohner*innen für Akzeptanz/Offenheit notwendig.
- **Allgemeines und verändertes Bewusstsein:** gestiegene Aufmerksamkeit, Bewusstseinsschärfung und Sensibilisierung im Kontext schwerer Stürme, wie Anatol (1999), Xaver und Christian (2013).

- **Unterschiede zwischen den Generationen** sowie zwischen Alteingesessenen und Zugezogenen bezüglich der Wahrnehmung, des Bewusstseins und des Umgangs mit Wandlungsprozessen, kein einheitliches Bild innerhalb dieser Differenzierungen.
- **„Neues Denken“ im Küstenschutz:** Wandlungstendenzen in Form neuer Maßnahmen (wie Klimadeiche) und Initiativen, stärkerer Einbezug der Bewohner*innen als positiver Aspekt, Langwierigkeit von Genehmigungsverfahren als Kritik.

Themenblock 3: Bewertung bisheriger Maßnahmen

- **Bewertung der traditionellen Maßnahmen:** Alle bisherigen Maßnahmen erfahren weiterhin einen hohen Stellenwert, vor allem Warften, geschlossene Deckwerke und Lahnungen:

Tabelle 8: Bewertung bisheriger Schutzmaßnahmen.

Maßnahme/ Wichtigkeit	Wichtig bis sehr wichtig	Weniger wichtig bis nicht wichtig	Keine Ein- schätzung
Warften	16 (100 %)	0	0
Deckwerke (geschlossene bzw. Steindecke)	16 (100 %)	0	0
Buschlahnungen	16 (100 %)	1	0
Holzlahnungen	16 (100 %)	1	0
Steinlahnungen	16 (100 %)	1	0
Buhne	15 (93,75 %)	1	1
Schleuse	15 (93,75 %)	1	0
Schotten	15 (93,75 %)	1	0
Stöpe	15 (93,75 %)	1	0
Deckwerke (offene)	14 (87,5 %)	0	2
Igel	14 (87,5 %)	3	0
Schutzraum	14 (87,5 %)	2	0
Ringdeiche	13 (81,25 %)	2	1
Damm	12 (75 %)	3	1
Sandsäcke	11 (68,75 %)	4	1
Bauweise der Hallighäuser	10 (62,5 %)	5	1
Sommerdeich	10 (62,5 %)	4	2
Elastocoast	6 (37,5 %)	9	1

- Hoher bis sehr hoher Stellenwert der bisherigen, traditionellen Schutzmaßnahmen insgesamt.
- Veränderungs- und Optimierungsbedarf: diverse Vorschläge, vor allem Warften betreffend, aber auch bezüglich der Bauweise der Hallighäuser, der Genehmigungsverfahren und Arbeitsplätze im Küstenschutz sowie hinsichtlich eines intensivierten Einbezugs der Hallig-Bewohner*innen.
- Zentrale Aspekte, die Schutzmaßnahmen auf den Halligen erfüllen sollten: mit Boden-, Wind-, Wasser- und Strömungsverhältnissen verträglich, zur gegenseitigen Ergänzung kombinierbar und kompatibel, generationsübergreifend nachhaltig, den demografischen Wandel/Personenkraft berücksichtigend, einfach technisch anwendbar.

Tabelle 9: Zentrale Aspekte, die Schutzmaßnahmen für die Halligen erfüllen sollten.

Zentrale Aspekte/ Wichtigkeit	Wichtig bis sehr wichtig	Weniger wichtig bis nicht wichtig
Verträglichkeit mit Boden-, Wind-, Wasser- und Strömungs- verhältnissen	16 (100 %)	0
Kombination von Maßnahmen zur gegenseitigen Ergänzung	16 (100 %)	0
Kompatibilität von Maßnahmen	16 (100 %)	0
Generationenübergreifende Nachhal- tigkeit	16 (100 %)	0
Personenkraft/ Berücksichtigung des demografischen Wandels	16 (100 %)	0
Einfache technische Anwendbar- keit/Anwendung	16 (100 %)	0
Halligtypisches beibehalten	15 (93,75 %)	1
Aktiver Einbezug/Partizipation	15 (93,75 %)	1
Naturverträglichkeit/ Vereinbarkeit von Küsten- und Natur- schutz	14 (87,5 %)	2
Objektschutz im Fokus	13 (81,25 %)	3
Material- und platzsparend	13 (81,25 %)	3
Kostenaspekt	11 (68,75 %)	5

Themenblock 4: Bewertung zukünftiger und alternativer Maßnahmen

- **Sinnvolle alternative Küstenschutzmaßnahmen:** Bedeutung der Fortführung traditioneller Maßnahmen, Kompatibilität sowie Ergänzung von Maßnahmen, beispielsweise auch Wasserabfluss auf den Halligen oder den Erhalt des Wattgebiets aufgreifen.
- **Präferierte alternative Maßnahmen:** *HWS-mobil*, jedoch wurde die Erfüllung zentraler Aspekte generell bezweifelt (Verträglichkeit mit Boden-, Wind-, Wasser- und Strömungsverhältnissen, mangelnde Personenkraft, Anwendungsaufwand, Lagerprobleme, Haltbarkeitsschwierigkeiten, aufwendige Wartung).
- **Keine Veränderungen der Lebenssituation** auf den Halligen, da vorgeschlagene Maßnahmen so dauerhaft nicht umsetzbar seien; ansonsten erhöhte Sicherheit als positive Veränderung und zusätzliche Aufwände sowie Einschränkungen im Alltag als negative Auswirkungen.
- **Stehenlassen von Seewasser und Böden-Produktivität:** heterogenes Meinungsbild, Skepsis bezüglich des Sinns und der Zweckmäßigkeit, kritische Betrachtung vermuteter Einschränkungen sowie der Quantität/Qualität der Sedimentationsablagerungen nach einem gewöhnlichen Landunter (im Gegensatz zu denen nach einer Sturmflut).
- Grundlegende **Bedeutung des Hallig-Anwachsens** für die Bewohner*innen, aber auch heterogenes Meinungsbild; Zweifel bezüglich eines hinreichenden Wachstums der Halligen durch Sedimentablagerungen, verbunden mit starken Einschränkungen in der alltäglichen Lebensführung.

- **Bereitschaft zur Sedimentationserhöhung:** heterogen/divers, keine allzu großen Einschränkungen in der alltäglichen Lebensführung/im Wirtschaften, Begründung der Sinnhaftigkeit und Transparenz notwendig, unter Einbezug der Bewohner*innen.
- **Mitnahme und Partizipation der Bewohner*innen** wird auch nochmals in den freien Anmerkungen der Expert*innen unterstrichen.

Die Bedeutung eines Einbezugs der Bewohner*innen ist in den qualitativen Interviews insgesamt deutlich geworden. Um eine partizipative Einbringung final zu ermöglichen, wurde als letztes Element im Mixed-Method-Ansatz das qualitative Instrument der Gruppendiskussion umgesetzt.

4.3.2 Gruppendiskussionen

Bei den Gruppendiskussionen auf der Hallig Hooge und der Hallig Langeneß haben die gesetzten *Grundreize* (siehe Kapitel 3.3.2) in Form zweier Vorträge aus der Geologie und dem Küsteningenieurwesen eine freie sowie ungezwungene Beteiligung der Bewohner*innen angeregt. Zudem hat es sich als vorteilhaft für eine vertraute sowie offene Diskussion erwiesen, dass es sich bei den Teilnehmer*innen um eine *Realgruppe* handelte und eine Übertragbarkeit auf weitere Prozesse gegeben ist, mit einem direkten Bezug zum eigenen Lebensraum.

Bei einer Betrachtung der Ergebnisse der Gruppendiskussionen auf der Hallig Hooge und der Hallig Langeneß offenbaren sich sowohl Gemeinsamkeiten als auch Unterschiede. Bezüglich der vorgestellten Messungen und Ergebnisse zur Sedimentation zeigen die Bewohner*innen von Langeneß ein besonderes Interesse, da die Untersuchungen direkt auf ihrer Hallig stattfanden und ihre Lebens- sowie Wirtschaftsgrundlage betreffen. Entsprechend konnte mit den präsentierten Inhalten eine Transparenz für die Bewohner*innen zu Sedimentationsentwicklungen geschaffen werden. Auf Hooge zeigen sich hingegen bestehende offene Fragen: Insgesamt werden generell Maßnahmenvorschläge zur Erhöhung der Sedimentation auf Hooge sowie zum Erhalt der Sandbänke als wünschenswert erachtet. Auch die Frage, wie die Ergebnisse zur Sedimentation von der Hallig Langeneß auf Hooge übertragen werden können, ist in diesem Kontext zentral. Zudem wird eine intensivere Zusammenarbeit von Küsten- und Naturschutz gewünscht.

Zusammenfassend kann bezüglich der Hochwasserschutzsysteme auf den Halligen festgehalten werden, dass die Aspekte *Verträglichkeit mit Boden-/ Wind-/ Wasser- und Strömungsverhältnissen*, eine (zeitlich) *einfache technische Anwendbarkeit/ Anwendung*, *Personenkraft/ Berücksichtigung des demografischen Wandels* und *Halligtypisches beibehalten/ Landschaftsbild* unter den zentralen Aspekten eine besonders wichtige Position einnehmen. Aber auch die *Verwendung von einfachem Material*, der *Kostenfaktor* und die *Wartungsintensität* bzw. *Lagerung*, so im Verlauf der Diskussionen deutlich geworden, nehmen eine herausragende Bedeutung ein, verbunden mit der Sorge um eine finanzielle Belastung und im Vergleich zu bestehenden Systemen, die weiterhin einen zentralen Stellenwert für die Bewohner*innen haben (siehe auch Kapitel 4.3.1). Zudem wird als bedeutsam der *Objektschutz* und der *Schutz der gesamten Warft* hervorgehoben. Darüber hinaus zeigt sich eine Parallele zu den Ergebnissen aus *ZukunftHallig* dahingehend, dass individuelle Lösungen für die einzelnen Halligen bzw. Warften und Häuser als sinnvoll erachtet werden.

Bezüglich der vorgestellten Maßnahmen haben sich deutliche Unterschiede im Meinungsbild der Bewohner*innen ergeben: Während die Diskussionsteilnehmer*innen von

Langeneß und Nordstrandischmoor generell allen vorgestellten Systemen ablehnend gegenüberstehen, erscheint das automatische System *Klappschott* für die Bewohner*innen von Hooe am geeignetsten, aber auch *HWS-mobil* wird hier bezüglich einer Erfüllung zentraler Aspekte positiv gewertet. Allerdings kann – aus beiden Diskussionen hervorgehend – bezüglich *Klappschott* auch ein weiterer Handlungs- bzw. Testungsbedarf mit Blick auf die Faktoren Starkregen, Salzwasser und Seeluft identifiziert werden. Zudem zeigen sich Übereinstimmungen in der Kritik der Schutzsysteme, beispielsweise *Hydrobaffle* betreffend: Diese Maßnahme würde einen zu geringen Wasserdruck gewährleisten und sei mit den bestehenden Leitungsrohren sowie angesichts der vorherrschenden Windverhältnisse schwer zu befüllen. Darüber hinaus wird eine Testung von bestehenden Maßnahmen in der Versuchshalle, beispielsweise ein Test der herkömmlichen Schotten oder Dammbalken als Einsatz in der Stöpe, für einen Vergleich als wünschenswert erachtet. In beiden Diskussionen wurden weiterführende, zu untersuchende Vorschläge getätigt, wie automatisch fungierende Stöpen, Gabionen für eine Sicherheitsgewährleistung, einsetzbare Wellenbremsen oder eine Betonmauer als festinstalliertes System.

4.3.3 Fazit: Anforderungskatalog

Der auf den lokalen gesellschaftlichen und sozialen Kontext zugeschnittene Ansatz des Teilprojektes *Hallig-B* ermöglichte eine Berücksichtigung sozialer Aspekte (Bedürfnisse, Erwartungen, Anforderungen seitens der Bewohner*innen) und deren Zusammenführung mit technischen Aspekten (technisch umsetzbare Maßnahmen) im Sinne einer ganzheitlichen *soziotechnischen* Perspektive.

Aus dem vorangegangenen Mixed-Method-Ansatz, bestehend aus qualitativen Interviews mit Bewohner*innen und Zukunftswerkstätten (Ergebnisse aus *ZukunftHallig*), Expert*innen-Interviews (Kapitel 4.3.1) und Gruppendiskussionen (Kapitel 4.3.2), werden im Folgenden zusammenfassend zum einen Maßnahmenvorschläge katalogisiert, die in den Erhebungen artikuliert wurden. Zum anderen wird final ein Anforderungskatalog formuliert, basierend auf den Bedürfnissen, Erwartungen und der Akzeptanz seitens der Hallig-Bewohner*innen. Diese Anforderungen ermöglichen zum einen eine Orientierung bei der Testung und Implementierung von – auch zukünftigen – Schutzmaßnahmen. Zum anderen sind Transfermöglichkeiten aufgrund des Abstraktionsniveaus gegeben. Weiterhin ist der Anforderungskatalog nicht als abgeschlossen und endgültig zu betrachten, sondern es sind weitere Anschluss- und Ergänzungsmöglichkeiten gegeben. Die aufgeführten Aspekte stehen zudem nicht in einer klaren abstufenden Rangordnung zueinander.

Tabelle 10: Maßnahmen-Tableau, aggregiert aus ermittelten Vorschlägen des soziologischen Mixed-Method-Ansatzes.

Generelle Bedeutung	
Traditionelle, bestehende Maßnahmen ausbauen/optimieren	vor allem die folgenden: Warften, Deckwerke, Lahnungen, Buhnen, Schleusen, Schotten, Stöpen, Igel, Schutzräume, Ringdeiche, Sandsäcke (Ergebnis aus Bewohner*innen- und Expert*innen-Interviews)

Ideen aus Zukunftswerkstätten seitens der Bewohner*innen und deren Beurteilung (Ergebnis aus <i>ZukunftHallig</i>)	
Um die gesamte Warft verlaufender Ringdeich	wirksam und technisch machbar
Raupflasterung der Warften	wirksam und technisch machbar
Mobiler Deichschlauch	wirksam und technisch machbar
Abflachung der Warft/ Ringdeich auf der Warftkrone	wirksam und technisch machbar
Einrichtung geeigneter Schutzräume	wirksam und technisch machbar
Aufwarftung	wirksam und technisch machbar
Verbindung und Bepflanzung der Außensände	keine Wirksamkeit auf den Wellenüberlauf
Hydraulische Hochwasserschutzwand	hoher Bauaufwand/gering einzustufende Betriebssicherheit
Hydraulische Warft	nicht wirksam und nicht technisch machbar, u. a. hoher Bauaufwand, Veränderung des Landschaftsbildes und Inkompatibilität mit dem Naturschutz
Eindeichung des Wattenmeers	nicht wirksam und nicht technisch machbar, u. a. hoher Bauaufwand, Veränderung des Landschaftsbildes und Inkompatibilität mit dem Naturschutz

Weitere Vorschläge aus Expert*innen-Interviews	
Glaswandschutz um die Warften	individueller Schutz der Warften, vergleichbar beim Klimadeich auf Nordstrand
Neue/zusätzliche Warften	Schaffung neuen Lebens- und Wohnraumes sowie weiterer Infrastruktur
Schacht in Warftkrone mit verankertem Plastikblock	hier würden unterhalb Rohre herausführen zur Wasserableitung; abfließendes Wasser füllt Schacht, drängt Plastikblock nach oben und führt zu einer Warfterhöhung
Anlegung verteilter Siele	Verbesserung des Wasserabflusses auf den Halligen mittels der Anlegung kleiner, verteilter Siele für ein schnelles und strukturiertes Hinauslaufen des Wassers
Schaffung kleiner Löcher als Sedimentsammler	Ziel: bessere Ablagerung von Sedimenten
Lahnungen im Watt als Schlickfänger	Ziel: Abnahme des Wattgebiets entgegenwirken und Ablagerung von Sinkstoffen vor den Halligen erreichen/Anwachsen der Halligen

Zusätzliche Vorschläge von den Bewohner*innen (aus Gruppendiskussionen)	
Automatische Stöpe	Vorschlag aus Gruppendiskussion Hooe
Gabionen	Vorschlag aus Gruppendiskussion Hooe
Wellenbremsen	Vorschlag aus Gruppendiskussion Hooe
Hochleistungspumpe	Vorschlag aus Gruppendiskussion Hooe
Betonwand/-mauer	Vorschlag aus Gruppendiskussion Langeneß

Wertung der getesteten mobilen HWS-Maßnahmen seitens der Bewohner*innen	
Klappschott	präferiertes System in der Gruppendiskussion auf Hallig Hooe, abgelehnt in der Gruppendiskussion auf Langeneß
HWS-mobil	positive Wertung in der Gruppendiskussion auf Hallig Hooe, abgelehnt in der Gruppendiskussion auf Langeneß
Aquawand	negative Wertungen in der Gruppendiskussion auf Hallig Hooe und Hallig Langeneß
Hydrobaffle	negative Wertungen in der Gruppendiskussion auf Hallig Hooe und Hallig Langeneß

Tabelle 11: Anforderungskatalog zu Hochwasserschutzmaßnahmen auf den Halligen.

Zentrale Aspekte	Erläuterungen
Partizipation	Maßnahmen spiegeln bestehende, artikulierte Bedürfnisse und Erwartungen wieder
Umgebungsverträglichkeit	Berücksichtigung der regionalen/spezifischen Boden-/Wind-/Wasser- und Strömungsverhältnisse
Personenkraft	Vorhandene Personenkraft vor Ort und demografischen Wandel bzw. eine älter werdende Bevölkerung berücksichtigen
einfache Anwendung	einfacher Auf- und Abbau von Maßnahmen, geringer Zeitaufwand
Kostenaspekt	Berücksichtigung finanzieller Belastungen sowie vorhandener Einkommens-/Vermögensverhältnisse
Kombination	Einsatz von Maßnahmen zur gegenseitigen Ergänzung
Kompatibilität	Kompatibilität/Vereinbarkeit mit weiteren (bestehenden) Maßnahmen, beispielsweise auch mit notwendigen Vorkehrungen bei Landunter-/Sturmflutereignissen
Materialaspekt	Verwendung von einfachem Material (auch mit Blick auf bereits Verwendetes bei bestehenden Maßnahmen/Kostenfaktor)
Nachhaltigkeit	langfristige und generationenübergreifende Perspektive
Landschaftsbild	geringfügige Veränderungen des bestehenden Landschaftsbildes, beispielsweise Halligtypisches (markante Charakteristiken) beibehalten
Naturverträglichkeit	Vereinbarkeiten von Natur- und Küstenschutz
Objektschutz	im Fokus des Schutzes stehen einzelne Objekte, wie Häuser
Flächenschutz	weitreichender Schutz, wie der gesamten Warft
Individualität bzw. Heterogenität	Berücksichtigung individueller/heterogener Gegebenheiten und Bedürfnisse/Präferenzen (auch zur Gewährleistung einer adäquaten Anwendung, Pflege und Lagerung)
Lagerung	material- und platzsparend, wenig Aufwand sowie Haltbarkeit gewährleisten
Wartung	geringer Wartungs- und Pflegeaufwand sowie Gewährleistung dessen; zentraler Aspekt aus wasserbaulicher Sicht (IWW)
Hydrodynamische Wirksamkeit	zentraler Aspekt aus wasserbaulicher Sicht (IWW)
Betriebssicherheit	zentraler Aspekt aus wasserbaulicher Sicht (IWW)
Bereitstellungszeit	zentraler Aspekt aus wasserbaulicher Sicht (IWW)

An dieses Maßnahmen- und Anforderungstableau können zukünftige Forschungsvorhaben anknüpfen und gegebenenfalls eine praktische Umsetzung erfahren. Das Erfahrungswissen

der Hallig-Bewohner*innen hinsichtlich ihrer speziellen, ökonomischen und landuntergefährdeten Lage wird in der längerfristigen, wechselseitigen Praxis im Umgang mit Materialien – wie Schutzmaßnahmen – und konkreten Situationen gewonnen. Um eine Bezugnahme neuer potenzieller Küstenschutz- und Bewirtschaftungsstrategien auf die bereits etablierten, weitergegebenen sowie beherrschten Kompetenzen zu gewährleisten, erscheint es sinnvoll, die Bewohner*innen – bzw. allgemein direkt Betroffene – als *erfahrene Praktiker*innen* im Umgang mit Sturmflut- und Landunterterrisiken zu betrachten und diese partizipativ einzubeziehen.

5 Fazit und Ausblick

Die Landesregierung Schleswig-Holsteins hat im Jahr 2016 zum langfristigen Schutz und Erhalt der nordfriesischen Halligen ein Programm zur Verstärkung und Entwicklung der Warften beschlossen (MELUND SH, 2016). Dabei wird für die Anpassung der 32 bewohnten Warften über einen Zeitraum von bis zu 25–30 Jahren mit jährlichen Kosten von etwa 1 Mio. € gerechnet. Da für die geplanten Warftverstärkungsmaßnahmen Priorisierungen vorgenommen werden müssen, ergeben sich bei einigen Warften längere Zeiträume bis zur Warftverstärkung, die es durch kurzfristig umsetzbare Hochwasserschutzmaßnahmen zu überbrücken gilt.

Vor diesem Hintergrund fand die Suche nach möglichen kurzfristigen Schutzmaßnahmen statt. Hierzu erfolgte die Bewertung fünf verschiedener mobiler HWS-Systeme hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit auf den Halligwarften. Bei der Beurteilung der mobilen Maßnahmen sind neben Funktionalität, Betriebssicherheit und hydrodynamischer Wirksamkeit auch die Anwendbarkeit (Platzbedarf, Bereitstellungszeit, Akzeptanz seitens der Bewohner*innen) sowie der Einfluss auf das Landschaftsbild berücksichtigt worden.

Die Untersuchungen zeigen, dass sich die betrachteten mobilen HWS-Systeme prinzipiell zur Ergänzung des Hochwasserschutzes auf den Warften eignen. Betrachtet wurde jeweils der Einsatz zum Verschließen der Stöpen im Ringdeich und damit einer temporären Freiborderhöhung und der Einsatz zum Objektschutz. Bei Verwendung in den Stöpen des Ringdeichs dienen die Maßnahmen vor allem zur Abwehr kleinerer Hochwässer. Während extremer Ereignisse kann ein Verschließen der Stöpen ohne begleitende Warftverstärkungsmaßnahmen negative Folgen haben, dies ist jedoch für jede Warft einzeln zu betrachten. Im Objektschutz bieten die Maßnahmen auch bei Extremereignissen und ausbleibender Warftverstärkung eine Erhöhung der Schutzwirkung.

Unterschiede zwischen den verschiedenen HWS-Systemen zeigten sich hinsichtlich des Bau-, Wartungs- und Zeitaufwands, aber auch in der Betriebssicherheit. Die neuartigen Systeme können durch höhere Materialbeständigkeit, einfacheren (teilweise automatischen) Aufbau sowie geringeren Platzbedarf Vorteile gegenüber herkömmlichen Systemen bieten und so Problemen im Zuge des demographischen Wandels und der abnehmenden Personenzahl je Warft begegnen.

Untersuchungen zur Akzeptanz der neuartigen HWS-Systeme seitens der Bewohner*innen fielen heterogen aus: Während prinzipiell die Forderung nach möglichst einfach aufzubauenden Systemen besteht (insbesondere die vollautomatische Maßnahme erscheint reizvoll), gibt es Bedenken hinsichtlich der Beständigkeit unter küstenspezifischer Witterung und des Risikos infolge eines technischen Ausfalls. Ferner werden erhöhte Kosten im Vergleich zu traditionellen Systemen befürchtet und es wurden weitere vergleichende Tests

herkömmlicher, vermeintlich günstigerer Systeme vorgeschlagen (Schotten und Dammbalken aus Holz).

Für weiterführende Untersuchungen werden Probeeinsätze der mobilen HWS-Systeme auf den Halligen empfohlen, die die durchgeführten Labortests sinnvoll ergänzen. Diese können zum einen die Akzeptanz neuartiger Maßnahmen erhöhen, des Weiteren können so Randbedingungen, die in den hydraulischen Modellversuchen in der Versuchshalle nicht abgebildet werden konnten, Berücksichtigung finden. Hierzu zählt unter anderem der Einfluss von Salzwasser und Seeluft sowie der Aufbau der Maßnahmen unter Sturmbedingungen.

6 Danksagung

Das Vorhaben wurde als Teil des Verbundprojekts *LivingCoastLab Halligen* vom 01. Oktober 2016 bis zum 30. September 2019 mit Mitteln des *Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF)* im Rahmen des Förderschwerpunkts *Küstenmeeresforschung in Nord- und Ostsee (KüNO)* gefördert (BMBF-Förderkennzeichen: 03F0759B).

Die Autor*innen danken für die Betreuung durch den Projektträger Jülich sowie dem BMBF für die Förderung und Ermöglichung des Projekts. Weiterer Dank gilt allen Projektpartner*innen und dem *Landesbetrieb für Küstenschutz, Nationalpark und Meeresschutz Schleswig-Holstein (LKN.SH)* für die gute Zusammenarbeit. Ferner wird den Firmen *Aquaburg Hochwasserschutz GmbH*, *Hochwasserschutz Agentur* und *HOWATEC GmbH* für die kostenlose Bereitstellung der getesteten, mobilen Hochwasserschutzsysteme gedankt.

7 Literaturverzeichnis

Abels, G.; Bora, A.: Demokratische Technikbewertung. transcript-Verlag, Bielefeld, 2004.

BWK: Merkblatt BWK-M 6: Mobile Hochwasserschutzsysteme – Grundlagen für Planung und Einsatz. Sindelfingen: Bund der Ingenieure für Wasserwirtschaft, Abfallwirtschaft und Kulturbau (BWK) e.V., Sindelfingen, 2005.

Europaverband Hochwasserschutz e.V.: Herstellung, Lieferung und Erstmontage von technischen Hochwasserschutzprodukten – Durchführungsbestimmungen für Systemprüfungen. In: Güte- und Prüfbestimmungen zur Erlangung und Verleihung der Gütezeichen Technischer Hochwasserschutz, VR-Nr. 20890, Europaverband Hochwasserschutz e.V., 2014.

EurOtop: Manual on wave overtopping of sea defences and related structures. An overtopping manual largely based on European research, but for worldwide application. Van der Meer, J. W., Allsop, N. W. H., Bruce, T., De Rouck, J., Kortenhaus, A., Pullen, T., Schüttrumpf, H., Troch, P.; Zanuttigh, B., 2016. Online verfügbar: www.overtopping-manual.com.

FM Approvals: American National Standard for Flood Abatement Equipment. ANSI/FM Approvals 2510, Approved American National Standard, 2014.

Haug, S.; Weber, K.; Vernim, M.: Soziale und planerische Aspekte der energetischen Gebäudemodernisierung. Partizipative Planung, Zielkonflikte und Akzeptanz; In: Grossmann, K.; Schaffrin, A.; Smigiel, C. (Hg.): Energie und soziale Ungleichheit. Zur gesellschaftlichen

Dimension der Energiewende in Deutschland und Europa. Springer VS-Verlag, Wiesbaden, 579–608, 2017.

Häußling, R.; Ziesen, N.; Dorgeist, M.; Kaip, E.: Eine partizipative und interdisziplinäre Gestaltung von Küstenschutzmaßnahmen auf den Halligen. In: Die Küste, 84, 45–65, <https://hdl.handle.net/20.500.11970/105212>, 2016.

Jensen, J.; Arns, A.; Schüttrumpf, H.; Wöffler, T.; Häußling, R.; Ziesen, N.; Jensen, F.; von Eynatten, H.; Schindler, M.; Karius, V.: ZukunftHallig – Entwicklung von nachhaltigen Küstenschutz- und Bewirtschaftungsstrategien für die Halligen unter Berücksichtigung des Klimawandels. In: Die Küste, 84, 3–8, <https://hdl.handle.net/20.500.11970/105210>, 2016.

Kuckartz, U.: Qualitative Inhaltsanalyse. Methoden, Praxis, Computerunterstützung. Beltz-Verlag, Weinheim/Basel, 2012.

Kutscher, N.: Moralische Begründungsstrukturen professionellen Handelns in der Sozialen Arbeit. Eine empirische Untersuchung zu normativen Deutungs- und Orientierungsmustern in der Jugendhilfe. Bielefeld University, Bielefeld, 2002.

Lamnek, S.: Gruppendiskussion. Theorie und Praxis. 2. Auflage. Beltz-Verlag, Weinheim/Basel/Stuttgart, 2005.

Lamnek, S.: Qualitative Sozialforschung. Band 2: Methoden und Techniken. 3. Auflage. Psychologie Verlags Union, Weinheim, 1995.

Mäder, S.: Die Gruppendiskussion als Evaluationsmethode – Entwicklungsgeschichte, Potenziale und Formen; In: Zeitschrift für Evaluation, 12 (1), 23–51, 2013.

MELUND SH (Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt, Natur und Digitalisierung): Sichere Zukunft für die Halligen: Landesregierung beschließt Programm zur Verstärkung der Warften. Pressemitteilung vom 02.02.2016, Kiel. Stand 31.03.2020: www.schleswig-holstein.de/DE/Landesregierung/V/Presse/PI/2016/0216/MELUR_160202_Halligen_Wattverstaerkungen.html

Meuser, M.; Nagel, U.: ExpertInneninterviews – vielfach erprobt, wenig bedacht. Ein Beitrag zur qualitativen Methodendiskussion; In: Bogner, A.; Littig, B.; Menz, W. (Hg.): Das Experteninterview. Theorie, Methode, Anwendung. 2. Auflage. VS-Verlag für Sozialwissenschaften, Wiesbaden, 71–93, 2005.

Meuser, M.: Gleichstellung auf dem Prüfstand: Frauenförderung in der Verwaltungspraxis. Centaurus, Pfaffenweiler, 1989.

Mruck, K.; Mey, G.: Qualitative Forschung: zur Einführung in einen prosperierenden Wissenschaftszweig; In: Historical Social Research, 30(1), 5–27, 2005.

Schmidt, J. C.: Die Gestaltungskette der Technikentwicklung. Ein Beitrag zu möglichen Angriffspunkten einer politischen Gestaltung von Technik. In: Mensch, K.; Schmidt, J. C. (Hg.): Technik und Demokratie. Zwischen Expertokratie, Parlament und Bürgerbeteiligung. Leske+Budrich, Opladen, 131–156, 2003.

Wagenhuber, W.: Zertifizierung von Katastrophenschutz Systemen – Warum die Zertifizierung von mobilen Hochwasserschutz-Systemen notwendig ist. In: Mobil oder Nicht-Mobil? Konventioneller und innovativer Hochwasserschutz in Praxis und Forschung. 46.

Internationales Wasserbausymposium Aachen (IWASA), 7./8. Januar 2016. Shaker-Verlag, Aachen, 2016.

Weyer, J.: Partizipative Technikgestaltung. Perspektiven einer neuen Forschungs- und Technologiepolitik; In: Weyer, J.; Kirchner, U.; Riedl, L.; Schmidt, J. F. (Hg.): Technik, die Gesellschaft schafft: Soziale Netzwerke als Orte der Technikgenese. Edition Sigma, Berlin, 329–346, 1997.

Wöffler, T.: Optimierung des Küsten- und Hochwasserschutzes auf den Halligen. Dissertation, Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft, RWTH Aachen University, 2017. Online verfügbar: <http://publications.rwth-aachen.de/record/689764/files/689764.pdf>.

Wöffler, T.; Schüttrumpf, H.: Risikoanalysen und Entwicklung neuer Küstenschutzkonzepte für die Halligen. In: Die Küste, 84, 67–93, <https://hdl.handle.net/20.500.11970/105213>, 2016.

Wöffler, T.; Schüttrumpf, H.: Ein Sicherheitskriterium für Halligwarften. In: Porth, M.; Schüttrumpf, H. (Hg.): Wasser, Energie und Umwelt, Springer Fachmedien, Wiesbaden, 467–475, 2017.