

WIE ENTSTEHT UND SCHWINDET BIODIVERSITÄT?

Bedeutung der Biodiversität für Ökosystemfunktionen und Küstenformen

AutorInnen: Dr. Wenyan Zhang, Dr. Christiane Eschenbach (Helmholtz-Zentrum Geesthacht HZG)

Küsten sind nicht nur besondere und artenreiche Lebensräume, sondern übernehmen auch wichtige Funktionen für uns Menschen. Sie unterliegen ständigen Veränderungen, ihre Gestalt und die zukünftige Entwicklung der Küsten sind das Ergebnis vielfältiger Wechselwirkungen. Daher reagieren sie sehr empfindlich auf den Klimawandel und andere anthropogene Umwelteinwirkungen. Am Beispiel des Wattenmeeres wird deutlich, dass die Wechselwirkungen zwischen biologischen und physikalischen Vorgängen entscheidend sind für das Verständnis der Küstenzonen und ihrer Veränderungen.

- Küstenzonen sind Lebensraum für eine große Vielzahl von Lebewesen.
- Küsten unterliegen im Zusammenhang mit dem Klimawandel tiefgreifenden Veränderungen.
- Diese lassen sich aber nur verstehen, wenn man die dynamischen Wechselwirkungen zwischen den physikalischen und den biologischen Prozessen betrachtet.
- Hier erfolgt das am Beispiel des einzigartigen Lebensraumes Wattenmeer.

Was macht Küstenzonen so besonders?

Küstenzonen sind sehr vielfältig und variabel, sie sind Lebensraum für eine große Vielzahl von Lebewesen – und für ca. 40 Prozent der Weltbevölkerung. Küsten sind einem ständigen Wandel unterworfen, unterliegen Einflüssen von Land, vom Meer und aus der Atmosphäre. Die Biodiversität im Küstenraum ist sehr hoch: Die Ökosysteme des Meeres und des Lands treffen im Küstenraum aufeinander und beeinflussen sich gegenseitig.

Küstenökosysteme liefern den Menschen wertvolle Dienste, etwa als Nahrungsquelle, Verkehrswege und Erholungsraum. Sie tragen sehr wesentlich zu den Ökosystemleistungen der Erde bei. Küsten sind aber auch sehr empfindlich gegenüber Stressfaktoren, die unter anderem von menschlichen Aktivitäten und dem Klimawandel ausgehen. Viele Küsten weltweit sind zum Beispiel von Erosion betroffen, eine Entwicklung, die sich durch Klimaveränderungen verstärken wird.

Die morphologische Entstehung der Küstenlandschaften und die Risiken, denen sie ausgesetzt sind, kann man nur verstehen, wenn man die dynamischen Wechselwirkungen zwischen den physikalischen und den biologischen Prozessen betrachtet. Zahllose verschiedene Organismen, von Wattwürmern über Muscheln bis zu den Millionen von Brut- oder Rastvögeln, und die physikalischen Prozesse, wie Strömung, Erosion und Sedimentation, tragen dazu bei und stehen in ständiger Wechselbeziehung.

Hier werden einige dieser Wechselwirkungen für den einzigartigen Lebensraum des Wattenmeeres (Nordsee) näher beleuchtet. Wir zeigen an einigen Beispielen einerseits die Bedeutung der Lebewesen und der Biodiversität für die Ausgestaltung der Küsten und des Meeresbodens und andererseits, wie die Morphologie und die Dynamik der Küsten ihrerseits wiederum die Habitatvielfalt und die Ökosysteme der Küstenzone bedingen.

Was formt die Küsten und den Meeresboden?

Wellen, Strömungen durch Gezeiten und Wind, sowie Sedimentbewegungen (hydro- und morphodynamische Prozesse) formen nach klassischem Verständnis die Topographie des Meeresbodens und der Küstenzonen. So lassen sich zum Beispiel die Sandrippeln am Strand in erster Näherung allein durch physikalische Vorgänge und ohne Zutun biologischer Effekte erklären.

Die Effekte von Tieren und Pflanzen spielen für die Ausgestaltung der typischen Elemente von Küstenzonen aber dennoch eine wesentliche Rolle. In früheren Studien wurden sie aber oft vernachlässigt. Wesentlich durch Vegetation und die Tiere beeinflusst sind zum Beispiel Ästuare und Deltas (Wasserkörper und fluviale Ablagerungen im Bereich von Flussmündungen), Küstenebenen, Wattgebiete und vorgelagerte Inseln, die als Barriere den Küstenbereich vom offenen Meer abschirmen („Barriere“-Inseln). Untersucht werden diese Fragen zur Küstenmorphologie und ihrer Dynamik durch das Fachgebiet der Küstenmorphodynamik.

Wechselwirkungen von Lebewesen und Sedimenthaushalt im Wattenmeer

Für die Entstehung und die Aufrechterhaltung des Wattenmeeres spielt der Sedimenthaushalt, als Zusammenspiel der Zufuhr von Schwebstoffen und Erosionsprozessen, eine entscheidende Rolle. Meeresströmungen und Flussläufe bringen Material, wie Sand, Schluff und organische Ablagerungen, die im Wattenmeer zurückbleiben. Durch Gezeitenströme und Stürme wird es aber auch immer wieder aufgewirbelt und umgelagert. Ebbe und Flut, das heißt regelmäßiges Trockenfallen und Überfluten, bewirken zudem starke Temperatur- und Salzgehaltsschwankungen. Ein schwieriger Lebensraum. Im Watt, auf den Salzwiesen und in den Dünen leben daher viele „Spezialisten“, die sich an diese Bedingungen angepasst haben – und nun auch auf sie angewiesen sind.



Abb. 1: Einige typische Lebensräume im Wattenmeer: (a) Wattflächen mit Sandbänken und Prielien, (b) Wattflächen als Lebensraum für Tiere (Benthos), (c) Dünen, (d) Salzwiesen/Marschen.

Fotos: Christiane Eschenbach/HZG

Beispiel: Salzwiesen

In strömungsgeschützten Wattbuchten, auf Schlick- und Mischwattflächen sowie Salzwiesen sedimentiert mit jeder Flut Feinmaterial (Abb. 1d). Das Land wächst allmählich höher und mehr und mehr Pflanzen können sich ansiedeln. Der Lebensraum der Salzwiesen liegt knapp über der mittleren Hochwasserlinie. Die Salzwiesenvegetation übt eine wichtige Kontrolle auf die Strömung des Wassers, den Sedimenttransport und morphologische Veränderungen aus. Die Pflanzen binden und stabilisieren die Sedimente sehr effektiv und spielen daher eine wichtige Rolle für den Erosionsschutz von Küstenlinien. Salzwiesen vermindern den Export von Feinmaterial bei Sturmfluten und erhöhen die Netto-Akkumulation von Feinmaterial. Salzwiesen verlangsamen das Wasser, nehmen es auf und filtern es. Damit reduzieren sie die Effekte von Überflutungen und sichern die Wasserqualität.

Die Wechselwirkungen von Lebewesen und Sedimenthaushalt sind vielfältig, wie sich für Beispiele aus den Wattflächen und von den Dünen der vorgelagerten Inseln detaillierter und mit Ergebnissen von Computersimulationen aufzeigen lässt.



Abb. 2: Wechselwirkungen zwischen Organismen und Sediment im Watt. Grafik: J. Stuhmann / HZG

Beispiel: Wattflächen und Meeresboden

Die Wechselwirkungen zwischen Organismen und Sediment beeinflussen das Sedimentationsgeschehen auf den durch die Gezeiten geprägten Wattflächen (Eulitoral, Abb. 1a und 1b) und auf dem Meeresboden (Sublitoral, unterhalb des mittleren Niedrigwasserstandes). Algen und Tiere beeinflussen zum Beispiel die Rauigkeit des Untergrunds und damit die Verteilung von Feinmaterial und die Sedimentdynamik. Sie sind eine starke treibende Kraft für die langfristige Entwicklung der Wattflächen (Abb. 2).

- Algen stabilisieren den Meeresboden und schützen damit gegen Erosion: Sie „verkleben“ Sedimentteilchen. Ein Algenteppich auf dem Meeresgrund „glättet“ die Oberfläche und reduziert deren Rauigkeit. Dadurch verringern sich die Scherkräfte, die durch das strömende Wasser auf den Untergrund ausgeübt werden.
- Viele Tiere lockern dagegen das Sediment auf und begünstigen Erosion. Viele Würmer, Krustentiere und Vögel suchen im Sediment nach Nahrung oder bewegen sich darin. Damit spielen sie tendenziell eine entgegengesetzte Rolle zu den Algen: Ihre Aktivitäten vermindern die Resistenz gegen Erosion.
- Kothäufchen von grabenden Tieren („Biodeposition“, Bild 1b) machen den Meeresboden rauer und fördern damit die Erosion

von Oberflächensedimenten. Andererseits fördern die Kothäufchen die Sedimentation von Feinmaterial – auch dort, wo durch physikalische Vorgänge sonst keine Ablagerungen zustande kommen könnten. Nahrungsangebot und Fressaktivität und damit auch die Ausscheidung von Kothäufchen variieren mit den Jahreszeiten.

- Muschelbänke spielen lokal eine wesentliche Rolle für die Deposition von Feinmaterial. Sie bilden lokal Hartsubstrat, stabilisieren den Untergrund und beeinflussen die lokalen Strömungsverhältnisse. Als Filterer scheiden sie nicht verdautes Material auf die Sedimentoberfläche aus (Biodeposition) und tragen zur Ablagerung von Schlack bei. Der Einfluss ist vom Muschelbestand abhängig und variiert im Jahresverlauf.
- Seegraswiesen dämpfen die Wellen und sind zum Beispiel für zahlreiche Fische, für Garnelen und Krebse unentbehrlich als Nahrungsgebiete, Zufluchtsorte und Kinderstuben.
- Veränderte Bedingungen wirken auf Pflanzen und Tiere zurück: Durch Sedimentveränderungen und Habitatverluste gehen solche Arten zurück, die an bestimmte Bedingungen, wie zum Beispiel das Schlackwatt, angepasst und auf sie angewiesen sind. Eine stärkere Trübung im Wasser durch erhöhte Schwebstoffgehalte beeinträchtigt die Photosynthese und führt zum Beispiel zum Rückgang von Algen und Seegraswiesen. Auch die sich durch Filtration ernährenden Muscheln leiden dann.

Nutzen von Computersimulationen

Ein numerisches Computersimulationsmodell, das von Zhang et al. (2019) entwickelt wurde, beschreibt und analysiert die Dynamik der in der Bodenzone lebenden Tiere („benthische Fauna“) in Abhängigkeit von den dort herrschenden Umweltbedingungen (Abb. 3). Die in der Bodenzone lebenden Tiere spielen eine zentrale Rolle im Kohlenstoffhaushalt, besonders in den flachen Küsten-Randmeeren. Sie dienen zudem als Nahrung für Fische und Vögel.

Das TOC-MacroBenthos Interaction Modell (TOCMAIM) rechnet auf der Basis folgender Annahmen (Abb. 3):

- Organische Partikel dienen der benthischen Fauna als Nahrung. Die Qualität als Nahrungsquelle hängt von der Beschaffenheit des organisch gebundenen Kohlenstoffs ab. Die Struktur der Makrobenthos-Artengemeinschaft richtet sich nach dieser Beschaffenheit. Wo zum Beispiel das Material frisch ist und ein enges, das heißt gut verdauliches Kohlenstoff-Stickstoff-Verhältnis hat, kommen in der Bodenzone mehr Organismen vor (Biomasse, Abb.3). Indirekt kontrolliert die Beschaffenheit des organischen Kohlenstoffs daher auch die Intensität der von den Lebewesen ausgehenden (biogenen) Durchmischung des Bodens (Bioturbation).
- Die Bioturbation wiederum beeinflusst entscheidend die Verteilung des organischen Kohlenstoffs in der Bodenzone: Grabende Tiere und Biodeposition bewegen Material nach oben oder unten.
- Die vertikale Position der größeren Lebewesen (Makrobenthos) im Sediment spiegelt das Gleichgewicht zwischen dem „Nutzen“, zum Beispiel der vorhandenen Menge und Qualität der Nahrung, und den „Kosten“ wider. Zu solchen Kosten zählen beispielsweise Sauerstoffarmut in tieferen Sedimentschichten und das erhöhte Sterberisiko durch Räuber in oberflächennahen und höheren Schichten.
- Im Einklang mit diesen Beobachtungen wird im Modell angenommen, dass die benthische Fauna mit den Bedingungen ihrer Umwelt (besonders dem Vorkommen von partikulärem organischem Material) im Gleichgewicht steht. Verändern sich die Umweltbedingungen, reagieren die Lebewesen – und verändern damit wiederum ihre Umgebung. So stellt sich ein neues Gleichgewicht ein. Im Bodenprofil ergibt sich in Abhängigkeit von der Tiefe damit eine Gleichgewichtsverteilung.

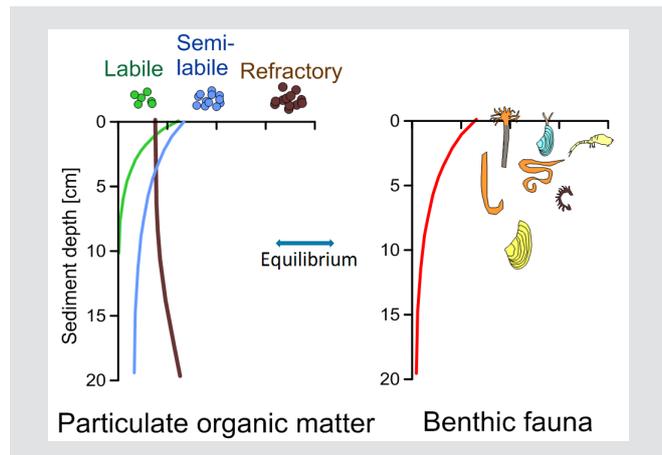


Abb 3: a) Die in der Bodenzone lebenden Tiere („benthische Fauna“) richten ihre Position im Sediment nach den Umweltbedingungen aus. **b)** Solange die Umweltbedingungen unverändert sind, wird im numerischen Modell eine Gleichgewichtsverteilung der benthischen Fauna als Reaktion auf ein konstantes Profil von partikulärem organischem Material angenommen. Grafik: aus Zhang W. et al., 2019 / CC BY NC-ND 4.0

Beispiel: Vorgelagerte „Barriere“- Inseln und ihre Dünen

Die vorgelagerten „Barriere“-Inseln, die das Wattenmeer von der Nordsee trennen, sind flach und bestehen zu großen Teilen aus nicht verfestigtem Sediment. Der Dünenkamm ragt als höchster Teil oft nur wenige Meter über den Meeresspiegel hinaus (Abb. 1c). Daher sind diese Inseln bei Stürmen oder Überflutungen der Erosion stark ausgesetzt. Den wichtigsten Küstenschutz gegen Erosion bieten die Dünen.

Das Muster ihrer Entstehung im Zusammenspiel von Sand und Vegetation kann durch numerische Computermodellierung beschrieben und analysiert werden (Abb.4). An vorderster Linie, zwischen Spülsaum und Dünengürtel, entstehen die sogenannten Vordünen (Abb.4a). Sie entwickeln sich, wo Sand durch den Wind in Richtung Land bewegt und dort von salztoleranten Pflanzen, wie Binsen-Quecke, Kali-Salzkraut, Meersenf und Salzmiere, gefangen und festgelegt wird. Die Vordünen wachsen zu Weißdünen an, auf denen zum Beispiel der Strandhafer und die Stranddistel den Sand mit Ausläufern, verzweigten Wurzeln und tiefen

Pfahlwurzeln befestigen und einen sicheren Pflanzenbestand bilden (Abb. 1c). Strandhafer übersteht Übersandung nicht nur, sondern benötigt sie sogar. Es entstehen Wälle aus hohen dicht bewachsenen Dünen und die Bodenbildung setzt ein, Grau- und Braundünen mit ihren typischen Pflanzengemeinschaften folgen landeinwärts, wo kein frischer Sand mehr eingeblasen wird.

Die Biodiversität spielt für die Küstenzonen eine wichtige Rolle

Die Küsten haben wichtige Funktionen – auch für uns Menschen – und die Erhaltung der Biodiversität ist dafür eine wichtige Voraussetzung. Die Tiere und Pflanzen der Bodenzone (benthische Organismen) stehen am Beginn des Nahrungsnetzes im Meer, sie spielen daher eine wichtige Rolle für die Tiere auf den höheren Ebenen, wie zum Beispiel Fische und Vögel. Benthos-Lebewesen tragen dazu bei, organischen Kohlenstoff im Ökosystem zu fixieren: CO₂ wird aus der Atmosphäre entnommen, organisch gebunden und schließlich im Sediment gespeichert. Damit liefern sie einen Beitrag zur Klimaregulation.

Die Küsten werden im Zusammenspiel von physikalischen und biologischen Vorgängen geformt. Die physikalischen Prozesse, etwa durch Stürme und Einträge aus den Flüssen, bilden die Basis für die Küstenlinie und den Meeresboden. Auf dieser Grundlage siedeln sich dann Tiere und Pflanzen an und beeinflussen ihrerseits die Umgebung. So spielt beispielsweise die intakte Pflanzendecke der Dünen eine besondere Rolle für den Küstenschutz und es ist daher streng verboten, die Dünen abseits der ausgewiesenen Wege zu betreten. Die in der Bodenzone des Wattenmeers lebenden Tiere und Pflanzen haben verschiedene

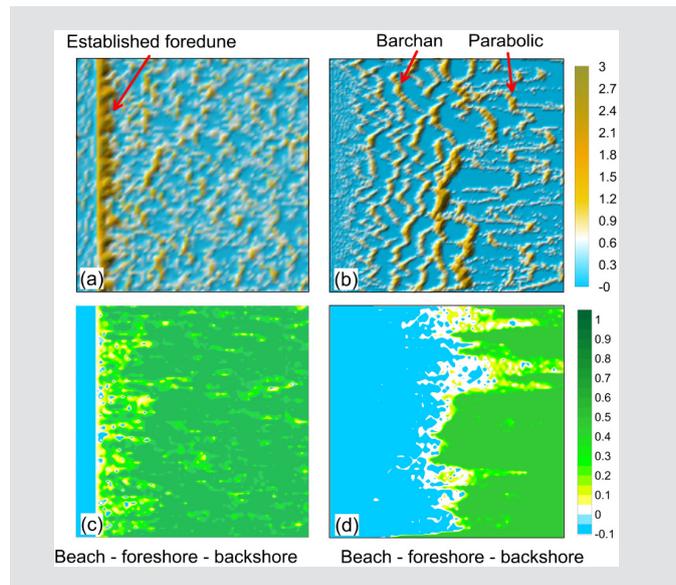


Abb. 4: Ergebnisse von Computersimulationen für die Bildung von drei typischen Dünenformen auf den vorgelagerten Inseln.

(a) Vordünen etablieren sich, wenn moderate Sedimentationsraten das Wachstum der Vegetation begünstigen. (b) Sicheldünen („Barchane“) bilden sich, wenn starke Windfracht das Vegetationswachstum behindert und parabol-förmige Dünen entstehen, wenn die randlichen „Beine“ bereits durch Vegetation befestigt sind, während der mittlere „Körper“-Bereich noch vegetationsfrei ist.

(c) und (d) zeigen die Dichte der Vegetationsdecke von (a) beziehungsweise (b).

Quelle: Zhang W. et al. 2015, Zhang W. et al. 2017.

Wirkungen: Manche lockern den Boden auf und begünstigen Erosion, viele aber fördern die Sedimentation und schützen vor Erosion. Ein fein abgestimmtes Zusammenspiel der verschiedenen „Akteure“ schützt die Küsten.

Küsten sind also nicht nur besondere und artreiche Lebensräume, sondern ihre Ökosysteme schützen, bieten Nahrung und übernehmen Regulationsfunktionen.

Infokasten: Das Wattenmeer (Nordsee)

Das Wattenmeer erstreckt sich an der Nordseeküste von Dänemark, Deutschland und den Niederlanden und gehört seit 2009 als größte zusammenhängende, weitgehend im natürlichen Zustand erhaltene Wattlandschaft der Erde zum „UNESCO-Weltnaturerbe“. Der Küstenbereich des Wattenmeers ist dem Einfluss der Gezeiten unterworfen. Landschaft und Reichtum der Biodiversität sind überwältigend.

Das Ökosystem Wattenmeer entstand – und wird erhalten – durch komplexe Wechselwirkungen zwischen physikalischen, chemischen und biologischen Prozessen, die eine große Bandbreite an Übergangshabitaten formen. Dazu gehören neben den regelmäßig überfluteten und trockenfallenden Wattflächen mit Muschelbänken, Schlickflächen, Sandbänken und Prielen (Gezeitenkanälen) auch Salzwiesen und Marschen, Strände und Dünen (Abb. 1, Abb. 2). Vorgelagerte Inseln und Sandbänke schützen vor der Brandung der Nordsee. Man schätzt, dass das Wattenmeer Lebensraum für mehr als 10.000 Arten bietet, von Einzellern über Ben-

thos, verschiedene Pflanzen bis zu Fischen und Säugetieren (<https://www.waddensea-world-heritage.org>).

Einige Begriffe

Ästuar: Flussmündung, i.d.R. Flut und Ebbe ausgesetzt und häufig von trichterförmiger Gestalt

Benthos: Gesamtheit der am, auf und im Gewässerboden lebenden Organismen

Eulitoral: fällt regelmäßig zweimal täglich während Niedrigwasser trocken und ist während Hochwasser überflutet (→ Wattflächen)

Makrobenthos: Gesamtheit der am Gewässerboden mit dem Auge noch erkennbaren tierischen Organismen (Größe > 0,5 mm)

Sublitoral: unterhalb des mittleren Niedrigwasserstandes (→ Meeresboden, z.B. auch Priele, → Algen, Seegraswiesen)

Supralitoral: oberhalb des mittleren Hochwasserstandes, oft (10–250 mal/Jahr) von Salzwasser überspült (→ Salzwiesen)

Quellen

- Zhang, W., Schneider, R., Kolb, J., Teichmann, T., Dudzinska-Nowak, J., Harff, J. & Hanebuth, T. (2015). Land-sea interaction and morphogenesis of coastal foredunes – a modelling case study from the southern Baltic Sea coast. *Coastal Engineering*, 99, 148-166. doi:10.1016/j.coastaleng.2015.03.005
- Zhang, W., Schneider, R., Harff, J., Hünicke, B. & Fröhle, P. (2017). Modelling of Medium-Term (Decadal) Coastal Fore-dune Morphodynamics- Historical Hindcast and Future Scenarios of the Świna Gate Barrier Coast (Southern Baltic Sea). In J. Harff, K. Furmanczyk & H. v. Storch (Hrsg.), *Coastline changes of the Baltic Sea from south to east – past and future projection* (Coastal research library, Band 19, S. 107-135). Cham, Germany: Springer.
- Zhang, W., Wirtz, K., Daewel, U., Wrede, A., Kröncke, I., Kuhn, G., Neumann, A., Meyer, J., Ma, M. & Schrum, C. (2019). The budget of macrobenthic reworked organic carbon – a modelling case study of the North Sea. *Journal of Geophysical Research-Biogeosciences*. Accepted article. doi:10.1029/2019JG005109

Impressum

Herausgeber

Helmholtz-Zentrum Potsdam,
Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ
Telegrafenberg
14473 Potsdam

Redaktion

PD Dr. Dierk Spreen
Jana Kandarr
Oliver Jorzik

Layout

Pia Klinghammer

E-Mail: redaktion-eskp@gfz-potsdam.de

Alle Artikel sind auch im Internet abrufbar:

<https://themenspezial.eskp.de/biodiversitaet-im-meer-und-an-land/inhalt-937146/>

Stand: Februar 2020

Heft-DOI: <https://doi.org/10.2312/eskp.2020.1>

ISBN: 978-3-98-16597-4-0

Zitiervorschlag:

Earth System Knowledge Platform (Hrsg.). (2020). *ESKP-Themenspezial Biodiversität im Meer und an Land. Vom Wert biologischer Vielfalt*. Potsdam: Helmholtz-Zentrum Potsdam, Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ. doi:10.2312/eskp.2020.1

Einzelartikel:

[Autor*innen]. (2020). [Beitragstitel]. In Earth System Knowledge Platform (Hrsg.), *ESKP-Themenspezial Biodiversität im Meer und an Land. Vom Wert biologischer Vielfalt* ([Seitenzahlen]). Potsdam: Helmholtz-Zentrum Potsdam, Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ. doi:[DOI]

Die Verantwortung für die Inhalte der Einzelbeiträge der vorliegenden Publikation liegt bei den jeweiligen Autorinnen und Autoren.



Text, Fotos und Grafiken soweit nicht andere Lizenzen betroffen:
eskp.de | [CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)