Die Inseln Usedom und Wollin

– Lokale Bedingungen globaler Wende

unter Redaktion von Karolina Kurtz-Orecka,
Wojciech Tuchowski, Jacek Przepiórski

Stettin 2022

Westpommersche Technologische Universität Szczecin

Die Inseln Usedom und Wollin

Lokale Bedingungen globaler Wende

Monographie zum Projekt INT190

Modellregion der erneuerbaren Energien Inseln Usedom und Wollin

unter Redaktion von

Karolina Kurtz-Orecka

Wojciech Tuchowski

Jacek Przepiórski

Stettin 2022

Gutachter
Dr. hab. Ing. Abdrahman Alsabry, Prof. UZ
Dr. hab. Ing. Norbert Chamier-Gliszczyński, Prof. PK

Umschlag entworfen von
Karolina Kurtz-Orecka

Umschlag
Wärmebild Ort Usedom (K. Kurtz-Orecka); Karte der CH_4-Konzentration Usedom und Wollin, Winter – night time (K. Glińska-Lewczuk, P. Burandt, A. Skwierawski); Visualisierung eines Solarparks (najda Consulting sp. z o.o.); Postkarte – Lithographie, Verlag Art. Julius Simones aus Oldenburg, Pos. 9005, Datum der Korrespondenz und des Poststempels 14–15.09.1914, Originalkarte aus der Sammlung von W. Skwarczyński, Copyright by UNIVERS; Visualisierung der Beleuchtung des Unabhängigkeitsplatzes (Plac Wolności) in Świnoujście, Studio DL sp. z o.o.

Diese Studie entstand im Rahmen des Projektes INT190 MoRE Modellregion erneuerbarer Energien Inseln Usedom und Wollin (2020–2022), gefördert durch den Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE), Interreg V A Kooperationsprogramm Mecklenburg-Vorpommern/Brandenburg/Polen.

Diese Studie erfolgt im Rahmen eines grenzübergreifenden Projekts, das mit Mitteln des Mi-nisteriums für Wissenschaft und Hochschulbildung „PMW“ in den Jahren 2021–2022; Ver-trag-Nr. 5195/INTERREG V A MV/BB/PL/2021/2 mitgefördert wurde.

Herausgegeben unter Zustimmung vom
REKTOR DER WESTPOMMERSCHEN TECHNOLOGISCHEN UNIVERSITÄT SZCZECIN

ISBN 978-83-7663-350-3

Universitätsverlag der Westpommerschen Technologischen Universität Szczecin al. Piastów 48, 70-311 Szczecin, tel. 91 449 47 60, e-mail: wydawnictwo@zut.edu.pl
Ausgedruckt am: ZAPOL Sobczyk sp.k., al. Piastów 42, 71-062 Szczecin

Inhaltsverzeichnis

Vorwort 5

Teil I. Geschichtlich-räumliche und sozial-kulturelle Fragen

Inseln Usedom und Wollin – geschichtlich räumliche Fragen..... 11

Das grenzüberschreitende Gebiet als ein sozial-kultureller Raum 24

Teil II. Rechtliche Rahmenbedingungen für die Energiewende

Energiewende – Europäische rechtliche Rahmenbedingungen 45

Energiewende im deutschen Recht 55

Luftreinhalteprogramm mit einem kurzfristigen Aktionsplan
für die westpommersche Zone Energiewende im polnischen Recht 70

Problematik der erneuerbaren Energieträger in der Raumplanung
am Beispiel ausgewählter Küstengemeinden der Woiwodschaft Westpommern ... 82

Teil III. Energetisches Profil der Inseln Usedom und Wollin

Geologischer und hydrogeologischer Aufbau der Inseln Usedom und Wollin 105

Thermische Qualität von bestehenden Gebäuden auf Usedom
und Wollin – Wärmebilduntersuchungen 116

Zeitliche und räumliche Veränderungen der CO_2 – und CH_4-Konzentrationen
in der Atmosphäre auf den Inseln Usedom und Wollin 149

Zeitliche und räumliche Variabilität der atmosphärischen Konzentrationen
von PM2,5- und PM10-Partikeln auf den Inseln Usedom und Wollin..... 171

Physikalisch-chemische Beschaffenheit der Oberflächengewässer
der Inseln Wollin und Usedom 194

Nutzungspotential von Oberflächengewässern für Heiz- und Kühlzwecke
auf den Inseln Usedom und Wollin 213

Swinemünde – Beleuchtungs-Masterplan 253

Konzept für die Energiewende im Bereich der Einschränkung von Abgasemissionen
durch die Verbrennungsfahrzeuge am Beispiel der Stadt Międzyzdroje (Misdroy) . 267

Reduktion der Abgasemissionen durch Verbrennungsfahrzeuge in touristischen Orten am Beispiel der Stadt Międzyzdroje – Planungskonzept für die Pufferparkplätze 288

Elektromobilität auf den Inseln Usedom und Wollin 302

Konzept zur Erhöhung der energetischen Autarkie der Inseln Usedom und Wollin 317

Teil IV. Beispiele für gute Praxis bei der Nutzung erneuerbarer Energiequellen

Wärmepumpen in der Praxis 331

Aufstellung guter Praktiken in Bezug auf die Implementierung erneuerbarer Energiequellen 341

Verfasser 355

Tabellenverzeichnis 367

Abbildungsverzeichnis 369

Vorwort

Das Streben nach klimatischer Neutralität ist eine der wichtigsten Herausforderungen, vor denen die Menschheit heute steht, unabhängig von der Geopolitik und der geografischen Lage. Die Energiewende, die in diesem Prozess eine Schlüsselrolle spielt, bedarf nicht nur der Festlegung allgemeiner Handlungsrahmen, sondern vor allem auch der genauen Untersuchung und Feststellung des lokalen Kontextes. Einige spezielle Regionen, z. B. aufgrund ihrer geografischen Lage oder Regionen, die unter die Zuständigkeit verschiedener Rechtsordnungen fallen, unterliegen besonderen Einwirkungen und bedürfen grundsätzlichen einer maßgeschneiderten Herangehensweise zur Dekarbonisierung, sowie der engen Zusammenarbeit zwischen den Akteuren aus allen sozialen und wirtschaftlichen Milieus. Zu solchen Gebieten zählt auf jeden Fall der Archipel mit rund 40 Inseln im polnisch-deutschen Grenzgebiet.

Die größten Inseln des Archipels sind Usedom (mit Fläche von 445 km^2) und Wollin (mit Fläche von 265 km^2), sind seit immer eng miteinander verbunden waren. Sie gehören zur Region Pommern, die sich entlang der Südküste der Ostsee von der Insel Rügen (Deutschland) im Westen bis zur Halbinsel Hel (Polen) im Osten erstreckt. Der Hauptkern der Inseln besteht aus Hügeln, die durch die End- und Grundmoräne hier vor etwa 12 bis 15 Tsd. Jahren gebildet wurden. Durch die Einwirkung der Brandung, neben den Moränenablagerungen, sind weitere Uferschwellen aufgebaut worden, auf denen sich Dünengebiete entwickelt haben. Seitens des Stettiner Haffs haben sich Gebiete mit dem Rückseitendelta gebildet. Diese Prozesse haben das abwechslungsreiche, unverwechselbare Relief dieser Region geformt, das sich durch die nebeneinander liegenden, niedrigen und flachen Nehrungs- und Mündungsgebiete der Halbinseln und durch die damit kontrastierenden Moränenhügel auszeichnet.

Die Insel Usedom ist stark zersplittert und besteht aus zahlreichen Halbinseln, darunter: Usedom, Wolgaster Ort, Gnitz, Lieper Winkel oder Cosim. Sie ist vom Festland durch den Meeresarm Peenestrom und von der Insel Wollin durch den Meeresarm Swine getrennt. Infolge der hydrotechnischen Bauarbeiten im

Rahmen der Errichtung einer neuen Wasserstraße (Kaiserfahrt, aktuell Piasten-Kanal (Kanał Piastowski)) am Ende des 19. Jahrhunderts ist die Wasserverbindung zwischen dem Stettiner Haff und der Ostsee durchgängig gemacht worden. Durch den Bau wurde der süd-östliche Teil der Insel Usedom abgetrennt und wird aktuell Insel Karsibór genannt. Die der Ostsee zugewandte Seite der Insel Usedom zeichnet sich durch eine sanft in die Richtung des Meeres abfallende Küste aus. Im Nordosten hat sich eine flache Küste herausgebildet, während sich ab Koserow eine steile Moränenküste mit ihrer höchsten Erhebung – den Streckelsberg erhebt. Der nordwestliche Teil der Insel ist weitgehend flach, während der südöstliche Teil durch sanft gewellte Hügel der Usedomer Schweiz geprägt ist. Die höchsten Erhebungen auf der Insel Usedom sind: Golm (69 m ü.NN), Kückelsberg (58 m ü.NN), Streckelsberg (58 m ü.NN), Zirowberg (56 m ü.N.N.) und der Lange Berg (54 m ü.NN).

Im östlichen Teil der Insel liegen zwei große Seen: Schmollensee und Gothensee, dazwischen weitere, kleine Seen: Rakowo Duże und Rakowo Małe. Weiter südlich, inmitten der ausgedehnten Heide Thurbruch liegt der Kachliner See. Östlich vom Gothensee liegt ein weiterer See – Wolgastsee. Weitere kleinere Seen auf der Insel Usedom sind: Schloonsee in Bansin, Wockninsee bei Ückeritz und Kölpinsee im gleichnamigen Ortsteil von Loddin. Die schmalste Stelle der Insel befindet sich zwischen den Orten Koserow und Zemplin und ist etwa 300 m breit.

Im Gegensatz zur Insel Usedom ist die Insel Wollin viel kompakter aufgebaut und ähnelt in ihrer Form eher einem Dreieck mit drei charakteristischen Halbinseln: Halbinsel Przytor (Pritter), Halbinsel Międzywodzie (Heidebrink) und die Halbinsel Rów (Roof). Sie ist vom Festland durch den Meeresarm Dziwna (Dievenow) und das Stettiner Haff getrennt. Das Relief der Insel ist durch Moränenhügel geprägt, von denen die höchste Erhebung Grzywacz (116 m ü.NN) ist. An der Küste bricht die Moräne mit einem hohen Kliff ab, das sich von Międzyzdroje bis nach Święta Kępa über 15 km lang erstreckt. Das Kliff wird durch die Brandung, Wind und runterfließendes Regenwasser ständig erodiert. Die Moränenhügel fallen sanft Richtung Osten und Südosten ab. Im zentralen Teil der Insel liegt die Wolliner Seenplatte mit den Binnenseen: Warnowo Zachodnie und Warnowo Wschodnie, Czajcze, Żółwińskie, Wisełka, Kołczewo und dem größten See im nordöstlichen Teil der Insel: Koprowo. Im östlichen Teil liegen noch zwei weitere küstennahe Seen auf der Insel, die durch Abtrennung der ehemaligen Nordbucht des Stettiner Haffs entstanden sind: Wicko Wielkie und Wicko Małe. Die Insel teil sich in Mikroregionen auf, die sich durch besondere

landschaftliche Merkmale auszeichnen: Swine-Tor, Wolińskie-Streifen, Lubińsko-Wolińskie Hügel, Wolińskie-Seenplatte, Dargobądzka-Ebene, Mokrzyckie Berge, Kodrąbskie-Senke, Halbinsel Rów.

Die Inseln Usedom und Wollin zeichnen sich durch eine ethnische Vielfalt aus, die auf die sich ständig wechselnden politischen Einflüsse des Deutschen Reiches, des Königreichs Schweden, Dänemarks und der slawischen Völker im Laufe der Jahrhunderte zurückzuführen ist. Das Gebiet ist morphologisch vielfältig, sein Klima und seine Naturräume sind schützenswert, zahlreiche Naturgebiete genießen gesetzlichen Schutz. Die genannten Vorzüge, sowie die Lage an der Pommerschen Bucht einerseits und am Stettiner Haff andererseits führen dazu, dass diese Region seit langer Zeit zu Erholungs- und Kurzwecken genutzt wird. Eine weitere Gemeinsamkeit der beiden Inseln sind die Herausforderungen in Bezug auf die kommende Energiewende.

Administrativ liegen die Inseln Usedom und Wollin im deutsch-polnischen Grenzgebiet. Der größte Teil der Insel Usedom liegt in Deutschland, ein kleinerer Teil der Insel Usedom und die gesamte Insel Wollin liegen auf dem polnischen Staatsgebiet. Das Gebiet in der Bundesrepublik Deutschland teilt sich in vier Verwaltungseinheiten: Amt Usedom-Nord, Heringsdorf, Amt Am Peenestrom und Amt Usedom-Süd, wobei das Amt Am Peenestrom nicht nur die Insel Usedom selbst, sondern auch einen großen Teil am Festland umfasst (Abb. 1). In der Republik Polen wird das Gebiet der Inseln Usedom und Wollin in zwei große Verwaltungseinheiten aufgeteilt: den Kreis Świnoujście (mit der Kreisstadt Świnoujście) und den Kreis Kamieński, dem drei Gemeinden in diesem Gebiet angehören: Międzyzdroje, Wollin und Dziwnów. Insgesamt umfasst das Projektgebiet in der Republik Polen vier Gemeinden, von denen zwei, nämlich die Gemeinde Wollin und die Gemeinde Dziwnów teilweise auf der Insel Wollin und teilweise auf dem Festland liegen (Abb. 1).

Diese Monographie entstand im Rahmen der Umsetzung des Projektes INT190 MoRE *Modellregion Erneuerbare Energien Inseln Usedom und Wollin*, im Rahmen des Programms Interreg V A Kooperationsprogramm Mecklenburg-Vorpommern/Brandenburg/Polen.

Das Ziel des MoRE-Projekts umfasst die Intensivierung von Maßnahmen in Bezug auf die Energiewende und energetische Neutralität im deutsch-polnischen Grenzraum (Inseln Usedom und Wollin) im gemeinsamen EU-Zeitrahmen 2050. Mithilfe des Projekts sollen die vorhandenen Potenziale, Beschränkungen und die Optionen zur Verbesserung der Energieeffizienz auf den Inseln Usedom und Wollin, sowie der geplante Verzicht auf die konventionellen Energieträger

im Energiemix infolge des Einsatzes von erneuerbaren und ökologisch nachhaltigen alternativen Energiequellen untersucht werden.

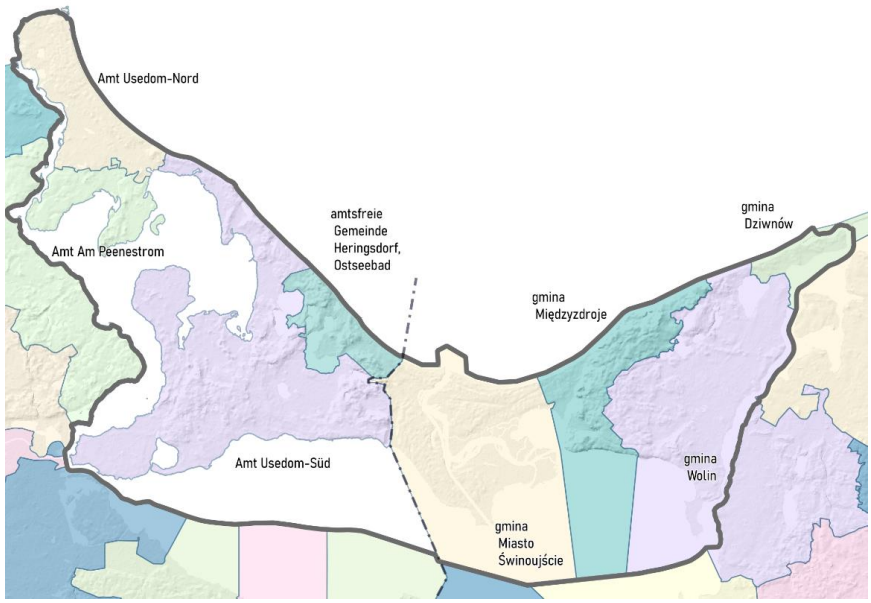


Abb. 1. Administrative Aufteilung der Inseln im MoRE-Gebiet, bearbeitet von: RBGPWZ

Die Monographie der Inseln Usedom und Wollin umfasst eine interdisziplinäre Sammlung von Forschungsergebnissen, die von den Partnern der Studie im Rahmen des Projekts INT190 MoRE *Modellregion Erneuerbare Energien der Inseln Usedom und Wollin,* sowie von Forschern und mitkooperierenden Institutionen erarbeitet und erfasst wurden. Der gemeinsame Nenner der hier aufgeführten Studien betrifft nicht nur denselben Forschungsgegenstand, sondern vor allem einen Versuch, den lokalen Kontext und die möglichen Richtungen der Energiewende im MoRE-Gebiet zu erkennen.

TEIL I
Geschichtlich-räumliche und sozial-kulturelle Fragen

Inseln Usedom und Wollin – geschichtlich räumliche Fragen

Alicja Biranowska-Kurtz
Szczecin

Bei einer Wanderung über die Ostseestrände bewundern wir nicht nur die unendliche Weite des Meeres mit seinen, je nach Jahreszeit und Zeit unterschiedlichen Farbspielen, sondern auch die anderen Elemente, wie die Topografie, den Raum, die Landschaft und auch die Kulturlandschaft. Diese und weitere Elemente resultieren aus zahlreichen Maßnahmen und Einwirkungen, die nicht nur ein Ergebnis menschlicher Handlungen und Leben sind, sondern auch zahlreiche natürliche Ursachen haben, die das Gebiet seit Anbeginn der Geschichte prägten und formten [1]. Das Relief, die Küste und Strände wurden durch die ursprünglichen tektonischen Bewegungen geschaffen, die für jeden Abschnitt der Küstenlinie unterschiedlich waren. Die Brandung an der Küste, Wasserwirbel, Gezeiten oder Rückströme trugen Sand oder ganze Küstenabschnitte ab und lagerten das Material an anderen Stellen ab oder verschoben dieses. Auf diese Weise unterlag die Uferlinie zahlreichen Wandlungen, änderte sich schnell oder wurde durch die Naturkräfte beeinflusst. Zugleich war sie räumlich stabil genug, um sich zu einem erkennbaren (lesbaren) Bestandteil der Landschaft zu entwickeln. Die Küstenlinie spielte schon immer eine wichtige Rolle. In den Küstengebieten diente sie stets als ein Orientierungspunkt für die Absteckung und Führung historischer Handelswege. Dabei konnten die günstigen Orten und Stellen für deren Verlauf in den ausgedehnten Urwäldern, den Küstenwäldern und den abwechslungsreichen und sumpfigen Inselgebieten (Regionen) berücksichtigt werden.

Ein solcher Küstenweg, der die Salinen bei Kolberg mit anderen Teilen Europas verband, war die Salzstraße, die entlang der Küste in die Richtung von Westen nach Wolgast führte. Die Straße verlief entlang der Küstenlinie, am nördlichen Rand der Inseln Wollin und Usedom, über die Furten über Dievenow, Swine (an der Stelle der heutigen Stadt Świnoujście) und der Peene bei Wolgast. Die Salzstraße führte von Kołobrzeg, über Trzebiatów, Kamień Pomorski, Międzyzdroje zu den Sandbänken von Swinoujscie und dann weiter Richtung Westen über Ahlbeck, Heringsdorf, Bansin, Ückeritz, Kölpinsee, Koserow,

Zempin, Zinnowitz. In Wolgast teilte sich die Straße und führte weiter in andere Teile Europas. In der Neuzeit wurden die oben genannten Orte auf der Insel Usedom durch eine Eisenbahnlinie zwischen Swinemünde und Wolgast miteinander verbunden [2, 3].

Eine weitere Straße begann am westlichen Ufer der Furt bei Swinemünde und führte über die südlichen Ufer der Insel Usedom über Garz, Zirchow, Dargen, Usedom und weiter zum Festland, wo sich die Straße in Richtung Nordwesten nach Anklam, und in Richtung Südosten nach Pasewalk teilte. Einige Abschnitte dieser Straße verlaufen auf der Strecke der 1945 stillgelegten Bahnlinie[1] [4, 5]. Über die Straße konnte der zwischen Zirchow, Karswandt und Ahlbeck, über dem Wolgastsee liegende Flughafen [6, 7] erreicht werden. An der engsten Stelle (bei Karnin), wo der Peenestrom nur einen halben Kilometer zwischen dem Stettiner Haff und dem Achtel Wasser breit ist, wurde eine Eisenbahn-Klappbrücke errichtet, die eine kollisionsfreie Schifffahrt ermöglichte. Ihre Reste sind bis heute noch erkennbar [8]. Unmittelbar an der Landesgrenze, südwestlich vom Wolgastsee wurde ein Soldatenfriedhof für die Gefallenen des Zweiten Weltkriegs auf einem weitläufigen Gelände (mit starken Höhenunterschieden) errichtet. Historisch gesehen war dieses Gelände bei den Kurgästen von Swinemünde für Wanderungen sehr beliebt. Von seinem am höchsten gelegenen Punkt, also Berg Golm konnten die Kurgäste die schönsten Ausblicke und Panoramen der Stadt Swinemünde genießen, die in zahlreichen Gemälden und Stichen festgehalten sind [9].

Neben rein topografischen, kommerziellen und strategischen Vorteilen trugen die Handelsstraßen auch zur Entwicklung von Siedlungen bei, zunächst von Burgen, die im Laufe der Zeit zu Siedlungen, Dörfern oder Städten ausgebaut wurden. Nicht alle ursprünglichen Siedlungen sind zu größeren Ortschaften aufgewachsen. Die meisten davon blieben über Jahre hinweg eher kleine Orte auf der Landkarte Pommerns oder Siedlungen, die manchmal mit einer Zollstelle, einer Schmiede oder einem Gasthaus ausgestattet waren. An anderen Orten entwickelten sich kleine Siedlungen mit einigen Fischerhütten, die entweder an der hohen Küste oder aus topografischen (Sicherheits-)Gründen weiter landeinwärts angelegt wurden. Einige davon spielten eine wichtige militärische

[1] Die Konzession für den Bau der Bahnstrecke Ducherow-Swinemünde wurde von der Berliner Eisenbahngesellschaft im Dezember 1872 erworben. 1873 begannen die Arbeiten am Übergang über den Peenestrom zwischen Kamp und Karnin; diese wurde im Mai 1876 in Betrieb genommen. Im Mai 1930 wurde eine Brücke in Zicherin eröffnet.

Rolle. Dazu gehörten Dziwnoujście, West Swine (später Swinemünde) und Wolgast, also Orte, die seit frühester Zeit die Furten und die Flussgewässer (Dievenow, Swine und Peene) [10], die hauptsächlich für die Schifffahrt und den Wassertransport genutzt wurden, überwachten und kontrollierten. Darüber hinaus waren das Orte für die Er-schließung weiterer Gebiete Pommerns, Großpolens, Schlesiens und der Lausitz mit der Ostsee.

Die administrative Übernahme Pommerns durch Schweden (ab 1648) hatte erhebliche räumliche Auswirkungen. Die hohen Zölle auf dem Peenestrom führten zum Ausbau eines Kanalsystems, das die Gewässer der Oder (bei Frankfurt/Oder) mit Spree und Nordsee verband. Eine weitere räumliche Auswirkung war die Regulierung und Herstellung der Durchgängigkeit des Flusses Swine, die erst nach Abzug der Schweden aus diesem Teil Pommerns erfolgte[2]. Damals wurde die Rolle der Swine-Mündung [10–12] erkannt und der Ort wurde mit umfangreichen modernen Befestigungsanlagen [12–14] ausgebaut und verstärkt. Die Erzielung der Schiffbarkeit auf der Swine wurde zum vorrangigen Ziel, da weitere räumliche Maßnahmen und Projekte von der Erzielung positiver hydrographischer und hydrologischer Ergebnisse abhängig waren [15].

Bis in die ersten Jahre des 19. Jh. war die Ostseeküste keine besonders attraktive Region. Die Küste diente lediglich dem lokalen Fischfang, manchmal auch für Spaziergänge und zum Sammeln der Meeresflora. An der Küste wurden einige Schlachten und bewaffnete Kämpfe ausgetragen und die mit Binsen und Wasserpflanzen bewachsenen Gebiete wurden zu Verstecken für verschiedene Schiffe. Nach den napoleonischen Kriegen (ab 1815) änderte sich die politische Lage und viele Ortschaften verfielen und verloren ihre wirtschaftliche Bedeutung. Ein Teil der bis dahin vorhandenen Funktionen verlor ihre Bedeutung, wurde vergessen oder erwirtschaftete kein Ergebnis (Einnahmen), die ausreichend wären. Eine intensive Suche nach neuen wirtschaftlichen Optionen und Anstößen für die Entwicklung began. Anhand der Traditionen aus Brighton (1754, England) und Dieppe (1776, Frankreich) hatte man vor, neue Funktionen

[2] Trotz des Sieges im 3. Nordischen Krieg (1701–1720) musste der König Friedrich Wilhelm I. eine Klausel unterzeichnen, die den Bau neuer Häfen oder Städte i zurückgewonnenen Küstengebiet an der Ostsee untersagte. Die Klausel musste gekonnt umgangen werden, um u. a. die hohen Zölle für die Schifffahrt auf dem Peenestrom zu vermeiden. Dievenow konnte nicht schiffbar gemacht werden und der Peenestrom lag im Herrschaftsgebiet von Schwe-den, da blieb nur die Swine als die einzige (damals) mögliche strategische Lösung übrig. In dieser Weise konnten die Friedensverträge eingehalten werden und Friedrich Wilhelm I. baute keinen einzigen neuen Hafen oder eine neue Stadt, sondern nahm „den alten Hafen an der Alten Swine“ wieder in Betrieb [10].

und Lösungen für die unterschiedlichen Küstenorte zu finden, um ihre wirtschaftliche und räumliche Entwicklung voranzutreiben und Gäste anzuziehen, die sich am Wasser erholen wollen.

Eine große Bedeutung für die Entwicklung der Ostseeorte auf den Inseln Usedom und Wollin hatte die Gründung des ersten Kurortes Potbus-Lauterbach, der 1816 auf der Insel Rügen in Betrieb ging. Sein Vorort Lauterbach[3] war mit dem Nordufer des Greifswalder Boddens verbunden. Zwischen den Orten Lauterbach und Neuendorf wurde ein Ensemble mit Einrichtungen zum Baden, Entspannen und Erholen errichtet. Die ersten Bäder mit Warmwasserversorgung wurden in Lauterbach gebaut, im Laufe der Zeit kamen weitere Einrichtungen hinzu, darunter eine Seepromenade und eine Seebrücke[4]. Der nicht direkt an der Küste liegende Ort wurde stark umgebaut und ihm wurde ein repräsentativer Charakter eines großen räumlichen Ensembles mit einem kreisförmigen Marktplatz und radial darauf zulaufenden Straßen verliehen. Neben der Stadt ließ Herzog Wilhelm Malte I. von Potbus eine eigene Residenz nach dem Vorbild der Schweriner Residenz errichten.

Das räumliche und funktionale Konzept und die Errichtung des Seebades Potbus-Lauterbach wurde zum Vorbild für andere Ostseebäder. Der Ort wurde von immer zahlreicheren Delegationen der Bürger und anderer Schaulustigen besucht, die nicht nur vorhatten, sich hier zu erholen, sondern sich vom Modell inspirieren lassen und neue Ideen und funktionale Lösungen für ihre Orte übernehmen wollten. Besuche der Ostseebäder wurden immer beliebter, und nach Bohrungen und Auffindung von Sole- und Mineralwässern stieg ihre Bedeutung noch weiter. Den Orten wurden nach und nach Kurrechte verliehen. Die Gäste nahmen immer modernere Behandlungsmethoden in Anspruch. Man achtete auch sorgfältig auf die sanitären Standards der einzelnen Einrichtungen. Saubere Luft und die Meeresbrise wurden hoch gepriesen, Ruhe und Stille wurden

[3] Der Kurort Potbus-Lauterbach wurde im Auftrag von Herzog Wilhelm Malte I. von Potbus gebaut, der sich einen Erholungsort nach dem Vorbild des ersten deutschen Seebades Heiligendamm (1793) bei Rostock wünschte. Mit dem Tod seines Besitzers verfiel der Kurort, da er genauso wie Heiligendamm nur für die adlige Familie und ihren engsten Kreis bestimmt war [16].

[4] Die erste, von Holzsäulen getragene Seebrücke war 35 m lang und 7 m breit. Sie wurde 1872 durch einen Sturm fast komplett zerstört. An ihrer Stelle wurde eine ähnliche Brücke aus Stein errichtet [23]. Der Bau der Seebrücke war nicht nur für den Ort selbst, sondern auch für die gesamte Insel Rügen von großer Bedeutung, die bis 1934 keine Straßenverbindung zum Festland hatte. Erst 1934 erhielt die Insel eine solche Verbindung, als die Rügendamm-Eisenbahnbrücke eröffnet wurde [17].

zu besonderen klimatischen Qualitäten erklärt, wobei die landschaftliche Schönheit der Küstenstrände, die hohen Kliffs einiger Küstenabschnitte und das Treiben von Wassersporten gelobt wurden.

Heute gibt es an der Ostseeküste eine Reihe von Freizeit- und Kurorten (Resorts), die direkt am offenen Meer, an der Strandküste liegen. Beginnend mit dem Grenzübergang Swinemünde reihen sich die Badeorte auf der Insel Usedom über vierzig Kilometer aneinander lang und liegen an hellen, sauberen Stränden, Promenaden und zeichnen sich durch strahlend weiße Architektur aus. Die Badeorte an der Ostsee, wie: Świnoujście, Ahlbeck, Heringsdorf und Bansin sind miteinander fast verbunden. Die letzten drei werden noch heute als die „Kaiserbäder" bezeichnet. Weitere Ensembles, wie: Ückeritz, Kölpinsee, Koserow, Zempin und Zinnowitz sind aus topographischen Gründen mehrere Kilometer voneinander entfernt. Die Orte Trassenheide und Karlsehahen liegen im nördlichen Teil der Insel Usedom, direkt am Meer, während Peenemünde auf der östlichen Seite des Mündungsdeltas der Peene liegt. Bis 1881 war die Erholungsfunktion von Swinemünde mit der Stadtbebauung und dem Fluss Swine eng verbunden. Erst danach ergab sich eine Idee und Option, sie direkt an die Ostseeküste der Insel Usedom zu verlegen.

Świnoujście-Warszów (Swinemünde-Ostswine), Międzyzdroje (Misdroy), Międzywodzie (Heidebrink) und Dziwnów (Dievenow) sind damalige Badeorte der Insel Wollin. Dziwnów wurde auf dem Festland ausgebaut, zwischen dem Ostufer des mäandernden Flusses Dziwna (Dievenow) und den Küstenstränden.

Die Geschichte der meisten von oben genannten Orte beginnt schon vor langer Zeit, aber eine intensive Entwicklung fand erst nach der Entdeckung der gesundheitlichen Vorzüge der Erholung an der Meeresküste statt [18]. Zu diesem Zeitpunkt wurden nicht nur neue stadtbildende Funktionen und moderne Bebauung übernommen (eingeführt). Jeder Ort hat auch seine eigenen natürlichen topografischen Bedingungen maximal ausgenutzt und diese als besondere Vorzüge und Qualitäten seiner ausgebauten räumlichen Anlage angesehen.

Zuerst haben sich die folgenden Orte entwickelt und umgebaut: Ahlbeck, Heringsdorf und Bansin. Ursprünglich waren es Fischerdörfer, wobei Bansin[5] etwas landeinwärts, am nordwestlichen Ufer des Gothensees, liegt. Diese Entfernung war notwendig, weil die 100 Meter lange Landzunge, die den Schloonsee vom Meeresufer trennt, bei Herbst- und Winterstürmen häufig überflutet

[5] Im 13. Jh. wurde das Dorf Bansin, das sich in einiger Entfernung vom Meer befand, erwähnt [5].

wurde, was dazu führte, dass große Landflächen überflutet waren und zeitweise als ein Teil des Meeres angesehen werden mussten. Aus diesem Grund wurde der Kern dieses Seebads auf der Nordwestseite, über dem Schloonsee, errichtet. Einige neue Straßen sind jedoch parallel zur Küste angelegt worden, ein Großteil davon verläuft landeinwärts in Richtung des ehemaligen Dorfes Bansin. In diesem Stadtteil verlaufen nicht alle Straßen geradlinig und kreuzen sich nicht alle rechtswinklig.

Die Orte Ahlbeck[6] und Heringsdorf[7] liegen direkt am Meer und nur in ihren ältesten Stadtteilen findet man noch gewisse Bestandteile ihrer ursprünglichen Anlage, Anordnung und Unregelmäßigkeiten ihrer Stadtpläne. Sie wurden intensiv den neuen planerischen und räumlichen Bedürfnissen angepasst. Die neu angelegten Straßen verlaufen parallel zur Küste, kreuzen sich rechtswinklig miteinander und öffnen/schließen sich malerisch zum Wasser hin. Südwestlich dieser Orte liegen Gebiete, die unterschiedlich genutzt werden mit offenen Seen (Wolgastsee, Gothensee, Großer Krebssee, Schmollensee, Wockninsee), stehenden Gewässern und angrenzenden Sumpfwiesen, die den Ausbau der Orte in die Richtung des Landesinneren einschränken. Unter anderem aus diesem Grund wurde der Flughafen Ahlbeck von der Stadt weg verlegt; er wurde östlich von den Moorgebieten zwischen dem Wolgastsee und der Bahnlinie errichtet.

Zwischen Heringsdorf und den nachfolgenden Kurorten werden vor allem die Strände selbst genutzt. Ückeritz, Kölpinsee, Koserow, Zempin und Zinnowitz nutzen die Küste als den wichtigsten Faktor für ihre Entwicklung und bewirtschaften intensiv das Festland, das das Achtel Wasser von den offenen Gewässern des Meeres trennt [5]. Die westlichen Grenzen der Orte: Kölpimsee, Koserow und Zempin bestimmen das nördliche Becken des Achtel Wassers, das als

[6] Er liegt 3 km vom Grenzübergang entfernt. Die ersten Fischer und Seeleute siedelten sich hier 1699 an. Bis zur Mitte des 17. Jh. zählte das Dorf sieben Bauernhöfe, eine Getreidemühle und einen Getreidespeicher. In der Mitte des 19. Jh. ließ sich hier der Lehrer und Kantor Johann Koch nieder, der einen Chor der Kirchensänger aufbaute. Er leitete eine Spendensammlung für den Bau einer Kirche. Der Grundstein wurde 1894 gelegt und die ersten Urlauber kamen 1852 in den Ort [5, 19]. Eine große Attraktion in Ahlbeck ist die Ostseetherme, eine Anlage mit beheizten Schwimmbädern.

[7] Diese liegt 5 km vom Grenzübergang entfernt. Der Ort entstand am Fischerdorf Neukrug, in dessen Nähe der Besitzer eines Rittergutes Bernard von Büllow 1819 eine Villa für die ersten Badegäste errichtete. Vielleicht wurden die ersten Küstenbäder so genannt. Nach der Errichtung dieser Einrichtung wurde eine Siedlung mit Villen am Meer errichtet, die später mit dem ursprünglichen Dorf verbunden wurde. Seit 1825 ist der Ort ein anerkannter Badeort am Meer. In der Stadt gibt es ein Muschelmuseum an der Strandpromenade und ein Museum für Literatur und regionale Kunst [17].

Kölpimsee bezeichnet wird. Der Festlandstreifen zwischen diesen Gewässern ist durchschnittlich etwa 200 m breit; an einigen Stellen jedoch breiter. Das gesamte Ostufer des Achtel Wassers, beginnend am Kölpimsee in Richtung Norden, ist durch eine niedrige Düne und einen Schutzdeich von der Ostsee getrennt. Von den genannten Orten gibt es nur in Zinnowitz noch weitläufige räumliche Entwicklungsgebiete, da die Lage am nördlichen Rand den möglichen räumlichen Ausbau nicht radikal einschränkt. Die Bebauung in Ückeritz konzentriert sich vor allem am Haff und ist über eine breite Allee und Promenade mit den Küstenstränden und der Seebrücke verbunden.

Die Gewässer des gesamten Achtel Wassers werden für die Schifffahrt und die Freizeit genutzt.

Für den Bau des Kurortes Międzyzdroje (Misdroy) wurde ein an der Salzstraße gelegenes Fischerdorf umgebaut, in dem ab 1830–1835 neue Wohngebäude und Unterkünfte und an der Küste die Seebäder errichtet wurden [18]. Der östlich und westlich von der Stadtmitte errichtete, neue Stadtteil mit einem regelmäßigen Grundriss widerspiegelt den Verlauf der Küste und weist sich miteinander kreuzende, in die Richtung des Meeres verlaufende Straßen auf. Bei dem Ausbau eines Stadtteils wurde die lokale Topographie stark berücksichtigt, die neuen Straßen wurden auf den Moränenhügeln angelegt und öffnen/schließen sich in die Richtung des Meeres hin.

Der Ort Heidebrink (heute Międzywodzie)[8] liegt zwischen dem Camminer Bodden und der Ostsee. Eine überregionale Verkehrsader (ul. Armii Krajowej) teilt diesen Ort in zwei Teile. Der sehr regelmäßige Stadtplan mit dicht angelegten Quartieren und sich rechtswinklig kreuzenden Straßen zieht zum Meer hin; in den dem Bodden zugewandten Stadtteilen sind die Quartiere groß und nicht alle Straßen weisen ein regelmäßiges Raster auf.

Nach dem Besuch der Bürger von Swinemünde in der Gegend von Potbus (1823) [20] begann die Suche nach einem neuen Raum für die Einrichtung neuer Freizeit- und Kurfunktionen. Die Regulierungsarbeiten an der Swine[9] im ersten

[8] Heidebrink entwickelt sich Ende des 19. und Anfang des 20. Jh. zu einem Badeort. Bereits 1933 gab es hier die erste Badeanstalt mit warmem und kaltem Meerwasser. In den 1860er Jahren wurden hier Jod-Brom-Solen entdeckt, die bis heute nicht gefördert werden.

[9] Erich Kayser (Deutsche Städtebuch, Berlin, b.r.w. [vor 1939]) hat als erster den Begriff „Neuland“ für die nach der Regulierung des Flusses Swine gewonnenen Gebiete benutzt. Das Aushubmaterial wurde zunächst auf den Auen und Überflutungswiesen auf beiden Seiten des Flusses gelagert. Auf diese Weise wurden neue Flächen angelegt, für

Viertel des 19. Jh. behinderten den Ausbau der Kur- und Freizeitfunktionen in Swinemünde direkt an der Meeresküste. Erst nach 1881[10] erfüllte der Ostseeabschnitt in Swinemünde die technischen Voraussetzungen für die Gründung und Entstehung neuer Bebauung der Stadt. Die früheren Gebiete am Strand waren für die Bebauung nicht stabil genug. Aus diesem Grund entsteht das erste Kurhaus – *Gesellschaft-Haus* nordöstlich der Stadt zwischen der Swine und den Befestigungsanlagen und der *Plantage* (*Kurpark*)[11]. Erst in den 1890er Jahren begann die räumliche Neuordnung des vorhandenen Badeviertels (für die Freizeit- und Kurzwecke) anhand einer detaillierten Planung der neuen Einrichtung. Der Stadtplan zeichnet sich durch ein modernes Konzept aus, das die Küstenlinie betont und eine Promenade, Grünanlagen und einen großen, den ersten öffentlichen Park in Pommern, der die frühere Stadt vom Kurort trennt, umfasst. Alle räumlichen und kompositorischen Elemente des neu geplanten Stadtteils zeichnen sich durch Ordnung und räumliche Struktur auf. Aus diesen Gründen mussten die früheren Siedlungsformen für die Kurzwecke in Swinemünde nicht stark angepasst und umgebaut werden, weil der Stadtteil an der Küste auf einem leeren, früher nicht bewirtschafteten Gebiet gebaut wurde und alle notwendigen Einrichtungen problemlos zu errichten waren. Die Überreste des ursprünglichen Badeortes am Fluss wurden abgerissen, umgebaut oder in die Wohnstruktur des neuen Stadtteils integriert.

Im Zuge ihres Ausbaus und ihrer Entwicklung waren alle oben aufgeführten Orte zunehmend mit der Ostseeküste verbunden. Die Integration früherer Siedlungsformen (mit Ausnahme von Swinemünde) schritt auch fort. Die Siedlungen und Dörfer wurden genetisch umgewandelt und an die neuen räumlich-archi-

deren Verstärkung spezielle Konstruktionen (Faschinen) eingesetzt wurden. Unmittelbar nach der Gründung und dem Anschluss wurden dort Sumpfgräser und Sträucher eingepflanzt. So wurden diese Gebiete zum Ausgangsgebiet für die spätere *Plantage-Anlage*. Ein Teil des Aushubmaterials wurde zum Anlegen einer künstlichen Insel Gristow (Wyspa Chrząszczewska), sowie zur Verstärkung der zwei Kilometer von Buhnen seitens des Stettiner Haffs [21] verbraucht.

[10] Dieses Datum wird von Burchardt als das Fertigstellungsdatum des „Neulands" in Swinemünde angegeben [22].

[11] Nach einem französischen Wörterbuch aus dem 19. Jh. soll man den Begriff *Plantage* als Einpflanzung von Sumpfgräsern und -pflanzen verstehen, um den Boden schneller zu entwässern und die statische Stabilität zu erhalten. Der Begriff *Plantage* wurde im Sprachgebrauch und auf den Stadtplänen von Swinemünde bis zum 2. Weltkrieg [23–25] verwendet.

tektonischen Konzepte und Bedürfnisse angepasst, danach immer stärker ausgebaut, um die Entwicklung der Kurorte zu stemmen. Auch heute noch sind einige Elemente dieser ersten Entwicklungsstufen zu erkennen. Zwar fand 1991 eine umfassende städtebauliche Sanierung und Modernisierung aller deutschen Küstenstädte statt. Diese umfasste jedoch in erster Linie die architektonische Revitalisierung. Die Eingriffe in die räumliche Struktur fanden nur dann statt, wenn eine Modernisierung des gesamten logistischen Systems notwendig war, jedoch ohne Verlegung der Erschließung und Straßen [18].

Die architektonische Bebauung der Kurorte ist vielfältig. Die älteste Gebäude sind meistens zweistöckig im klassizistischen Stil gebaut, mit Portiken und Giebelfeldern. Sie wurden auf großen Grundstücken mit viel Zwischenraum angelegt, der anschließend in ausgedehnte Gartenanlagen umgewandelt wurden. Ein weiterer Typus umfasst vierstöckige Villen und Pensionen mit breiten Fassaden, die sich durch offene Quasi-Portiken oder Quasi-Vorsprünge auszeichnen. Dazu gehören zahlreiche stilgebende und eklektische Elemente und Bauteile. Alle sind mit unterschiedlichen architektonischen und räumlichen Elementen (wie z. B. Risalite, Erker, Balkone, Türmchen usw.) ausgestattet. Diese wurden auf bereits dichter bebauten Grundstücken errichtet und wurden an die öffentlich zugänglichen Grünflächen, eine Promenade oder ein Korso angeschlossen. Die dominierende Farbe der Außengestaltung ist weiß. Um die Gesamtkompositionen zu betonen, wurden auch Beige-, Hellblau- und Hellgrüntöne verwendet. Rot- und Brauntöne, seltener Grüntöne, finden sich an den unterschiedlich geformten Dächern. Die Villen und Pensionen in Swinemünde wurden in der Regel auf unbebauten und offenen Grundstücken gebaut und waren immer mit Gärten versehen. Die architektonische Sprache der Bebauung war sehr vielseitig. Meistens waren das vierstöckige, verputzte Häuser mit eklektischen baulichen Details, einer Vielzahl von architektonischen und räumlichen Elementen, immer mit hohen Dächern mit unterschiedlichen Neigungswinkeln. Die Fassaden wurden in der Regel hell verputzt. Es gibt nur einige Beispiele von Häusern mit Fassaden aus belassenem rotem Backstein oder Grundstücke, die nicht intensiv bepflanzt wurden[12].

[12] Im Staatlichen Woiwodschaftsarchiv Szczecin blieben zahlreiche Unterlagen der ehemaligen Baupolizei Swinemünde erhalten, wo man die Baupläne und Beschreibungen zur Architektur finden kann. Auch die zahlreichen Sammlungen alter Postkarten zeigen, wie die Vergangenheit hier aussah. Die größte Sammlung von alten Postkarten ist im Seefischereimuseum Świnoujście [26] zu finden.

Andere Orte stehen eher mit Gewässern des Stettiner Haffs und des Achtel Wassers in Verbindung. Der Ferienort Kamminke mit seinem Steinufer und einer kleinen Anlegestelle liegt am Nordufer des Stettiner Haffs. In Wollin wird das südwestliche Ufer der Insel Wollin genutzt. Neppermin liegt am Südufer des Achtel Wassers. Neben den Vorzügen der Binnenlandschaft und der Küste bieten die meisten hier genannten Orte auch verschiedene Sehenswürdigkeiten und Wasserbecken für Wassersporte und Segeln.

Neben der Küstenbauten und zeitgenössischen Anbauten findet man auf den Inseln auch andere Bauwerke (nicht nur Wohngebäude), die die traditionelle Bauart, sowie räumliche und funktionale Lösungen fortführen und neu interpretieren. Diese schöpfen von den alten Bautechniken, die oft von Einheimischen entwickelt wurden. Eine davon gilt für eingeschossige, teilweise oder vollständig unterkellerte Wohnhäuser mit einem langgestreckten rechteckigen Grundriss und Schilfeindeckung auf einem sehr hohen Satteldach. Manchmal sind unter den Firsten holzgeschnitzte, herausstehende Details zu finden; manchmal wurden abgerundeten Formen über den Öffnungen geschaffen und aus den Dachflächen „herausgeschnitten". So konnten die Fenster und Türen bewusst betont werden. Diese architektonische Technik erinnert an die ursprünglichen Fischerhütten, die seit jeher mit dieser Technik im norddeutschen Raum gebaut wurden. Neben den historischen Vorbildern werden heute neue Gebäude errichtet, die diese Formen und Muster wiederholen. Dazu gehören einzelne Häuser oder größere Baugebiete. Diese ergänzen und runden den erhaltenen Stadtplan ab oder bilden moderne Siedlungen und werten so den touristischen, landschaftlichen und kulturellen Charakter der Insel Usedom auf.

Einen weiteren traditionellen Haustyp, der nicht immer unterkellert war, stellen mit einem hohen Satteldach gedeckte Fachwerkhäuser dar. Zuerst wurden die Wandgewerke mit in Lehm getauchten und mit Moos abgedichteten Holzdielen, später mit roten, weißen oder gelben Ziegeln gefüllt. Manchmal wurden die Fassaden in dieser Bautechnik gebauter Häuser verputzt [27]. Die ursprünglich mit Schilf, Stroh oder Teerpappe gedeckten Dächer wurden später mit Dachziegeln eingedeckt. Auch diese Bautechnik war in der Tradition verwurzelt, weil die Konzepte, Komposition und räumliche Funktionen der Innenräume sich an der ursprünglichen Beschaffenheit der pommerschen Architektur orientierte [5, 28].

Die obigen Ausführungen können nicht alle geschichtlichen und räumlichen Fragen, die für die Inseln Usedom und Wollin typisch sind, beantworten. Die frühesten Gästepensionen in den kaiserlichen Bädern (Bansin, Heringsdorf

und Ahlbeck) zeichneten sich durch aufwändige, mit klassizistischen Zierelementen versehene Gebäude mit massiven, teilweise im Fachwerk gebauten Loggien aus. Zur Errichtung einiger Gebäude konnte man hier noch die Fachwerkbauweise verwenden. Unter diesen frühen Häusern findet man jedoch gelegentlich auch Beispiele der s. g. Schweizer Erholungsarchitektur. Der Stil orientierte sich an die Schweizer Vorbilder und war sehr prägend für die früheste europäische Erholungsarchitektur. Die Forschung von Klaus Winands [29] zeigt jedoch, dass die Architektur nach Schweizer Stil auf Rügen und der Insel Usedom nur selten und selten in ihrer Reinform auftrat. Die frühesten architektonischen Stilansätze in den kaiserlichen Bädern gehen zwar auf das Schweizer Modell einigermaßen zurück. Dazu kommen aber andere, modifizierte und weiterentwickelte Elemente der Berliner Schule. Nach 1900 löste sich diese Bauschule bereits vollständig von den Schweizer Vorbildern los und verfolgte ihre eigenen avantgardistischen Entwurfsansätze für die Villen- und Gartenhausarchitektur. Die Fachwerkbauweise fand auch eine breite Anerkennung und wurde oft zur Errichtung der Häuser auf den beiden Inseln eingesetzt. In architektonischer und räumlicher Hinsicht griffen die Bauträger auf die typischen Ansätze und Stilmerkmale der Pommerschen Bautechnik oder bezogen sich auf das Ortsbild der historischen Fischerdörfer, die für den gesamten Ostseeküstenstreifen so charakteristisch sind, und trugen so zur Entstehung des spezifischen Charakters und des Klimas Pommerns bei.

Literaturverzeichnis

1. Augustowski B. (Hg.), Pobrzeże bałtyckie, Ossolineum–Gdańskie Towarzystwo Naukowe, Wrocław–Gdańsk 1984.
2. En vägvisare genom badorterna pf Usedom-Wollin, ulotka reklamowa, b.r.w. [przed 1939].
3. Biranowska-Kurtz A., Kurtz K., Świnoujskie dworce i linie kolejowe, „Wędrowiec Zachodniopomorski", 2007, 22, 24.
4. Rusak R., Biuletyn Rozwoju i Promocji Kolei, Rok I, 45/2001, Warszawa 4.08.1991.
5. Die deutschen Bäden-Inseln Usedom-Wollin, Magdeburg 1934, 35–39.
6. Barran Fritz R., Städte-Atlas Pommern. Rautenburg-Leer, 2. Auflage 1993.
7. Touristik-Landkarte, Skala 1:700 000, Wyd. VEB Landkartenverlag Berlin, b.r.w. [przed 1989].
8. Horst Ende, Denkmalpflege In Mecklemburg-Vorpommer 1990 bis 1992, [Im:] Denkmal Schutz Und Denkmal PPflage in Mecklemburg-Vorpommern. 1. Jahrgang 1994, Heft 1, 16–59.
9. Horst H., Historische Ansichten von Swinemünde und vom Golm, Thomas Helms Verlag, Schwerin-Holms 2001.

10. Biranowska-Kurtz A., Świnoujście – rozwój przestrzenny miasta od XVI do XX wieku, „Przegląd Zachodniopomorski", 2003, 2, 44.
11. Biranowska-Kurtz A., Przekształcenia przestrzenne ujścia rzeki Świny w Świnoujściu, „Architektura Krajobrazu", 2010, 1, 42–49.
12. Biranowska-Kurtz A., Świnoujście. Wytyczne konserwatorskie dla ochrony, rewaloryzacji i zagospodarowania terenów fortów wraz z Basenem Portowym w Świnoujściu, po zachodniej stronie Świny, WSOZ, Szczecin 2004.
13. Biranowska-Kurtz A., Świnoujście. Opracowanie konserwatorskie o zachowanych świnoujskich umocnieniach wojskowych, [Im:] Koncepcja rewaloryzacji Świnoujskiego Rejonu Umocnionego, Urząd Miasta Świnoujście, Świnoujście 2004.
14. Biranowska-Kurtz A., Świnoujście. Fortyfikacje nowożytne w planach, projektach i rycinach, Univers, Szczecin 2005.
15. Biranowska-Kurtz A., Świnoujście. Wielopłaszczyznowość działań (projektowych i wykonawczych). Historia budowy miast, „Biuletyn Informacyjny Konserwatorów Dzieł Sztuki", 2010, 14(3-4), 114–121.
16. Pilarek J., Warunki sprzyjające i bariery rozwoju kąpielisk nadmorskich grupy I na Rugii (do 1933 r.), [Im:] B. Płonka-Syroka, A. Kaźmierczak, S. Jandziś, A. Syroka (Hrsg.), Tradycje i perspektywy rozwoju kultury uzdrowiskowej w Iwoniczu-Zdroju w kontekście europejskim, Kultura Uzdrowiskowa w Europie, Bd. X, Oficyna Wydawnicza Arboretum, Wrocław 2018.
17. Patrick F., Rügens Preussenzeit 1815–1945, Potbus 2010, s. 26.
18. Biranowska-Kurtz A., Walory założenia przestrzennego świnoujskiego kurortu, [Im:] B. Płonka-Syroka, A. Kaźmierczak, S. Jandziś, A. Syroka (Hrsg.), Tradycje i perspektywy rozwoju kultury uzdrowiskowej w Iwoniczu-Zdroju w kontekście europejskim, Kultura Uzdrowiskowa w Europie, Bd. X, Oficyna Wydawnicza Arboretum, Wrocław 2018, s. 201–212.
19. Wander-und Bikekarte mit Ortsplänen, Nr. 738. Intel Usedom-Wollin, skala 1:50 000, Wyd. Kompass-Karten G.m.b.H., tekst Kääthe Kura, Berlin b.r.w. [rok. 2009].
20. Biranowska-Kurtz A., Świnoujście – kurort. Historia i rozwój przestrzenny w latach 1823–2000, „Przegląd Zachodniopomorski", 2004, 4, 91–118.
21. Kayser E., Deutsche Städtebuch, Berlin, b.r.w. [przed 1939 r.].
22. Burchardt R., Im Auftrage der Badeverwaltung von…, [Im:] Festscgrift zum 100-jährigen Jubiläum der See – und Solbaden Swiuemünde 20.Juli 1824–1924, Swinemünde [1924], s. 7, n.
23. Biranowska-Kurtz A., Park zdrojowy w Świnoujściu – jego powstanie i rozwój przestrzenny, „Przegląd Zachodniopomorski", 1988, 4, 213–239.
24. Haas-Nogal M., Park zdrojowy w Świnoujściu, [Im:] II Polsko-Niemiecka Konferencja Architektura ryglowa – wspólne dziedzictwo, ANTIKON 2001, Szczecin Expo – Towarzystwo Wspierania Rozwoju Pomorza Zachodniego, Szczecin 2001, 49–60.
25. Burchardt R., Die Kurpark Swinemünde und Lenné, [Im:] Unsere Pommerland, 1926, s. 322–324.
26. Biranowska-Kurtz A., Historia miasta na pocztówkach zapisana, Univers, Szczecin 2002.

27. Zander D., Kolorystyka historycznych elewacji budynków drewniano-szkieletowych w Meklemburgii-Pomorzu, [Im:] II Polsko-Niemiecka Konferencja Architektura ryglowa – wspólne dziedzictwo, ANTIKON 2001, Szczecin Expo – Towarzystwo Wspierania Rozwoju Pomorza Zachodniego, Szczecin 2001, s. 7–10.
28. Biranowska-Kurtz A., Historyczne projekty pomorskich domów szachulcowych, [Im:] VI Polsko-Niemiecka Konferencja Architektura ryglowa – wspólne dziedzictwo, ANTIKON 2005, s. 33–44, 45–57.
29. Winands K., Domy w stylu szwajcarskim jajko elementy architektury w uzdrowiskach na Rugii i wyspie Uznam, [Im:] II Polsko-Niemiecka Konferencja Architektura ryglowa – wspólne dziedzictwo, ANTIKON 2001, Szczecin Expo – Towarzystwo Wspierania Rozwoju Pomorza Zachodniego, Szczecin 2001, 149–159, 137–149, 155.

Das grenzüberschreitende Gebiet als ein sozial-kultureller Raum

Roman Gawarkiewicz
Universität Szczecin

Ort gegenüber Raum

An Anfang meiner Überlegungen zum theoretischen Verständnis dieser interdisziplinären Kategorie, zu der die räumliche Problematik gehört, möchte ich darauf hinweisen, wie sich die semantische Auslegung der Begriffe „Ort" und „Raum" voneinander unterscheidet.

Im herkömmlichen Sinne weist der Begriff „Ort" ein weites Auslegungsspektrum auf. Im Allgemeinen wird diese Kategorie dann herangezogen, wenn es um Bestimmung oder Bezeichnung von „einem freien Raum, den man besetzen, bewirtschaften, erschließen oder nutzen" geht; der bedeutet auch „einen Teil des bestimmten Raums, wo etwas passiert, geschieht oder geschehen ist; Gelände oder einen Raum, der für bestimmte Zwecke, wie Wohnen genutzt wird" [1]. Der Charakter eines Ortes wirkt nicht nur auf unsere Sinne, sondern beeinflusst auch das menschliche Verhalten gegenüber den eingenommenen Positionen. Dazu gehört auch die Neigung, einige Orte „aufgrund der dort sich befindlichen Personen, sozialen Gruppen, urbanen und architektonischen Qualitäten oder aus historisch-kulturellen Gründen oder Bedeutung, die sie in der Geschichte eines Volkes, einer Gemeinschaft oder Gesellschaft gespielt haben" [2] zu mythologisieren.

Die Eigenart der menschlichen Einstellung und Verbindung zu einem Ort besteht aus folgenden Bindungsarten [3]:

- Die alltägliche Verwurzelung kommt durch einen lang anhaltenden Aufenthalt an einem Ort, der nicht verlassen wird, zustande.
- Eine ideologische Bindung, die aus einer aktiven Beziehung zu einem Ort besteht und aus einem bewussten Wahlprozess resultiert, der mit dem Engagement zugunsten des Ortes in Verbindung steht.
- Entfremdung – ist für all diejenigen bezeichnend, die einen bestimmten Ort am liebsten verlassen würden.
- Eine relative Beziehung zu einem Ort, die darin besteht, einen Ort in Hinsicht auf die dort herrschende Lebensqualität zu betrachten und bewerten.

– Fehlende Ortbindung – also eine Lage, wenn der Ort für die jeweilige Person als ein Baustein, der ihre Identifikation aufbaut, unbedeutsam ist.

Eine andere Kategorie, die auf eine logische Beziehung mit dem Ort hinweist, an dem Menschen mit anderen Mitmenschen in Kontakt treten, ist der Raum, der von einem Menschen erfahren, benutzt, geformt und verändert werden kann, so dass die menschlichen Bedürfnisse infolge des natürlichen Drang nach innovativer Entwicklung erfüllt werden. In dem gesellschaftlichen Kontext wird der Raum „durch eine Einzelperson als ein Element erlebt, das sie mit der Gemeinschaft verbindet und sich um gemeinsame Elemente, die symbolisch geprägt sind und bei Interaktionen mit anderen Einzelpersonen miterlebt werden, aufbaut“ [4].

Die zeitgenössischen Untersuchungen der Wechselbeziehungen zwischen dem Ort und dem Raum, die eine Art *Resümee* der räumlichen Überlegungen zum Stand der Forschung und wissenschaftlicher Perspektiven für die Auslegung der Bedeutung dieser Fragen in den gewählten Teilbereichen des räumlichen Diskurses darstellen und an dem Theoretiker und Praktiker unterschiedlicher Fachgebiete beteiligt sind (wie Architekten und Planer, Forscher der Kulturlandschaften und des Ortkonzeptes, aber auch Soziologen, Politologen, Philosophen, Anthropologen, Kultur-, Sprach- und Literaturwissenschaftler, Historiker und Kunsthistoriker) sind im Kern eine Stimme in der Diskussion über den Menschen und seiner Wechselbeziehung mit der ihn umgebenden Realität. Die Vielfalt der Strömungen spiegelt sich in der Vielzahl der Inspirationen bei Versuchen, sich diese Problematik näher anzuschauen, wider. Eine umfassende Erläuterung dieses Diskurses ist nicht nur wegen der redaktionellen Einschränkungen schwierig, sondern vor allem wegen der immer wieder auftauchenden neuen Auffassungen, die einige unverwechselbare Vorschläge dazu beisteuern. Als komplementär dazu können die Vorschläge der zeitgenössischen Geisteswissenschaften angesehen werden, die den Ort und der Raum als Kategorien betrachten, die das kulturelle Bewusstsein sowohl bei Individuen, als auch sozialen oder ethnischen Gruppen mitprägen und aufgrund unterschiedlicher Erfahrungen, die ein Ausgangspunkt zur Gestaltung der Identität einer bestimmten Menschengruppe sind, mitformen.

Die Geisteswissenschaften kennen die vor einigen Jahren von Yu-Fu Tuan formulierte Auffassung, dass man zwischen den zwei Kategorien „Raum“ und „Ort“ unterscheiden muss. Seiner Ansicht nach gilt der Raum: „in der westlichen Welt als ein allgemein anerkanntes Symbol der Freiheit. Der Raum steht uns offen, suggeriert Zukunft und ermutigt zum weiteren

Handeln. (...) Ein geschlossener und humanisierter Raum wird zu einem Ort. Im Vergleich zum Raum ist ein Ort ein beruhigtes Zentrum mit festen Werten. Die menschlichen Wesen brauchen sowohl den Ort, als auch den Raum. (...) Der Ort bedeutet Sicherheit, der Raum wiederrum Freiheit, wir hängen am ersten fest und sehnen uns nach dem zweiten" [5].

Innerhalb dieser einfachen Beziehung, die zwischen diesen oben definierten Kategorien zustande kommt, wird die Frage der Identität des Ortes besonders hervorgehoben, weil diese, der Auffassung von Hanna Libura nach, durch Elemente, wie die Beständigkeit der physischen Umgebung, Bedeutung, die ihr zugeschrieben wird und die Handlungen, die dort stattfinden, definiert wird. Ein weiteres Motiv, das im Kontext der Topophilie erarbeitet wird, sind Versuche, die emotiven, symbolischen und wahrnehmungsbezogenen Eigenschaften, die mit dem Wohnort verbunden ist, synthetisch zu erfassen.

Dorota Angutek, die Verfasserin der Studie „Kulturowe wymiary krajobrazu. Antropologiczne studium recepcji przyrody na prowincji: od teorii do empirii", beruft sich auf die Forschungserkenntnisse von Tim Edensor und führt folgende Assoziierungen aus, die mit einem Ort als Raum der eigenen Nation und der Region verbunden sind: Sicherheitsgefühl mit festen und nicht veränderbaren Raumpunkten, dazu die Bekanntheit der Fauna und Flora, was die Besiedlung der Gebiete außerhalb der Siedlungen begünstigt, die Alltäglichkeit bekannter lokaler historischer Orte, die zu nationalen Denkmälern aufsteigen, Veränderlichkeit der Bedeutungen von Ortenklaven, die aus der sozialen Dynamik resultiert, das Bewusstsein der Herkunftsgemeinschaft, der Tradition und der Verantwortung, diese weiter fortzusetzen durch die gesellschaftlich anerkannten Funktionen und Rollen" [7].

Aktuell fällt es schwierig, sich eine Welt als eine Ansammlung von autonomen, kulturell monadischen Orten und Räumen vorzustellen, unabhängig davon, ob wir diese Räume als Völker, Regionen in den Grenzen der Völker oder als Kulturen mit national oder regional verlaufenden Grenzen identifizieren werden. Das Bild des Ortes und des Raums wird immer trüber und die Techniken deren Auslegung resultieren aus komplexen und gewaltigen Änderungen der soziokulturellen Realität nicht nur aufgrund der lokalen Erfahrungen, sondern auch globaler Einflussgrößen. So wie die zeitgenössischen Forscher meinen: „der Raum kann zu einem Ort mutieren, aber nicht wegen der Geschichte oder Aufdeckung alter Codes, sondern durch soziale Beziehungen, die in diesem Raum stattfinden" [8].

Grenzgebiet als eine analytische Kategorie

Der Auffassung von Jerzy Nikitorowicz [9] nach, wurde das Grenzland zu einem Raum, der eine natürliche Umgebung eines modernen Menschen darstellt. Diesem Forscher zufolge ist das Grenzland eine analytische Kategorie, die man als Raum der Differenzierung, der Reaktion auf Anderssein und der Interaktion damit verstehen soll. Es ist ein Raum, in dem man vergleichen, entdecken, verhandeln und ein Dialog führen kann. In der Literatur wird das Grenzland auch als *„marginal Area", „Border-Line"* oder *„Tertium-Zone"* bezeichnet. Die in dieser Wortwurzel (also „Limes") angedeutete Wechselbeziehung definiert eine Trennlinie zwischen den Räumen, die durch unterschiedliche Völker oder Ethnien (aber auch zwischen Regionen und Vierteln innerhalb einer Ethnie) [10] bewohnt werden, legt nicht nur den definierbaren Bereich des Begriffs „Grenzland", sondern auch einen Bereich der empirisch wahrgenommenen Realität fest, die eine Konsequenz der Grenze ist. Die Bilateralität als eine notwendige, wenn auch nicht immer symmetrische und gleichmäßige Eigenschaft, wird in der von Andrzej Sadowski [11] formulierten Definition von Grenzland betont. Seiner Meinung nach, sollen dabei die drei Hauptaspekte der Definition vom Grenzland berücksichtigt werden:

- Der räumliche Aspekt: Grenzland ist ein Gebiet, das an der Grenze oder weit vom Zentrum entfernt liegt.
- Der soziokulturelle Aspekt: Grenzgebiet ist ein im Raum stattfindender, soziokultureller Begegnungsbereich zwischen zwei oder mehreren Völkern oder Ethnien.
- Der individuell-kulturelle Aspekt: Grenzland ist ein Ort, wo neue Menschen und ihre Kultur geformt werden.

Grenzland ist also ein Raum, in dem eine bestimmte Form der Koexistenz und Zusammenarbeit von mindestens zwei kulturell, ethnisch, sprachlich und/oder religiös unterschiedlichen Gruppen stattfindet. Dieser Raum erfüllt drei wichtigste Funktionen als ein Begegnungs-, Übergangs- und Zwischenraum [12]. Diese Aufteilung der Funktionen ist interessant, weil sie die verschiedenen Arten von Beziehungen berücksichtigt, die damit geformt werden: Gemeinschaft gegenüber dem Raum, sowie die zwischenmenschlichen und gruppenübergreifenden Beziehungen, die auf dem Gebiet stattfinden. Zahlreiche Autoren und Forscher der sozialen Realität im Grenzland beziehen sich auf diese Einteilung. Unter anderem der Stettiner Forscher Robert Wozniak [13], der diese Beziehungsarten wie folgt erklärt:

1. Die auf der Begegnung basierenden Funktionen des Grenzlands manifestieren sich in der Regel in den Gebieten direkt entlang der Grenze, am

„Treffpunkt“ zweier kulturell unterschiedlich geprägter Völker, wo auch formalisierte Einrichtungen, Stellen und Posten (wie Grenzschutz, Zoll) funktionieren. Das auf der Begegnung basierte Grenzland leitet sich in der Regel vom Prinzip der Homogenität und vom Identitätsstatus der ethnischen Zugehörigkeit ab, von der Dichotomie: „wir und sie“, „wir und fremde“.

2. Im Gegensatz dazu kann das Übergangsgrenzland im breiteren Sinne ausgelegt werden und betrifft in der Regel räumliche Begegnungen zwischen den einzelnen Gemeinschaften, die unter einem Aspekt, wie zum Beispiel sprachlich-ethnischer Aspekt, miteinander verwandt sind.
3. Bei der Analyse des Grenzlands müssen auch die indirekten Funktionen ausgewertet werden. Diese Gebiete sind Wozniak zufolge in diesem Kontext „Träger der polyphonischen Werte und Auslöser der Transformationen; sie ermöglichen die Formung von mehrschichtigen Lebensbereichen, definieren den Umfang und die Qualität ethnischer, sozio-politischer Beziehungen, sowohl in der jeweiligen Zone, in einem Staat, als auch gegenüber anderen Staaten und Völkern“ [13].

In Anbetracht dieser Ausführungen kann man festhalten, dass ein physisch definiertes Grenzland eine neue und eigenartige Zone im Vergleich zu den an der Grenze liegenden Gebieten darstellt. Im Raum lassen sich die Differenzierungs- und Verallgemeinerungsprozesse beobachten, die unter anderem unter dem Gesichtspunkt der interkulturellen Kommunikation interessant sind. In dieser Weise entsteht ein spezifisches kulturelles System, das aus Eigenschaften besteht, die nicht eindeutig einem einzigen Begegnungsbereich zugeordnet werden können, die insgesamt jedoch eine funktionelle Einheit bilden. Aus diesem Grund bin ich mit der Auffassung von Justyna Straczuk voll und ganz einverstanden, die behauptet, dass „das Grenzland nur im Kontext eines dieser Bereiche betrachtet werden kann; die Suche nach reduzierten Eigenschaften der lokalen Kultur im Vergleich zum zentralen Bereich oder deren Umwandlung unter Einfluss fremder Entlehnungen, oder das Interesse an nur einer ausgewählten Ethnie dazu führen kann, dass die kulturellen Phänomene im Grenzland in Kategorien der Trennung und Sortierung und nicht als eine integrale Einheit wahrgenommen werden“ [14].

Die Erkenntnisse von Straczuk aufgrund zahlreicher Untersuchungen der Grenzbelange aus der Perspektive alltäglicher Erfahrung der Bewohner liegen mir besonders nahe. Eine Schlüsselrolle spielt dabei die Kategorie der Nachbarschaft, d. h. der Bereich alltäglicher Kontakte und Begegnungen, in dem Menschen,

die nebeneinander leben, mit Hilfe eines gemeinsamen Systems der Bedeutungen im Rahmen einer gemeinsam entwickelten Kultur miteinander kommunizieren. Die Autorin verweist bei der Begründung ihrer Stellungnahme auf die Forschungsansätze von Antonina Kłoskowska, die wiederum ein anderes Forschungspotenzial erkennt und zwar bei den Versuchen der „Wiederherstellung der gesamten kulturellen Beteiligung von Menschen, die auf ethnisch nicht homogenen Gebieten leben, und ihre Einstellung gegenüber den eigenen und benachbarten kulturellen Einheiten und deren Trägern erforscht (...), sowie versucht, die mikrostrukturelle Nachbarschaft in der Region zu benennen, die die Grenzen des Bekannten und des Fremden definiert, (...) ist auch ein Bereich, wo man das Ende eigener Art sehen und eine Plattform schaffen kann, den Nachbarn als einen anderen Menschen zu erfahren“ [14].

Infolge dieser Annahmen ist es wichtig, einen geeigneten Ansatz zu finden, der darauf abzielt, einen gemeinsamen Nenner zu finden, indem die Möglichkeiten aufgezeigt werden, das lokale Bedeutungssystem durch seine Beschreibung unter Berücksichtigung der relativistischen Perspektive der soziokulturellen Differenzierung zu verstehen.

Der deutsch-polnische Grenzraum

Der deutsch-polnische Grenzraum ist ein Beispiel für ein linear verlaufendes Begegnungsgebiet, das von Gemeinschaften mit eindeutig unterschiedlichen ethnischen, sprachlichen, kulturellen und religiösen Identitäten bewohnt wird. Es umfasst u. a. Gebiete entlang der Oder, die am Ende ihres Laufes in die Pommersche Bucht mündet und die Inseln Wollin und Usedom umspült. Dieser Raum ist für Historiker und Soziologen seit vielen Jahren von großem Interesse. Sowohl polnische als auch deutsche Forscher haben sich mit dieser Problematik auseinandergesetzt und ihr kompetenter Meinungsaustausch [15] lässt sich in einem kurzen Beitrag wie dieser nicht ausführlich darstellen. Hier werde ich in Anlehnung an Andrzej Michalak [15] nur die fünf Stufen und die damit einhergehenden Forschungsrichtungen zu den deutsch-polnischen Grenzfragen erörtern:

- Der Zeitraum direkt nach dem Ende des 2. Weltkriegs, in dem bevorzugt die Problematik der Besiedlung der s. g. „wiedergewonnenen Westgebiete“ angesprochen wurde und das wichtigste Forschungsthema die Richtung der Ansiedlung von Polen und Umsiedlung der einheimischen Bevölkerung war.
- Eine Periode verstärkter Forschung im Zusammenhang mit dem Wiederaufbau der s. g. „wiedergewonnenen Westgebiete“ und der Adaptation der Bevölkerung an die neuen Umstände.

- Eine Periode, in der sich die Frage der Integration der neuen polnischen westlichen und nördlichen Gebiete mit dem Rest des Landes stellt.
- Eine Periode, in der man nach der kulturellen Identität der Bevölkerung in den neuen West- und Nordgebieten sucht und die durch Auswanderung von Menschen autochthoner Herkunft nach Deutschland geprägt war.
- Eine Periode, in der die Forschung durch die Problematik des Grenzcharakters dieser Gebiete im Prozess der europäischen Integration dominiert wurde.

Die Fragen in Bezug auf das Grenzland prägen auch das Bewusstsein der Deutschen, die in den Grenzgebieten zu Polen leben. Die Kategorie des deutsch-polnischen Grenzlandes taucht im deutschen Forschungsdiskurs jedoch in anderen Kontexten auf, die die folgenden Forschungsgebiete betreffen:

- Umsiedlung der deutschen Bevölkerung aus den Gebieten östlich der Oder, Integration von Vertriebenen in die neuen politischen und gesellschaftlichen Bedingungen und Umstände, sowie Beziehungen von Vertriebenen zur restlichen Gesellschaft, in der Gemeinschaften existierten, die in der Tradition dieses Gebiets tief verwurzelt waren.
- Die Entwicklung und Veränderungen der Mentalität der deutschen Bewohner im Grenzland, die durch den grenzüberschreitenden Verkehr, der infolge politischer Entscheidungen seit den 1970er Jahren angekurbelt wurde, sowie durch Entwicklung des Grenztourismus, der Geschäftsbeziehungen und der gegenseitigen Kontakte zwischen den Bewohnern beider Staaten an der Grenze eingetreten sind.
- Gesellschaftliche Integrationsprozesse auf beiden Seiten der Grenze nach dem Beitritt Polens zur Europäischen Union und zum Schengener Raum.
- Der Rechtsradikalismus als ein ernstes soziales und politisches Problem im deutschen Grenzgebiet.

Die heutigen gesellschaftlichen, deutsch-polnischen und polnisch-deutschen Beziehungen im Grenzland sind nicht nur eine Folge vergangener und gegenwärtiger politischer Prozesse, sondern auch des Bewusstseins deren Bewohner in Bezug auf deren Wurzeln und Geschichte. Dieses Bewusstsein spielt eine besondere Rolle, weil es einerseits zur Spaltung führen, andererseits aber auch verbinden und zu einem Anreiz werden und sich positiv auf die Qualität der gegenseitigen Beziehungen im sozialen, wirtschaftlichen und politischen Kontext auswirken kann. Die grenzüberschreitende Perspektive umfasst Gemeinschaften, die sich durch einen Sinn für einheimische Kernwerte auszeichnen und eine soziale Entwicklung in Hinsicht auf den Aufbau und die Schaffung neuer

Gemeinschaften anstoßen, die auf einem natürlichen Bedürfnis nach Koexistenz und nach gemeinsamem Handeln mit den anderen in einer neuen Umgebung und neuen soziopolitischen und kulturellen Bedingungen beruht.

Bildungspotenzial der deutsch-polnischen Grenzregion

Die Forschung zur soziokulturellen Realität im Grenzland befasst sich neben der Beschreibung der kulturellen Unterschiede und der ethnisch geprägten Lebensbereiche, die die Interaktion auf der Alltagsebene eher erschweren, immer häufiger mit der Auswertung der Interaktionskontexte, die im Kommunikationsraum des Grenzlandes zwischen den Personen stattfinden, die den Alltag mitgestalten, einschließlich der Beschreibung von Verhaltenskontexten im Zusammenhang mit der Kommunikation von kultureller Eigenart und Fremdheit. Die Folge eines solchen Ansatzes zur Einzigartigkeit des Grenzlandes ist, wie Jerzy Nikitorowicz schreibt: „die Möglichkeit, sich gegenseitig wahrzunehmen, sich füreinander zu interessieren, zu kooperieren und zusammenzuarbeiten, sich gegenseitig immer wieder neu zu entdecken und zu erfahren, miteinander zu reden und zu verhandeln und gleichzeitig die Fähigkeit zu entwickeln, die eigenen Verhaltensmuster und Werte zu verteidigen und zu schützen. (...), dies ermöglicht und initiiert den Prozess der Schaffung eines multidimensionalen Menschen, also eines Menschen, der ununterbrochen seine Fähigkeit entwickelt und verbessert, in den sozialen, kulturellen, intellektuellen, psychologischen, künstlerischen oder politischen Grenzbereichen zu funktionieren. Der Kern des Grenzlandphänomens besteht also im Engagement dafür, andere näher kennenzulernen, was zum besseren Verständnis von sich selbst, mit gleichzeitigem Verzicht auf die Gleichgültigkeit gegenüber den anderen oder auf die Ablehnung der Kommunikation mit ihnen führt“ [12].

So ein Ansatz und die Herangehensweise liefern theoretisches Wissen, das durch empirische Forschung verifiziert werden kann und den beteiligten Akteuren im Grenzgebiet nicht nur die kulturelle Vielfalt ihres Landes wahrzunehmen hilft, sondern, was vielmehr wichtiger ist, ihnen ermöglicht, ein besseres Verständnis der Komplexität der Prozesse, die interkulturelle Kontakte und die Kommunikation begleiten, zu erlangen. Mit diesem Problem habe ich mich ausführlich in meiner Monographie: *„Komunikacja międzykulturowa a stereotypy. Polacy-Niemcy-Rosjanie“* [5] befasst. Hier werde ich nur noch auf solche Erkenntnisse hinweisen, die meiner Meinung nach, für die interkulturelle Kommunikation im Grenzland besonders wichtig sind, und im Kontext der zwischenmenschlichen Begegnung betrachtet werden können (der Prozess der Inter-

aktion zwischen zwei Individuen, zwei situativen Positionen, zwei Identitäten), dessen Ergebnis zum gegenseitigen Verständnis beiträgt, dieses verstärkt oder auch aufhebt. In dieser Hinsicht „manifestiert sich das Bildungspotenzial des Grenzlandes durch die Unterstützung von Prozessen der Verwurzelung in der einheimischen Kultur, der Einsortierung in der Welt der lokalen Gemeinschaften und gleichzeitig der Entdeckung und der Überschreitung von Grenzen der Welt dieser Verwurzelung, der Wahrnehmung von anderen samt ihrer Geschichte, ihren Unterschieden und Ähnlichkeiten, der Sensibilisierung für die Besonderheit des Andersseins und gleichzeitig des gemeinsamen Erbes (...)“ [12]. Die Wirksamkeit dieses Prozesses hängt von bestimmten vermittelnden Faktoren ab, d.h. von Faktoren, die den Kommunikationsprozess erleichtern oder erschweren können. Diese Faktoren entscheiden über das Niveau der Kenntnisse und Fähigkeiten der beteiligten Akteure. Dabei spielen die Kenntnisse des Faktensystems einer anderen Kultur, die Erfahrung ihrer Wahrnehmung, anschließende Auswertung, Vergleich und Bewertung, sowie Erfahrung einer emotionalen, affektiven Einstellung zu den Kulturfakten eine besonders wichtige Rolle. Nur auf dieser Grundlage können Fähigkeiten entwickelt werden, die eine vertiefte Auslegung unterschiedlicher kultureller Werte ermöglichen; um die Grenzen zu überwinden, die Kulturen voneinander trennen, im Fremden/Anderen nicht nur etwas zu sehen, was uns unterscheidet, sondern auch etwas, was uns einander näher bringen und vereinen kann; die Ereignisse und die daran beteiligten Akteure nicht nur aus dem eigenen Blickwinkel, sondern auch aus der Position einer anderen Kultur zu betrachten und die inneren Ursachen der Ereignisse nachvollziehen zu können; die eigene Selbstbewertung in Frage zu stellen, indem man sich an eine andere Kultur nähert und sich von eigenen und gut bekannten Stereotypen oder illusorischen Wahrnehmungen entfernt und befreit; um Details zu bemerken, die für das Verständnis der Bedeutung eines Phänomens/einer Kultur wichtig sind; um konstante und veränderliche Bestandteile einer Kultur zu sehen; zu begreifen, was in der eigenen und in einer anderen Kultur lustig ist; die persönlichen Erfahrungen, die sich aus den Kontakten mit den Anderen ergeben, zusammenzufassen und zu verallgemeinern.

Die oben genannten Kenntnisse und Fähigkeiten, sowie die dahinter stehende Weltanschauung sind besonders wichtig für den Dialog zwischen den Menschen, die aus verschiedenen Kulturen stammen, die aufgrund historischer Umstände und aktueller Bedingungen zu häufigen und engen Kontakten und Interaktionen gezwungen sind. Diese sind eben ein unabdingbarer Bestandteil einer besonderen Disposition von Individuen oder sozialen Gruppen, die ich

(nach Krzysztof Wielecki [16]) als interkulturelle Kommunikationskompetenz bezeichne und die die Fähigkeit bedingt und herbeiführt, die Handlungen vorzunehmen, die darauf abzielen, Kontakte zwischen Vertretern verschiedener Kulturen herzustellen, um sich gegenseitig besser kennenzulernen, im Respekt vor der kulturellen Identität und mit der Überzeugung zu leben, dass die einheimische Kultur durch die Annäherung an die anderen Kulturen profitieren kann. Diese besondere Art der Kompetenz gilt zum einen für das menschliche Wesen und seine Beziehung zu sich selbst und für seine Beziehungen zur eigenen Kultur und zum anderen für seine Beziehungen zu verschiedenen sozialen und kulturellen Gruppen, die in seiner Nachbarschaft existieren. In diesem Zusammenhang schlage ich weiterhin vor, die deutsch-polnischen Beziehungen im Grenzland unter dem Gesichtspunkt der Möglichkeit des gegenseitigen Verständnisses zu betrachten, das die Sensibilität der Wahrnehmung und die Interpretation von Anderssein beeinflusst.

Um die interkulturellen Interaktionen in dem gegenständlichen Gebiet zu verbessern, um die Gedanken- und Wertesysteme der polnisch- und deutschsprachigen Bewohner, ihre Absichten und Motivationen besser nachvollziehen zu können, müssen die folgenden drei Voraussetzungen erfüllt werden:

- Aufbau eines Bewusstseins für die Gemeinschaft, für die Abhängigkeit einer Kultur von der anderen;
- Respekt und Verständnis für die Werte der anderen Gemeinschaft;
- Aufbau von emotionalen Bindungen, Verständnis für die unterschiedlichen Kommunikationskontexte sowie Bereitschaft, sich auf einen Dialog einzulassen.

An diesem Punkt kommen wir zu einem sehr wichtigen Ansatz, nämlich der Gestaltung des interkulturellen Raums als eines Gebietes ständiger Transgression, in dem ein Prozess der bewussten Entwicklung der Grenzlandidentität stattfindet. Die wichtigsten Bestandteile dieses Prozesses umfassen den Abbau von Spannungen und Widersprüchen zwischen den festen Bestandteilen, die sich aus der Sozialisierung in der einheimischen Gemeinschaft, der Identifizierung damit und den Symbolen und aus den variablen Elementen ergeben, die aus Erfahrungen und Erlebnissen in Beziehungen mit Mitmenschen anderer Kulturen entstanden sind und angenommen werden. Solche Bemühungen der Grenzgemeinschaften bringen zwei Vorteile mit sich: „Erstens eine Verbesserung der Kommunikationsfähigkeit, die Überwindung der Anspannung bei Kontakten mit Mitmenschen aus anderen Kulturen und eine einfachere Adaptation an die kulturell fremden Bedingungen; eine bessere Selbsterkenntnis durchs

Begreifen und Wahrnehmen des Einflusses unserer eigenen Kultur auf uns; zweitens – ein besseres Verständnis für die anderen Kulturen im allgemeinen" [17]. So schafft das Grenzland als ein kulturell bedingter, sozialer Raum eine einzigartige Möglichkeit, Andersartigkeit zu erfahren, die nicht nur eine Quelle der Erkenntnis und der daraus resultierenden unvermeidlichen Vergleiche ist, sondern auch zum Nachdenken darüber anregt, wie man sich selbst vor dem Hintergrund der Andersartigkeit begreift und wie man diese Andersartigkeit im Verhältnis zu sich selbst wahrnimmt und auslebt.

Um einen solchen Dialog zu initiieren, müssen der historische Hintergrund und der kulturelle Kontext der Gebiete auf der polnischen und der deutschen Seite der Oder bekannt sein, an der durch die Politik vor 77 Jahren gezogenen Grenze, die über eine lange Zeit mit Drahtzaun befestigt war und Polen und Deutschland voneinander getrennt hat. Nach 2004 und dem Beitritt Polens zur Europäischen Union, hat sich die Rolle der Grenze wesentlich verändert. Statt einer Demarkationslinie ist sie nur noch eine Linie auf der Landkarte, die markiert, wo ein Staat endet und ein anderer beginnt. Das deutsch-polnische Grenzland genießt aktuell eine sachkundige, ideologiefreie historische Beschreibung und ist ein Raum zahlreicher Forschungsstudien, die von Historikern, Kunsthistorikern, Politologen, Soziologen, Ökonomen, Kultur-, Literatur- und Sprachexperten aus Polen und Deutschland geführt werden. Bei der aktuellen Forschung in der Oder-Grenzregion müssen unterschiedliche Standpunkte und Betrachtungen dieses Gebiets in Betracht gezogen werden. Für jeden Forscher, unabhängig von seiner Forschungsperspektive sind in den Bibliothekbeständen unterschiedliche und mehrschichtige Analysen für das Gebiet unter verschiedenen Aspekten und unterschiedlichen Kontexten zugänglich: im soziowirtschaftlichen Kontext (Wirtschaftsgeographie, Siedlung und Demographie, Ethnografie), im rechtlich-systematischen Kontext, künstlerischen und geistigen Kontext (Wissenschafts- und Literaturgeschichte, Geschichte des Hochschulwesens und der Bildung, Kunstgeschichte, Buch- und Pressegeschichte), sowie in Bezug auf die Kirchen und Religionen oder Regionen und Orten. Die zu diesem Thema vorhandene Bibliografie ist sehr umfassend. Ein Verzeichnis mit Benennung der Forschungsgebiete und deren Autoren nimmt ca. 40 Seiten in „*Bibliografia Pomorza Wschodniego i Zachodniego*" [18] ein. Die Fragen der polnisch-deutschen und deutsch-polnischen Beziehungen in den im oben genannten Heft aufgeführten Literaturquellen werden in einem breiten thematischen Spektrum untersucht und beziehen sich auf die historischen Ressentiments, Streitigkeiten, Konflikte, Koexistenz, gegenseitige Durchdringung der Sprachen, Kulturen und Traditionen, sowie auf die, auch nicht

immer einfache Belange des aktuellen Alltags der zwischenmenschlichen Beziehung im Oderland, die aus der Öffnung der Grenze resultieren, insbesondere der sprachlichen und kommunikativen Hindernisse, mentalen und geistigen, verwaltungstechnisch-juristischen Unterschieden.

Auch die Literatur, insbesondere die Erinnerungsliteratur liefert weitere Möglichkeiten einer vertieften Untersuchung der Fragen in Bezug auf die Identität der Bewohner des polnisch-deutschen Grenzlands, deren Unterschiedlichkeit, Gestaltung ihrer Haltungen, die auf gegenseitigem Respekt und Toleranz basieren; dort erzählen die Verfasser/-innen, oft in Form sehr intimer Bekenntnisse über die Fakten und Ereignisse, darüber, wie sie die Realität empfinden. Damit regen sie dazu auf, nicht nur die eigenen Überzeugungen zu hinterfragen und eine neue Anschauung zu entwickeln, oder sich selbst von einem gewissen Abstand zu betrachten, sondern auch dazu, ein anderes Verständnis des Geschehens und der Wertsysteme zu erfahren. Die zeitgenössische Literatur des Grenzlands definiert individuelle und kulturelle Identität nicht mehr so eindeutig und homogen. Die Antworten auf die Fragen nach der Herkunft und die daraus resultierenden Beziehungen zu den anderen sind vielschichtiger und betonen die Probleme, die bisher in der Regel versteckt oder nicht wahrgenommen wurden; Probleme, die bei den Vertretern der Grenzlandkultur niemals angekommen sind oder die vergessen wurden, oder die wahrgenommen, aber nicht begriffen werden konnten. Die Literatur ist eine Trägerin des kollektiven Gedächtnisses. Zahlreiche Verfasser/-innen beschreiben ihre Beziehung zur Vergangenheit entweder durch ihre eigenen Erinnerungen, die sie gespeichert haben oder durch Beschreibung der Erinnerungen anderer. In diesem Kontext stellt das Gedächtnis auch ein Ort, einen Bereich, einen separierten Raum dar, der unabdingbar ist, um dort die für eine ganze gesellschaftliche Gruppe wesentlichen Informationen, Erinnerungen und Emotionen zu platzieren und zu speichern. Das Gedächtnis und der Ort/der Raum sind miteinander auf einer textologischen Ebene verknüpft und diese Beziehung, wie Paweł Nowak und Adam Siwiec [19] schreiben, kann als eine „Art Modus Dicendi" betrachtet werden, also eine Art die Welt zu erzählen, die auf Kollokation des Gedächtnisses und der Geschichte berührt.

Bei Betrachtung der polnisch- und deutschsprachigen Literatur des Grenzlands stellen wir fest, dass wir mit zwei Perspektiven für die Übertragung des gespeicherten Wissens, der gespeicherten Erfahrung und der Erkenntnisse zu tun haben, nämlich mit der Perspektive der Besiegten und der Sieger. Das Element, das diese beide Perspektiven verbindet, sind Fragen nach der Identität des Grenzlands, die sich in

der Folge des 2. Weltkriegs sehr stark verändert haben. Die Nachkriegsgeschichte der Region und deren Bewohner wird von zahlreichen Autoren der Romane und Kurzgeschichten erzählt. In diesem Beitrag habe ich nicht vor, sie umfassend und vielschichtig zu erörtern. Ich werde mich ausschließlich auf einer kurzen Zusammenfassung der Betrachtungsweisen dieser Frage aus einer Perspektive eines deutschen und polnischen Autoren fokussieren und ausschließlich diese Aspekte betonen, die trotz der wesentlichen Unterschiede, die sich aus der Perspektive der Beschreibung der Schicksale von Protagonisten ergeben, in Hinblick auf das Gedächtnis und Erinnerungen an die Vergangenheit, Menschen, Orte und Geschehen, an Versuche, das Bewusstsein und die Identität um das Vergangene und Bleibende, vergleichbar sind.

In seinem Roman *Kein schöner Land* (1993) [21] unternimmt der Autor Arno Surminski einen Versuch, die Orte, Menschen und Ereignisse im deutschen Grenzland zu betrachten. Dieser 1934 in einem kleinen masurischen Dorf Jäglack geborene zeitgenössische deutsche Schriftsteller greift in seiner Literatur die ostpreußischen Themen auf. In seinem Roman beschreibt er mit Nostalgie das Schicksal einer in Ostpreußen lebenden Familie bis zum Einmarsch der Roten Armee – einer Familie, die nach dem Verlust ihrer Heimat versucht, einen neuen Lebensraum in einem Gebiet am westlichen Ufer der Oder für sich zu finden.

Darüber was am Ende des Krieges und in der Nachkriegszeit in dem an Polen angeschlossenen Gebiet geschah, erzählt der polnische Historiker und Publizist Piotr Oleksy in seinem Buch *Wyspy odzyskane. Wolin i nieznany archipelag* (2021) [21]. Die im Buch beschriebenen Protagonisten übernehmen den Raum von anderen, die ihn verlassen haben, bringen ihre Erinnerungen von verlorenen Heimatsorten mit und setzen sich mit einer komplizierten und instabilen Realität des Alltagslebens auseinander.

In den beiden Büchern, haben wir – trotz der unterschiedlichen Sprache und einer bereits erwähnten unterschiedlichen Erzählperspektive – mit einem Motiv der Wanderschaft ihrer Protagonisten zu tun, deren Erinnerungen sich aus den Lebensschicksalen der Umgesiedelten und Vertriebenen mit deren Frage „Wo ist meine Heimat?“ ergeben und mit einer Identitätserkenntnis enden. Die beiden Bücher erzählen über einen Verlust, über die Nostalgie und die Sehnsucht nach dem Verlorenen, sind aber auch gewissermaßen als eine Verführung durch die Metaphysik der Landschaft des neuen Ortes, des Bedürfnisses, sich diese fremde Landschaft anzueignen als einen Träger der Identifizierung und Verwurzelung in dem Raum zu verstehen.

Es ist schwierig, die Frage zu beantworten, in wieweit die oben genannten Beispiele der Grenzlandliteratur, wie auch viele andere Beispiele, zur Entwicklung einer neuen Qualität in der polnischen und deutschen Betrachtung der gemeinsamen Geschichte im Grenzland beitragen können. Persönlich vertrete ich die Meinung, dass sie einen wertvollen Beitrag zur Entwicklung der Betrachtung der Gemeinschaft in dieser Region leisten. Sie ebnen den Weg zur Untersuchung dieser Frage im Kontext der Entstehung und des Funktionierens der territorialen Identität, für die die gesellschaftlichen Bindungen eine wichtige Rolle spielen. Diese Kategorie wurde Ende des 19. Jahrhunderts von Ferdinand Toennis in den wissenschaftlichen Diskurs eingeführt und von Max Weber weitgehend aktualisiert und erweitert [22]. Dieser deutsche Soziologe hat sich in seiner Untersuchung auf die Dualität der menschlichen Persönlichkeit konzentriert, die er Willen nannte. Seiner Meinung nach, stellt der Wille eine Quelle der Entstehung und der Pflege gesellschaftlicher Beziehungen dar, die in der Typologie *Gemeinschaft gegen Gesellschaft* verfangen sind. In dem ersten Fall haben wir mit einer spontanen, aus einer subjektiven Gemeinschaftsbeziehung hervorgehenden Entwicklung zwischenmenschlicher Beziehungen zu tun, die auf Emotionen und einem traditionellen Zugehörigkeitsgefühl zu einer bestimmten Gemeinschaft berührt. *Gesellschaft* ist hingegen eine Art der Gemeinschaft, in der die Beziehungen zwischen den einzelnen Gruppen in Anlehnung an einen Gesellschaftsvertrag aufgebaut und gepflegt werden und die Konsequenzen sozialer Handlungen sind, die rational motiviert sind und den Austausch von bestimmten Vorteilen durch Kompromisse oder Kombination von Interessen bezwecken.

Die aktuellen interkulturellen Beziehungen im polnisch-deutschen Grenzland sind eine Kompilation von beiden diesen Typen und eine Abbildung der in der Geschichte angewachsenen historisch-kulturellen und politisch-wirtschaftlichen Problematik in dieser Region. Die regionale polnische und deutsche Verwaltungsebene, Hochschulen und zahlreiche NGOs, die auf den beiden Seiten der Grenze aktiv sind, fördern und befördern eine gesellschaftliche Praxis, die zur Entstehung eines für die Bewohner beider Grenzregionen gemeinsamen, öffentlichen Raums beiträgt und durch das Engagement und die Zusammenarbeit bei der Umsetzung gemeinsamer Ziele und Entwicklung und Pflege des gemeinschaftlichen Bewusstseins diese aktiviert.

Ein wichtiger Schritt in diesem Zusammenhang in meinen Augen ist die im Mai 2021 formulierte Idee eines Projekts *Meer – Pommern – Grenzland – als Ort des polnisch-deutschen Dialogs*. Das Ziel dieses, sich an Studenten und Wissenschaftler der im Grenzland funktionierenden Bildungseinrichtungen richtenden Projekts umfasst u.a. Organisation von Sommerschulen und Workshops,

Konferenzen und wissenschaftlichen Seminaren. Das Projekt wird durch die Universität Szczecin geleitet, zu den Partnern zählen außerdem: die Europa-Universität Viadrina in Frankfurt an der Oder, das Stadtmuseum Schwedt und weitere, begleitende Partner, wie: Historisches Institut der Universität Greifswald, das Pommersche Landesmuseum Greifswald und das Archäologisch-Historische Museum Stargard.

Ich bin davon überzeugt, dass dieses mit dieser Monographie abgeschlossene Projekt auch zu interessanten Zusammenarbeitsgebieten gehört und gleichzeitig eine Bildungsherausforderung darstellt. Das Ziel des Projekts *INT 190 MoRE Modellregion für Erneuerbare Energien auf den Inseln Usedom und Wollin* befasst sich mit der Entwicklung von methodischen und praktischen Modellen für die Förderung der Nutzung erneuerbarer Energien, die Förderung der Idee der energetischen Wende auf der lokalen und globalen Ebene, Entwicklung der Akzeptanz bei der grenzüberschreitenden Gemeinschaft für die energetische Wende. Zu den wichtigsten Zielen des Projekts gehört die Organisation von Events, die sich an die Schuljugend aus der Grenzregion, nämlich aus der Woiwodschaft Westpommern und den Bundesländern Mecklenburg-Vorpommern und Brandenburg richten. Für die lokale Jugend stellt das Projekt nicht nur einen Anlass dar, sich mit einer Gruppe Gleichaltriger aus dem Ausland zu treffen, sondern auch einen neuen Versuch, die eigene Gegend besser kennenzulernen, vielleicht auch ihre früher verborgene Schönheit neu zu entdecken, sowie eine Chance, das Bewusstsein zu schärfen, das sich durch gemeinsame proökologische Aktionen für den Schutz der heimischen Umwelt und Landschaft manifestieren soll.

Die Problematik der Beziehung zwischen der Natur- und Kulturlandschaft und dem kollektiven Bewusstsein wird von den Gründern des Vereins Denkmal Pomorze mit seinem Sitz in Stettin angesprochen. Der Verein ist auf der polnischen Seite seit 2020 aktiv. Der Verein setzt sich besonders für das kulturelle Erbe Vorpommerns, das jahrhundertelang ein Gebiet des deutsch-polnischen Zusammenlebens, ein ethnisches, kulturelles und nationales Grenzland ein. Das Hauptziel des Vereins umfasst die Entdeckung und Pflege von solchen Landschaftsorten, wo sich die polnischen und deutschen Kulturen vermischen und wo die Spuren des deutschen Kulturerbes besonders gut sichtbar sind. Die Aktivitäten des Vereins fokussieren sich hauptsächlich auf den Schutz historischer Denkmäler und die Förderung des Wissens über die Geschichte und die Kultur der pommerschen Region, mit besonderem Augenmerk auf die Grabmäler. Mit deren Hilfe dringt eine historische Reflexion in die im Bewusstsein polnischer Bewohner geformten

und angeeigneten Natur- und Kulturlandschaft Vorpommerns ein – diese ist ein Erbe der Erfahrungen und Errungenschaften vergangener Generationen. Mithilfe der Aktionen von Denkmal Pomorze können wir, die an ein Alltagsleben in einer monokulturellen Gemeinschaft gewöhnt sind, unser Gedächtnis reanimieren, so dass die Tradition der deutschen Präsenz im Westpommern östlich der Oder nicht mehr beunruhigend oder zum Tabu wird, sondern zu einem positiven Aspekt der Bereicherung unseres kulturellen Bewusstseins.

Einen wichtigen Schritt in der Entwicklung der lokalen Gemeinschaften im Grenzland stellen sicherlich die Partnerschaften dar, die wirtschaftliche Entwicklung der Region sowie den Ausbau der grenzüberschreitenden Kontakte auf der Geschäftsebene fördern. Sowohl in Polen, als auch in Deutschland gibt es eine starke Nachfrage nach gut ausgebildeten Fachleuten, die innovativ und unternehmerisch denken und die neuen Ideen initiieren können, deren Umsetzung den Standard der wirtschaftlichen Entwicklung erhöht und die Lebensbedingungen in dem interkulturellen Grenzraum verbessern wird. Eine Unterstützung in diesem Bereich wird durch das Service-Beratungszentrum SBC geleistet. Es ist eines von zehn grenzüberschreitenden Service- und Beratungszentren, die in Brandenburg, Vorpommern und der Woiwodschaft Westpommern tätig sind. Die Aufgabe des Zentrums besteht in der Unterstützung von kleinen und mittelständischen polnischen Unternehmern bei der Knüpfung von Kontakten zu Geschäftspartnern aus dem Märkisch-Oderland und den deutschen Unternehmern die Suche nach neuen Geschäftspartnern in Polen.

Zusammenfassung

Sowohl die oben aufgeführten Projekte, als auch zahlreiche ähnliche Initiativen der polnischen und deutschen Verwaltung in den Grenzgebieten, Forschungskonzepte, die durch Hochschule ergriffen und gefördert werden, Ideen, die durch die NGOs und Vereine implementiert und umgesetzt werden, leisten einen wichtigen Beitrag zur Entwicklung des Grenzlands, zur Bildung symbolischer Vorstellungswelt über die eigene und die fremde Gemeinschaft, Betrachtung nicht nur von kulturellen Unterschieden, sondern auch von Prozessen der Vermischung von Symbolen, Ideen und Werten, die sich durch Bräuche, Sitten, durch die materielle Kultur äußern, und sich zu einer Determinante der politischen, gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Beziehungen entwickeln können. Die oben genannten Beispiele sind ein Beweis dafür, dass die Versuche, Bewusstseinszustände zum polnisch-deutschen Grenzland als einen gemeinsamen Raum zu schaffen, in einigen unterschiedlichen Strömungen vonstattengehen.

Eine davon umfasst lokale Aktivitäten, die einen Prozess der Bildung einer Gemeinschaft im Grenzland erzielen, sowie eine damit verbundene sozio-psychologische Strömung, die sich hauptsächlich auf die Stärkung des Bewusstseins und der Identifizierung mit dem bewohnten Gebiet fokussieren. Eine wesentliche Rolle spielen hier auch Projekte im Rahmen der Netzwerke, bei denen der interaktive soziale Kontakt zu den wesentlichen Bestandteilen gehört. Bei den Bemühungen um die Entwicklung der Integrationsprozesse wird auch die Nachfrage nach Aktivitäten im Bereich der Adaptation der Grenzlandbevölkerung an die Umwelt und Natur, insbesondere im Bereich der Ergreifung proökologischer und auf den Umweltschutz ausgerichteten Maßnahmen erkennbar.

In meiner Überzeugung bringen diese Maßnahmen eine Reihe positive Folgen mit, wie die gesellschaftlich nützlichen und teilweise verbreiteten Anzeichen der gesellschaftlichen Integration im deutsch-polnischen Grenzgebiet. Diese sind nicht nur dadurch sichtbar, dass immer mehr Geschäfte im Grenzgebiet zweisprachig funktionieren und Werbung machen, sondern auch dadurch, dass zweisprachige Kindergärten und Schulen immer häufiger eingerichtet werden. Diese sind offensichtlich eine wichtige Folge des Mitwirkbewusstseins, die unter der polnischen und deutschen Bevölkerung der Region bereits gut entwickelt ist. Dieses Bewusstsein sozialisiert und erfüllt eine befreiende Funktion der Sozialisierung und Enkulturation, formt die Sensibilität der Wahrnehmung und Interpretation von Unterschieden, regt zum Überschreiten von Status Quo an, fördert die Initiation von kreativen Handlungen und gemeinsamen Initiativen auf der Suche nach neuer Qualität der deutsch-polnischen Beziehungen, neuer Formen der Zusammenarbeit und neuer Ideen für die Umsetzung der in deren Rahmen gestellten Ziele.

Literaturverzeichnis

1. Słownik języka polskiego, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1998, s. 149–150.
2. Morawska I., Pamięć i przestrzeń jako wyzwanie edukacyjne, [Im:] D. Staszczyk, A. Szymańska (Hrsg.), Pamięć i miejsce. Doświadczenie przeszłości na pograniczu, Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Chełmie, Chełm 2008.
3. Lewicka M., Psychologia miejsca, Scholar, Warszawa 2012.
4. Budzik T., Przestrzeń jako składnik tożsamości w świecie globalizacji, „Historia – Kultura – Globalizacja", 2012, 11, 13–27.
5. Tuan Y., Przestrzeń i miejsce, PIW, Warszawa 1987.
6. Libura H., Percepcja przestrzeni miejskiej, Stanisław Kryciński, Warszawa 1990.
7. Angutek D., Kulturowe wymiary krajobrazu. Antropologiczna wizytówka przyrody na górze: od teorii do empirii, Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań 2013.

8. Bierwiaczonek K., Nawrocki T., Przestrzeń publiczna to tożsamość, miasta i tożsamości, [Im:] K. Bierwiaczonek, M. Dymnicka, K. Kajdanek, T. Nawrocki (Hrsg.), Miasto, przestrzeń, tożsamość. Studium trzech miast Gdańsk, Gliwice, Wrocław, Scholar, Warszawa 2017.
9. Nikitorowicz J., Edukacja regionalna i międzykulturowa, Wydawnictwo Akademickie i Profesjonalne, Warszawa 2009.
10. Babiński G., Pogranicze etniczne i kulturowe, [Im:] M. Malikowski, D. Wojakowski (Hrsg.), Między Polską a Ukrainą. Pogranicze – przygotowanie, współpraca regionalna, Wydawnictwo Mana, Rzeszów 1999.
11. Sadowski A., Pogranicze polsko-białoruskie. Tożsamość mieszkańców, Trans Humana, Białystok 1995.
12. Nikitorowicz J., Pogranicze, tożsamość, edukacja międzykulturowa, Trans Humana, Białystok 1995.
13. Woźniak R.B., Obraz Niemiec i Niemców w świadomości polskiej pogranicza. Poszukiwanie drogi ku integracji, Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego, Szczecin 1997.
14. Straczuk J., Kulturowe zróżnicowanie pogranicza – koncepcje badawcze, Oblicza lokalności: konkluzje i czasu, Wydawnictwo IFIS PAN, Warszawa 2006.
15. Michalak A., Społeczności lokalne pogranicza niemiecko-polskiego. Socjologiczne studium uczestnictwa w społeczeństwie Nadodrza, Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego, Szczecin 2012.
16. Wielecki K., Kompetencje do komunikacji międzykulturowej: problemy polityczne i edukacyjne, [Im:] A. Kapciak, L. Koprowicz, A. Tyszki (Hrsg.), Komunikacja międzykulturowa. Zbliżenia i impresje, Instytut Kultury, Warszawa 1995.
17. Gawarkiewicz R., Komunikacja międzykulturowa a stereotyp. Polacy – Niemcy – Rosjanie, Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego, Szczecin 2011.
18. Zaborska U., Biedrzycki A., Bibliografia Pomorza Wschodniego i Zachodniego oraz Krajów Regionu Bałtyku za rok 2007 wraz z uzupełnieniami z lat poprzednich, Towarzystwo Naukowe w Toruniu, Wąbrzeźno 2007, s. 145–182.
19. Nowak P., Siwiec A., Pamięć i jej konceptualizacje w języku i tekstach kultury, [Im:] D. Staszczyk, A. Szymańska (Hrsg.), Pamięć i miejsce. Doświadczenie przeszłości na pograniczu, Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Chełmie, Chełm 2008.
20. Surminski A., Kein schöner Land, Ullstein, Berlin 1993.
21. Oleksy P., Wyspy odzyskane. Archipelag Wolin i nieznany, Czarne, Wołowiec 2021.
22. Weber M., Gospodarka i Społeczeństwo. Zarys socjologii rozumiejącej, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2002.

TEIL II
Rechtliche Rahmenbedingungen für die Energiewende

Energiewende – Europäische rechtliche Rahmenbedingungen

Karolina Kurtz-Orecka, Anna Głowacka
Westpommersche Technische Universität Stettin

Die Erreichung der Klimaziele für 2030 in der Europäischen Union ist der Schlüssel zu einer emissionsarmen Energiewende. Die Aktivitäten der Union in diesem Bereich werden auf vielfältige Weise durchgeführt.

Im Jahr 2009 wurde ein Maßnahmenpaket verabschiedet, das drei Hauptziele für die Bekämpfung des Klimawandels bis 2020 festlegt, das sogenannte 3 × 20%-Paket. Die derzeitigen EU-Maßnahmen in diesem Bereich sind eine Erweiterung des 3 × 20%-Pakets und umfassen vier Ziele für die Union in der Perspektive 2030 [1, 2] (sog. Fit for 55-Paket):

- Verringerung der Netto-Treibhausgasemissionen bis 2030 um 55 % gegenüber dem Basisjahr 1990; dieses Ziel liegt um 15 Prozentpunkte über dem im Dezember 2020 noch geltenden Niveau [3],
- Erreichen eines Anteils von mindestens 32 % erneuerbarer Energiequellen am Bruttoendenergieverbrauch,
- Steigerung der Energieeffizienz um 32 %,
- Vollendung des Aufbaus des EU-Energiebinnenmarktes.

Die oben genannten Ziele bilden den Beitrag der EU zur Umsetzung der Klimavereinbarungen. Im Mittelpunkt der aktuellen Politik und Maßnahmen steht das sogenannte Pariser Abkommen, das 2015 geschlossen wurde und das die Notwendigkeit aufzeigt, den Anstieg der globalen Durchschnittstemperatur auf weniger als 2 °C gegenüber dem vorindustriellen Niveau zu begrenzen, wobei ein Anstieg auf 1,5 °C als bevorzugt gilt. Im Jahr 2019 hat die Europäische Union das Regelungspaket *Saubere Energie für alle Europäer* eingeführt, in dem dargelegt wird, wie die Klima- und Energieziele der Gemeinschaft für 2030 erreicht werden sollen, und von dem erwartet wird, dass es zur Umsetzung der Energieunion und zur Schaffung eines EU-Energiebinnenmarktes beiträgt [4]. Im selben Jahr wurde auch eine Initiative mit dem Namen European Green Deal angekündigt, deren Ziel die Klimaneutralität bis 2050 ist. Die Initiative umfasst 10 Prioritäten, von denen sich 7 direkt oder fast direkt in die Erzählung von der unvermeidlichen Energiewende und dem verstärkten Schutz der Umwelt einfügen, nämlich [4]:

- Klimaneutralität Europas,
- geschlossener Wirtschaftskreislauf,
- Renovierung des vorhandenen Gebäudebestands,
- Null-Verschmutzung,
- Ökosysteme und biologische Vielfalt,
- nachhaltige Landwirtschaft (und gesunde Lebensmittel),
- nachhaltige Transporte.

Die EU-Politik zum Schutz der Gesundheit der Bürger durch das Streben nach sauberer Luft legt EU-Luftqualitätsnormen und Umweltschutzanforderungen für die verschiedenen emissionsverursachenden Sektoren fest und setzt die internationalen Verpflichtungen der EU im Bereich der Luftverschmutzung um. Die Maßnahmen der EU stützen sich auf drei Hauptpfeiler [5], darunter:

- Luftqualitätsnormen,
- nationale Emissionsreduktionsziele,
- Emissionsnormen für die wichtigsten Verschmutzungsquellen.

Zu den wichtigsten EU-Rechtsvorschriften, die sich direkt mit den Emissionen von Luftschadstoffen aus bestimmten Quellen befassen, gehören:

- Richtlinie über Luftqualität und saubere Luft für Europa [1],
- Richtlinie über die Verringerung der nationalen Emissionen bestimmter Luftschadstoffe [6],
- Richtlinie über Industrieemissionen [6],
- Richtlinie zur Begrenzung von Schadstoffemissionen von mittelgroßen Feuerungsanlagen in die Luft [7].

Eine wichtige Ergänzung der genannten Liste ist:

- Euro-5- und Euro-6-Fahrzeugemissionsverordnung [8] und andere Richtlinien aus dem Verkehrsbereich, auch für schwere Fahrzeuge,
- Ökodesign-Richtlinie [9] und ihre Durchführungsverordnungen für die Heizung und Kühlung von Gebäuden,
- Richtlinie über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden [9, 10],
- Energieeffizienz-Richtlinie [5],
- Sammlung von EU-Initiativen – der Europäische Green Deal.

Die Luftqualitätsrichtlinie [11] legt gemeinsame Grenzwerte für Schadstoffe an Standorten in den Mitgliedstaaten fest. In Tabelle 1 werden die in der Richtlinie [11] festgelegten zulässigen Werte ausgewählter Schadstoffe mit den WHO-Leitlinien verglichen.

Die Höhe der nationalen Emissionen und die Verpflichtung, die Emissionen von SO_2, NO_x, NMLZO, NH_3 und PM2,5 bis zum Jahr 2030 gegenüber den 2005

festgelegten Referenzwerten zu reduzieren, werden durch die Richtlinie über die Reduzierung der nationalen Emissionen bestimmter Luftschadstoffe [6] geregelt. Die Richtlinie verpflichtet die Mitgliedstaaten außerdem, nationale Programme zur Verringerung der Luftverschmutzung zu verabschieden und umzusetzen, um ihre Verpflichtungen zur Verringerung der Luftverschmutzung zu erfüllen, Sanktionen festzulegen, um die Einhaltung der Vorschriften sicherzustellen, und jährlich über die Emissionen zu berichten.

Tab. 1. EU-Luftqualitätsstandards im Vergleich zu den WHO-Leitlinien [11]

Verschmutzungsfaktor	Zeitintervall	WHO--Leitlinien [μg/m^3]	Grenzwerte in der EU-Luftqualitätsrichtlinie [μg/m^3]	Anzahl der Fälle pro Jahr, in denen die EU-Normen überschritten werden können
NO_2	1 Jahr	40	40	–
	1 Stunde	200	200	18
O_3	8 Stunden	100	120	25
PM10	1 Jahr	20	40	–
	24 Stunden	50	50	35
PM2,5	1 Jahr	10	25	–
	24 Stunden	25	25	–
SO_2	24 Stunden	20	125	3
	1 Stunde	–	350	24
	10 Minuten	500	–	–

Die Richtlinie über Industrieemissionen [12] wurde eingeführt, um die Umweltverschmutzung durch industrielle Tätigkeiten so weit wie möglich zu vermeiden, zu verringern und zu beseitigen. Die Richtlinie legt fest, dass vorrangig an der Quelle der Verschmutzung angesetzt werden muss, so dass etwa 50.000 Industrieanlagen in der EU eine Betriebsgenehmigung erhalten müssen, die von den nationalen Behörden der Gemeinschaftsländer erteilt wird, und die besten verfügbaren Techniken (BVT) anwenden müssen. Für große Industrieanlagen, d.h. solche, die Quellen mit einer Gesamtfeuerungswärmeleistung in Form von Brennstoffen (sog. chemischer Energie) von 50 MW oder mehr nutzen (ca. 3.500 Anlagen), werden in der Richtlinie die Regeln für die Verbrennung von Brennstoffen sowie das Vorrecht auf Verlängerung der Betriebsgenehmigung bis 2021 präzisiert.

Die Richtlinie über mittlere Energiequellen [7] gilt hauptsächlich für Anlagen mit einer Feuerungswärmeleistung im Bereich von 1÷50 MW, unabhängig von dem verwendeten Brennstoff, und erfüllt das Programm *Saubere Luft für Europa* [13]. Die Bestimmungen der Richtlinie umfassten auch Stoffe, die bisher außerhalb der EU-Anforderungen lagen, wie Quecksilber (Hg), Chlorwasserstoff (HCl), Fluorwasserstoff (HF) und Ammoniak (NH_3). Ihre Aufnahme in die Liste der regulierten Emissionen sollte sich in verstärkten Investitionen in die Installation von Umweltausrüstungen in Kohleverbrennungsanlagen niederschlagen.

Die Verbesserung der Energieeffizienz und das Erreichen der geltenden Umweltnormen für Energieträger stehen in direktem Zusammenhang mit dem Heiz-/Kühlleistungsbedarf der Endverbraucher, der hauptsächlich durch den technischen Zustand des Gebäudebestands und seiner Ausrüstung bestimmt wird. Angesichts des erheblichen Energiebedarfs des Bauwesens, das für fast 40 % des EU-weiten Energieverbrauchs und rund 36 % der Schadstoffemissionen [14] verantwortlich ist, gelten auch für diesen Bereich Klima- und Umweltschutzvorschriften. Die Richtlinie über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (2002) [1] sollte die Öffentlichkeit für die Energieintensität des Gebäudebestands und die kosten- und umwelteffizienteren Möglichkeiten der Nachrüstung sensibilisieren [1]. Es wurde ein System für die energetische Bewertung und Zertifizierung von Gebäuden und ihren technischen Systemen eingeführt, einschließlich eines Inspektionssystems für Heizkessel und Lüftungs-/Klimaanlagen. Im Jahr 2010 wurden in einem weiteren Schritt [14] die Energieanforderungen für alle neuen Gebäude festgelegt, wobei von nahezu Null-Energie-Gebäuden (nZEB – *nearly Zero-Energy Buildings*) ausgegangen wurde, was sehr strenge Energieanforderungen für Gebäude bedeutet, bei denen ein erheblicher Teil der Energie aus erneuerbaren Quellen stammen sollte. Im Jahr 2018 [10] wurde unter anderem die Notwendigkeit vorgestellt, eine Strategie für die (thermische) Sanierung bestehender Gebäude zu entwickeln und umzusetzen, um bis 2050 eine hohe Energieeffizienz zu erreichen, die dem nZEB-Standard entspricht. Die Umsetzung weiterer Änderungen der Richtlinie wird sich unmittelbar auf die Heiz-/Kühlsysteme auswirken und damit nicht nur auf die Nachfrage nach emissionsarmen Energiequellen, sondern auch auf die Nachfrage nach modernen Fernwärmesystemen, die ein Niedertemperatur-Heizmedium bereitstellen.

Mit dem Europäischen Green Deal [15] wurden zwei Strategien für 2020 eingeführt: *Integration des Energiesektors und Erneuerungswelle*. Die *EU-Strategie zur Integration der Energiesysteme* [15] weist darauf hin, dass aufgrund der

fehlenden angenommenen Emissionsminderungseffizienzen im bisherigen Modell der Verknüpfung des Primärenergieverbrauchs in Verkehr, Industrie und Gebäuden mit separaten Infrastrukturen und de facto ohne Verknüpfung mit Wertschöpfungsketten die Integration des EU-Energiesystems notwendig ist. Diese Maßnahme wird die Einführung einer globalen Planung und eines globalen Betriebs des Gesamtsystems ermöglichen, das die verschiedenen Energieträger, Infrastrukturen und Verbrauchssektoren miteinander verbindet. Ein solches vernetztes und flexibles System wird effizienter sein und die Kosten für die Gesellschaft senken. Unter dem Gesichtspunkt der Deckung des Wärme-/Kältebedarfs sind die Elemente dieser Strategie erwähnenswert, die Folgendes vorsehen:

- Das Energiesystem soll in einem geschlossenen Kreislauf auf Grundlage der Energieeffizienz funktionieren, was sich in der Praxis in einer effizienteren Nutzung lokaler Energiequellen niederschlagen soll,
- Es besteht ein erhebliches Potenzial für die Wiederverwendung von Abwärme aus Industrieanlagen, Rechenzentren oder anderen Quellen sowie von Energie, die aus Bioabfällen oder Kläranlagen gewonnen wird,
- Eine stärkere direkte Elektrifizierung der Endverbrauchssektoren ist erforderlich, da der Elektrizitätsuntersektor über die meisten erneuerbaren Energiequellen verfügt und daher Elektrizität, wo immer dies möglich ist, verstärkt in Gebäudeversorgungssystemen eingesetzt werden sollte.

In Sektoren, in denen die Elektrifizierung schwierig ist, fördert die Strategie saubere Kraftstoffe, einschließlich erneuerbaren Wasserstoffs, nachhaltiger Biokraftstoffe und Biogas. Es sei auch darauf hingewiesen, dass Erdgas im Rahmen der Energiewende als Übergangskraftstoff behandelt wird, der schließlich durch Quellen auf Grundlage erneuerbarer Energien oder so genannter sauberer Kraftstoffe ersetzt werden wird. In der *Sektorintegrationsstrategie* wurde auch die Einführung eines neuen Klassifizierungs- und Zertifizierungssystems für erneuerbare und emissionsarme Brennstoffe angekündigt. Dies ist besonders wichtig im Hinblick auf die Biomasse, die trotz ihres erneuerbaren Charakters ein erhebliches Emissionspotenzial aufweist.

Die zweite europäische Green-Deal-Strategie, die *Renovierungswellenstrategie*, hat die Verbesserung der Energieeffizienz des Gebäudebestands zum Ziel. Schätzungen zufolge wurden 85 % der Gebäude in der EU im 20. Jahrhundert errichtet, wobei 85–95 % davon in den nächsten drei Jahrzehnten noch genutzt werden dürften. Aufgrund des Alters und der technischen Qualität des Gebäudebestands besteht eine große Herausforderung im Bausektor in der Verringerung des Energiebedarfs für Raumheizung und -kühlung. Bisher wurde jährlich nur etwa 1 %

der Gebäude thermisch saniert. Die derzeitige Renovierungsstrategie zielt darauf ab, bestehende Gebäude auf einen modernen Standard zu bringen, d. h. auf einen nZEB-Standard (Beinahe-Null-Energie-Standard), und die derzeit durchgeführte tiefgreifende Thermomodernisierung soll intensiviert werden und bis 2030 schließlich 35 Millionen Gebäude in der Gemeinschaft erfassen.

Die Durchführung von tiefgreifenden thermischen Modernisierungsmaßnahmen ist mit erheblichen Investitionen verbunden. Angesichts von fast 34 Millionen Europäern, die in Energiearmut leben, ist eine öffentliche Politik, die die Renovierung als eine Maßnahme fördert, die den Energiebedarf von Gebäuden senkt und direkt zu einer Verringerung der Kosten für die Instandhaltung des Gebäudes führt, sowie Programme zur Unterstützung dieser Investitionen unerlässlich.

Die Strategie *Renovierungswelle* setzt Prioritäten in drei Bereichen:

- Dekarbonisierung von Heizung und Kühlung,
- Bekämpfung der Energiearmut,
- Steigerung der Energieeffizienz von Gebäuden und Renovierung von öffentlichen Gebäuden wie Schulen, Krankenhäuser oder Verwaltungsgebäude.

In Anbetracht der Hindernisse, die während des gesamten Renovierungsprozesses – von der Prüfung/Planung bis zur Umsetzung – bestehen, wird die Strategie die folgenden Kernaktivitäten umfassen [16]:

- Verschärfung der Rechtsvorschriften und Normen für die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden, um bessere Anreize für Renovierungen im öffentlichen und privaten Sektor zu schaffen, einschließlich der schrittweisen Einführung verbindlicher Mindestnormen für die Gesamtenergieeffizienz bestehender Gebäude,
- Aktualisierung der Vorschriften für den Energieausweis von Gebäuden und eine mögliche Ausweitung der Anforderungen für die Renovierung von Gebäuden des öffentlichen Sektors,
- Bereitstellung zugänglicher und gezielter Finanzmittel, u. a. durch die Vorzeigeprogramme Renovate und Power-up im Rahmen der EU-Fazilität für Konjunkturbelebung und Lebensqualität der nächsten Generation,
- Vereinfachung der Regeln für die Kombination verschiedener Finanzierungsströme und Erhöhung des Anreizes für private Finanzierung,
- Ausbau der Kapazitäten für die Vorbereitung und Durchführung von Renovierungsprojekten, von der technischen Unterstützung nationaler und lokaler Behörden bis hin zur Ausbildung und Qualifizierung von Arbeitnehmern für neue "grüne" Arbeitsplätze,

- Ausweitung des Marktes für nachhaltige Bauprodukte und -dienstleistungen, einschließlich der Integration neuer Materialien und Lösungen auf der Grundlage natürlicher Ressourcen, sowie Änderung der Vorschriften für die Vermarktung von Bauprodukten und die Wiederverwendung und Verwertung von Materialien,
- Schaffung eines interdisziplinären Projekts mit dem Titel Neues Europäisches Bauhaus, das von einem beratenden Ausschuss externer Experten, darunter Wissenschaftler, Architekten, Designer, Künstler, Planer und Bürgervertreter, koordiniert wird,
- Entwicklung eines Systems quartiersbezogener Anreize für lokale Gemeinschaften zur Integration erneuerbarer und digitaler Lösungen und zur Schaffung von Null-Energie-Quartieren, in denen Verbraucher zu Prosumenten werden, die Energie an das Netz verkaufen.

Die Strategie umfasst auch eine Initiative für erschwinglichen Wohnraum (*Affordable Housing Initiative*) in 100 Stadtvierteln. Die vorgeschlagenen Lösungen bringen den EU-Bürgern viele unmittelbare Vorteile – von der Verbesserung der Luftqualität und des Wärmekomforts in Wohnungen bis hin zur nachhaltigen Senkung der Kosten für die Nutzung von Gebäuden. Durch energiebedingte Veränderungen im Bausektor werden sie auch zu einer bedeutenden, vielschichtigen Umgestaltung von Städten und anderen urbanen Einheiten beitragen, die eine Gelegenheit bieten kann, einen zukunftsweisenden Prozess der Verknüpfung von Nachhaltigkeit und Lebensstilen einzuleiten.

Bei der Erörterung des europäischen Rechtsraums, der den Wärme-/Kälteversorgungssektor betrifft, sollte auch die Richtlinie zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Energiequellen, gemeinhin als EE-Richtlinie bezeichnet, erwähnt werden [17]. Mit der Überarbeitung von 2018 wurde ein EU-weites verbindliches Ziel eingeführt, bis 2030 einen Mindestanteil von 32 % des Bruttoendenergieverbrauchs aus erneuerbaren Energiequellen zu erreichen. Nach den angenommenen Annahmen sollte der Anteil der aus erneuerbaren Energien und Abwärme erzeugten Wärme am Wärmestrom, der an die Verbraucher geliefert wird, jährlich um mindestens 1,3 Prozentpunkte steigen, bzw. um mindestens 1,1 Prozentpunkte, wenn nur Energie aus erneuerbaren Quellen berücksichtigt wird. Diese Anforderung unterstützt sicherlich die Umsetzung der Bestimmungen der Richtlinie zur Festlegung der Bedingungen für das Funktionieren des Systems für den Handel mit Treibhausgasemissionszertifikaten [18]. Nach dieser Richtlinie haben Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen mit einer Nennleistung von mehr als 20 MWt pro Jahr zwischen 2021 und 2025 Anspruch

auf 30 % kostenlose Emissionszertifikate, wobei die Zahl nach 2025 schrittweise verringert wird. Die Gesamtzahl der in der EU ausgegebenen Emissionszertifikate wurde zwischen 2013 und 2020 jährlich um 1,74 % reduziert und wird ab 2021 jährlich um 2,2 % reduziert. Die Übertragbarkeit von Emissionszertifikaten zwischen Anlagen, Fluggesellschaften und Marktteilnehmern in der EU und in Drittländer, in denen sie anerkannt werden, wurde ebenfalls beschlossen. Ab 2021 werden 57 % der Zertifikate versteigert, und mindestens die Hälfte der Versteigerungserlöse, die die EU-Länder erhalten, müssen für den Klimaschutz verwendet werden.

Außerdem wurden zwei Finanzierungsmechanismen für emissionsarme Lösungen eingeführt – in Form eines Modernisierungs- und eines Innovationsfonds. Das erste soll die Modernisierung des Energiesektors und der Energiesysteme in ausgewählten EU-Ländern unterstützen, die auf Grundlage eines Algorithmus für das Bruttoinlandsprodukt (BIP) ausgewählt wurden. Der zweite Fonds dient der Unterstützung innovativer Demonstrationsprojekte und bahnbrechender Innovationen in den vom EU-EHS erfassten Sektoren, einschließlich innovativer Lösungen in den Bereichen erneuerbare Energien, Kohlenstoffabscheidung und -nutzung sowie Energiespeicherung [18].

Ausgewählte Rechtsvorschriften der Europäischen Union zur Biomasse umfassen:

- Richtlinie (EU) 2018/2001 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 11. Dezember 2018 zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen (ABl. L.328/82),
- Richtlinie 2009/28/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. April 2009 zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen und zur Änderung und anschließenden Aufhebung der Richtlinien 2001/77/EG und 2003/30/EG,
- Strategie *Saubere Energie für alle Europäer* (COM (2016) 0860) als Teil der umfassenderen Strategie für die Energieunion (COM (2015) 0080),
- Resolution des Europäischen Parlaments vom 5. Februar 2014 zu dem Rahmen für die Klima- und Energiepolitik bis 2030 (ABl. C 93 vom 24.3.2017),
- Richtlinie 2014/94/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 22. Oktober 2014 zum Aufbau einer Infrastruktur für alternative Kraftstoffe,
- Verordnung (EU) 2018/1999 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 11. Dezember 2018 über die Verwaltung der Energieunion und Klimaschutzmaßnahmen,
- Richtlinie (EU) 2015/2193 des Europäischen Parlaments und des Rates vom

25. November 2015 zur Begrenzung der Emissionen bestimmter Schadstoffe aus mittelgroßen Feuerungsanlagen in die Luft (ABl. L 313 vom 28.11.2015),

- Durchführungsbeschluss 2018/1854 der Kommission vom 27. November 2018 über die Genehmigung der freiwilligen Regelung B*essere Biomasse* zum Nachweis der Einhaltung der Nachhaltigkeitskriterien gemäß den Richtlinien 98/70/EG und 2009/28/EG des Europäischen Parlaments und des Rates, ABl. L 302/73,
- Beschluss Nr. 1386/2013/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 20. November 2013 über das allgemeine EU-Umweltaktionsprogramm 2020 – *Gute Lebensqualität unter Berücksichtigung der Einschränkungen unseres Planeten*.

Literaturverzeichnis

1. Richtlinie 2002/91/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 2002 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden, Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften 4.1.2003.
2. Richtlinie (EU) 2018/844 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 30. Mai 2018 zur Änderung der Richtlinie 2010/31/EU über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden und der Richtlinie 2012/27/EU über Energieeffizienz, Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften 19.6.2018.
3. Polityka Energetyczna Polski do 2040 r. Streszczenie, Ministerstwo Klimatu i Środowiska, Warszawa 2021.
4. Polityka Energetyczna Polski do 2040 r. Załącznik do uchwały nr 22/2021 Rady Ministrów z dnia 2 lutego 2021 r., Ministerstwo Klimatu i Środowiska, Warszawa 2021.
5. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2018/2002 z dnia 11 grudnia 2018 r. zmieniająca dyrektywę 2012/27/UE w sprawie efektywności energetycznej. Dz.U.EU.2018.328.210.
6. Richtlinie (EU) 2018/2002 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 11. Dezember 2018 zur Änderung der Richtlinie 2012/27/EU zur Energieeffizienz, Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften 21.12.2018.
7. Richtlinie (EU) 2015/2193 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 25. November 2015 zur Begrenzung der Emissionen bestimmter Schadstoffe aus mittelgroßen, Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften 28.11.2015.
8. Verordnung (EG) Nr. 595/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 18. Juni 2009 über die Typgenehmigung von Kraftfahrzeugen und Motoren hinsichtlich der Emissionen von schweren Nutzfahrzeugen (Euro IV) und über den Zugang zu Fahrzeugreparatur- und -wartungsinformationen, zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 715/2007 und der Richtlinie 2007/46/EG sowie zur Aufhebung der Richtlinie 80/1269/EWG, 2005/55/EG und 2005/78/EG, Amtsblatt der Europäischen Union 18.7.2009.

9. Richtlinie 2009/125/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Oktober 2009 zur Schaffung eines Rahmens für die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung energieverbrauchsrelevanter Produkte.
10. Richtlinie (EU) 2018/844 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 30. Mai 2018 zur Änderung der Richtlinie 2010/31/EU über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden und der Richtlinie 2012/27/EU über Energieeffizienz, Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften 19.6.2018.
11. Richtlinie 2008/50/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Mai 2008 über Luftqualität und saubere für Europa, Amtsblatt der Europäischen Union 11.6.2008.
12. Richtlinie 2010/75/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 24. November 2010 über Industrieemissionen (integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung) (Neufassung), Amtsblatt der Europäischen Union 17.12.2010.
13. Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów – Europa, która chroni: czyste powietrze dla wszystkich. Komisja Europejska.
14. Richtlinie 2010/31/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. Mai 2010 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden.
15. https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_pl (25.01.2022).
16. https://ec.europa.eu/energy/topics/energy-system-integration/eu-strategy-energy-system-integration_en (25.01.2022).
17. Richtlinie (EU) 2018/2001 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 11. Dezember 2018 zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen (Neufassung), Amtsblatt der Europäischen Union 21.12.2018.
18. Richtlinie (EU) 2018/410 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 14. März 2018 zur Änderung der Richtlinie 2003/87/EG zwecks Unterstützung kosteneffizienter Emissionsreduktionen und zur Förderung von Investitionen mit geringem CO_2-Ausstoß und des Beschlusses (EU) 2015/1814, Amtsblatt der Europäischen Union 19.3.2018.

Energiewende im deutschen Recht

Wojciech Zbaraszewski
Westpommersche Technische Universität Stettin

Motive, Hintergründe und Regelungen der Energiewende in Deutschland

Deutschland ist unter anderem durch die Energiewende zu einem Vorreiter bei der Umstellung auf erneuerbare Energien (EE) geworden. Die Ereignisse der 1970er Jahre, darunter die Ölkrise und die Debatten über Kernenergie und Umwelt, können als seine Ursprünge angesehen werden [1]. In Deutschland, wie auch in anderen westeuropäischen Ländern, wurde die Energiesicherheitsdebatte aktiv geführt. Vertreter der Anti-Atomkraft-Bewegung nahmen an der Diskussion teil. Der ausdrückliche Widerstand der Bevölkerung verhinderte den Bau des Kernkraftwerks Wyhl [2], und es gab ernsthafte Auseinandersetzungen um die nuklearen Abfallbehandlungsanlagen (in Wackersdorf und Gorleben). Dies führte unter anderem zur Schließung des Kernkraftwerks Kalkar, das 1985 fertiggestellt, aber nie in Betrieb genommen wurde [3].

Der Ausbau der erneuerbaren Energien begann 1990 mit der Einführung des Stromeinspeisungsgesetzes aus erneuerbaren Energiequellen in das öffentliche Netz [4]. Diese Expansion beschleunigte sich deutlich im Jahr 2000 mit der Verabschiedung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG), das ein effektives und effizientes Instrument zur Förderung der erneuerbaren Energien in Deutschland wurde [5]. Nach 2000 hat sich die politische Wahrnehmung der erneuerbaren Energien in Deutschland deutlich verändert. Während die erneuerbaren Energien früher als Ergänzung zum bestehenden Portfolio betrachtet wurden, begann die Regierung nach dem Jahr 2000, sie als Alternative zum bestehenden Energiesystem zu betrachten [6].

Ziel der Energiewende in Deutschland ist es, das bestehende, auf fossilen Brennstoffen und Kernenergie basierende Energiesystem in ein nachhaltiges, auf erneuerbaren Energiequellen basierendes System umzuwandeln, das unmittelbar zur Lösung des globalen Energieproblems beiträgt, das als die größte Herausforderung des 21. Jahrhunderts angesehen wird [7]. Die Energiewende in Deutschland umfasst den Ausbau der erneuerbaren Energien, die Senkung des Energieverbrauchs und die Verbesserung der Energieeffizienz. Die Ziele der

Energiewende in Deutschland, die sich aus der 2010 beschlossenen Strategie ergeben, wurden wie folgt festgelegt:

- Erhöhung des Anteils der erneuerbaren Energien am Stromverbrauch auf 80 % bis 2050,
- Reduzierung des Primärenergieverbrauchs um 50 % im gleichen Zeitraum gegenüber 2008,
- Verringerung der Treibhausgasemissionen um 80 % im Einklang mit den EU-Zielen [8, 9].

Auf der Grundlage der Lehren aus der Kernkraftwerkskatastrophe von Fukushima im Jahr 2011 wurde der vollständige Ausstieg aus der Kernenergie in Deutschland bis 2022 beschlossen [10]. In Deutschland sind derzeit noch sechs Kernkraftwerke in Betrieb [11]. Mit der Novelle des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) aus dem Jahr 2014 wurden die Zwischenziele für erneuerbare Energien geändert, die eine Erhöhung des Anteils der erneuerbaren Energien am Energiemix auf 40–45 % im Jahr 2025 und dann auf 55–60 % im Jahr 2035 vorsehen [12]. Die im Dezember 2020 vom Bundestag verabschiedete und am 1. Januar 2021 in Kraft getretene EEG-Novelle sieht unter anderem vor, dass der gesamte in Deutschland erzeugte und verbrauchte Strom bis 2050 treibhausgasneutral werden soll. Bis 2030 sollen 65 Prozent des in Deutschland verbrauchten Stroms aus erneuerbaren Quellen stammen. Die Einhaltung der gesetzten Ziele wird durch die jährliche Überwachung überprüft. Um den Anteil der erneuerbaren Energien zu erhöhen, sollte die Entwicklung von Onshore- und Offshore-Windkraftanlagen sowie von Solarsystemen beschleunigt werden. Das im Dezember 2019 verabschiedete Klimaschutzgesetz legt erstmals in Deutschland verbindliche THG-Minderungsziele für verschiedene Sektoren für den Zeitraum 2020–2030 fest [13]. In Abbildung 1 ist dieses Ziel nach Sektoren zusammengefasst.

Seit 2012 legt die Bundesregierung regelmäßig Berichte zum Stand der Energiewende vor (die letzte Veröffentlichung vom März 2021 gilt für die Jahre 2018–2019) [14], und der zuständige Fachausschuss veröffentlicht zu jedem Bericht eine umfassende Stellungnahme [15]. In der Literatur wird darauf hingewiesen, dass der Schlüssel zur Energiewende in Deutschland – neben den sozialen Basisbewegungen, die sich gegen die Kernenergie aussprachen und sie durch erneuerbare Energien ersetzen wollten – auch die parteiübergreifende politische Kohärenz war [16].

Der Stand der Umsetzung der Energiewende in Deutschland wird fortlaufend überwacht. Eine der wichtigsten Institutionen in diesem Zusammenhang ist das Expertengremium Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat) [17].

Aktuelle Informationen werden in monatlichen und vierteljährlichen Berichten veröffentlicht. Die Berichte enthalten Informationen zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien und basieren auf Daten des Statistischen Bundesamtes (DESTATIS) [18], ergänzt durch Einschätzungen des Umweltbundesamtes (UBA) [17] und Daten der Übertragungsnetzbetreiber. Darüber hinaus enthalten die Berichte Informationen über den Nettozuwachs an installierter Kapazität und Daten über Wetterindikatoren [19].

Im Jahr 2020 stammen 19,3 % des deutschen Endenergieverbrauchs aus erneuerbaren Energien. Damit hat Deutschland sein 18%-Ziel der EU-Richtlinie (2009/28/EG) zur Förderung erneuerbarer Energien übertroffen (Abb. 1).

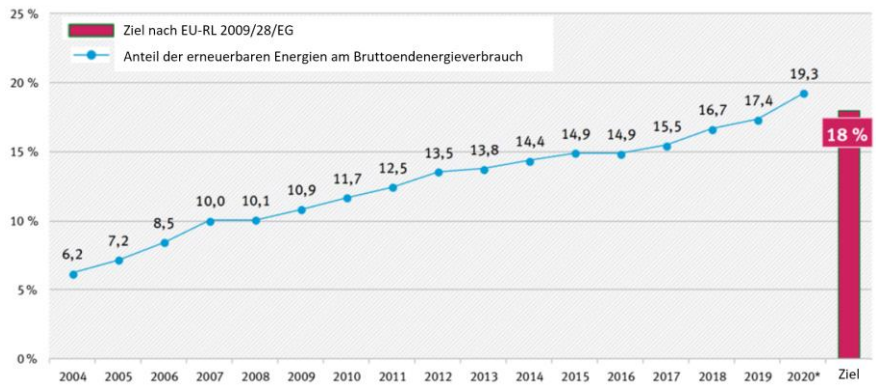


Abb. 1. Anteil der erneuerbaren Energien am Endenergieverbrauch in Deutschland – Vergleich des festgelegten deutschen Ziels mit den Zielen für den Ausbau der erneuerbaren Energien gemäß der EU-Richtlinie 2009/28/EG [20]

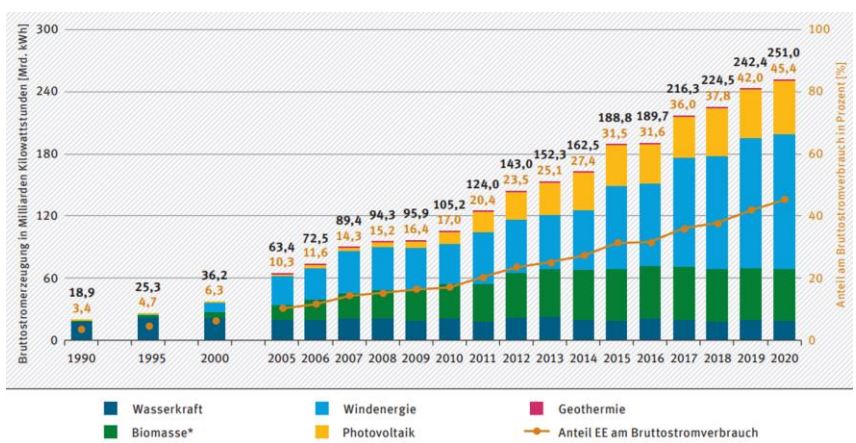


Abb. 2. Entwicklung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien in Deutschland [21]

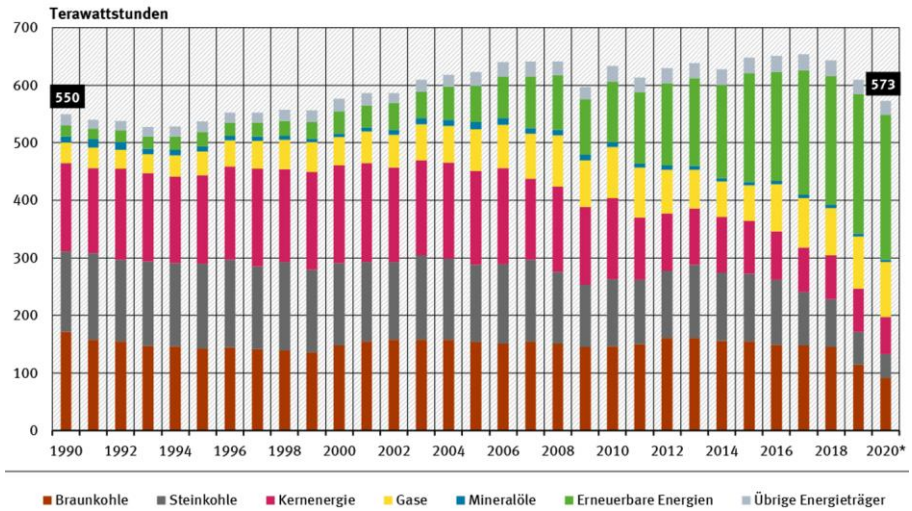


Abb. 3. Bruttostromerzeugung in Deutschland [24]

Generell ist der Anteil der erneuerbaren Energien in Deutschland über den 30-Jahres-Zeitraum (1990–2020) stetig gestiegen (Abb. 2). Die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien lag mit 251,0 Mrd. kWh um fast 4 % über dem Vorjahresniveau (242,4 Mrd. kWh). Den größten Anteil an der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen hat die Windenergie, während Biomasse und Wasserkraft in den letzten zehn Jahren mehr oder weniger konstant bezogen wurden. Die Stromerzeugung aus Photovoltaikanlagen hat sich in den letzten Jahren rasant entwickelt und wird bis 2020 um etwa 10 % auf 50,6 Mrd. kWh ansteigen (2019 – 46,4 Mrd. kWh).

Die energiepolitischen Ziele Deutschlands gehören zu den ehrgeizigsten der Welt: Bis 2050 sollen 80 % des Stroms aus erneuerbaren Energien stammen. Neben dem Ausstieg aus der Kernenergie wird dies durch den massiven Ausbau von Energiequellen wie Sonnen-, Wind- und Wasserkraft untermauert. Das Problem besteht darin, dass in Zeiten, in denen kein oder zu wenig Wind weht und die Sonne kaum scheint, die EE-Anlagen zu wenig Strom erzeugen können, um die deutsche Nachfrage zu decken. Daher wird die Sicherung der Verfügbarkeit von Strom aus wetterunabhängigen Quellen – wie Kohle – angestrebt. Wenn Deutschland seine ehrgeizigen Ziele erreichen will, sollte es gleichzeitig seine Kohlekraftwerke stilllegen. Die Chance, dieses Problem zu lösen, wird in einer geeigneten Speichertechnologie und dem Ausbau des Stromnetzes gesehen. Solange diese Lösungen nicht in ausreichendem Umfang umgesetzt werden, wird die Stromerzeugung in Deutschland weiterhin auf Kohle basieren (Abb. 3).

Dies sind jedoch nicht die einzigen Gründe, warum es in Deutschland Widerstand gegen den Ausstieg aus der Kohle als Energieträger gibt. Vor allem in strukturschwachen Regionen wie dem Lausitzer Braunkohlerevier ist der Steinkohlenbergbau oft der wichtigste Wirtschaftszweig. Die Menschen dort haben Angst, ihren Arbeitsplatz zu verlieren [22]. Die Landespolitiker sind auf ihrer Seite und wollen nicht, dass ihre Regionen dem Ruhrgebiet ähneln, wo die Kohlebergwerke vor Jahren geschlossen wurden und heute jeder zehnte Einwohner arbeitslos ist [23].

Das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) zielt darauf ab, einen gesetzlichen Anreiz für die Entwicklung erneuerbarer Energiequellen zu schaffen. Die erste Fassung wurde bereits im Jahr 2000 verabschiedet und 2014 von der Bundesregierung an die neuen Ziele der Energiewende angepasst. Seitdem hat es kleinere Anpassungen gegeben, aber die Grundidee ist die gleiche geblieben: Stromerzeuger, die Strom aus erneuerbaren Energiequellen produzieren, können bevorzugt Strom ins Netz einspeisen und erhalten eine feste, garantierte Vergütung [13]. Anfangs funktionierte die Idee jedoch nicht ganz: Die feste Vergütung bedeutete für die Netzbetreiber zusätzliche Kosten, die sie an ihre Stromverbraucher weitergaben. Auf dem Strommarkt erzielen die Netzbetreiber wegen der festen Vergütung für die Stromerzeuger oft nicht den Preis, den sie zahlen. Die Differenz wird aus dem EEG-Pool erstattet. Ca. 50 Prozent der Mittel werden von Unternehmen, ca. 33 Prozent von Haushalten und der Rest vor allem von öffentlichen Einrichtungen zu einem Satz von 6,5 ct/kWh bereitgestellt [25]. Dies führt dazu, dass die Finanzierung der Energiewende in Deutschland rund 25 Milliarden Euro pro Jahr kostet [26, 27].

Wie aus den Daten hervorgeht (Abb. 2), macht die Windenergie den größten Anteil an der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien aus. Gleichzeitig werden die Haupthindernisse für eine reibungslose Umsetzung der erneuerbaren Energien in Deutschland einerseits im Widerstand vieler Menschen gegen den Bau von Windkraftanlagen in unmittelbarer Nähe von Wohngebieten gesehen. Die Hoffnungen auf einen stärkeren Ausbau der Windenergie beruhen daher auf Projekten wie Offshore-Windparks, die weit von der Küste und damit von den Menschen entfernt sind [28, 29, 30].

Andererseits stellt die Strominfrastruktur in Deutschland immer noch ein ungelöstes Problem dar. Es gibt Offshore-Windparks in der Nord- und Ostsee, und die energieintensive Industrie befindet sich hauptsächlich im Süden des Landes. Neue Stromleitungen sind notwendig, um Süddeutschland schnell und effizient mit Strom zu versorgen. Solche Lösungen scheitern jedoch oft am Widerstand der Anwohner.

Selbst die etablierten Kabeltrassen von Norddeutschland nach Baden-Württemberg und Bayern wurden von Politikern in Frage gestellt, wobei der bayerische Ministerpräsident sogar vorschlug, die Trassen um sein Land herum zu bauen [31].

Neben der Erzeugung von Strom aus erneuerbaren Energien ist auch die Speicherung ein Thema. Ohne ein ausreichend entwickeltes Speichersystem muss derzeit der meiste Strom sofort geliefert und verbraucht werden, egal wie hoch die Nachfrage ist [32, 33].

Das Ziel, die Klimaneutralität in Deutschland zu erreichen, ist im Gesetz auf das Jahr 2045 festgelegt. Gleichzeitig werden im Programm Klimaschutz 2030 [34] sektorale und übergreifende Maßnahmen festgelegt, die zur Erreichung der Klimaschutzziele bis 2030 beitragen sollen. Das Programm sieht u.a. die Einführung eines nationalen Emissionshandels im Wärme- und Verkehrssektor sowie Entlastungen für Bürger und Unternehmen vor. Weitere Punkte, die für den Energiesektor genannt werden, sind [35]:

- Gesetz zur Erhaltung, Modernisierung und zum Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung (KWKG 2020 [36]), das auf die Weiterentwicklung und umfassende Modernisierung von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (KWK) abzielt, u.a. durch finanzielle Anreize für Investitionen (z.B. Zuschüsse und regelmäßige Ausschreibungen für innovative KWK-Systeme),
- Forschungsfinanzierung: Aufzeigen von Wegen zur Transformation des Energiesystems mit zertifizierten Labors,
- Energieeffizienzstrategie 2050 (EffSTRA) mit Effizienzmaßnahmen für den Zeitraum 2021–2030, darunter:
    - Gebäudeenergiegesetz (GEG) – ein Gesetz zur Energieeinsparung und zur Nutzung erneuerbarer Energien zum Heizen und Kühlen von Gebäuden, das u.a. die EU-Vorgaben für die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden vollständig umsetzt,
    - Investitionsprogramm für Energieeffizienz und Prozesswärme aus erneuerbaren Energien in der Wirtschaft,
    - Ausrichtung der Fernwärmenetze auf die Nutzung von erneuerbaren Energien und Abwärme,
- Erreichung von maximal 70 Mio. Tonnen CO_2-Emissionen ab 2030 im Bausektor (67 % Reduzierung gegenüber 1990) durch finanzielle Anreize (Finanzierung und CO_2-Bepreisung), verbesserte Regulierung und Zugang zu Informationen (Beratung und Öffentlichkeitsarbeit).

In Zukunft sollte Wasserstoff auch bei der Kombination von Sektoren eine größere Rolle spielen, wie in der nationalen Wasserstoffstrategie (2020) [37]

festgehalten. Das EEG sieht bereits eine Ermäßigung der EEG-Umlage für die Wasserstofferzeugung durch Elektrolyse vor, und grüner Wasserstoff ist vollständig von der Umlage befreit. Unter anderem wurde kürzlich (Juni 2021) das Gesetz über die Elektrizitäts- und Gasversorgung (Energiewirtschaftsgesetz, EnWG) geändert, um eine Rechtsgrundlage für den Aufbau einer regulierten Wasserstoffinfrastruktur zu schaffen.

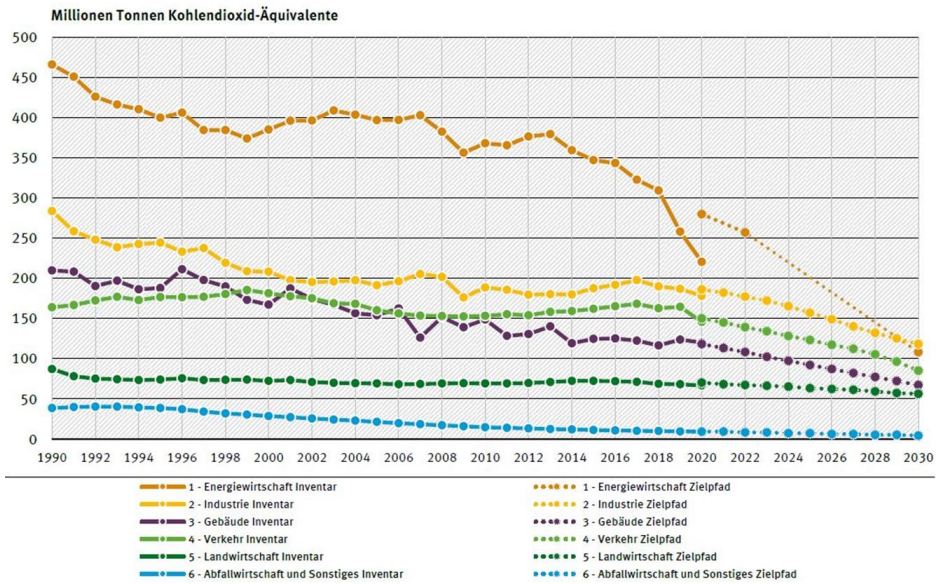


Abb. 4. Entwicklung und Zielpfad zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen in Deutschland [34]

Eine 2018 durchgeführte Umfrage unter 1.005 deutschen Befragten (Abb. 5) zeigt, dass die Öffentlichkeit sich der Problematik bewusst ist und die größten zukünftigen Hindernisse für die Umsetzung der Energiewende sieht:

- Kosten und Finanzierung der Energiewende (25 % der Angaben),
- politische Konflikte (19 % der Angaben),
- Probleme beim Netzausbau und fehlende Übertragungsleitungen (15 % der Angaben).

Regelungen auf Landesebene – Mecklenburg-Vorpommern

Mecklenburg-Vorpommern (M-V) setzt sich für die Energiewende ein. Es ist das erste Bundesland, das bereits zu 100 % mit erneuerbarer Energie versorgt werden kann.

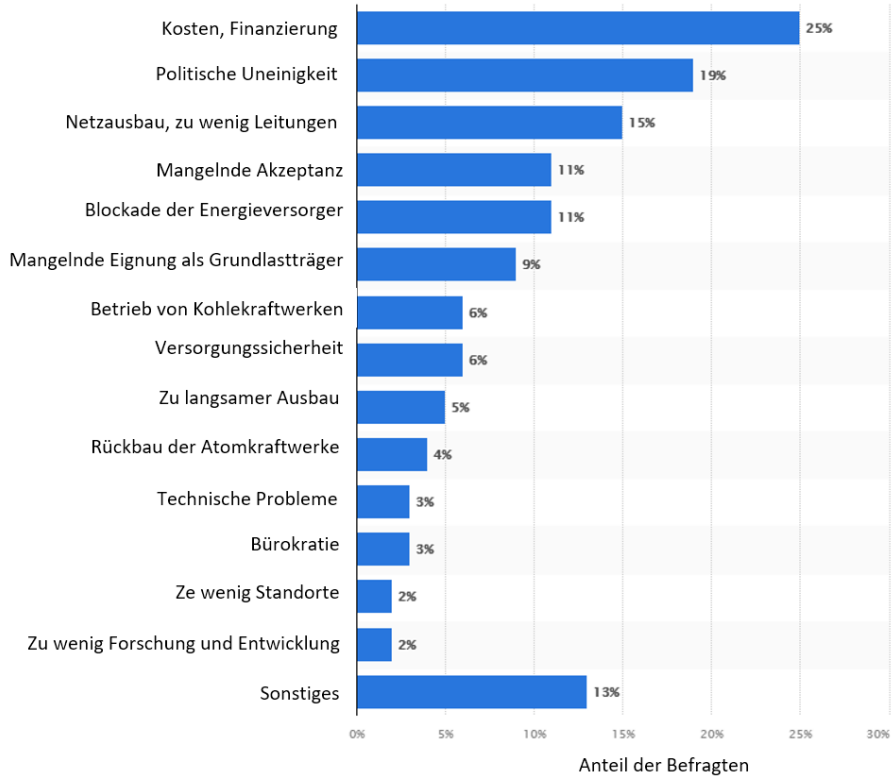


Abb. 5. Antworten der deutschen Befragten auf eine Umfrage zu den größten Problemen bei der Umsetzung der Energiewende in der Zukunft [38]

Das energiepolitische Konzept Mecklenburg-Vorpommerns [39] bildet nun die Grundlage der Energie- und Klimapolitik des Landes. Sie ist eingebettet in einen Rahmen von nationalen und europäischen Zielen und rechtlichen Anforderungen. Sie definiert die Ziele und Mittel zur Umsetzung der Energiewende, wobei die Beteiligung der Öffentlichkeit und die Ausrichtung der Energie- und Klimaschutzpolitik auf die Energiewende als gleichberechtigte Aufgabenbereiche identifiziert werden.

Grundsätzlich wird das Fazit gezogen, dass in Mecklenburg-Vorpommern die Energieversorgungsstrukturen im Hinblick auf die Erhöhung des Anteils der erneuerbaren Energien und die notwendige Speicherung von Energie aus diesen Quellen umstrukturiert werden müssen. Die Energieeffizienz steht ebenfalls im Mittelpunkt dieses Konzepts. Der Ausbau und die Sanierung von Strukturen erfordert die Beteiligung der Bevölkerung sowie die Anpassung von Vorschriften darüber, wo und in welcher Form Anlagen für erneuerbare Energien gebaut, genutzt und eingesetzt werden können.

Die wichtigsten Ziele des Klimakonzepts von Mecklenburg-Vorpommern [40] sind der Tabelle 1 zu entnehmen.

Mit Blick auf Biokraftstoffe der zweiten Generation, die auch Wasserstoff enthalten, hat sich Mecklenburg-Vorpommern 2019 mit vier anderen norddeutschen Bundesländern im Rahmen der *Norddeutschen Wasserstoffstrategie* [41] zusammengeschlossen. Die Strategie zeigt die Potenziale in den Bereichen Industrie und Mobilität, aber auch die Standortvorteile der windreichen Küstenstaaten für die Wasserstoffproduktion auf – sowohl durch die Nutzung der Windenergie als auch durch allgemein vorhandene erneuerbare Energiepotenziale und unterirdische Speichermöglichkeiten. Diese Aspekte führen dazu, dass in erster Linie Kapazitäten zur Umwandlung von Strom in Wasserstoff (Elektrolyse) auf- und ausgebaut werden sollen und damit auch die Speicherung von grünem Strom, der durch Sektorenkopplung auch für die Wärmeerzeugung zur Verfügung gestellt werden kann, ermöglicht werden soll. Die Strategie [41] sieht die Realisierung von Wasserstoffanlagen mit einer Leistung von mindestens 500 MW in Norddeutschland bis zum Jahr 2025 und in der Folgezeit bis 2030 eine Erhöhung der Kapazität dieser Anlagen auf mindestens 5 GW sowie den Aufbau eines ergänzenden Tankstellennetzes parallel zum Bau von Ladestationen für Elektrofahrzeuge vor. Es wurde davon ausgegangen, dass bis 2035 alle interessierten Kunden in der Lage sein sollten, ausreichend grünen Wasserstoff zu beziehen.

Auf Landesebene soll laut Koalitionsvertrag von 2021 die Klimaneutralität bis spätestens 2040 erreicht werden. Die entsprechenden Regelungen – insbesondere sektorale Einsparziele – sollen in einem breiten Dialog entwickelt werden und Eingang in das Landesklimaschutzgesetz finden [42]. In diesem Zusammenhang ist auch auf das 2019 im Auftrag des Ministeriums für Energie, Infrastruktur und Digitalisierung von Mecklenburg-Vorpommern veröffentlichte bedarfsgerechte Ladeinfrastrukturkonzept für E-Mobilität und Wasserstoff hinzuweisen: *Konzept für Mecklenburg-Vorpommern*. In seinen Empfehlungen zum Bedarf bestätigt das Dokument den notwendigen Ausbau der Infrastruktur und die Notwendigkeit, Standorte für neue Anlagen zu finden, und weist auf die Notwendigkeit hin, die Energieversorgung anzupassen. Theoretisch kann der bestehende Strombedarf für die Ladeinfrastruktur durch inländisch erzeugten Strom aus erneuerbaren Quellen gedeckt werden, in der Praxis ist dies jedoch aufgrund fehlender Speicherkapazitäten noch nicht möglich. Dank der Finanzierungs- und Informationsmöglichkeiten von Bund und Ländern wird bereits am Ausbau der Infrastruktur gearbeitet, um den Ladebedarf des öffentlichen und privaten Sektors für Elektrofahrzeuge zu decken und den öffentlichen Nahverkehr auf alternative Antriebstechnologien umzustellen.

Tab. 1. Ziele im Klimakonzept von Mecklenburg-Vorpommern [40]

	Feste Ziele
Akzeptanz und Beteiligung der Bürger	Erhöhung der Wertschöpfung in der Region durch die Beteiligung von Gemeinden und Bürgern
	Verbesserung der wirtschaftlichen Beteiligung
	Optimierung der formalen Beteiligung an Planungsprozessen und Genehmigungsverfahren
Energiemix	ausgewogener Energiemix mit Schwerpunkt auf erneuerbaren Energien
	Ausbau der erneuerbaren Energien ohne Vorrang, aber mit Schwerpunkt auf der Windenergie
	Laufende Abstimmung mit der Bundesregierung und anderen Bundesländern über Ausbauziele
	Synchronisierung des Ausbaus der erneuerbaren Energien und des Netzausbaus
	Anpassung des politischen, rechtlichen und finanziellen Rahmens zur Erhöhung des Anteils der erneuerbaren Energien an der Wärmeerzeugung
	kein weiterer Ausbau der Produktionskapazitäten für Biokraftstoffe der ersten Generation im Einklang mit dem Rechtsrahmen
Energieeffizienz	Energieeffizienz als strategisches Ziel für Unternehmen, Kommunen, öffentliche Einrichtungen und Bürger
	Ausbau und stärkere Kombination der bestehenden Instrumente zur Verbesserung der Energieeffizienz
	effektiver Einsatz von Energieberatern und -managern
	Steigerung der Energieeffizienz und Einsparungen im Transportsektor
	Förderung des Einsatzes von alternativen Antriebstechnologien und alternativen Kraftstoffen
	Stärkung des Bewusstseins für Energieeffizienz und Energiesparen in der Bevölkerung
Netze	Beschränkung des Netzausbaus auf das notwendige Maß
	Unterstützung der Netzentwicklungsplanung auf Grundlage des NEP und des O-NEP 2013, Umsetzung des Gleichstromkorridors D (NEP 2013) und der internationalen Netzverbindung mit Dänemark und Schweden
	Gewährleistung der System- und Versorgungssicherheit
	Kostensenkung

Tab. 1 (Fortsetzung)		
Unmittelbar umzusetzende und weiter zu verfolgende Ziele		
	Allgemeines	Förderung der beratenden Unterstützung von Gemeinden bei der Beteiligung an Systemen zur Nutzung erneuerbarer Energien
	Forschung, Entwicklung und Bildung	Stärkung der angewandten Grundlagen- und anwendungsorientierten Forschung und Entwicklung, insbesondere in den Bereichen Energiespeicherung, Netze, Wind- und Bioenergienutzung
		Beibehaltung verschiedener Standorte und Erweiterung der Ausbildungsmöglichkeiten im Bereich Energietechnik
Ziele, die bis zum Jahr 2020 erreicht werden sollen und danach fortgesetzt werden		
	Beteiligung der Bürger	Sondierung der Möglichkeiten für eine informelle Beteiligung
	Energiemix	Ausweitung der Nutzung erneuerbarer Energien für Heizzwecke von 8 % auf 14 %
		Forschung, Entwicklung und Bildung
		Förderung der Begleitforschung in den Bereichen Energieeffizienz, Geothermie, Energieversorgung und Geodaten
	Klimaschutz	Verringerung der Treibhausgasemissionen im Vergleich zu 1990 mit Hilfe des Programms „40Plus“
Bis 2025 zu erreichende Ziele		
	Energiemix	Bereitstellung von Erzeugungskapazitäten zur Deckung eines Anteils von 6,5 % des künftigen Stromverbrauchs in Deutschland
		Verwendung von Biokraftstoffen der zweiten Generation für Bioenergieerzeuger und die Biokraftstoffindustrie

Grundlage für die Raumplanung in diesem Gebiet ist das *Landesraumentwicklungsprogramm Mecklenburg-Vorpommern* (LEP M-V, 2016), das durch die Regionalen Raumentwicklungsprogramme (RREP) der vier Planungsregionen weiter unterstützt wird. Diese wiederum werden bei Bedarf in kommunalen Entwicklungsplänen festgelegt. LEP enthält verbindliche Ziele und Grundsätze der Landesplanung, die für das gesamte Land einschließlich des Küstenmeeres gelten. Ziel ist es, die unterschiedlichen räumlichen Anforderungen zum Schutz der natürlichen Grundlagen, der Siedlungsstruktur, des Verkehrs, der Wirtschaft, des Tourismus, der Land- und Forstwirtschaft, der Wasserwirtschaft und der Energie in Einklang zu bringen. Das LEP setzt zwar keine konkreten Ausbauziele zum Thema Energie, gibt aber einen rechtlich verbindlichen Rahmen für den Ausbau der erneuerbaren Ener-

gien und für Klimaschutzmaßnahmen vor, die dann in der Regionalplanung konkretisiert werden. So sieht das LEP beispielsweise die wirtschaftliche Beteiligung von Bürgern und Gemeinden im Einwirkungsbereich neu errichteter Windkraftanlagen vor. Das Gesetz über die Bürger- und Gemeindebeteiligung in Mecklenburg-Vorpommern enthält genaue Verfahrensregeln sowie grundsätzliche Vorgaben für lineare Infrastrukturen von räumlicher Bedeutung, wie Strom- und Gasleitungen. Sie ermittelt einen geeigneten Standort für die Entwicklung erneuerbarer Energien und versucht, den Ausbau von EE-Anlagen mit den Umweltanforderungen hinsichtlich der Treibhausgasemissionen in Einklang zu bringen.

Die landesweit geltenden Bestimmungen des LEP werden für das betreffende Gebiet durch das Regionale Raumentwicklungsprogramm (RREP) für Westpommern festgelegt. Das RREP enthält auch verbindliche Vorgaben, die das LEP ergänzen und somit spezifischer für die lokale Ebene sind. Die Entstehung des Projekts selbst erfolgt in der Regel durch kommunale Raumplanung.

Literaturverzeichnis

1. Brauch H.G., Energiepolitik. Technische Entwicklung, politische Strategien, Handlungskonzepte zu erneuerbaren Energien und zur rationellen Energienutzung, Springer, Berlin–Heidelberg 1997.
2. Engels J.I., Geschichte und Heimat: der Widerstand gegen das Kernkraftwerk Wyhl, [Im:] K. Kretschmer (Hg.), Wahrnehmung, Bewusstsein, Identifikation: Umweltprobleme und Umweltschutz als Triebfedern regionaler Entwicklung, Technische Universität Bergakademie, Freiberg 2003.
3. Midttun A., The greening of European electricity industry: a battle of modernities, „Energy Policy", 2012, 48, 22–35. DOI: 10.1016/j.enpol.2012.04.049.
4. Gesetz Über Die Einspeisung von Strom Aus Erneuerbaren Energien in Das Öffentliche Netz (Stromeinspeisungsgesetz). Bundesgesetzblatt Teil I 1990, 2633.
5. Redaktionsassistenz 1, U.B.A. Erneuerbare-Energien-Gesetz, https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/erneuerbare-energien-gesetz (27.06.2021).
6. Jacobsson S., Lauber V., The politics and policy of energy system transformation – explaining the German diffusion of renewable energy technology, „Energy Policy", 2006, 34, 256–276. DOI: 10.1016/j.enpol.2004.08.029.
7. Poizot P., Dolhem F., Clean Energy New Deal for a Sustainable World: From Non-CO_2 Generating Energy Sources to Greener Electrochemical Storage Devices, „Energy Environ. Sci.", 2011, 4, 2003–2019. DOI: 10.1039/C0EE00731E.
8. Energie, B. für W. und Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung, https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/E/energiekonzept-2010.html (30.06.2021).

9. Palzer A., Henning H.M., A comprehensive model for the German electricity and heat sector in a future energy system with a dominant contribution from renewable energy technologies – Part II: Results, „Renewable and Sustainable Energy Reviews", 2014, 30, 1019–1034. DOI: 10.1016/j.rser.2013.11.032.
10. Ausstieg aus der Kernkraft, https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/energiewende/energie-erzeugen/ausstieg-aus-der-kernkraft-394280 (2.05.2021).
11. Kernkraftwerke in Deutschland, https://www.bmu.de/themen/atomenergie-strahlenschutz/nukleare-sicherheit/aufsicht-ueber-kernkraftwerke/kernkraftwerke-in-deutschland/ (7.06.2021).
12. Energie, B. für W. und Gesetz für den Ausbau erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz – EEG 2014), https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/G/gesetz-fuer-den-ausbau-erneuerbarer-energien.html (27.06.2021).
13. Norddeutsche Wasserstoffstrategie (2019) https://www.regierung-mv.de/static/Regierungsportal/Ministerium%20f%C3%BCr%20Energie%2c%20Infrastruktur%20und%20Digitalisierung/Inhalte/norddt%20H2-Strategie%20final.pdf (21.12.2021)
14. Energie, B. für W. und Achter Monitoring-Bericht "Die Energie der Zukunft", https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/achter-monitoring-bericht-energie-der-zukunft.html (27.06.2021).
15. Energie, B. für W. und Stellungnahme zum achten Monitoring-Bericht der Bundesregierung für die Berichtsjahre 2018 und 2019, https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/S-T/stellungnahme-der-expertenkommission-zum-achten-monitoring-bericht.html (27.06.2021).
16. Cheung G., Davies P.J., Bassen A., In the Transition of Energy Systems: What Lessons Can Be Learnt from the German Achievement?, „Energy Policy", 2019, 132, 633–646. DOI: 10.1016/j.enpol.2019.05.056.
17. Umweltbundesamt, https://www.umweltbundesamt.de/presse/praesseinformationen/geschaeftsstelle-der-arbeitsgruppe-erneuerbare (28.06.2021).
18. Startseite – Statistisches Bundesamt, https://www.destatis.de/DE/Home/_inhalt.html (28.06.2021).
19. Schuberth J., Monats- und Quartalsdaten der AGEE-Stat, https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/erneuerbare-energien-in-zahlen/monats-quartalsdaten-der-agee-stat (28.06.2021).
20. Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik, https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Navigation/DE/Service/Erneuerbare_Energien_in_Zahlen/Arbeitsgruppe/arbeitsgruppe_ee.html (27.06.2021).
21. Tonkin N.Q., Erneuerbare Energien in Deutschland. 2021, 28.
22. Ein Widerspenstiges Dorf – Eine Woche Im Lausitzer Braunkohlerevier – Windwärts, https://www.windwaerts.de/de/infothek/geschichten/lausitzer-braunkohlerevier-2 (30.06.2021).
23. Ruhr R., Arbeitslosenquote in der Metropole Ruhr sinkt auf 9,9 Prozent, https://www.rvr.ruhr/daten-digitales/regionalstatistik/news-detail-regionalstatistik/news/arbeitslosenquote-in-der-metropole-ruhr-sinkt-im-maerz-auf-102-prozent/ (30.06.2021).

24. Wilke S. Erneuerbare und konventionelle Stromerzeugung, https://www.umwelt-bundesamt.de/daten/energie/erneuerbare-konventionelle-stromerzeugung (30.06.2021).
25. Publisher EEG-Umlage sinkt 2021, https://www.bmwi-energiewende.de/EWD/Redaktion/Newsletter/2020/11/Meldung/News1.html (30.06.2021).
26. Energiewende: Umlage weit höher als gedacht: Die EEG ist eine tickende Zeitbombe, https://www.handelsblatt.com/politik/deutschland/energiewende-umlage-weit-hoeher-als-gedacht-die-eeg-ist-eine-tickende-zeit-bombe/25882864.html (30.06.2021).
27. Kosten Und Finanzierung Der Energiewende.; Schriftenreihe des Kuratoriums; Forum für Zukunftsenergien e. V.: Berlin, 2018; Vol. Band 11.
28. Bittlingmaier, A. Engen: Protest gegen geplante Hegauer Windkraft-Anlagen: Bürgerinitiative sieht Natur und Tiere gefährdet, https://www.suedkurier.de/region/kreis-konstanz/engen/protest-gegen-geplante-windkraft-anlagen-bei-engen-und-tengen-buergerinitiative-sieht-natur-und-tiere-gefaehrdet;art372438,10766358 (30.06.2021).
29. Wie der Streit über Windräder die Energiewende bremst, https://www.tagesspiegel.de/themen/reportage/wenn-buerger-gegen-windraeder-klagen-wie-der-streit-ueber-windraeder-die-energiewende-bremst/25622614.html (30.06.2021).
30. Medienhaus, M. Protest Windkraft: Demonstration gegen geplante Riesen-Windräder bei Protzen, https://www.moz.de/lokales/neuruppin/protest-windkraft-demonstration-gegen-geplante-riesen-windraeder-bei-protzen-57274165.html (30.06. 2021).
31. Vitzthum T. Energie-Gipfel: Horst Seehofer Feiert Sieg Bei Stromtrassen. WELT 2015.
32. Kai Michels Energiespeicher und andere Probleme der Energiewende.; Universität Bremen, 2019.
33. Knosala K., Zier M., Linssen J., Robinius M., Stolten D., Gottke V., Rosenthal M., Velten A., Weber M., Schäfer F., Energiespeicher. BWK Energ.-Fachmag. 2020, 72, 34–47. DOI: 10.37544/1618-193X-2020-08-09-34.
34. https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Pools/Broschueren/klimaschutzprogramm_2030_bf.pdf (17.12.2021).
35. https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Artikel/Industrie/klimaschutzprogramm-2030.html (17.12.2021).
36. https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Artikel/Energie/moderne-kraftwerkstechnologien.html (20.12.2021).
37. Erwartete Probleme bei der Umsetzung der Energiewende in Deutschland 2018, https://de.statista.com/statistik/daten/studie/861110/umfrage/umfrage-zu-problemen-bei-der-umsetzung-der-energiewende/ (20.04.2021).
38. https://www.regierung-mv.de/Landesregierung/em/Energie/Landesenergiekonzept/ (22.12.2021).
39. Landesregierung Mecklenburg-Vorpommern (2015), s. 66–68.

40. Norddeutsche Wasserstoffstrategie (2019) https://www.regierung-mv.de/static/Regierungsportal/Ministerium%20f%C3%BCr%20Energie%2c%20Infrastruktur%20und %20Digitalisierung/Inhalte/norddt%20H2-Strategie%20final.pdf (21.12.2021).
41. Vgl Ziffer 178 KoaV.
42. vgl. bofest consult (2016): Integriertes Energie- und Klimaschutzkonzept für den Landkreis Vorpommern-Greifswald, im Auftrag des Landkreises Vorpommern Greifswald, verfügbar unter: https://www.kreis-vg.de/Landkreis/Klimaschutzkonzept/Ergebnisbericht.php?object=tx,2164.4280.1&redir=1 (23.12.2021).

Luftreinhalteprogramm mit einem kurzfristigen Aktionsplan für die westpommersche Zone Energiewende im polnischen Recht

Karolina Kurtz-Orecka, Anna Głowacka
Westpommersche Technische Universität Stettin

Die Energiepolitik der Europäischen Union mit ihrer langfristigen Vision, bis 2050 Klimaneutralität zu erreichen, und die Regulierungsmechanismen, die das Erreichen von Ergebnissen in den kommenden Jahrzehnten fördern, haben einen erheblichen Einfluss auf die Gestaltung der polnischen Energiestrategie [1]. Die Grundsätze der Energiepolitik in Polen werden durch das *Energiegesetz* [2], die *Strategie für eine verantwortungsvolle Entwicklung bis 2020 (mit einem Ausblick bis 2030)* [3], die *Energiepolitik Polens bis 204*0 [1] und den *Nationalen Energie- und Klimaplan für 2021–2030* [4] geregelt und durch weitere Gesetze, ihre Durchführungsbestimmungen, Programme und Strategien, darunter die *Ökologische Politik des Staates 2030 – eine Entwicklungsstrategie im Bereich Umwelt und Wasserwirtschaft* ergänzt. Die wichtigsten Grundannahmen der *Energiepolitik Polens bis 2040* sind der Abbildung 1 zu entnehmen.

Die grundlegende Annahme des *Energiegesetzes* [2] ist die Schaffung von Rahmenbedingungen für eine nachhaltige Entwicklung des Landes durch die Gewährleistung der Energiesicherheit und die Ermöglichung eines wirtschaftlichen und rationellen Umgangs mit Brennstoffen und Energie unter Berücksichtigung der Erfordernisse des Umweltschutzes und der Verpflichtungen aus internationalen Abkommen. Das Gesetz legt die Bedingungen für die Lieferung und Nutzung von Brennstoffen und Energie, einschließlich Wärme, fest, regelt die Tätigkeit von Energieunternehmen und wirkt den negativen Auswirkungen von natürlichen Monopolen entgegen. Es hat die Aufgabe, die Interessen der Energieunternehmen und der Brennstoff- und Energieverbraucher auszugleichen. In dem Gesetz werden auch die für das Brennstoff- und Energiebelange zuständigen Behörden genannt.

Infolge der Umsetzung von EU-Rechtsvorschriften – der Richtlinie zur Begrenzung der Emissionen bestimmter Schadstoffe aus mittelgroßen Feuerungsanlagen in die Luft [5] und der Richtlinie über Industrieemissionen [6] – wurden die nationalen Vorschriften für Wärmequellen verschärft, um sie mit den Gemeinschaftsanforderungen in Einklang zu bringen.

Abb. 1. Kernannahmen der *polnischen Energiepolitik bis 2040* [1]

Es wurden neue Emissionsgrenzwerte eingeführt, die ab dem 18. August 2021 gelten. In Bezug auf die Begrenzung der Emissionen aus mittelgroßen Feuerungsanlagen [5] sind die neuen Standards in Polen bereits seit dem 20. Dezember 2018 in Kraft, während für bestehende Quellen zwei Schwellenwerte für die Einhaltung der neuen Vorschriften eingeführt wurden, nämlich 2025 – für Quellen mit einer Nennleistung von mehr als 5 MW und 2030 – für Quellen mit einer Nennleistung im Bereich von 1 bis 5 MW. Die Anpassung der Quellen an die strengeren Emissionsnormen zielt darauf ab, diese zu modernisieren.

Das Gesetz über erneuerbare Energiequellen [7] legt die Grundsätze und Bedingungen für die Erzeugung von Energie aus erneuerbaren Quellen, die Mechanismen und Instrumente zur Unterstützung dieser Aktivitäten, die Regeln für die Ausstellung von Herkunftsnachweisen für Energie aus erneuerbaren Quellen sowie die Leitlinien für die Umsetzung des nationalen Aktionsplans für erneuerbare Energien, die Bedingungen und das Verfahren für die Zertifizierung von Installateuren und die Regeln für die internationale Zusammenarbeit in diesem Bereich fest. In Bezug auf die Windenergie gilt ergänzend das Windkraft-Investitionsgesetz [8]. Dieses Gesetz legt das Verfahren und die Bedingungen für die Errichtung von Windkraftanlagen in der Nähe von bestehenden oder geplanten Wohngebäuden sowie den zulässigen Mindestabstand zwischen Windkraftanlagen und Wohngebäuden fest. Dieses Gesetz besagt, dass dieser Abstand mindestens das Zehnfache der Gesamthöhe der Windkraftanlage (einschließlich Rotor und Flügel) betragen muss. Windkraftanlagen in Meeresgebieten sind von dem Gesetz ausgenommen.

Die Qualität der Bebauung hat einen wichtigen Einfluss auf die Entwicklung des Heiz-/Kühlleistungsbedarfs und des Wärmeenergieverbrauchs. Aspekte der Gesamtenergieeffizienz von neuen und renovierten Gebäuden werden durch das Baugesetz [9] und seine Durchführungsbestimmungen geregelt. In Polen gilt für neu errichtete Gebäude ab Ende 2020 der Niedrigstenergiestandard (nZEB). Er wird durch die in den technischen und baurechtlichen Vorschriften [10] festgelegten Anforderungen beschrieben, wobei der nZEB-Standard für Gebäude, die von der öffentlichen Hand genutzt werden und sich in ihrem Besitz befinden, bereits ab Anfang 2019 in Kraft ist.

Im Falle des Gebäudebestands wird auf die Notwendigkeit hingewiesen, den Prozess der thermischen Modernisierung zu intensivieren, um die geplanten Energieeinsparungen im Gebäudesektor zu erreichen. Unterstützt werden die Maßnahmen in diesem Bereich durch das ab Anfang 2021 entstehende Zent-

rale Emissionsregister für Gebäude (CEEB), das 2020 durch eine Novelle des Gesetzes zur Förderung der energetischen Modernisierung und Sanierung [11] eingeführt wurde. Das Register, das vom für das Bauwesen zuständigen Minister geführt wird, sammelt Daten über Gebäude und Räumlichkeiten in Bezug auf:

- Quellen für Wärme, Elektrizität und Kraftstoffverbrennung,
- Inspektionen, die sich aus der Anwendung anderer Gesetze ergeben [9, 12–17],
- übertragene Wärmemodernisierungs-, Renovierungsprämie, Steuergutschrift für Wärmemodernisierung, Finanzierung oder Subventionen aus öffentlichen Mitteln und andere Leistungen zur Deckung des Energiebedarfs [2, 18, 19],
- Daten von Personen, die berechtigt sind, Daten und Informationen in CEEB einzugeben; Daten von Gebäude- und Wohnlokaleigentümern und Gebäudeverwaltern.

Die Einrichtung einer Datenbank für das Emissionsinventar von Gebäuden wird die Anwendung einer einheitlichen Methodik für das Inventar von Wärmequellen, Stromquellen und Brennstoffverbrennungsquellen mit einer Nennleistung von weniger als 1 MWt (Quellen mit so genannten geringen Emissionen) sowie ein Inventar der Menge und Art des in diesen Quellen verbrannten Brennstoffs ermöglichen.

Rechtsvorschriften zur Biomasse

Die älteste und am weitesten verbreitete erneuerbare Energiequelle in Polen ist heute die Biomasse. Biomasse ist die gesamte organische Materie, die auf der Erde existiert. Dies sind alle biologisch abbaubaren Stoffe pflanzlichen und tierischen Ursprungs. Biomasse als Energiequelle wird seit Beginn der Menschheit genutzt. Holz, Reisig und Stroh werden seit Jahrhunderten als Brennholz genutzt. Gegenwärtig basiert die energetische Nutzung von Biomasse hauptsächlich auf der Gewinnung von Materialien aus Energiepflanzen und der Verwendung von kommunalen, industriellen und landwirtschaftlichen Abfällen. Gemäß dem Gesetz über erneuerbare Energiequellen (2022), Art. 2 Ziff. 3, wird Biomasse verstanden als: „der biologisch abbaubare Teil von Erzeugnissen, Abfällen oder Rückständen biologischen Ursprungs aus der Landwirtschaft, einschließlich pflanzlicher und tierischer Stoffe, der Forstwirtschaft und verwandter Industriezweige, einschließlich Fischerei und Aquakultur, sowie verarbeitete Biomasse, insbesondere in Form von Briketts, Pellets und Biokohle, sowie der biologisch abbaubare Anteil von industriellen oder kommunalen Abfällen pflanzlichen oder tierischen Ursprungs, einschließlich

Abfällen aus Abfallbehandlungsanlagen und Abfällen aus der Wasser- und Abwasserbehandlung, insbesondere Klärschlamm, in Übereinstimmung mit den abfallrechtlichen Vorschriften über die Förderfähigkeit des Anteils der aus der thermischen Behandlung von Abfällen gewonnenen Energie". Und als landwirtschaftliche Biomasse „Biomasse, die aus Energiepflanzen gewonnen wird sowie Abfälle oder Rückstände aus der landwirtschaftlichen Produktion und der Industrie, die deren Produkte verarbeitet" [20].

In Art. 2 des Gesetzes [20] wurden auch folgende Begriffe verwendet:

1. Biogas – Gas, das aus Biomasse gewonnen wird, insbesondere aus Anlagen zur Verarbeitung tierischer oder pflanzlicher Abfälle, Kläranlagen und Deponien.
2. Landwirtschaftliches Biogas – Gas, das aus der Methangärung von landwirtschaftlichen Rohstoffen, landwirtschaftlichen Nebenprodukten, flüssigen oder festen tierischen Ausscheidungen, Nebenprodukten, Abfällen oder Rückständen aus der Verarbeitung von land- oder forstwirtschaftlichen Erzeugnissen oder pflanzlicher Biomasse gewonnen wird, die auf nicht als land- oder forstwirtschaftlich erfassten Flächen geerntet wurde, mit Ausnahme von Biogas, das aus Rohstoffen von Deponien gewonnen wird, und Kläranlagen, einschließlich betriebseigener Kläranlagen aus der Agrar- und Lebensmittelverarbeitung, in denen keine Trennung von Industrieabwässern und anderen Arten von Schlämmen und Abwässern vorgenommen wird.
3. Bioflüssigkeiten – flüssige Brennstoffe für andere Energiezwecke als Transport, einschließlich der Erzeugung von Elektrizität oder Wärme, die aus Biomasse hergestellt werden und in Anlagen verwendet werden, die die Emissionsnormen erfüllen, sofern diese Normen in den Umweltvorschriften festgelegt sind.

   3a. Biokohle – ein hochenergetischer fester Brennstoff mit einem Heizwert von mindestens 21 GJ/t, der durch die thermische Verarbeitung fester, biologisch abbaubarer Stoffe pflanzlichen oder tierischen Ursprungs hergestellt wird, stammend von:

   a) Erzeugnissen, Abfällen und Rückständen aus der land- und forstwirtschaftlichen Produktion und der sie verarbeitenden Industrie,
   b) biologisch abbaubaren Teilen von Abfällen mit Ausnahme der unter Buchstabe a) genannten, jedoch mit Ausnahme von Abfällen aus Abfallbehandlungsanlagen und Abfällen aus der Wasser- und Abwasserbehandlung im Sinne der Abfallgesetzgebung – wobei das Verfahren bei einer Temperatur von 320–700 °C in

einer anaeroben Atmosphäre oder unter erheblichem Sauerstoffmangel und nahezu atmosphärischem Druck ohne Verwendung von Katalysatoren und Fremdstoffen durchgeführt wird.

In Polen wird die Biomasse durch die folgenden Rechtsakte geregelt (Stand zum 30.06.2022):

- Gesetz vom 13. Juni 2019 zur Änderung des Gesetzes zur Änderung des Verbrauchssteuergesetzes und einiger anderer Gesetze, des Energieeffizienzgesetzes und des Gesetzes über Biokomponenten und flüssige Biokraftstoffe (pol. GBl.2019.1210),
- Gesetz vom 30. Juni 2022 über erneuerbare Energiequellen (pol. GBl.2022.1378),
- Gesetz vom 25. August 2006 über Biokraftstoffe und flüssige Biokomponenten (pol. GBl.2021.1565),
- Gesetz vom 25. August 2006 über das System zur Überwachung und Kontrolle der Qualität von Kraftstoffen (pol. GBl.2021.1642),
- Energiegesetz vom 10. April 1997 (pol. GBl. 2022.631),
- Verordnung des Energieministers vom 3. Juni 2019 über die Vorlage des vierteljährlichen Berichts der Einrichtung, die das nationale Richtziel in Bezug auf flüssige Kraftstoffe, flüssige Biokraftstoffe und andere erneuerbare Kraftstoffe umsetzt (pol. GBl. 2019.1113),
- Verordnung des Energieministers vom 14. Oktober 2016 über Methoden zur Prüfung der Qualität von flüssigen Biokraftstoffen (pol. GBl. 2016.1802),
- d Verordnung des Ministers für Klima und Umwelt vom 9. August 2021 über die Qualitätsanforderungen für Biokomponenten, die Methoden zur Prüfung der Qualität von Biokomponenten und die Methode der Probenahme von Biokomponenten (pol. GBl. 2021.1707),
- Verordnung des Ministers für Klima und Umwelt vom 19. März 2021 über Abfalldeponien (pol. GBl. 2021.673).

Gemäß Artikel 194 Absatz 1 des Vertrags über die Arbeitsweise der Europäischen Union (AEUV) besteht eines der Ziele der EU-Energiepolitik in der Förderung erneuerbarer Energieformen.

Regelungen auf regionaler Ebene

Die Energie- und Umweltpolitik der Woiwodschaft Westpommern wird auf der Grundlage ihrer Verankerung in regionalen Dokumenten, Plänen und Programmen umgesetzt, von denen die folgenden zu den Wichtigsten zählen:

- Entwicklungsstrategie für die Woiwodschaft Westpommern bis 2030 [21],
- Energiepolitik für die Woiwodschaft Westpommern,
- Raumbewirtschaftungsplan für die Woiwodschaft Westpommern,
- Regionales Operationelles Programm der Woiwodschaft Westpommern für die Jahre 2014–2020,
- Programm für die Entwicklung des Energiesektors in der Woiwodschaft Westpommern bis 2015 mit Prognoseteil bis 2030,
- Luftreinhalteprogramm mit einem kurzfristigen Aktionsplan für die westpommersche Zone,
- Programm für den Umweltschutz in der Woiwodschaft Westpommern 2016–2020 mit Ausblick bis 2024,
- Integrierter Plan für ein emissionsarmes Wirtschaften im Großraum Stettin,
- Beschluss Nr. XXXV/540/18 des Sejmik der Woiwodschaft Westpommern vom 26. September 2018 über die Einführung von Einschränkungen und Verboten für den Betrieb von Anlagen, in denen Brennstoffe verbrannt werden, auf dem Gebiet der Woiwodschaft Westpommern [22],
- Entwicklungsstrategie für die Metropolregion Stettin (für die Jahre 2014–2020),
- Entwicklungskonzept für die grenzüberschreitende Metropolregion Stettin.

Das Spektrum der durchgeführten Aktivitäten umfasst:

- Verbesserung der Umwelt und der Lebensqualität der Einwohner durch Verringerung der negativen Auswirkungen der Umweltverschmutzung, Schutz und Entwicklung der Umweltqualitäten und rationelle Bewirtschaftung ihrer Ressourcen,
- emissionsarme Wirtschaft, einschließlich der Einführung von Beschränkungen und des Ausschlusses veralteter Energieträger und eines Verbots der Verbrennung ausgewählter fester Brennstoffe sowie der Entwicklung von Kraft-Wärme-Kopplungsquellen,
- Verbesserung der Energiesicherheit und -effizienz, Verbesserung des technischen Zustands der Energieinfrastruktur und Erhöhung des Potenzials des Energienetzes zur Aufnahme von Energie aus erneuerbaren Quellen,
- Nutzung des Potenzials der Woiwodschaft für die Entwicklung der erneuerbaren Energien, Erhöhung des Marktanteils der erneuerbaren Energien, Entwicklung einer Modellregion für die Nutzung erneuerbarer Energien,
- Thermomodernisierung des Gebäudebestands,
- multimodaler und nachhaltiger Transport.

Im Rahmen der angenommenen *Strategie für die Entwicklung der Woiwodschaft Westpommern bis zum Jahr 2030* [21] verfolgt die Woiwodschaft die Vision einer grünen Modellregion und die Mission *Westpommern – führend in blauem und grünem Wachstum, das eine hohe Lebensqualität für seine Einwohner gewährleistet*. Unter den horizontalen Indikatoren für die Umsetzung der Strategie sind zwei besondere hervorzuheben und zwar:

- Prozentsatz der Einwohner, die nicht direkt einer überdurchschnittlichen Schadstoffkonzentration ausgesetzt sind (BaP), mit einem Ausgangswert (2017) von 56,1 % und einem prognostizierten Anstieg auf 80 % im Jahr 2030,
- Anteil der erneuerbaren Energien an der gesamten Stromerzeugung mit einem Basiswert (2017) von 47,8 % und einem angenommenen Anstieg auf 60 % im Jahr 2030.

In den letzten Jahren wurden in der Region mehr als 1 500 Umweltprojekte durchgeführt, die auf die Entwicklung einer emissionsarmen Wirtschaft, Investitionen in einen nachhaltigen Verkehr oder die Verbesserung der Energiequalität des Gebäudebestands abzielen. Umweltfragen bildeten auch den Hintergrund für die Ausrufung des Jahres 2021 zum Jahr der Ökologie in Westpommern durch die Woiwodschaftsversammlung von Westpommern [23], die unter anderem die Entwicklung eines regionalen Umweltschutzprogramms bis 2030 vorsah.

Die Anti-Smog-Resolution für die Woiwodschaft Westpommern wurde im Jahr 2018 verabschiedet [22]. Sie zielt darauf ab, niedrige Emissionen zu reduzieren, die hauptsächlich aus dem kommunalen Sektor und den Haushalten stammen. Der Beschluss enthält Vorschriften über die zulässige Effizienz von Wärmequellen (Heizkessel für feste Brennstoffe und Raumheizungen, d. h. Kamine oder Kachelöfen) sowie Beschränkungen (ab 1. Mai 2019) für die Verwendung ausgewählter fester Brennstoffe, die die Qualitätsanforderungen des Systems zur Überwachung und Kontrolle der Brennstoffqualität nicht erfüllen [24]. Gemäß den Bestimmungen des Beschlusses wurden die Umweltanforderungen für Anlagen in zwei Zeitstufen eingeführt, nämlich:

- Ab dem 1. Januar 2024 ist es verboten, auf dem Gebiet der Woiwodschaft Westpommern Anlagen zu betreiben, die die in der polnischen Norm PN-EN 303-5 [25] für Anlagen der Klassen 3 oder 4 festgelegten Anforderungen an den thermischen Wirkungsgrad und die Schadstoffemissionen nicht erfüllen,
- Ab dem 1. Januar 2028 ist es verboten, in der Woiwodschaft Westpommern Anlagen zu verwenden, die derzeit die Anforderungen der Norm für Anlagen der Klassen 3 oder 4 erfüllen.

So dürfen ab 2028 in der Woiwodschaft, zu der auch das polnische MoRE-Projektgebiet gehört, von den Festbrennstoffkesseln (einschließlich Raumheizungen) mit einer Nennleistung von weniger als 1 MW nur noch solche betrieben werden, die in Bezug auf den thermischen Wirkungsgrad und die Schadstoffemissionen der Klasse 5 oder höher entsprechen. Diese Beschränkung gilt gleichermaßen für die Einwohner der Woiwodschaft Westpommern (einzelne Quellenbesitzer), die lokalen Behörden und die in diesem Gebiet tätigen Einrichtungen.

Die Antismog-Resolution ist in der Woiwodschaft Westpommern seit zwei Jahren in Kraft, und der Prozess der Verbesserung der Luftqualität wird durch die Bestimmungen aufeinander folgender Programmdokumente unterstützt, d. h. die so genannten Luftreinhalteprogramme, die zwingend ausgearbeitet und verabschiedet werden müssen, wenn in der Woiwodschaft eine Überschreitung der Luftqualitätsnormen festgestellt wird. Die laufenden Programme konzentrieren sich vor allem auf die Beteiligung lokaler Behörden an der Umsetzung von Maßnahmen zur Verringerung der Emissionen aus Anlagen mit einer kleinen Kapazität von weniger als 1 MW, in denen feste Brennstoffe verbrannt werden, indem die Nachfrage nach Wärmeenergie im Rahmen der thermischen Modernisierung von Gebäuden und des Ersatzes bestehender ineffizienter Wärmequellen verringert wird. Die hohen Kosten der durchgeführten Arbeiten sind ein häufiges Hindernis für diese Aufgabe, so dass es unerlässlich war, dass sich die Regionalverwaltung der Woiwodschaft an der Durchführung dieser Maßnahmen beteiligt. 2019 verhandelte die Woiwodschaft Westpommern mit der Europäischen Kommission über die Möglichkeit, den Austausch von Wärmequellen und die Thermomodernisierung von Wohngebäuden natürlicher Personen zu subventionieren. Dies ermöglichte die Umsetzung eines lokalen Regierungsprogramms mit dem Titel Verbesserung der Luftqualität – *Westpommersches Anti-Smog-Programm* [6], das im Zeitraum 2014–2020 durchgeführt wird.

Regelungen auf Gemeindeebene

Innerhalb des MoRE-Projektgebiets befinden sich auf polnischer Seite die Gemeinden Swinemünde, Dziwnów, Międzyzdroje und Wollin. Die Planungs- und Strategieunterlagen in allen vier Gemeinden umfassen drei Hauptelemente des Kommunalrechts, nämlich:

- Entwicklungsstrategie für die Gemeinde,
- Studie über die Rahmenbedingungen und Perspektiven der Raumbewirtschaftung für die Gemeinde,
- Plan für ein emissionsarmes Wirtschaften, ein strategisches Dokument,

dessen Hauptziel darin besteht, eine Strategie zur Verringerung der Schadstoffemissionen zu entwickeln.

Zwei der Gemeinden, Międzyzdroje und Swinemünde, haben einen lokalen Bebauungsplan aufgestellt. Die Gemeinde Swinemünde hat darüber hinaus den *Entwurf des Plans für die Versorgung mit Wärme, Elektrizität und Gasbrennstoffen* (2020) ausgearbeitet, während Dziwnów das *Umweltschutzprogramm für die Stadt und Gemeinde Dziwnów für den Zeitraum 2009–2012 mit einem Ausblick auf 2013–2016* entwickelt hat.

Es ist anzumerken, dass der Umfang, in dem Energie- und Umweltfragen in den angegebenen Dokumenten des Kommunalrechts enthalten sind, von Gemeinde zu Gemeinde sehr unterschiedlich ist. Die Notwendigkeit der Energiewende wird am ausführlichsten in den Dokumenten der Gemeinde Międzyzdroje beschrieben, in denen Elemente der lokalen Politik wie die Notwendigkeit der Umwelterziehung, die Entwicklung einer modernen kommunalen Wirtschaft, die verstärkte Nutzung erneuerbarer Energiequellen und die Erhöhung der Kapazität von erneuerbaren Energieanlagen, die Nutzung des Potenzials geothermischer Vorkommen mit Angabe des ursprünglichen Standorts der Quellen oder die Steigerung der Energieeffizienz von Gebäuden genannt werden.

Im Fall der Gemeinde Swinemünde wird in der Entwicklungsstrategie der Gemeinde die Möglichkeit einer verstärkten Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen nicht erwähnt, während im *Raumordnungsplan der Gemeinde* lediglich darauf hingewiesen wird, dass die Realisierung von Windkraftanlagen aufgrund von Einschränkungen natürlicher und landschaftlicher Art nicht möglich ist. Eine ähnliche Einschränkung wurde für die Gemeinde Dziwnów im Rahmen der kommunalen Entwicklungsstrategie festgelegt.

Literaturverzeichnis

1. Polityka energetyczna Polski do 2040 r. Załącznik do uchwały nr 22/2021 Rady Ministrów z dnia 2 lutego 2021 r. Ministerstwo Klimatu i Środowiska, Warszawa 2021.
2. Ustawa z dnia 10 kwietnia 1997 r. – Prawo energetyczne, Dz.U.1997.54.348 ze zmianami.
3. Strategia na rzecz Odpowiedzialnego Rozwoju do 2020 r. (z perspektywą do 2030 r.), Ministerstwo Rozwoju, Departament Strategii Rozwoju, Warszawa 2017.
4. Krajowy plan na rzecz energii i klimatu na lata 2021–2030 – Założenia i cele oraz polityki i działania. Ministerstwo Aktywów Państwowych, Warszawa 2019.
5. Richtlinie 2010/75/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 24. November 2010 über Industrieemissionen (integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung) (Neufassung), Amtsblatt der Europäischen Union 17.12.2010.

6. Richtlinie 2010/31/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. Mai 2010 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden.
7. Ustawa z dnia 20 lutego 2015 r. o odnawialnych źródłach energii. Dz.U.2015.0.261 ze zmianami.
8. Ustawa z dnia 20 maja 2016 r. o inwestycjach w zakresie elektrowni wiatrowych. Dz.U.2016.0.961 ze zmianami.
9. Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. – Prawo budowlane. Dz.U.1994.89.414 ze zmianami.
10. Rozporządzanie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, Dz.U.2002.75.690 ze zmianami.
11. Ustawa z dnia 28 października 2020 r. o zmianie ustawy o wspieraniu termomodernizacji i remontów oraz niektórych innych ustaw, Dz.U.2020.0.2127.
12. Ustawa z dnia 24 sierpnia 1991 r. o ochronie przeciwpożarowej, Dz.U.1991.81.351 ze zmianami.
13. Ustawa z dnia 24 sierpnia 1991 r. o ochronie przeciwpożarowej, Dz.U.1991.81.351 ze zmianami.
14. Ustawa z dnia 13 września 1996 r. o utrzymaniu czystości i porządku w gminach, Dz.U.1996.132.622 ze zmianami.
15. Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. – Prawo ochrony środowiska, Dz.U.2020.1219 ze zmianami.
16. Ustawa z dnia 29 sierpnia 2014 r. o charakterystyce energetycznej budynków, Dz.U.2014.0.1200 ze zmianami.
17. Ustawa z dnia 6 marca 2018 r. Prawo przedsiębiorców, Dz.U.2018.0.646 ze zmianami.
18. Ustawa z dnia 21 czerwca 2001 r. o dodatkach mieszkaniowych, Dz.U.2001.71.734 ze zmianami.
19. Ustawa z dnia 12 marca 2004 r. o pomocy społecznej, Dz.U.2004.64.593 ze zmianami.
20. Ustawa z 30 czerwca 2022 r. o odnawialnych źródłach energii, Dz.U.2022.1378.
21. Uchwała nr VIII/100/19 Sejmiku Województwa Zachodniopomorskiego z dnia 28 czerwca 2019 r. w sprawie przyjęcia „Strategii rozwoju województwa zachodniopomorskiego do roku 2030", http://bip.rbip.wzp.pl/artykul/uchwala-nr-viii10019-sejmiku-wojewodztwa-zachodniopomorskiego.
22. Uchwała nr XXXV/540/18 Sejmiku Województwa Zachodniopomorskiego z dnia 26 września 2018 r. w sprawie wprowadzenia na obszarze województwa zachodniopomorskiego ograniczeń i zakazów w zakresie eksploatacji instalacji, w których następuje spalanie paliw, http://bip.rbip.wzp.pl/artykul/uchwala-nr-xxxv54018-sejmiku-wojewodztwa-zachodniopomorskiego.
23. Uchwała nr XX/239100/20 Sejmiku Województwa Zachodniopomorskiego z dnia 22 października 2020 r. w sprawie ustanowienia roku 2021 – rokiem ekologicznym na Pomorzu Zachodnim, http://bip.rbip.wzp.pl/artykul/uchwala-nr-xx23920-sejmiku-wojewodztwa-zachodniopomorskiego.
24. Ustawa z dnia 25 sierpnia 2006 r. o systemie monitorowania i kontrolowania jakości paliw. Dz.U.2006.169.1200 ze zmianami.

25. Polska Norma PN-EN 303-5:2012 Kotły grzewcze – Część 5: Kotły grzewcze na paliwo stałe z ręcznym i automatycznym zasypem paliwa o mocy nominalnej do 500 kW – Terminologia, wymagania, badania i oznakowanie. PKN, Warszawa, 2012.
26. http://www.rpo.wzp.pl/skorzystaj/nabory/214-poprawa-jakosci-powietrza-zachodniopomorski-program-antysmogowy.

Problematik der erneuerbaren Energieträger in der Raumplanung am Beispiel ausgewählter Küstengemeinden der Woiwodschaft Westpommern

Maciej J. Nowak, Małgorzata Blaszke, Leszek Jastrzębski[1],
Justyna Strzyżewska[1], Tomasz Furmańczyk[1, 2]
Westpommersche Technische Universität Stettin; [1] *Regionalbüro für Raumplanung der Woiwodschaft Westpommern in Stettin;* [2] *Universität Stettin*

Einleitung

Die Aspekte des Klimaschutzes sollten so weit wie möglich in die nationalen Raumplanungssysteme integriert werden. Die Herausforderungen des Klimaschutzes umfassen ein sehr breites Themenspektrum. Es kann zwischen wirtschaftlichen, sozialen und ökologischen Herausforderungen unterschieden werden [1]. Dies ist eine Herausforderung für die ganze Welt, mit der Einschränkung, dass sie für einige Regionen und Städte eine ganz eigene Bedeutung hat [2]. Dies gilt weitestgehend für den Bereich der Raumplanung und ist in der wissenschaftlichen Literatur weithin bekannt. Dennis Becker und Stefan Greiving [3] postulieren beispielsweise den Aufbau flexibler Strukturen, einschließlich der multifunktionalen Nutzung von Flächen, als eine wichtige Richtung im Zusammenhang mit der Reaktion auf den Klimawandel. Die Unterstützung der Reduzierung des Energieverbrauchs bei neuen und bestehenden städtischen Entwicklungen sowie die Vermeidung von potenzieller Wasserknappheit, Verlust der biologischen Vielfalt oder Überschwemmungen werden ebenfalls als wichtig angesehen [4, 5].

Eine Antwort auf die Probleme und Bedrohungen des Klimaschutzes ist das Konzept der grünen Transformation. Sie wurde in zahlreichen Dokumenten zum Ausdruck gebracht und ist auf vielen Ebenen spürbar. *Die Territoriale Agenda 2030 der Europäischen Union* verdient besondere Aufmerksamkeit. Jacek Szlachta und Maciej Nowak [5] haben im Zusammenhang mit der Diskussion über ihre Umsetzung im polnischen Raumplanungssystem die folgenden Punkte identifiziert:

– Verbesserung der Zugänglichkeit zu Dienstleistungen von allgemeinem Interesse (die auch durch die Qualität der Architektur bestimmt wird), wobei der Zugänglichkeit von Dienstleistungen auf lokaler und regionaler Ebene besondere Aufmerksamkeit gewidmet wird,

- Stoppen des Trends zur Ausweitung der nichtlandwirtschaftlichen Bodennutzung und des unkontrollierten Wachstums der Großstädte,
- Schutz der Natur, des kulturellen Erbes und der Kulturlandschaft, insbesondere vor negativen Auswirkungen der Urbanisierung,
- Bekämpfung der Umweltfragmentierung, insbesondere der externen Effekte, die Ökosysteme, das kulturelle Erbe und öffentliche Dienstleistungen beeinträchtigen,
- Entwicklung der grünen Infrastruktur,
- Ausarbeitung einer Klimastrategie, Pflege von Freiflächen und Vermeidung von unkontrollierter Entwicklung und städtischen Wärmeinseln,
- Weiterentwicklung der Funktionsbereiche (unabhängig von den Verwaltungsgrenzen der Gebietskörperschaften).

Die meisten der identifizierten Themen sind überwiegend mit dem Klimaschutz und der (unterschiedlich verstandenen) grünen Transformation verbunden. In diesem Zusammenhang verdient die Territoriale Agenda auch deshalb besondere Beachtung, weil sie sich nicht nur an die Zentralregierungen der Mitgliedstaaten, sondern auch an die lokalen und regionalen Behörden richtet. Das Nachdenken über Veränderungen in der Raumordnungspolitik entspricht daher auch den Anforderungen der Agenda. Die meisten dieser Forderungen erfordern ein gründliches Nachdenken über den Einsatz erneuerbarer Energieträger, da es ohne größere Veränderungen unmöglich sein wird, optimale Ergebnisse zu erzielen. Zum Abschluss dieser Phase der Überlegungen ist festzustellen, dass zahlreiche Quellen auf die Notwendigkeit einer aktiven Raumordnungspolitik hinweisen, die den Herausforderungen der erneuerbaren Energiequellen Rechnung trägt [7–18].

Im Zusammenhang mit der Durchführung der besagten Aufgaben ist es wichtig, auf die Rolle der einzelnen Dokumente bei der Umsetzung der Entwicklungspolitik hinzuweisen. Der erste Vorbehalt ist, dass sie so weit wie möglich die Leitlinien für die integrierte Entwicklungsplanung und die Flexibilität der Planung berücksichtigen sollten [19]. Ersteres ergibt sich (neben den Thesen der Fachliteratur) auch aus dem Inhalt des Gesetzes über die Grundsätze der Entwicklungspolitik.

Daher sollte die Rolle der Dokumente im polnischen System für die Einführung erneuerbarer Energiequellen Folgendes sein:

- im Bereich der Entwicklung – Anpassung der allgemeinen Herausforderungen für die Einführung erneuerbarer Energiequellen an die spezifischen Merkmale der einzelnen Gemeinden sowie die Überprüfung des Gemeindegebiets unter

dem Gesichtspunkt der Eignung/Hindernisse für erneuerbare Energiequellen (dies ist auch eine Form der Umsetzung der auf internationaler Ebene erhobenen Forderung nach Ausweisung von Zonen für die Einführung erneuerbarer Energiequellen),

– im Bereich der Umsetzung – die weitestgehende Anpassung der angegebenen Leitlinien und Forderungen an die einzelnen Gebiete bei der Festlegung ihrer detaillierten Entwicklungsbedingungen.

Diese Analyse gilt für die Gemeinden Międzyzdroje, Swinemünde, Dziwnów und Wollin. Sie weisen ähnliche Entwicklungsbedingungen auf, einschließlich der Lage und des touristischen Angebots (was natürlich nicht bedeutet, dass die Bedingungen vollkommen identisch sind: Sie unterscheiden sich beispielsweise durch den städtischen Charakter von Swinemünde oder die Einbeziehung eines großen Teils der Gemeinde Międzyzdroje in Naturschutzgebiete). Ziel der Kapitel ist es, die genannten Forderungen an den Fall der untersuchten Gemeinden anzupassen. Dementsprechend wurde eine Überprüfung der verschiedenen Dokumente und Gesetze in den untersuchten Gemeinden durchgeführt (mit besonderem Schwerpunkt auf integrierter Planung und lokalen Planungsfragen). Auf der Grundlage einer kritischen Überprüfung wurden Empfehlungen für Änderungen entwickelt.

Regionale Ebene – anwendbare strategische und planerische Dokumente, die das Projektgebiet betreffen und innerhalb seiner Grenzen gelten

Das grundlegende Dokument, das die Richtungen der sozioökonomischen Entwicklung festlegt, ist die Strategie für die Entwicklung der Woiwodschaft Westpommern [20], die durch einen Beschluss des Sejmik der Woiwodschaft Westpommern vom 28. Juni 2019 angenommen wurde. Die in der Strategie genannten Maßnahmen zielen unter anderem auf die Förderung der Entwicklung erneuerbarer Energiequellen und die Steigerung der Energieeffizienz ab. Ein weiteres Dokument zur Regelung der emissionsarmen Wirtschaft in der Woiwodschaft Westpommern ist das *Regionale Operationelle Programm für die Woiwodschaft Westpommern 2014–2020* [21]. Der Interventionsbereich des Programms ergibt sich aus der *Entwicklungsstrategie der Woiwodschaft Westpommern*. Sein Anwendungsbereich ist durch die Prioritätenliste des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung begrenzt. Die Struktur des Programms Anzahl und Umfang der Prioritäten, ihre Interventionsbereiche, über die das Programm umgesetzt wird – ergibt sich auch aus den Gemeinschaftspolitiken,

die in der Lissabon-Strategie, den *Integrierten Leitlinien für Wachstum und Beschäftigung 2005–2008, den Strategischen Leitlinien der Gemeinschaft für den wirtschaftlichen, sozialen und territorialen Zusammenhalt 2007–2013* und den nationalen Politiken, die in der *Nationalen Entwicklungsstrategie 2007–2015* und dem *Nationalen Strategischen Rahmenplan 2007–2013* zur Förderung von Wachstum und Beschäftigung festgelegt sind.

Zu den Herausforderungen, denen sich die Woiwodschaft Westpommern in der neuen Perspektive stellen muss, gehören die Entwicklung und Stärkung der Innovationsfähigkeit der westpommerschen Unternehmen, der Einsatz fortschrittlicher digitaler Lösungen in der öffentlichen Verwaltung und in der Wirtschaft, die Erhöhung der Energiesicherheit und die Stärkung des Schutzes und der Erhaltung der Natur, der biologischen Vielfalt und der grünen Infrastruktur, auch in städtischen Gebieten. Ein besonderer Schwerpunkt wird auf dem Streben nach Klimaneutralität und der Umwandlung der Region in einen nationalen Marktführer für grüne Energieerzeugung und „ökoeffiziente" Technologien liegen. Im sozialen Bereich konzentrieren sich die geplanten Aktivitäten auf die Verbesserung des Zugangs zu hochwertiger Bildung, die Verbesserung der Bedingungen für die berufliche Entwicklung der arbeitenden und arbeitsuchenden Bevölkerung in Westpommern und die Unterstützung von Menschen, die von Armut oder sozialer Ausgrenzung bedroht sind.

Vorrangige Maßnahmen zur Förderung der Energieeffizienz und zur Verringerung der Treibhausgasemissionen sind die Förderung von Energieeffizienz und Energieeinsparungen, die zu einer Verringerung der Treibhausgasemissionen und zu einer Verbesserung der Luftqualität als Folge der verringerten Emissionen führen sollen. Die Erzeugung von Strom und Wärme aus erneuerbaren Energiequellen, einschließlich dezentraler Energie, wird ebenfalls gefördert. Die Digitalisierung der Energiewirtschaft (Entwicklung neuer Technologien zur Verbesserung der Energieeffizienz) wurde als eine ergänzende Maßnahme genannt. Die Erzeugung erneuerbarer Energien wird weiterhin ein wichtiger Faktor bei der Dekarbonisierung der Wirtschaft sein.

Die grundlegenden Planungsprioritäten für die Gestaltung der räumlichen Entwicklung der Woiwodschaft Westpommern sind im *Raumordnungsplan für die Woiwodschaft Westpommern* [22] dargestellt. Sie betreffen z. B. den Naturschutz, Verkehr und Infrastruktur sowie die Siedlungsentwicklung. Mit der Umsetzung der in dem Dokument enthaltenen Maßnahmen werden die in der *Strategie für die Entwicklung der Woiwodschaft Westpommern* festgelegten Aufgaben erfüllt. Die in der Strategie angegebenen Entwicklungsrichtungen der Woiwodschaft wurden im Plan

unter Berücksichtigung des Grundsatzes der räumlichen Ordnung und der nachhaltigen Entwicklung dargestellt. Die Merkmale des Elektrizitätssystems in der Provinz tragen der zunehmenden Nutzung erneuerbarer Energiequellen und den Maßnahmen zur Modernisierung des Übertragungsnetzes Rechnung. Die Entwicklung der Elektrizitätswirtschaft in der Woiwodschaft Westpommern ist u. a. mit einer verbesserten Energieeffizienz und einer erhöhten Energiesicherheit verbunden. Der Plan befasst sich auch mit den Umweltressourcen der Woiwodschaft im Hinblick auf die Entwicklung erneuerbarer Energien.

Lokale Ebene – lokale und überlokale Strategien, Studien über räumliche Entwicklungsbedingungen und -richtungen, kommunale Programme für emissionsarmes Wirtschaften, Annahmen zum Plan für die Versorgung mit Wärme, Strom und Gasbrennstoffen

Auf lokaler Ebene wurden folgende Dokumente analysiert:

- lokale Strategien,
- kommunale Programme für emissionsarmes Wirtschaften,
- Annahmen für den Plan für die Versorgung mit Wärme, Strom und gasförmigen Brennstoffen,
- Studie über die Rahmenbedingungen und Richtungen der Raumentwicklung.

Im Einklang mit den Zielen dieser Studie liegt der Schwerpunkt auf dem Inhalt der angegebenen Dokumente im Zusammenhang mit erneuerbaren Energiequellen, insbesondere auf der Art und Weise, wie sie erfasst werden. Einschlägige Dokumente, die sich auf die ermittelten Probleme beziehen, wurden berücksichtigt. Zunächst wurden Entwicklungsstrategien in Betracht gezogen. In der *Entwicklungsstrategie der Gemeinde Dziwnów* [23] ist der Frage der erneuerbaren Energiequellen ein eigenes kurzes Unterkapitel gewidmet. Es wurde festgestellt, dass diese Energie in der Gemeinde nur in geringem Umfang genutzt wird, und die Zieladressaten (Landwirtschaft) wurden ermittelt. Gleichzeitig wurde darauf hingewiesen, dass aufgrund des touristischen Charakters der Gemeinde keine Windkraftanlagen zu erwarten sind (trotz der guten Voraussetzungen in dieser Hinsicht). In der *Entwicklungsstrategie der Gemeinde Międzyzdroje* werden die genannten Themen in geringerem Umfang behandelt. Bei der Charakterisierung des Fernwärmesystems wird die Nutzung „nicht-konventioneller Wärmequellen“ befürwortet.

Der *Plan für eine emissionsarme Wirtschaft in der Gemeinde Dziwnów* [24] weist ebenfalls auf die derzeitige mangelnde Nutzung der geothermischen

Ressourcen hin und hebt ausdrücklich den allgemeinen Mangel an Anerkennung der Ressourcen hervor. Gleichzeitig wird ein deutlicher Mangel an Bereitschaft zum Bau von Windparks (mit Ausnahme von kleinen Windenergieanlagen) sowie von Biomasse deutlich. Insgesamt zeigt sich ein mäßiges Interesse an Solarenergie in der Gemeinde. Der *Plan für ein emissionsarmes Wirtschaften in der Gemeinde Międzyzdroje* ist ebenfalls auf erneuerbare Energiequellen ausgerichtet. Es wird darauf hingewiesen, dass die Entwicklung erneuerbarer Energiequellen auch aufgrund des Erholungs- und Freizeitcharakters der Gemeinde wichtig ist (erhöhtes Tourismuspotenzial). Die Nutzung der geothermischen Energie sollte auf dem Einsatz von Wärmepumpen basieren. Die Entwicklung von Windparks ist nicht erlaubt (wegen der Abschreckung von Touristen), während die Solarenergie eine wichtige Entwicklungsmöglichkeit darstellt. Besonders bevorzugt werden einzelne Solarmodule, die auf Wohngebäuden und öffentlichen Einrichtungen installiert werden. In dieser Hinsicht ist der *Plan für eine emissionsarme Wirtschaft in der Gemeinde Swinemünde* etwas anders formuliert. Er enthielt jedoch Leitlinien, die aufgrund der hohen Natur- und Landschaftswerte und der schwierigen Boden- und Wasserverhältnisse im Plangebiet die Ansiedlung von „Windkraftanlagen" ausschlossen. Auf der anderen Seite werden große Chancen bei Solaranlagen und Photovoltaikmodulen gesehen. Außerdem wurde ein Aufruf zum Kauf von grüner Energie und sogar ein *„grünes öffentliches Auftragswesen"* eingeführt. Eine der Forderungen bei der Umsetzung dieser Leitlinien besteht darin, den Anteil der Energie aus erneuerbaren Quellen zu erhöhen und in das öffentliche Beschaffungswesen die Anforderung aufzunehmen, dass Unternehmen, die Dienstleistungen usw. erbringen, Tätigkeiten und Geräte einsetzen, deren Betrieb energieeffizient ist. Der *Plan für eine kohlenstoffarme Wirtschaft in der Gemeinde Wollin* [26] wiederum weist darauf hin, dass die vorteilhafteste Quelle für erneuerbare Energien (sowohl in wirtschaftlicher als auch in ökologischer Hinsicht) alle Anlagen sind, die Sonnenstrahlung nutzen, vor allem Sonnenkollektoren und photovoltaische Zellen, und dass die Förderung und Installation dieser Art von Geräten hervorgehoben werden sollte. In den *Annahmen zum Plan für die Versorgung mit Wärme, Elektrizität und gasförmigen Brennstoffen für die Gemeinde Dziwnów* [27] wurde die Frage der erneuerbaren Energiequellen ausführlicher analysiert. Es wurden allgemeinere Überlegungen zu diesem Thema angestellt. Gleichzeitig wurde auf die Beschränkungen für die Entwicklung der erneuerbaren Energien (insbesondere der Windenergie) hingewiesen, die sich aus den gesetzlichen Bestimmungen für Schutzgebiete ergeben. Die Übertragung der umfassenderen Analysen auf den kommunalen

Bereich erfolgt in dem Maße, in dem sie mit konkreten Beispielen/Problemen verknüpft sind, und ist eher komplementär. Ein analoges Dokument für die Gemeinde Swinemünde [28] liefert ebenfalls eine allgemeine Charakterisierung der nationalen Bedingungen und Möglichkeiten im Zusammenhang mit der Einführung erneuerbarer Energiequellen. Wie im Fall der Gemeinde Dziwnów wird in diesem Dokument ergänzend auf die besonderen örtlichen Gegebenheiten hingewiesen.

Die Studie über die Bedingungen und Richtungen der räumlichen Entwicklung der Gemeinde Międzyzdroje [29] bezieht sich auch auf erneuerbare Energiequellen. Diesbezüglich gibt es (aus natürlichen Gründen) nur begrenzte Möglichkeiten. In Bezug auf die Windkraft – nur im Rahmen von kleinen Kraftwerken zur Erzeugung von Energie für den Eigengebrauch. Die Aussichten für die Solarenergie sind wesentlich besser. Diese Energie kann auf zwei Arten genutzt werden: durch die Umwandlung in Wärmeenergie mit Hilfe von thermischen Solarkollektoren zur Erzeugung von Warmwasser (vor allem während der Sommerferien) oder durch die Umwandlung in Elektrizität mit Hilfe von Fotovoltaikzellen. Die Studie der Bedingungen und Richtungen für die räumliche Entwicklung der Gemeinde Swinemünde [28] zeigt wiederum, dass die bestehende zentrale Quelle der Wärmeerzeugung auf der Basis von gasförmigen, flüssigen oder festen Brennstoffen unter Beteiligung von erneuerbaren Energien und unkonventionellen Quellen gemäß den Anforderungen der modernen Ökologie modernisiert werden soll. Für die Beheizung werden verschiedene Energieträger und Fernwärmesysteme eingesetzt, die nach wirtschaftlichen und ökologischen Gesichtspunkten ausgewählt werden. Konventionelle Heizsysteme werden durch erneuerbare Energien (Wind, Wasser, Erdwärme, Sonne, Biomasse) ergänzt.

Es ist nicht das Ziel dieses Dokuments, einzelne Bestimmungen anzufechten. Es geht um eine konstruktivere Sichtweise: wie die Rolle der einzelnen Entwicklungsdokumente und raumpolitischen Akte angesichts der zunehmend wahrgenommenen Herausforderungen zu sehen ist.

Planungsdokumente mit Bestimmungen über den Standort von EE-Anlagen

In der Gemeinde Międzyzdroje lassen sich folgende Planungsbestimmungen für erneuerbare Energiequellen unterscheiden [29]:

- Verbot der Aufstellung sämtlicher Windenergieanlagen;
- Zulassung erneuerbarer Heizungssysteme – bezogen auf die Umrüstung/Erweiterung und den Bau von Wärmeversorgungssystemen,

- Zulassung der Installation von Heizsystemen, die erneuerbare Energiequellen nutzen, einschließlich Wärmepumpen und Solarkollektoren,
- Versorgung von Einrichtungen mit Fernwärme unter Verwendung von Gas, flüssigen Brennstoffen und Elektrizität, andere, die die Luftverschmutzungsnormen nicht überschreiten, und Unterstützung von Primärsystemen mit erneuerbaren Energiequellen,
- Die mit PG gekennzeichneten Flächen sind für Funktionen im Zusammenhang mit der Ansiedlung von Infrastrukturen zur Gewinnung und Nutzung geothermischer Energie unter Beibehaltung der Funktion einer öffentlich zugänglichen Grünfläche – Waldpark – vorgesehen, wobei die folgenden und weitere Bestimmungen des Plans zu berücksichtigen sind:
    - Ermöglichung der Ansiedlung von Bauwerken zur Gewinnung und Nutzung geothermischer Energie und von Lehreinrichtungen für die Nutzung erneuerbarer Energie,
    - Ermöglichung individueller Lösungen für die Erzeugung von Energie aus erneuerbaren Quellen nach Maßgabe der jeweils geltenden Vorschriften.

In der Gemeinde Międzyzdroje wird die Frage der erneuerbaren Energiequellen in den Raumordnungsplänen unterschiedlich behandelt [29]. Der Bereich der planungsrechtlichen Verbote kann mit dem "Verbot der Errichtung von Windenergieanlagen" verknüpft werden. Diese Art von Verbot ist aus formaler und rechtlicher Sicht korrekt (es kann jedoch zu Diskussionen über die Rechtmäßigkeit solcher allgemeinen Planungsentscheidungen führen). Hervorzuheben ist, dass auch die entsprechenden Mikroanlagen erfasst werden (zumal für Windenergieanlagen im Sinne des Windenergie-Investitionsdurchführungsgesetzes andere Voraussetzungen erforderlich sind). Die Möglichkeiten für die Nutzung diversifizierter erneuerbarer Energiequellen sind viel breiter gefächert.

Ein weiterer Teil der Bestimmungen bezieht sich auf die Teile der Pläne, in denen die Regeln für die Erweiterung/den Ausbau von Wärmeversorgungssystemen festgelegt sind. In diesen Fällen sind Heizungsanlagen, die „erneuerbare Energiequellen nutzen“, zulässig. Dies ist ein sehr weit gefasster Ansatz. Um mögliche Zweifel auszuräumen, werden die wichtigsten Typen (Wärmepumpen und Solarkollektoren) spezifiziert. Diese Art der Rahmung kann mitunter einen differenzierten Interpretationsansatz in Bezug auf andere (nicht ausdrücklich erwähnte) Hilfsmittel hervorrufen. Auch die Zulassung von Fotovoltaikzellen auf den Dächern von Gebäuden kann als Beispiel angeführt werden. Die internationale Diskussion über die Rolle der erneuerbaren Energien in der Raumplanung

befasst sich mit der Frage, ob solche detaillierten Regelungen (aus systemischer/nationaler gesetzgeberischer Sicht) angemessen sind. Die vorherrschenden Stimmen tendieren dazu, die Verpflichtung zur Einführung solcher Leitlinien zu streichen. Im polnischen System gibt es derzeit keine solche Verpflichtung.

Es ist noch eine weitere Richtung zu unterscheiden, die mit der Identifizierung von Möglichkeiten an einem bestimmten Standort für die Ansiedlung von Strukturen/Einrichtungen für die Gewinnung und Nutzung von geothermischer Energie zusammenhängt. Bei dieser Gelegenheit ist es wichtig, die Erhaltung anderer Funktionen des Gebiets (z. B. im Zusammenhang mit der Grünfläche) zu betonen. Allerdings muss die mangelnde Kohärenz in der Art und Weise, wie die ermittelten Probleme angegangen werden, hervorgehoben werden. Auch diese Unstimmigkeit kann Auslegungsfragen aufwerfen. Dies gilt sowohl für die allgemeine Durchführbarkeit der Ansiedlung an einem Standort als auch für die Frage der Modernisierung/Erweiterung von Wärmeversorgungssystemen. Dabei geht es in erster Linie um die unterschiedlichen Arten, wie spezifische Leitlinien formuliert werden. Sie wurden zu unterschiedlichen Zeiten und nach unterschiedlichen Mustern vorbereitet. Dies kann die Auslegung bestimmter Planungsvorschriften in Zweifelsfällen erschweren. Davon zu unterscheiden ist die Frage der Flexibilität in der Planung. Flexibilität in der Planung bedeutet nicht, Leitlinien anders zu formulieren (nach anderen Mustern), sondern bewusst offen zu sein für bestimmte Entwicklungsmöglichkeiten.

In der Gemeinde Swinemünde lassen sich folgende Arten von Planungsvorschriften unterscheiden [25, 30]:

- Aufstellungsverbot von Windenergieanlagen,
- Wärmeversorgung aus individuellen Wärmequellen, die mit umweltfreundlichen Energieträgern (Gas, Strom) betrieben werden, mit einem Verbot von festen Brennstoffen und Heizöl,
- Bei der Wärmeversorgung wird die Beibehaltung des zentralen Wärmeversorgungssystems vereinbart; lokale und individuelle Wärmequellen auf der Basis von Gas, flüssigen Brennstoffen und Elektrizität sowie die Unterstützung der Primärsysteme durch erneuerbare Energiequellen sind zulässig,
- Die Errichtung von technischen Infrastruktureinrichtungen ist zulässig; die Errichtung von Anlagen zur Erzeugung von Energie aus erneuerbaren Quellen in Form von Photovoltaikanlagen mit einer Anschlussleistung von bis zu 100 kW ist zulässig,
- Zulassung von Heizsystemen, die erneuerbare Energiequellen nutzen,
- Wärmeversorgung aus lokalen Wärmequellen unter Verwendung von

kohlenstoffarmen Heizsystemen mit Gas, Heizöl, Strom oder erneuerbaren Energiequellen wie Sonnenkollektoren, Wärmepumpen usw.,

- Es besteht die Möglichkeit, den Steg an der Küste und die Wege zum Strand mit Laternen zu beleuchten, die mit erneuerbarer Energie betrieben werden,
- Zulassung der Installation von Heizsystemen, die erneuerbare Energiequellen nutzen, einschließlich Wärmepumpen und Solarkollektoren,
- Verbot der Aufstellung sämtlicher Geräte, die mit Windenergie betrieben werden.

In der Gemeinde Swinemünde gibt es auch verschiedene Arten von Planungsvorschriften. Einerseits kann man auf die Bestimmungen verweisen, die Standortverbote für Windkraftanlagen vorsehen – und zwar in erster Linie für kleine Windkraftanlagen. Es wurden auch Bestimmungen ausgegliedert: „Verbot der Aufstellung sämtlicher Geräte, die mit Windenergie betrieben werden". Es bedarf einer Expertenanalyse, um festzustellen, ob es sich um einen anderen Anwendungsbereich als „Windkraftanlagen" handelt.

Im Zusammenhang mit der Wärmeversorgung ist die Vielfalt der möglichen Lösungen hervorzuheben. Auf der technischen Seite ist zu betonen, dass die Aufnahme von Leitungsgas und Elektrizität in die Klammern den Ausschluss anderer Lösungen bedeutet (unabhängig von der Absicht des Gesetzgebers). Die Verbote für die Verwendung von festen Brennstoffen sowie von Heizöl werden im Zweifelsfall weit ausgelegt. Die Zulassung von Heizungsanlagen, die „erneuerbare Energiequellen" nutzen, eröffnet dagegen die Möglichkeit einer sehr breiten, freien Nutzung erneuerbarer Energiequellen in diesem Bereich. Eine ähnliche Bewertung gilt für die umfassende Ermittlung der Durchführbarkeit einer Beleuchtung der Fußgängerbrücke an der Küste und der Strandübergänge. Dagegen muss man bei der Verwendung der Formulierungen „usw." in Plänen sehr vorsichtig sein. Sie provozieren Interpretationszweifel, was außer den aufgeführten Elementen noch in die jeweilige Gruppe aufgenommen werden kann.

In der Gemeinde Dziwnów lassen sich folgende Arten von Planungsvorschriften unterscheiden [23, 27]:

- „Zulässige erneuerbare Energiequellen – auf dem Dach montierte Solar- und Photovoltaikanlagen auf einer Fläche von höchstens 2/3 der Dachneigung und Wärmepumpen,
- Wärmeversorgung aus individuellen Wärmequellen, die mit umweltfreundlichen Energieträgern betrieben werden: Gas, Strom oder andere, die keine übermäßigen Schadstoffemissionen verursachen, Zulässig sind

erneuerbare Energiequellen, wobei die Ansiedlung von Windenergieanlagen verboten ist,

– Wärmeversorgung: Für die bestehenden und geplanten Einrichtungen sind individuelle Wärmequellen vorgesehen, die mit umweltfreundlichen Trägern betrieben werden: Leitungsgas, Strom, Pellets oder andere, die keine übermäßigen Schadstoffemissionen verursachen, mit einem Verbot der Verwendung anderer fester Brennstoffe – das Verbot gilt nicht für Kamine, die nicht die primäre Wärmequelle darstellen".

Die erste Planungsrichtung betrifft die Möglichkeit, Solar-/Photovoltaikanlagen auf Dächern zu installieren. Hervorzuheben ist die Einschränkung hinsichtlich der Dachfläche, die bei dieser Gelegenheit erfasst werden kann. Dies scheinen unnötige Beschränkungen zu sein, die zu weit gehen (umso mehr, als es keine Verpflichtung gibt, Leitlinien für Module auf Dächern festzulegen). Im Hinblick auf die mögliche Wärmeversorgung ist zu betonen, dass erneuerbare Energiequellen zulässig sind. Daraus ergibt sich die Möglichkeit, verschiedene erneuerbare Energiequellen zu nutzen. Der Plan schließt jedoch Windkraftanlagen von dieser Gruppe aus. Diese Ausnahmeregelung ist weit gefasst und gilt für jede Verwendung der angegebenen Energie. Die Auflistung bestimmter Wärmequellen (die mit umweltfreundlichen Medien betrieben werden) hat wiederum zur Folge, dass die nicht aufgeführten Wärmequellen ausgeschlossen werden.

In der Gemeinde Wollin lassen sich folgende Arten von Planungsvorschriften unterscheiden [26]:

– „Der Zweck der in den Regelungen der Planänderung enthaltenen Vorschriften ist Folgendes:
  1) Schaffung von Bedingungen für die Entwicklung der Energieversorgung unter Nutzung erneuerbarer Energiequellen als Ausgangspunkt für umweltfreundliche Investitionstätigkeiten,
  2) (...)
  3) (...)
  4) Die Bedingungen für den Betrieb des Kraftwerks in den ersten fünf Jahren müssen mit dem Landesnaturschutzbeauftragten abgestimmt werden – die Dauer des Betriebs, der Umfang des Betriebs und der Überwachung sowie die Möglichkeiten zum Schutz vor negativen Auswirkungen auf wandernde Tiere.
– Für den Bereich des vorgeschlagenen Standorts der Windenergieanlagen, der von der Planänderung erfasst wird, gelten die folgenden Dienstvorschriften für die technische Infrastruktur:

1) Windkraftanlagen arbeiten bedienerlos, so dass die Probleme der Wasser- und Abwasserwirtschaft nicht gelöst werden müssen,
2) Es wird festgestellt, dass die geplanten Windkraftanlagen beleuchtet werden müssen, um die Sicherheit der Flugbewegungen zu gewährleisten und Zugvögel zu schützen,
3) Die Beleuchtung der geplanten Windenergieanlagen darf nicht zu einer übermäßigen Hintergrundbeleuchtung führen, die die Reichweite der Leuchtfeuer verringert, und sie darf den Leuchtfeuern nicht ähneln, sowohl was die Form der Struktur als auch die Eigenschaften und die Farbe der verwendeten Leuchten betrifft,
4) Die geplanten Investitionsmaßnahmen dürfen die Stromversorgung der Schilder nicht unterbrechen, und im Falle von Maßnahmen, die Funkübertragungen beinhalten, dürfen diese Übertragungen die Seekommunikation und die Funknavigation nicht behindern oder die Signale zur Synchronisierung der Navigationslichter stören,
5) Vereinbart ist der Bau von 15 Windkraftanlagen mit einer Gesamtleistung von 30,0 MW,
6) Es wurde vereinbart, eine 15-kV-Schaltanlage auf dem Gelände zu errichten,
7) Der Anschluss der projektierten Windkraftanlagen an die projektierte Schaltanlage erfolgt über das projektierte interne 15-kV-Kabelnetz,
8) Es wird vereinbart, 15-kV-Kabelleitungen von der 15-kV-Schaltanlage des Windparks zum Hauptspeisepunkt Recław zu bauen".

In den Plänen der untersuchten Gemeinde wird die Frage der erneuerbaren Energiequellen am umfassendsten behandelt. Dies macht sich auf verschiedenen Ebenen bemerkbar, was u.a. durch die Beschreibung des Zwecks der Planungsverordnung bestätigt wird, der eindeutig mit der Notwendigkeit der Förderung der Entwicklung erneuerbarer Energiequellen und den angenommenen Folgen dieser Maßnahmen (spürbar im Bereich der Investitionen) verbunden ist. Dies ist eine sehr gute Richtung, auch im Hinblick auf die künftige Auslegung der Planungsvorschriften. Es hilft, die Priorität dieser Annahmen hervorzuheben, die bei der Klärung von Zweifeln über bestimmte Bestimmungen wichtig sein können.

Was die spezifischen Bestimmungen betrifft, so ist davon auszugehen, dass sie den Anlegern (natürlich innerhalb eines bestimmten Rahmens) einen recht großen Spielraum lassen. Auch hier gibt es Bestimmungen, die bei detaillierten Sachverhalten eher fragwürdig sein können (z.B. die Formulierung über

„übermäßig beleuchteten Hintergrund“). Darüber hinaus hat die Gemeinde Planungsbestimmungen für erneuerbare Energiequellen im Zusammenhang mit der Wärmeversorgung entwickelt.

Analyse von Rechtsprechungsthesen zu erneuerbaren Energiequellen in der Raumordnungspolitik

Ein notwendiges Element, das im polnischen Raumplanungssystem berücksichtigt werden muss, ist die Rolle der gerichtlichen Rechtsprechung. Sie bestimmt in erheblichem Maße, wie viele Annahmen umgesetzt werden. Es ist wichtig, einige wichtige Richtungen zu beachten, in denen die Rechtsprechung den Inhalt lokaler Raumentwicklungspläne in Bezug auf erneuerbare Energiequellen behandelt (die Analyse bezieht sich auf diesen Aspekt, nicht auf die Frage von Zonierungsentscheidungen oder den Inhalt der Raumentwicklungsstudie). Zu Beginn dieses Abschnitts sei daran erinnert, dass gemäß Artikel 3 des Gesetzes über Investitionen in Windkraftanlagen die Ansiedlung einer Windkraftanlage ausschließlich auf Grundlage eines örtlichen Raumordnungsplans erfolgt. Lokale Pläne sollten daher die präziseste Grundlage für solche Investitionen schaffen. Als Beispiel sei hier die aufsichtsrechtliche Entscheidung der Woiwodschaft Großpolen vom 9. Februar 2017 angeführt.[13]. Die Regelungen des Bebauungsplans sehen vor, dass die in den vorgenannten Regelungen des Plans als "Windkraftanlagen" bezeichneten Bauwerke und Anlagen nach gesonderten Vorschriften eine Leistung von maximal 5 kW haben dürfen. Indem die Aufsichtsbehörde die oben genannten Beschränkungen mit Artikel 2 Absatz 1 des Windenergie-Investitionsgesetzes vom 20. Mai 2016 und Artikel 2 Absatz 19 des Erneuerbare-Energien-Gesetzes vom 20. Februar 2015 in Verbindung brachte, kam sie zu dem Schluss, dass die im Plan zugelassenen "Windkraftanlagen" de facto „Mikroanlagen“ darstellen würden. Nach Ansicht des Woiwoden wird in den Feststellungen des fraglichen Plans aufgrund der oben genannten Umstände fälschlicherweise der Begriff "Windkraftanlagen" anstelle von "Mikroanlagen" verwendet. Aufgrund der im Plan vorgesehenen Beschränkung der zulässigen Leistung der betreffenden Anlagen ist es jedoch nicht möglich, im Plangebiet "Windkraftanlagen" zu errichten, d. h. Anlagen mit einer höheren als der für Mikroanlagen angegebenen Leistung. Dies verdeutlicht die mögliche Verwirrung bei der Frage, wie erneuerbare Energien in lokalen Plänen umgesetzt werden können.

[13] KN-I.4131.2.7.2017.20, Legalis

Filip Nawrot [31] hat eine Klassifizierung der Möglichkeiten zur Formulierung des Inhalts lokaler Pläne für Gebiete, in denen EE-Anlagen installiert werden sollen, vorgenommen. Er unterschied die folgenden Möglichkeiten:

- Die Bestimmungen des lokalen Plans ermöglichen die Ansiedlung mehrerer verschiedener Arten von EE-Anlagen (die für Investoren günstigste Option),
- Der Bebauungsplan lässt die Entstehung nur einer EE-Anlage zu,
- Der Bebauungsplan lässt die Ansiedlung von EE-Anlagen nicht zu (generelles Verbot, Verbot von Entwicklungen in bestimmten Gebieten),
- Der Bebauungsplan enthält keinen Hinweis auf die Einführung von EE-Anlagen.

Die spezifischen Bestimmungen der lokalen Pläne sind manchmal unterschiedlich. Manchmal werden die EE eingeschränkt (z. B. als "Anlagen für erneuerbare Energiequellen mit einer Kapazität von höchstens 100 kW" oder indem Windkraftanlagen nur als Mikroanlagen zugelassen werden [31]). Einige Pläne lassen auch nur eine Art von EE-Anlagen zu oder sehen Beschränkungen vor, z. B. hinsichtlich der Turmhöhe oder des Propellerdurchmessers. Solche Manöver sind im Prinzip weder notwendig noch gerechtfertigt. Sie können zu einer größeren Investitionsblockade und zu schwerwiegenderen Problemen (Differenzen) bei der Auslegung von Planungsvorschriften beitragen. In Anbetracht der allgemeinen terminologischen Unordnung erscheint dies nicht notwendig. Dies gilt umso mehr, als es, wie bereits erwähnt, dringend erforderlich ist, erneuerbare Energiequellen in viel größerem Umfang zu nutzen.

Es lohnt sich, weitere Beispiele aus der Rechtsprechung anzuführen – darunter auch eines, das ein spezifisches Problem und dessen Analyse eingehend behandelt. Gemäß der Aufsichtsentscheidung des Woiwoden von Opole vom 22. Juni 2021[14] hat die räumliche Analyse des Plangebiets unter Berücksichtigung der zulässigen Bebauungshöhe und der bestehenden und geplanten Nutzung ergeben, dass die Ansiedlung von Windkraftanlagen mit einer Leistung von bis zu 100 kW (Fassung vor der Novellierung des Raumordnungsgesetzes) in den angegebenen Gebieten gegen die Bestimmungen des § 4 des Gesetzes über Investitionen in Windkraftanlagen verstößt. Dieser Verstoß ist als erheblich zu betrachten, da er dazu führt, dass die angenommene Planung sich eindeutig von derjenigen unterscheidet, die angenommen worden wäre, wenn die Vorschriften oder das Verfahren zur Erstellung des lokalen Plans nicht verletzt worden wären. Mit den genannten Regelungen wurde an allen Standorten die Möglichkeit geschaffen,

[14] IN.I.743.45.2021.KD

Energieerzeugungsanlagen bis zu 100 kW aus Windkraft anzusiedeln. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, die Bestimmungen des Gesetzes vom 20. Mai 2016 über Investitionen in die Windenergie bei der Ausarbeitung und Verabschiedung des Plans zu berücksichtigen. Gemäß Artikel 2 Absatz 1 dieses Gesetzes ist eine Anlage zur Erzeugung von Strom aus erneuerbaren Energiequellen, die aus einem Gebäudeteil, der ein Bauwerk im Sinne des Baugesetzes darstellt, und einer technischen Einrichtung, einschließlich technischer Elemente, besteht, in der Strom aus Windenergie erzeugt wird, mit einer Leistung, die größer ist als die Leistung einer Mikroanlage im Sinne von Artikel 2 Absatz 19 des Gesetzes vom 20. Februar 2015 über erneuerbare Energiequellen – Gesetzblatt von 2021, Punkt. 610 (eine Anlage zur Nutzung erneuerbarer Energiequellen mit einer installierten elektrischen Gesamtleistung von höchstens 50 kW, die an ein Elektrizitätsnetz mit einer Nennspannung von weniger als 110 kV angeschlossen ist, oder mit einer in Kraft-Wärme-Kopplung erzeugten Wärmeleistung von höchstens 150 kW, mit einer installierten elektrischen Gesamtleistung von höchstens 50 kW) – wird als Windkraftanlage definiert, für die die im Gesetz festgelegten Standortregeln gelten. Der Woiwode erläuterte, dass es, um den kontrollierten Beschluss mit der gesonderten Bestimmung in Einklang zu bringen, notwendig ist, alle Bestimmungen des Beschlusses, die die Möglichkeit der Ansiedlung von Anlagen zur Erzeugung von Energie aus erneuerbaren Energieträgern mit einer Leistung von bis zu 100 kW vorsehen, aus dem Rechtsverkehr zu nehmen: § 15 Punkt 10(d). Die Struktur der Bestimmungen des Beschlusses lässt eine solche Formulierung der Aufsichtsentscheidung nicht zu, die nicht für erneuerbare Energiequellen mit einer Leistung von bis zu 100 kW aus anderen Quellen als Windenergie gilt. Die Ansiedlung von Mikroanlagen (im Sinne von Artikel 2 Absatz 19 des Erneuerbare-Energien-Gesetzes vom 20. Februar 2015) im Plangebiet wird gemäß Artikel 15 Absatz 4 des Gesetzes über Raumordnung und Landesplanung zulässig sein.

Der Woiwode von Schlesien nahm im Aufsichtsbeschluss vom 9. Januar 2017 Stellung zur Situation,[15] wo der lokale Plan für Windkraftanlagen die Möglichkeit der Wohnbebauung in der Nachbargemeinde einschränkte. Bei der Anfechtung des Plans stellte der Woiwode fest, dass der Gemeinderat nicht befugt ist, im Bebauungsplan Regelungen zu treffen, die sich auf die Raumordnungspolitik der Nachbargemeinde auswirken. Die Lösung für dieses Problem kann eine Zusammenarbeit mit der Nachbargemeinde sein, die die Nachbargemeinde dazu veranlasst, einen Plan mit Einschränkungen zu verabschieden, die

[15] IFIII.4131.1.1.2017, Legalis

der geplanten Investition angemessen sind. Dennoch handelt es sich um einen der typischen Fälle komplexer rechtlicher Dilemmata (die in der Doktrin unterschiedlich bewertet werden). Die angegebene Lösung scheint jedoch die vernünftigste zu sein.

Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Empfehlungen für die regionale Ebene

Es sollte festgehalten werden, dass der Inhalt des provinzialen Raumordnungsplans (bedeutend aus der Perspektive der analysierten Themen) die Rolle der erneuerbaren Energiequellen angemessen berücksichtigt. Insbesondere der Abschnitt des Plans, der sich mit der Ausrichtung befasst, ist entscheidend. Man kann nur darüber nachdenken, ob die angegebene Richtung nicht innerhalb von Ziel IX des Planteils stärker hervorgehoben werden sollte (allerdings geht es dabei weniger um den Inhalt, sondern um die Reihenfolge der darin enthaltenen Themen). Es könnte auch in Erwägung gezogen werden, die Bedeutung der erneuerbaren Energieträger im einleitenden Abschnitt dieses Ziels ausführlicher zu behandeln, insbesondere bei der Umsetzung in die Raumordnungspolitik. Es ist jedoch zu betonen, dass diese Empfehlung im Zusammenhang mit der Durchführung anderer Arbeiten zur Planänderung umgesetzt werden kann (sie ist keine eigenständige Grundlage für eine solche Änderung).

Darüber hinaus ist die allgemeine Ausrichtung der Entwicklung erneuerbarer Energiequellen auf die Entwicklungsbedingungen der Provinz und die Umsetzung in Leitlinien für spezifische Investitionen positiv zu bewerten. In dieser Hinsicht wurde die Kohärenz gewahrt.

Empfehlungen für Entwicklungsdokumente auf lokaler Ebene

In den analysierten Entwicklungsdokumenten lassen sich folgende Trends erkennen:

1. Einige Dokumente beschränken sich zu sehr auf eine Analyse der allgemeinen, überörtlichen Bedingungen für die Einführung erneuerbarer Energiequellen. Es ist gut, dass die Probleme und Dilemmata, die hier beispielsweise auf europäischer oder nationaler Ebene auftreten, auf lokaler Ebene zur Kenntnis genommen werden, aber es scheint von entscheidender Bedeutung zu sein, die ermittelten Probleme mit den lokalen Gegebenheiten in Verbindung zu bringen; ein lokales Dokument kann nicht einfach eine Duplikation zentraler Analysen sein; eine Situation, in der wir eine sehr

eingehende Diagnose aus nationaler Sicht und nur eine kasuistische/zufällige aus kommunaler Sicht haben, ist im Hinblick auf mögliche Konsequenzen völlig ineffektiv.

2. Auffällig ist auch die Tendenz, dass die Beschreibung einiger erneuerbarer Energiequellen (insbesondere der Windkraft) in erster Linie mit (differenzierten) Risiken verbunden wird, was aus Sicht der Klimaschutzherausforderungen nicht immer ausreichend begründet ist. Insbesondere im Zusammenhang mit den Bedürfnissen in diesem Bereich ist jedoch ein umfassenderes Nachdenken erforderlich. Dies soll natürlich nicht heißen, dass mögliche Probleme übersehen werden. In Entwicklungsdokumenten scheint es jedoch unzureichend zu sein, die Gesamtheit der Themen aus nur einer Perspektive zu behandeln. Auch hier kann auf die Art und Weise verwiesen werden, wie ortsübergreifend Fragen formuliert werden. So wie sie geschrieben sind, können sich die einzelnen Dokumente nicht ausschließlich auf ihre Merkmale konzentrieren, aber es lohnt sich bereits, die Schlussfolgerungen von einer solchen Ebene auf die lokale Ebene zu übertragen. Darüber hinaus wird bei der Bewertung der Windenergie nicht zwischen verschiedenen Arten von Windkraftanlagen (größere und kleinere) unterschieden.
3. Eine gute, postulierte Lösung sollte die Ausweisung einzelner Zonen in der Gemeinde sein – unter dem Gesichtspunkt der Machbarkeit von (verschiedenen) erneuerbaren Energiequellen. Diese Art der Analyse, die im Rahmen des Strategiedokuments durchgeführt wird, ermöglicht die Berücksichtigung wirtschaftlicher, sozialer, räumlicher, aber auch z. B. ökologischer oder kultureller Aspekte. Sie ermöglicht es auch, die Frage möglicher räumlicher Konflikte weiter zu nuancieren. Solche Zonen können als Referenz für die weitere Überprüfung in Planungsakten dienen. Oben wurden ausgewählte Auszüge zitiert, die in Übereinstimmung mit dem Kommunalverwaltungsgesetz in die Entwicklungsstrategien aufgenommen wurden. Es gibt immer noch eine Debatte über ihren tatsächlichen Inhalt und ihre optimale Anwendung. Es scheint, dass ein solcher räumlicherer Bezug des Themas erneuerbare Energiequellen zu einzelnen Teilen der Gemeinde ein wichtiger Schritt sowohl zu einer tieferen Reflexion als auch zu einer breiteren integrierten Planung sein könnte. Zonen für erneuerbare Energiequellen können unabhängig von anderen räumlichen Klassifizierungen des Gemeindegebiets ausgewiesen werden.
4. Aus formaler Sicht lohnt es sich auch, die Verbindung zwischen den erneuerbaren Energien und den in den Dokumenten enthaltenen Schlüsselzielen

zu betrachten. Dies wird oft als Nebenaspekt, als sektorales Thema betrachtet, und es kann daher zu einer Distanzierung kommen, wenn die Rolle dieses Themas ausgeweitet wird – zu Unrecht, denn wie oben erwähnt, wird sowohl in der wissenschaftlichen Literatur als auch in zahlreichen Dokumenten den Fragen der erneuerbaren Energien zunehmend Vorrang eingeräumt.

Richtungsweisende Empfehlungen für Studien der Bedingungen und Ausrichtung der Raumentwicklung

Was die Raumplanungsstudien betrifft, so ist eine begrenzte Annäherung an das Thema der erneuerbaren Energiequellen festzustellen. Sie wird häufig auf einen Verweis auf Artikel 10 Absatz 2a des Planungs- und Entwicklungsgesetzes reduziert. Dies ist Teil eines breiteren, polenweiten Trends. Dies kann im Übrigen mit nationalen Trends in Verbindung gebracht werden.

Die obigen Ausführungen verdeutlichen das Ausmaß des Problems. Der Inhalt der Studie kann nicht einfach auf Genehmigungen für den Einsatz einzelner erneuerbarer Energiequellen reduziert werden. Die angegebenen Investitionen sollten in den Richtungen der Veränderungen in der räumlichen Struktur der Gemeinde berücksichtigt werden. Natürlich kann der Rahmen der Studie bei dieser Gelegenheit nicht überschritten werden, aber eine diesbezügliche Analyse sollte auch im Rahmen der Bedingungen vorgenommen werden. Wichtig scheint auch eine einheitliche Terminologie zu sein (und deren Übersetzung in den Bereich der Flächennutzungspläne).

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass weder eine allgemeine Genehmigung noch ein Verbot im Zusammenhang mit dem Einsatz erneuerbarer Energiequellen in Studien ausreichend ist. Auch in diesem Dokument scheint Folgendes ausschlaggebend zu sein:

- Berücksichtigung der Rolle der erneuerbaren Energieträger im Rahmen der Überlegungen zur Raumentwicklung (durch eine Diagnose der bereits getätigten Investitionen und ihrer Folgen),
- Berücksichtigung der weiteren Entwicklung erneuerbarer Energiequellen.

Richtungsweisende Empfehlungen für lokale Raumordnungspläne

Lokale Entwicklungspläne können im Rahmen der Analyse in zwei Dimensionen betrachtet werden: Raumordnungspolitik und formal-rechtliche Folgen. Im Rahmen der ersten dieser Dimensionen sollte der Notwendigkeit besondere Aufmerksamkeit gewidmet werden:

– Ermittlung der möglichen Folgen des Standorts der erneuerbaren Energiequellen für den Standort (unter dem Gesichtspunkt möglicher räumlicher Konflikte),
– Ermöglichung einer gewissen Planungsflexibilität.

In Bezug auf den letztgenannten Punkt können mögliche formaljuristische Konsequenzen ein Hindernis darstellen, insbesondere bei unpräzisen Begriffen (die die Möglichkeit unterschiedlicher Auslegungen schaffen).

Literaturverzeichnis

1. Davoudi S., Crawford J., Mehmood A. (Hrsg.), Planning for climate change: strategies for mitigation and adaptation for spatial planners, Earthscan, London 2009.
2. Greiving S., Fleischhauer M., National climate change adaptation strategies of European states from a spatial planning and development perspective, „European Planning Studies", 2012, 20(1), 27–48.
3. Becker D., Greiving S., Climate and demographic change: The need for an integrative approach to spatial planning in Germany, https://metropolitics.org/Climate-and-Demographic-Change-The-Need-for-an-Integrative-Approach-to-Spatial.html (21.12.2021).
4. Wilson E., Piper J., Spatial planning and climate change, Routledge, London 2010.
5. Wheeler S.M., Spatial planning and climate change, „Housing Studies„, 2012, 27(1), 157–158.
6. Szlachta J., Nowak M., Agenda Terytorialna Unii Europejskiej 2030 a lokalne polityki przestrzenne w Polsce, „Samorząd Terytorialny", 2021, 12, 7–18.
7. Frantál B., Kunc J., Wind turbines in tourism landscapes: Czech experience, „Annals of Tourism Research", 2011, 38(2), 499–519.
8. Lechwar M., Kuźniar W., Wykorzystanie odnawialnych źródeł energii szansą na rozwój biogospodarki, „Economic and Regional Studies", 7(4), 65–72.
9. Lichołai R., Efficiency of natural lighting in office buildings on the example of a building located in Poland, „Przestrzeń i Forma", 2021, 48, 63–76.
10. Olczak K., Odnawialne źródła energii jako przesłanka prawna bezpieczeństwa energetycznego, „Studia Prawno-Ekonomiczne", 2020, 117, 115–128.
11. Pasqualetti M., Gipe P., Righter R., Wind power in view: Energy landscapes in a crowded world. Academic Press, San Diego 2002.
12. Frantál B., Kunc J., Wind turbines in tourism landscapes: Czech experience, „Annals of Tourism Research", 2011, 38(2), 499–519.
13. Pelc W., Planowanie energetyczne w gminie w świetle przepisów prawa energetycznego, w tym ostatnio wprowadzonych zmian, „Finanse Komunalne", 2010, 6, 39–43.
14. Rokicki T., Michalski K., Ratajczak M., Szczepaniuk H., Golonko M., Wykorzystanie odnawialnych źródeł energii w krajach Unii Europejskiej, „Rocznik Ochrona Środowiska", 2018, 20.
15. Skoczkowski T., Bielecki S., Odnawialne źródła energii–problemy i perspektywy rozwoju w Polsce, „Przegląd Elektrotechniczny", 2016, 92(3), 190–195.

16. Sokół J.L., Wykorzystanie odnawialnych źródeł energii w turystyce na przykładzie województwa podlaskiego, „Ekonomia i Zarządzanie", 2012, 4(2), 39–55.
17. Sowa S., The capacity market and its impact on the development of distributed energy sources, „Polityka Energetyczna", 2019, 22(4), 65–80.
18. Szydło M., Planowanie w gospodarce energetycznej na obszarze gminy, „Samorząd Terytorialny", 2004, 5, 50–66.
19. Moroni S., Antoniucci V., Bisello A., Local energy communities and distributed generation: Contrasting perspectives, and inevitable policy trade-offs, beyond the apparent global consensus, „Sustainability", 2019, 11(12).
20. Uchwała z dnia 28 czerwca 2019 r. nr VIII/100/19 Sejmiku Województwa Zachodniopomorskiego Strategia Rozwoju Województwa Zachodniopomorskiego.
21. Regionalny Program Operacyjny Województwa Zachodniopomorskiego 2014–2020, Warszawa 2021.
22. Uchwała nr XVII/214/20 zmieniającą uchwałę w sprawie uchwalenia Planu Zagospodarowania Przestrzennego Województwa Zachodniopomorskiego, Dz.U. Woj. Zach. z 2020 r., poz. 3564.
23. Uchwala nr XXII/230/2016 Rady Miejskiej w Dziwnowie z dnia 28 września 2016 r. w sprawie przyjęcia Strategii Rozwoju Gminy Dziwnów na lata 2016–2025.
24. Uchwała Nr XI/100/2015 w sprawie zatwierdzenia i przyjęcia do realizacji Planu Gospodarki Niskoemisyjnej dla Gminy Dziwnów.
25. Uchwała Nr XIV/97/2015 Rady Miasta Świnoujście z dnia 22 października 2015 r. w sprawie przyjęcia Planu Gospodarki Niskoemisyjnej dla Gminy Miasto Świnoujście, opracowanego w ramach realizacji projektu pn. „Zintegrowany Plan Gospodarki Niskoemisyjnej Szczecińskiego Obszaru Metropolitalnego".
26. Uchwała nr XXI/246/16 Rady Miejskiej w Wolinie z dnia 15 kwietnia 2016 r. w sprawie przyjęcia do realizacji „Planu gospodarki niskoemisyjnej dla Gminy Wolin".
27. Uchwała nr IV/28/2015 Rady Miejskiej w Dziwnowie z dnia 18 lutego 2015 r. w sprawie przyjęcia „Założeń do planu zaopatrzenia w ciepło, energię elektryczną i paliwa gazowe dla Gminy Dziwnów".
28. Uchwała nr XL/324/2013 Rady Miasta Świnoujście z dnia 27 czerwca 2013 r. w sprawie przyjęcia założeń do planu zaopatrzenia w ciepło, energię elektryczną i paliwa gazowe dla Gminy Miasto Świnoujście.
29. Załącznik nr 1 do Uchwały XLV/482/18 Rady Miejskiej w Międzyzdrojach z dnia 14 czerwca 2018 r. w sprawie studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego Gminy Międzyzdroje.
30. Załącznik nr 1 do Uchwały nr LXVII/442/2002 Rady Miasta Świnoujście z dnia 5 lipca 2002 r. w sprawie studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego Gminy Świnoujście.
31. Nawrot F., Budowa instalacji odnawialnych źródeł energii a planowanie przestrzenne, „Prawne Problemy Górnictwa i Ochrony Środowiska", 2017, 1, 71–89.

TEIL III
Energetisches Profil der Inseln Usedom und Wollin

Geologischer und hydrogeologischer Aufbau der Inseln Usedom und Wollin

Cyprian Seul
Westpommersche Technologische Universität Szczecin

Einleitung

Geografisch gesehen, liegen die Inseln Usedom und Wollin in der Provinz Südliche Ostseeküste und in der Region Stettiner Ostseeküste. Hydrologisch gesehen, gehört das Gebiet des MoRE-Projekts zum Einzugsgebiet der Ostsee, das auch die Einzugsgebiete des Stettiner Haffs und die Mündungsabschnitte der Oder (Dievenow, Swine und Peenestrom) umfasst. Die Inseln liegen im Norden im Meeresgewässer der Pommerschen Bucht, und im Süden im Gewässer des Stettiner Haffs. Die beiden Becken spielen eine wichtige Rolle bei der Gestaltung der hydrographischen Verhältnisse der tiefer gelegenen Teile der Inseln. Diese sind durch drei Wasserstraßen miteinander verbunden: Swine, Dievenow und Peenestrom. Die Stände der Oberflächengewässer unterliegen kurzfristigen Schwankungen, da sie durch die Zuflüsse des Ostseewassers, die wiederrum von den ozeanischen Zuflüssen abhängig sind, sowie von der Stärke und Ausrichtung der Winde, abhängen. Die Amplitude der Wasserstandschwankungen beträgt ca. 1 m und unter extremen Bedingungen übersteigt sogar 1,5 m [1].

Der Aufbau des betroffenen Gebiets resultiert aus komplexen tektonischen Pro-zessen, die während der alpinen Orogenese stattgefunden haben. Diese haben zur Aktivierung einer tiefliegenden Diskontinuitätszone beigetragen, die zur Ver-schiebung von Gesteinsmassen geführt und wiederum den Verlauf von Ablage-rungsprozessen und die ungleichmäßige Verteilung der Mächtigkeit einzelner Ge-steinsformationen bedingt hat. Die Abbildung 1 zeigt den geologischen Aufbau des MoRE-Gebiets.

Geologischer Aufbau – Paläozoikum

Das Gebiet der Inseln Usedom und Wollin liegt im nordwestlichen Teil der Pom-merschen Schwelle, die zum permisch-mesozoischen Strukturkomplex gehört. Die Inseln bestehen aus erhobenen Felsblöcken, die durch einschneidende Senken voneinander getrennt sind, die mit signifikanten Ablagerungen aus Zechstein ge-füllt sind. Das tektonische Verwerfungssystem steht im Zusammenhang

mit der letzten Phase der variskischen Orogenese, die im Mesozoikum und Känozoikum sich wiederholte. Erkennbar sind eine deutliche Verwerfung im Südwesten in der Richtung Nordostern (NE) – Südwesten (SW), sowie entlang der Nordküste der Insel Usedom [2], als auch Verwerfungen in der Richtung Nord (N) – Süd (S), die die Insel Wollin in drei Teile teilen [3].

Die ältesten belegten Ablagerungen auf der Insel Usedom sind die Ablagerungen aus dem Mittel- und Oberdevon, die auf tektonisch verworfenen Ablagerungen aus dem Ordovizium liegen. Die devonischen Ablagerungen bestehen aus Sand-stein und sind mit einer oberdevonischen Kalksteinschicht mit Foraminiferen, Brachiopoden oder Korallen bedeckt.

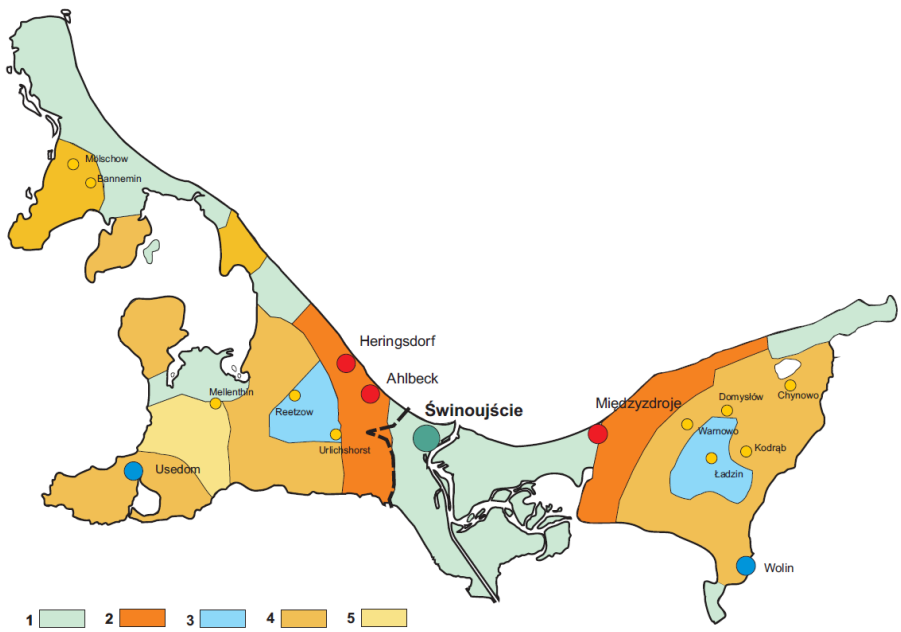


Abb. 1. Geologische Karte der Inseln Usedom und Wollin, zusammengestellt anhand [4], Er-läuterungen: 1 – Meeres- und Nehrungsablagerungen (Holozän), 2 – Endmoränenhöhen (Pleistozän), 3 – See- und Gletscherablagerungen (Pleistozän), 4 – Moränenhochland (Plei-stozän), 5 – Wasser- und Gletscherablagerungen (Pleistozän)

Die devonischen Ablagerungen in diesem Bohrloch sind mehr als 600 m mächtig (bis zu 400 m auf der Insel Wollin) und sind von mächtigen karbonischen Ablagerungen bedeckt, die in der Teufe von etwa 3500 m liegen. Am Boden werden sie durch vulkanische und marine Sedimente vertreten. Diese Ablagerungen sind stark

mineralisiert. An der devonischen Decke liegen die Temperaturen zwischen 70 und 90°C [7]. Die Schicht aus dem Oberkarbon besteht aus Meeressedimenten in Form von Sandstein und Schlammstein mit Kohleeinlagerungen, die nach oben hin in deltaische und fluviale Sedimente übergehen [8]. Die Mächtigkeit der Ablagerungen aus dem gesamten Karbon beträgt etwa 1000 m. Die Temperatur an der Karbondecke beträgt etwa 90°C. Das Wasser ist stark mineralisiert (etwa 300 g/dm^3).

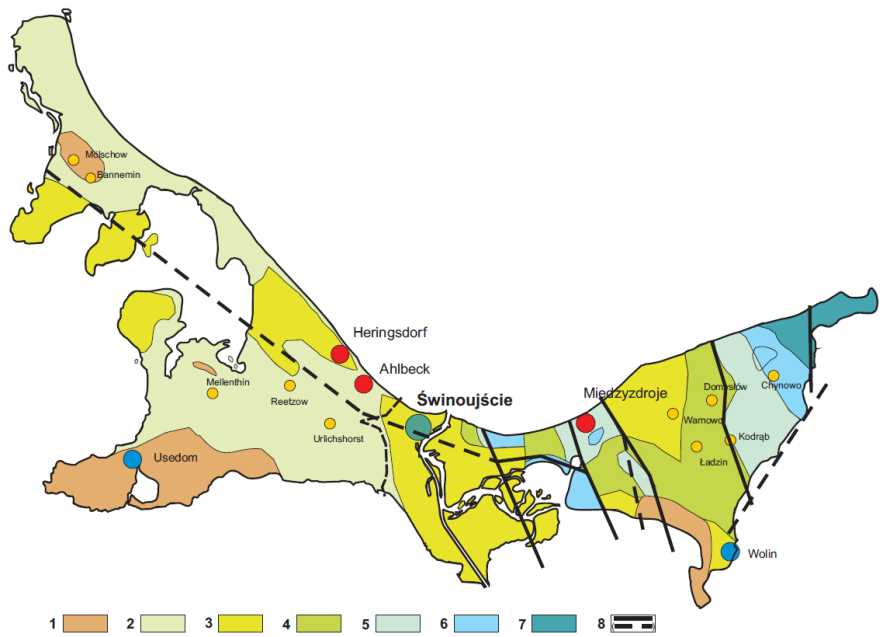


Abb. 2. Geologische Karte der Inseln Usedom und Wollin ohne die quartären Ablagerungen [5, 6], Erläuterungen: 1 – Paläogen/Neogen, 2 – Oberkreide – Campanium/Santon, 3 – Ober-kreide – Turonium/Cenomanium, 4 – Unterkreide, 5 – Oberjura, 6 – Mitteljura, 7 – Unterju-ra, 8 – Tektonische Bruchlinien (wahrscheinlich)

Das Perm wird durch Ablagerungen des Rotliegenden und des Zechsteins vertre-ten. Die Rhyolithe und Porphyre gehören zur Serie der vulkanischen Ausgüsse. Die höher gelegenen fluvialen Sedimenten umfassen Sandstein, Konglomerate, oft mit tonhaltigen Bindemitteln, torfige Schluffsteine mit Dolomit und Anhydrit-Adern [8]. Die Ablagerungen des Rotliegenden sind in der Teufe von ca. 3000 m in der Region von Swinemünde und 2700 m in der Region von Cammin [8, 9] ange-bohrt worden. Die Temperatur an der Permdecke reicht von 60 bis 80 °C). Die Ablagerungen des unteren Perms sind stark mineralisiert (etwa 250 g/dm^3).

Während der Zechsteinperiode kam es zu einer marinen Transgression, die durch vier Zyklotheme (Werra, Stassfurt, Leine und Allegr) repräsentiert wird. Die Abla-gerungen bestehen insbesondere aus Stein- und Kalisalzen, Anhydrit, auch aus Tonstein und Dolomit oder sogar aus kupfertragendem Schieferstein. Die Mäch-tigkeit der Zechsteinablagerungen schwankt zwischen 600 m bei Kolczewo und bis zu 1000 m bei Swinemünde.

Geologischer Aufbau – Mesozoikum

Die mesozoischen Ablagerungen auf den Inseln Usedom und Wollin erreichen eine Mächtigkeit von mehr als 2000 m und werden durch Ablagerungen aus dem Jura, der Trias und der Kreide repräsentiert. Die Ablagerungen der unteren Trias auf den Zechstein-Ablagerungen sind in der Teufe von ca. 2200 bis 2300 m angebohrt worden. Die untere Triassschicht besteht hauptsächlich aus Sandstein, der durch Tonstein und Schlammstein durchbrochen ist. Dolomitische Kalksteine sind ebenfalls vorhanden. Die Ablagerungen sind stark mineralisiert (200 bis 250 g/dm^3). Die Temperatur an der Untertriasdecke beträgt etwa 50 bis 60 °C.

Die Mitteltrias besteht in dem betroffenen Gebiet hauptsächlich aus Muschelkalk, Sand- und Schluffstein, sowie aus dolomitischem Mergelkalk. Die Decke der mittleren Trias liegt in einer Teufe von 800 bis 1100 m. Die Ablagerungen sind recht stark mineralisiert (200–250 g/dm^3). Die Temperaturen an der Triasdecke erreichen 60 °C. Die Obertriasdecke (Keuper, Retik) befindet sich in einer Teufe von 600 bis 1100 m. Die Keuper-Ablagerungen bestehen aus Tonstein und Schluffstein, Kalkstein mit Gips und Sandsteineinlagerungen. In den Rheatium-Ablagerungen (Ton- und Schlammstein) treten Braunkohleeinlagerungen auf. Ihre Mineralisierung beträgt 100 bis 200 g/dm^3. Die Temperaturen reichen von 25 °C im nördlichen Teil der Inseln bis 40 °C und im südlichen Teil des MoRE-Gebiets.

Der Jura im MoRE-Gebiet ist durch Ablagerungen aus dem Unter-, Mittel- und Oberjura repräsentiert. Der Unterjura umfasst insbesondere Sandstein, Ton- und Schlammstein, teilweise mit Braunkohleeinlagerungen. Die Decke der Ablagerungen liegt in der Teufe von etwa 800 bis 1100 m. Im östlichen Teil der Insel Wollin liegen diese Ablagerungen direkt unter pleistozänen Ablagerungen. Die Temperatur beträgt etwa 30 °C und sinkt im nördlichen Teil der Inseln bis auf 20 °C. Der Mineralisierungsgrad nimmt nach Westen hin zu und beträgt in Dziwnów etwa 20 g/dm^3. In Swinemünde erreicht er 150 g/dm^3.

Die mitteljurassischen Ablagerungen auf den Inseln erreichen eine Mächtigkeit von 100 bis 300 m. Diese Ablagerungen bestehen hauptsächlich aus Schluffstein,

Tonstein und Sandsteineinlagerungen mit Siderit. Es kommen auch chloritische Sandsteine mit Muscheln vor. Die Temperatur der Mitteljura-Ablagerungen reicht von 10 bis 20 °C auf der Insel Wollin und steigt auf über 30 °C auf der Insel Usedom an. Die Mineralisierung nimmt in westlicher Richtung von 5 g/dm^3 bei Dziwnów bis auf über 100 g/dm^3 südöstlich von Swinemünde zu.

Die Ablagerungen aus dem Oberjura bestehen aus Mergeln, Kalkstein, Ton- und Schlammstein. Ihre Decke liegt in der Teufe von mehreren Metern bis zu mehr als 100 m, örtlich sogar in der Teufe von beinah 300 m. Die Temperatur an der Decke dieser Ablagerungen beträgt 30 °C im nördlichen und südlichen Teil der Inseln. Die Mineralisierung der Ablagerungen nimmt in Richtung Südwesten zu und beträgt bei Dziwnów weniger als 2g/dm^3 und 5g/dm^3, im südlichen Teil der Insel Usedom bis über 20 g/dm^3.

Die Ablagerungen der Unterkreide kommen im zentralen Teil der Insel Wollin und lokal auf der Insel Usedom vor. Meistens liegen sie direkt unter den quartären Ablagerungen oder unter der Oberkreide. Dazu gehören Sandstein, Glaukonit-Sandstein, Ton- und Schlammstein, Ton und Sand. Die Decke liegt in der Teufe von 12 bis 90 m. Die Temperatur beträgt 5 bis 20 °C. Die Mineralisierung ist gering und reicht von 5 g/dm^3 im mittleren Teil der Insel Wollin bis knapp über 20 g/dm^3 im südlichen Teil der Insel Usedom.

Die Ablagerungen der Oberkreide liegen in der Teufe von 15 bis 50 m. Diese umfassen insbesondere Mergel und Kalksteinmergel (Cenomanium) sowie Schreibkreide und Turonmergel. Auf dem überwiegenden Gebiet der Insel Usedom kommen Campanium-Ablagerungen vor. Die Ablagerungen der Oberkreide sind auf einem großen Gebiet nachträglich abgetragen (durch die Denudation). Sie kommen in den Pleistozän-Ablagerungen als kreidezeitliche Abbrüche vor (siehe Abb. 2).

Geologischer Aufbau – Känozoikum (Tertiär bis Quartär)

Der Tertiär auf den Inseln wird durch einen kleinen Lappen mit Sand und Tonstein, sowie Schlammstein der Ablagerungen der Unterkreide in der Teufe von ca. 40 – 50 m im südöstlichen Teil der Insel Wollin und auch im südlichen Teil repräsentiert, die sich weiter nach Süden bis zum Stettiner Haff ausdehnt. Ihre Mächtigkeit ist gering und erreicht maximal 30 bis 40 Meter. Der zweite Lappen aus tertiären Ablagerungen befindet sich im südwestlichen Teil der Insel Usedom (bei der Stadt Usedom). Dabei handelt es sich höchstwahrscheinlich um oligozäne Tonsteine und miozäne Sande, die sich nach Süden, Südwesten und Südosten ausdehnen. In der Nähe von Orten Bannemin und Mölschow liegt ein kleiner Lappen von paläogenen Ablagerungen (s. Abb. 2).

Ein beträchtlicher Teil sowohl der tertiären, als auch der kreidezeitlichen und sogar teilweise der jurassischen Ablagerungen wurde durch das fortschreitende skandinavische Inlandeis abgetragen, zerkleinert und in die Richtung des Inlandeisfortschrittes verschoben.

Das Pleistozän wird im MoRE-Gebiet durch Ablagerungen aus mindestens drei großen Kaltzeiten repräsentiert. Die Mächtigkeit der pleistozänen Ablagerungen ist sehr unterschiedlich und reicht von einem Dutzend bis zu 150 m. Während der Eiszeiten wurden hier durch die Inlandeisbewegungen Moränenlehm, oft mit beigemischten mesozoischem Sedimenten (Kalkstein, Mergel oder Kreide), Sand und Kies abgelagert. Während der Zwischeneiszeiten wurde das Material der Erosion ausgesetzt und verschoben. Es bildeten sich vor allem Sand und Kies und in den Bereichen, die durch starke Bewegungen nicht betroffen waren, Staub und Ton. Im Pleistozän wurde das Material infolge der aufeinanderfolgenden Transgressionen und Regressionen der Eisschilde wiederholt verschoben. In dem betroffenen Gebiet wurden Ablagerungen aus drei Eiszeiten vorgefunden, die durch Zwischeneiszeiten (Holstein, Eem und Holozän) getrennt waren.

Nach dem Rückzug des Inlandeises nach Norden haben sich die hydraulischen Verhältnisse insoweit verändert, dass das Schmelzwasser danach nach Norden in den Baltischen Eisstausee abgeflossen ist, anschließend in den Ancylussee. Der Erosionsboden der durch das heutige Gebiet der Inseln fließenden Flüsse lag ca. 20 m unterhalb dem aktuellen Meeresspiegel. Aus diesem Grund ist es zur tiefen Erosion der Flusstäler gekommen.

Ein weitere Wende für das Inselgebiet war die lithorrhine Transgression, die vor etwa 8000 Jahren stattfand. Die Gewässer des Ancylussees fanden einen direkten Anschluss an den Atlantischen Ozean durch die Dänischen Meerengen (Belte und Sund). Dadurch stieg allmählich der Pegel der Littorina-See, und auf den Inseln Wollin und Usedom haben sich Nehrungen und Rückseitendeltas der Flüsse Peenestrom, Swine und Dievenow herausgebildet. Die Nehrungsgebiete haben zu verschiedenen Zeiten die Dünen bedeckt, die mit Schwankungen des Meeresspiegels einhergingen. Es handelt sich hier um braune, gelbe und weiße Dünen [10]. In der Zeit der menschlichen Besiedlung wurde das Gebiet anthropogen verändert. Schematische Darstellung der pleistozänen und holozänen Ablagerungen s. Abb. 2.

Grundwasservorkommen auf den Inseln Usedom und Wollin

Auf den Inseln verlaufen zwei Grundwasserleiter [1] aus dem Mesozoikum und dem Quartär. Der mesozoische Grundwasserleiter enthält hochmineralisiertes

Grundwasser, das für die Kurzwecke in Swinemünde (Bohrloch V Jantar), sowie in den Orten Albeck, Heringsdorf oder Usedom gefördert wird. Diese kommen in den Formationen Alb, Cenomanium und Turon vor. Dieses Grundwasser weist eine Mineralisierung von 31 g/dm^3 auf. Die Wässer des Kreideleiters sind chlorid- und natriumhaltig mit einem Chloridgehalt von über 10 g/dm^3. Der Mineralisierungsgrad dieser Gewässer steigt mit der Teufe an, die höheren an der Decke liegenden Wasserschichten enthalten meistens Süßwasser.

Süßwasser kommt ausschließlich im Grundwasserleiter des Quartärs vor. Der wichtigste verfügbare Grundwasserleiter sind holozäne und pleistozäne Sande mit guten Filtrationseigenschaften. Da hier eine dichte Deckung fehlt, können sich diese Leiter gut regenerieren. Das Wasser aus diesem Leiter wird durch die kommunalen Wasserwerke in Międzyzdroje entnommen. Der durch die Wasserentnahmestelle „Wydrzany" angezapfter Pleistozän-Wasserleiter ist von salzigen Wasserschichten der Oberkreide durch schwach durchlässige Bodenschichten (Moränenlehm) getrennt. Bei übermäßiger Förderung besteht hier die Gefahr, dass das Kreide-Wasser mit Pleistozän-Wasser in Kontakt kommt [6]. Im östlichen Teil der Insel Wollin ist der quartäre Grundwasserleiter weitgehend vom mesozoischen Grundwasserleiter isoliert. Ausschließlich nördlich von Wollin stehen die wasserführenden Schichten mit Sand- und Kalksteinen aus dem Oberjura in Kontakt. In den jurassischen Schichten nimmt die Mineralisierung von Wasser zu. Hier treten chlorid- und kalziumhaltige Solen aus dem Jura, sowie Halogene und Sulfate aus der Trias. Der Anstieg des Salzgehalts ist auf den Kontakt mit den wasserführenden Schichten der Zechstein-Formation zurückzuführen.

Auf der Insel Usedom steht der nutzbare Grundwasserleiter des Quartärs in Kontakt mit den Ablagerungen der Oberkreide. Die Mesozoikum-Wässer sind mineralisiert und deren Mineralisierungsgrad steigt mit der Teufe an.

Energetisches Potenzial der Grundwässer im MoRE-Gebiet

Die Grundwässer der oberpaläozoischen und mesozoischen Strukturen der Inseln Usedom und Wollin zeichnen sich durch eine starke Mineralisierung und mit der Teufe stetig zunehmende Temperatur aus. Im östlichen Teil der Insel Wollin beträgt die Grundwassertemperatur in ca. 700 m Teufe in den Deckenablagerungen des Unterjuras ca. 23 °C. In einer Teufe von etwa 2000 m in triassischen Ablagerungen erreicht die Temperatur 63 bis 80 °C [2] (Abb. 3). Wie in den Abbildungen 3 und 4 schematisch dargestellt, steigt die Temperatur im betroffenen Gebiet in der Teufe von 2000 und 3000 m unter der Geländeoberkante an.

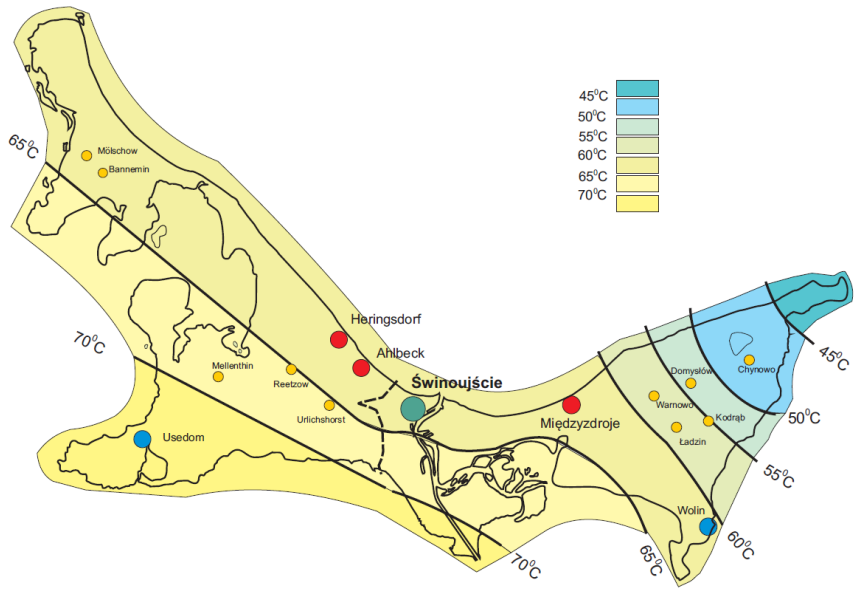


Abb. 3. Die Inseln Usedom und Wollin – Temperaturverteilung in der Teufe von 2000 m [11, 12]

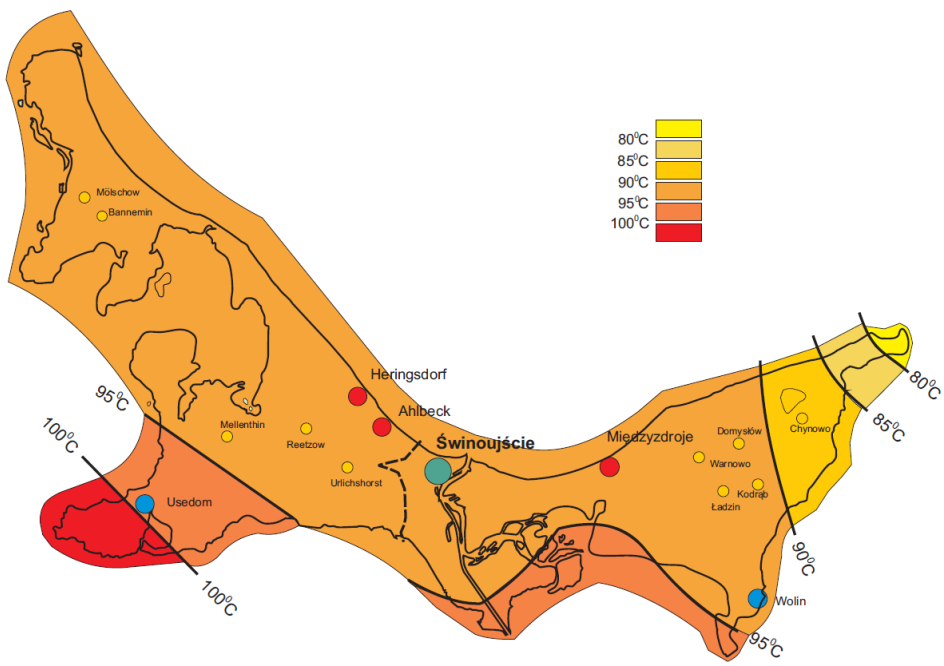


Abb. 4. Die Inseln Usedom und Wollin – Temperaturverteilung in der Teufe von 3000 m [11, 12]

Es ist darauf hinzuweisen, dass die Grundwassertemperatur in den Deckenablagerungen des Unterjura (Toars) in der Insel Usedom zwischen 20 und 30 °C liegt. Nur in der Nähe des Ortes Usedom ist die Wassertemperatur höher und liegt im Bereich zwischen 30 und 40 °C [5]. Das Wasser wird durch eine seit 1966 betriebene Mineralwasserquelle für die wassertherapeutischen Zwecke eingesetzt. Im gleichen Gebiet in der 2000 m Teufe der triassischen Ablagerungen beträgt die Grundwassertemperatur etwa 70 °C (Abb. 3) und steigt in den oberpaläozoischen Ablagerungen in der Teufe von 3000 m bis auf 100 °C an (Abb. 4). In diesem Gebiet der Inseln herrschen die höchsten Temperaturen, sowohl in der Teufe von 2000 m unter Grundoberkante, als auch 3000 m unter Grundoberkante.

Das Gebiet eines weiten Teils der Insel Wollin zeichnet sich durch relativ niedrige Grundwassertemperaturen aus, selbst in der Teufe von 2000 m. Im Küstenstreifen übersteigt sie 65 °C nicht. In der Teufe von 3000 m unter der Grundoberkante steigt sie auf knapp über 90 °C an. Der niedrigste Wert der Grundwassertemperatur in der Teufe von 3000 m unter dem Meeresspiegel ist im östlichen Teil der Inseln Wollin, während der höchste Wert im südlichen Teil der Insel Wollin zu verzeichnen (Abb. 4).

Zusammenfassung

Das Gebiet der Inseln Usedom und Wollin weist ein sehr vielfältiges Relief auf. Die höchstgelegenen Gebiete sind durch glaziale Ablagerungen geschaffen, wie Endmoränen und Grundmoränenhöhen. Die Senken in diesem Gebiet sind Formationen, die durch Staubereiche mit Glazialseen aus dem späten Pleistozän entstanden. Die flachen Nehrungsgebiete des Rückstaudeltas der Swine sind im Holozän nach der lithorhynischen Transgression entstanden und die Nehrungs-Dünen-Dämme mit einem Zug paralleler Dünen haben sich seit der atlantischen Periode bis zum heutigen Tag weiterentwickelt. Die Mächtigkeit der holozänen Ablagerungen reicht von einigen bis zu 20 Meter und bis unter -20 Meter ü. NN. Die Pleistozän-Ablagerungen, sowohl des glazialen als auch interglazialen Ursprungs, sind bis zu 150 m, meist jedoch bis zu 50 m mächtig. Diese erreichen die Teufe von –20 bis –30 m ü. NN. Nur südöstlich von Miedzyzdroje, in einer tiefer eingeschnittenen glazialen Rinne, liegen Pleistozän-Ablagerungen in der Teufe von –80 m ü. NN. Die Tertiär-Ablagerungen sind größtenteils abgetragen und kommen nur in Form von kleineren Lappen im südlichen Teil der Inseln vor. Unter den känozoischen Formationen liegen in der Zone der tektonischen Verwerfungen größtenteils Ablagerungen aus der Kreide und dem Oberjura, am östlichen Rand der Insel Wollin ebenfalls

Ablagerungen aus dem Unterjura. Tiefer im betroffenen Gebiet befinden sich triassische Formationen auf oberpaläozoischen Ablagerungen.

Die besprochene geologische Gestaltung des vorkänozoischen Grundbodens der Inseln beeinflusst die Temperaturverteilung der mesozoischen und oberpaläozoischen Stufe erheblich. Dies steht im Zusammenhang mit Temperaturen von Grundwasser, die für offene geothermische Zwecke vorteilhaft sind. Wasser mit einer Temperatur von mehr als 90 °C findet man in der Teufe von ca. 3000 m, mit Ausnahme des östlichen Teils der Insel Wollin, wo es in 3000 m Teufe ca. 85 °C erreicht. Die günstigste Region für die Nutzung der offenen Geothermie ist der Teil der Insel Usedom direkt am Ort Usedom.

Literaturverzeichnis

1. Projekt prac geologicznych związanych z wykonaniem otworu obserwacyjnego (piezometru Biała Góra) dla monitoringu jednolitej części wód podziemnych na obszarze wysoczyzny Wyspy Wolin (GWB 5). Państwowy Instytut Geologiczny, Państwowy Instytut Badawczy Oddział Geologii Morza w Gdańsku, Zakład Regionalny Geologii Pomorza w Szczecinie, Szczecin, październik 2009.
2. Kucharski M., Sokołowski A., Opinia hydrogeologiczna dotycząca możliwości uzyskania złoża wód podziemnych, wody geotermalnej na potrzeby Gminy Dziwnów wraz z opisem głębokości struktur geologicznych z poziomami wód, w których może znajdować się woda geotermalna, 2018.
3. Dadlez R., Jaroszewski W., Tektonika, PWN, Warszawa 1994.
4. Geothermie Kaiserbäder. Moderne Energieversorgung auf der Insel Usedom. Aktuelle Informationen zum Geothermie – Vorhaben 8.06.2021. USEDOMER GEOTHERMIE GMBH & Co. KG.
5. Obst K., Barth G., Wojatchke J., Sattelberger M., Dunkerley O., Charakterisierung geothermischer Ressourcen unter Berücksichtigung von Grenz – und Trennflächen. Teilvorhaben B. Modellierung geothermischer Horizonte und hydraulischer Untersuchungsergebnisse mesozoischer Sandsteinreservoire in Mecklenburg-Vorpommern. Geologischer Dienst, Güstrow 2020.
6. Hoc R., Sadurski A., Wiśniowski Z., Possibilities of safe yield increase in the Wydrzany well field (Uznam Island, Poland) by surface water from a drainage system, „Geologos", 2019, 25(3), 263–270. DOI: 10.2478/logos-2019-0029.
7. Górecki W. (Hg.), Atlas zasobów geotermalnych formacji paleozoicznej na Niżu Polskim, Ministerstwo Środowiska–AGH, Warszawa–Kraków 2006.
8. Matkowska Z., Ruszała M., Wdowiak M., Objaśnienia do SMGP ark. Świnoujście (112), Międzyzdroje (113), 1:50000, Wydawnictwo Geologiczne, Warszawa 1997.
9. Ruszała M., Dobracki R., Piotrowski A., Objaśnienia do SMGP ark. Wolin (114), Międzywodzie (75), 1:50000, Wydawnictwo Geologiczne, Warszawa 1979.
10. Keilhack K., Erläuterungen zur Geologischen Karte: Misdray, Lebbin, Swinemunde, Kaseburg. Kon. Preuss. Geol. L. – A., Berlin 1914.

11. Danel W., Dobracki R., Gałązka D., Nowacka M., Piotrowski A., Mapa geologiczna Polski w skali 1:200000. B _ Mapa bez utworów czwartorzędowych, Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa 2007.
12. Sowiżdżał A., Analiza geologiczna I ocena zasobów wód energii geotermalnej facji mezozoicznej Niecki Szczecińskiej [rozprawa doktorska], AGH, Kraków 2009.

Thermische Qualität von bestehenden Gebäuden auf Usedom und Wollin – Wärmebilduntersuchungen

Karolina Kurtz-Orecka, Jarosław Strzałkowski, Piotr Nikończuk, Agata Stolarska, Tomasz Olechwir[1], Aleksandra Pych, Laura Wojnicz, Bartosz Bogusławski, Tomasz Furmańczyk[1, 2], Wojciech Tuchowski

Westpommersche Technische Universität Stettin;

[1] *Universität Stettin;* [2] *Universität Stettin, Regionalbüro für Raumordnung der Woiwodschaft Westpommern in Stettin*

Einleitung

Die Bausubstanz auf den Inseln Usedom und Wollin ist, von ausgewählten Ausnahmen abgesehen, überwiegend lokal geprägt. Es überwiegen ein- oder zweigeschossige Gebäude mit hohen Dächern. In den Ferien- und Kurorten sind die Gebäude repräsentativer, während im Landesinneren der Inseln und an der Küste des Stettiner Haffs der regionale Bebauungstyp, der in vielen Fällen erhalten geblieben ist, deutlich sichtbar ist. Bei einem Großteil der Objekte handelt es sich um historische Gebäude, darunter auch solche, die unmittelbar unter Denkmalschutz stehen.

Die Verbesserung der Energieeffizienz bedeutet einen effizienteren Umgang mit Energie. Zu den grundlegenden Schritten hin zu mehr Energieeffizienz und ökologischer Nachhaltigkeit gehören:

- Verringerung des unnötigen Energieverbrauchs,
- Verbesserung der Effizienz der technischen Systeme und/oder Prozesse,
- Diversifizierung des Energiemixes durch die Einführung erneuerbarer Energiequellen,
- Einführung von Gebäudemanagementsystemen (BMS) und Energiemanagementsystemen (EMS) in ein kombiniertes BEMS-System.

Die energetische Umgestaltung des Gebäudebestands erfordert in erster Linie die Verbesserung der thermischen Qualität bestehender Gebäude und ihrer technischen Systeme sowie die Planung neuer Gebäude, die hohen nZEB-Standards entsprechen, d. h. Gebäude mit nahezu Nullenergieverbrauch.

Die Bewertung der thermischen Qualität der Gebäudehülle ist unter anderem mit nicht-invasiven Wärmebildkameratests möglich. Die Prüfergebnisse (Thermogramme) ermöglichen eine qualitative Bewertung der Objekte, d. h. die Angabe der Bereiche, deren Infrarotbild von dem des übrigen Objekts oder von dem voraussichtlichen Zustand abweicht.

Standort der Pilotstudien und Erhebungsmethodik

Das Gebiet der Wärmebilduntersuchung umfasste die Inseln Usedom und Wollin. Aufgrund der Weite des Gebietes wurden bei der Auswahl der detaillierten Standorte für die Pilotstudie die folgenden Empfehlungen berücksichtigt:

- Auswahl von Orten mit ähnlichen Merkmalen, die sowohl die Funktion des Zentrums, Merkmale der Bausubstanz, Infrastruktur, Entwicklung und die Bewirtschaftung der Umgebung (angrenzende Gebiete) umfassen,
- Verwendung der gleichen Standorte in den jeweiligen Pilotstudien, um die Ergebnisse der Studien besser beurteilen und weitere Rückschlüsse ziehen zu können.

Es wurden fünf Stufen für die Auswahl von Pilotstudienstandorten eingeführt (siehe Tabelle 1):

1. Am Meer gelegene Ortschaften, die überwiegend touristisch geprägt sind.
2. Städtische Zentren, die nicht am Meer liegen, gemischte Funktion.
3. Ländliche Ortschaften im Hinterland der Inseln.
4. Führendes Zentrum der Region (Swinemünde).
5. Standorte, die von Projektpartnern oder Interessengruppen identifiziert wurden.

Im Verlauf der Studie gab es keine Nachfrage nach der Durchführung von Level-5-Studien.

Sieben Ortschaften auf deutscher Seite und acht auf polnischer Seite wurden für die Studie ausgewählt (Abb. 1). Bei der Wahl des Standorts der einzelnen Ortschaften, die für die Pilotstudie ausgewählt wurden, wurden die gleichmäßigste Abdeckung des betreffenden Gebiets und seine besonderen Merkmale berücksichtigt. Da der Schwerpunkt der Aktivitäten des MoRE-Projekts unter anderem auf den Auswirkungen des Tourismus auf den Energiebedarf und die Umweltbelastung auf den Inseln liegt, wurden für die Level-1-Städte vor allem Feldstudien entlang der Haupttouristenattraktion, der Promenade, durchgeführt. Nur eine Stadt, Swinemünde auf der polnischen Seite, wurde auf Stufe 4 eingestuft. Mit über 40.000 Einwohnern ist Swinemünde die größte Stadt in der Region und hat auf deutscher Seite keine Entsprechung.

Die Wärmebildmessungen wurden gemäß der Norm EN 13187:2001 Thermische Eigenschaften von Gebäuden – Qualitative Ermittlung von thermischen Mängeln in der Gebäudehülle – Infrarotverfahren durchgeführt. Die Messungen erfolgten ausschließlich im Außenbereich der Gebäude, von öffentlichen Straßen aus und ohne Betreten von Privatgrundstücken. Die Wärmebildmessungen wurden in zwei Zeiträumen durchgeführt: vom 23. bis 26. Februar 2021 und vom 19. bis 21. März 2021. Es wurde versucht, die Messungen bei vollständig bewölktem Himmel

durchzuführen, was jedoch aufgrund der im Winter 2020/2021 vorherrschenden Wetterbedingungen nicht immer möglich war.

Tab. 1. Inseln Usedom und Wollin, Beschreibung der für die Feldstudien ausgewählten Standorte

Stufe	Standort		Beschreibung des Standortes
	Deutsch-land	Polen	
1	a. Ahlbeck b. Heringsdorf	Międzyzdroje	– Städte mit ausgeprägter Tourismus- und Kurfunktion – ähnliche Größe/Dichte der Bebauung – Lage am Meeresufer – Verlauf einer der Hauptverkehrsstraßen entlang des Ufers – Hafenmole
2	Usedom	Wollin	– ähnliche Funktion der Zentren (städtisch, Tourismusfunktion ist nicht führend) – ähnliche Größe/Dichte der Bebauung – Lage am Stettiner Haff oder an Gewässern, die mit dem Haff verbunden sind
3 a	Mölschow	Kodrąb	– ähnliche Funktion der Zentren (ländliche Zentren) – Lage im Hinterland der Inseln – Umgebung – Ackerflächen, geringe Nachbarschaft von Pflanzen mit hoher Vegetation/Waldumgebung
3 b	Mellenthin	a. Warnowo b. Ładzin	– ähnliche Funktion der Zentren (ländliche Zentren) – Lage im Hinterland der Inseln – Umgebung – Ackerflächen, geringe Nachbarschaft von Pflanzen mit hoher Vegetation
3 c	a. Reetzow b. Ulrichshorst	a. Domysłów b. Chynowo	– ähnliche Funktion der Zentren (ländliche Zentren) – Lage im Hinterland der Inseln – Umgebung – Ackerflächen, unmittelbare Nähe zu hoher Vegetation, unmittelbare Nähe zu Oberflächengewässern (Seen)
4		Swinemünde	– Hauptzentrum auf der Insel Usedom (keine äquivalente Ortschaft)
5	Von Interessengruppen angegebene Standorte		– max. 2 Gebäude, darunter: 1 Wohngebäude aus kommunalen Ressourcen, 1 öffentliches Gebäude

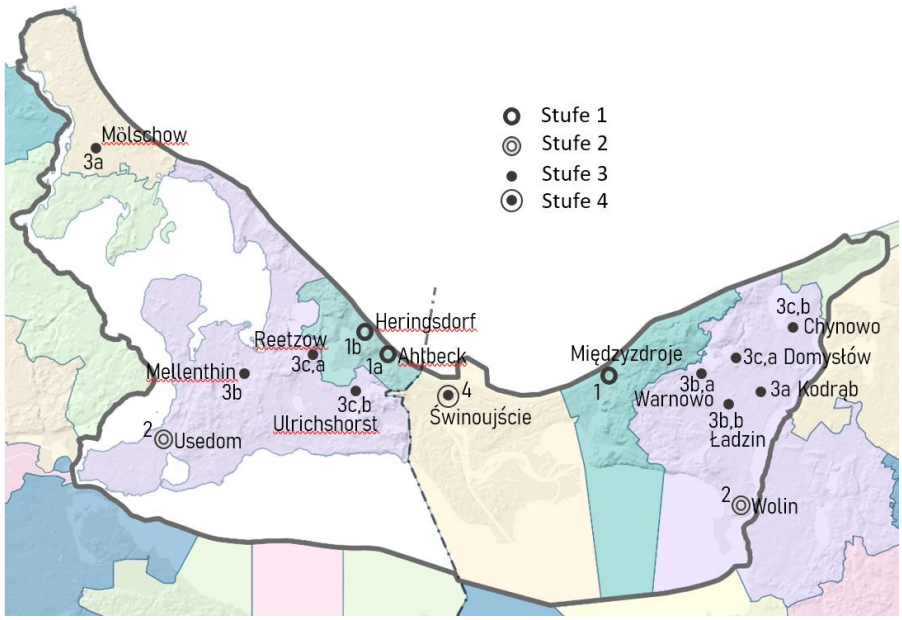


Abb. 1. Inseln Usedom und Wollin, detaillierte Lage der Wärmebildmessungen

Aufgrund der Zeitvorgaben und der eingeschränkten Bewegungsfreiheit zwischen den Ländern während der Covid-19-Pandemie wurde beschlossen, trotz unvollkommener meteorologischer Bedingungen Wärmebildaufnahmen zu machen. In solchen Fällen wurde in den Thermogrammen der teilweise Einfluss der Himmelsstrahlung berücksichtigt. Bei den Messungen wurden zwei Testo 868-Wärmebildkameras, ein Testo 882-Gerät und als Hilfsmittel ein CAT S62-Smartphone mit einer Flir Lepton 3,5-Wärmebildkamera verwendet.

Ausgewählte Ergebnisse der Wärmebildmessungen im Gelände

Im Rahmen des MoRE-Projekts wurden insgesamt 2.800 Thermogramme aufgenommen. Die gewonnenen Eingangsdaten bildeten die Grundlage für die Rückschlüsse auf den thermischen Zustand der Gebäude auf den Inseln. Es ist zu betonen, dass die erhaltenen Thermogramme nur für eine qualitative Bewertung der untersuchten Objekte geeignet sind, da aus Gründen, die außerhalb der Kontrolle des Untersuchungsteams liegen, starke Himmelsstrahlungseffekte erfasst wurden. Die Beschreibung der einzelnen Thermogramme ist hauptsächlich qualitativ. Die hier vorgestellten Schlussfolgerungen beschränken sich auf die Analyse der erhaltenen Wärmebilder, die auf Grundlage der Erfahrung des Teams, das den Forschungsbericht erstellt, durchgeführt wurde, ohne die zusätzliche Unterstützung

der Schlussfolgerungen durch die Möglichkeit des direkten Zugangs zu den Gebäuden oder die Analyse der technischen Dokumentation, die bei typischerweise durchgeführten thermografischen Untersuchungen wichtig ist.

Bei allen Thermogrammen wurde versucht, eine ähnliche Referenztemperaturskala beizubehalten, um einen Vergleich zwischen den einzelnen Bildern zu ermöglichen. Alle sind in der gleichen Farbpalette gehalten. Jedes Infrarotbild hat seine eigene Wärmeskala. Die Abbildungen 2–67 zeigen 4–6 ausgewählte Thermogramme aus jeder für die Studie ausgewählten Ortschaft (Tab. 1).

Chynowo (PL)

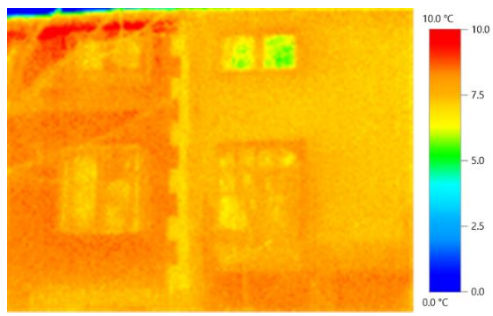


Abb. 2. Chynowo (PL), Thermogramm 1

Gebäude mit kompakter Fassadenfront. Bei dem Gebäude rechts wurden die Außenwände thermisch saniert. Wärmedämmplatten, die als Referenz für die (wahrscheinlich) zu erwartende Fortsetzung der Arbeiten vorbereitet wurden. Gebäude auf der linken Seite mit sichtbarer Wärmebrücke des Außenwand-Dach-Anschlusses an der Traufe der Längswand. Markierte Wärmebrücken der Anschlüsse zwischen den Fenster- und Türelementen und den Außenwänden.

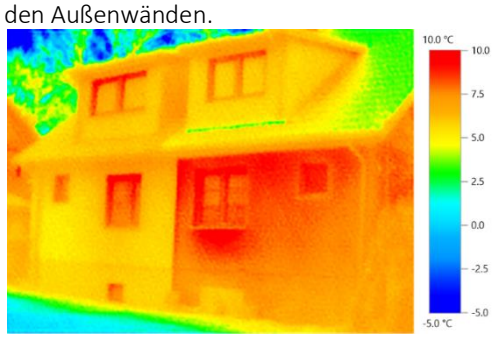


Abb. 3. Chynowo (PL), Thermogramm 2

Doppelhaushälfte, linker Teil gleichmäßig koloriert, was auf eine durchgeführte Wärmedämmung schließen lässt. Der rechte Teil befindet sich wahrscheinlich in der Phase der thermischen Sanierung, was auf die Merkmale der Dachbedeckung zurückzuführen ist – die niedrigere Oberflächentemperatur lässt auf eine bessere Wärmedämmung schließen. Außenwände des rechten Teils ohne Wärmedämmung, mit sichtbarer Farbe unter

dem Fenster an der Vorderwand, die Rückschlüsse auf den Standort der Heizungsanlage und den Betrieb des Heizsystems zulässt. In der rechten Gaube ist eine lineare Wärmebrücke am Übergang zwischen Wand und Dach sichtbar.

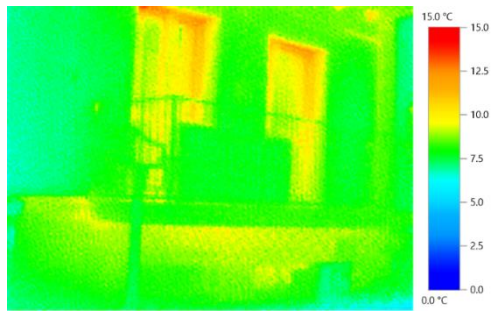


Abb. 4. Chynowo (PL), Thermogramm 3

Außenwand eines wärmegedämmten Gebäudes, sichtbare Auswirkung der Ausdünnung der Wärmedämmung in den Ausschrägungen um die Fensterrahmen und die Auswirkung der auskragenden Einbettung der Balkonplatte in die Wand.

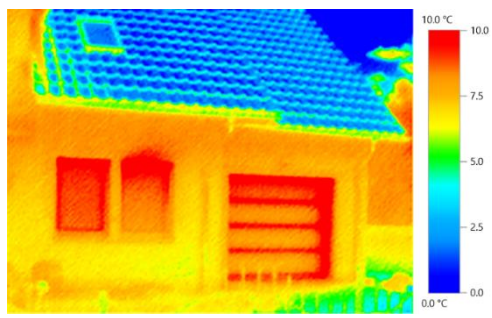


Abb. 5. Chynowo (PL), Thermogramm 4

Sichtbare Auswirkung der Kippung des rechten Fensters (unten kühler, oben wärmer mit Warmluftverwischungseffekt). Garagen-Sektionaltor – Blick auf die thermische Qualität der Sektionalbauteile. In der Dachschräge ist der Effekt der Einbettung eines Oberlichtfensters sichtbar.

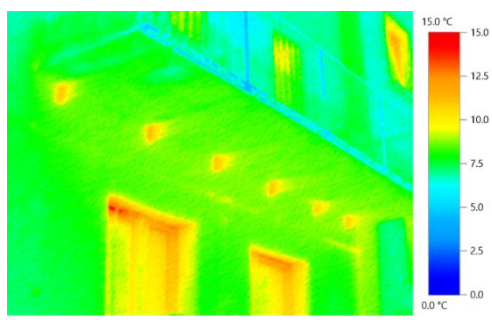


Abb. 6. Chynowo (PL), Thermogramm 5

Punktuelle Wärmebrücken der Balkonplatteneinbettung und lineare Wärmebrücken an den Tür- und Fensterelementen.

Domysłów (PL)

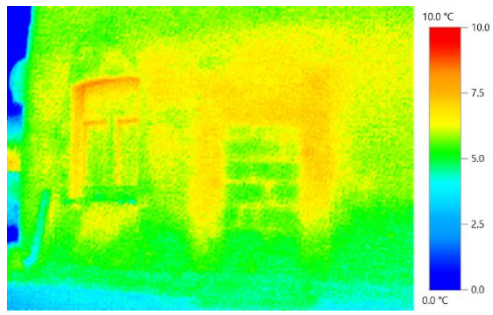


Abb. 7. Domysłów (PL), Thermogramm 1

Lineare Wärmebrücke der Fensterverankerung (linkes Fenster) und die wahrscheinliche Auswirkung der Ausdünnung des Mauerwerks um die zugemauerte Fensteröffnung auf der rechten Seite.

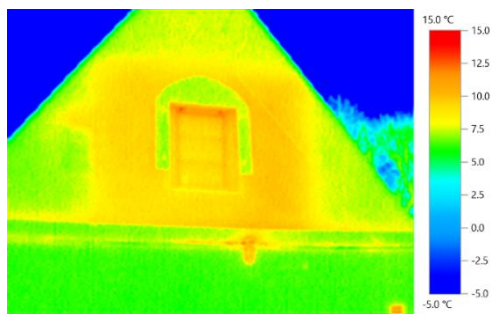


Abb. 8. Domysłów (PL), Thermogramm 2

Gebäude mit teilweise wärmegedämmten Außenwänden (Erdgeschoss) und teilweise beheiztem Dachgeschoss (Dachschrägen sind getrennt und unbeheizt). Sichtbare Lichtpunkte an der Fassade.

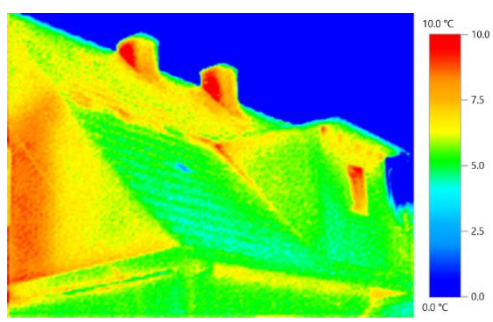


Abb. 9. Domysłów (PL), Thermogramm 3

Mit Bezug auf die Beschreibung von Abb. 8 sind zusätzlich zwei aktive Wärmequellen (in der Tat zwei warme Kamine) sichtbar. Der obere Teil der Dachschräge hat eine warme Farbe, was auf eine Decke unter dem unbeheizten Teil des Dachbodens mit schlechter Wärmedämmung oder auf einen schlechten technischen Zustand der Schornsteine hindeuten kann. Hinzu kommen die sichtbare Brücke des Anschlusses der Gaubenwand an die Dachschräge, der Fenstersturz in der Gaubenwand und die schlecht wärmegedämmten Fenster- und Türelemente.

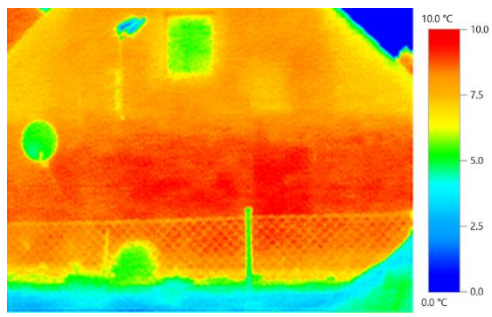


Abb. 10. Domysłów (PL), Thermogramm 4

Wärmeungedämmtes Gebäude mit beheiztem Erdgeschoss. Die sichtbare Wirkung der zusätzlichen Trennung der Abschrägungen entlang der Längswände und der zugemauerten Öffnungen: eine Fensteröffnung im Erdgeschoss und eine Türöffnung im Erdgeschoss. Die Öffnung im Erdgeschoss wurde mit einem Material verschlossen, das eine höhere Wärmeleitfähigkeit aufweist als die benachbarte Wand („kälteres" Material), die Fensteröffnung im Erdgeschoss wurde mit einem Material verschlossen, das bessere Dämmeigenschaften aufweist als die benachbarte Wand („wärmeres" Material).

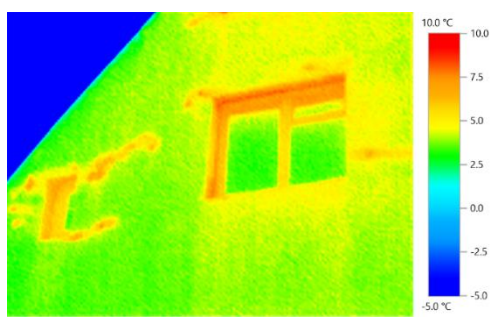


Abb. 11. Domysłów (PL), Thermogramm 5

Giebelwandfläche mit variablem Wärmebild. Sichtbare Risse in der Konstruktion, die zu einer erhöhten Wärmeabgabe an die Umgebung führen und die Auswirkungen eines unkontrollierten Eindringens von Außenluft in das Gebäude verstärken und somit zu einem erhöhten kumulierten Lüftungswärmeverlust beitragen.

Warnowo und Ładzin (PL)

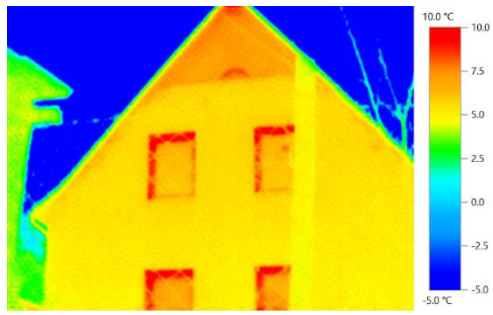


Abb. 12. Warnowo und Ładzin (PL), Thermogramm 1

Das Gebäude ist wahrscheinlich teilweise wärmegedämmt (bis zur Grenze des unbeheizten Dachbodens). Die thermische Qualität der Wärmedämmung bietet nicht den erforderlichen Wärmewiderstand, wie die geringe Temperaturdifferenz der Außenwandflächen im unbeheizten Teil und an der Hauptfläche der Giebelwand zeigt. Sichtbare linienförmige Wärmebrücken an den Auflageflächen der Öffnungselemente.

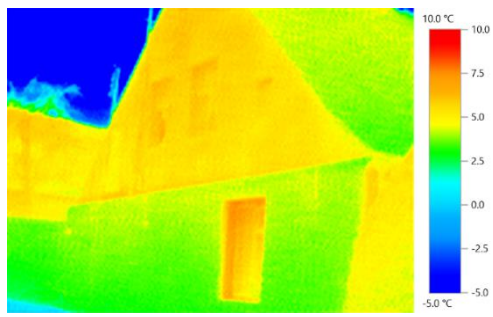


Abb. 13. Warnowo und Ładzin (PL), Thermogramm 2

Das Gebäude wurde teilweise wärmegedämmt, d. h. im Bereich des Erdgeschosses. Sichtbares Fehlen oder unzureichende Wärmedämmung der Fensterausschrägung. Sichtbare vertikale helle Markierung in der letzten Schicht der Giebelwand-Wärmedämmung, die darauf hindeuten, dass die Wärmedämmung einlagig verlegt wurde und die durch die Unebenheiten entstandenen Lücken zwischen den Dämmplatten wahrscheinlich nicht mit Wärmedämmung (Schaumstoff) gefüllt wurden. Der geringe Unterschied in der Oberflächentemperatur der Giebelwand zwischen dem Erdgeschoss und dem unbeheizten Dachgeschoss lässt auf eine schlechte Wärmedämmung der Decke über dem Erdgeschoss schließen.

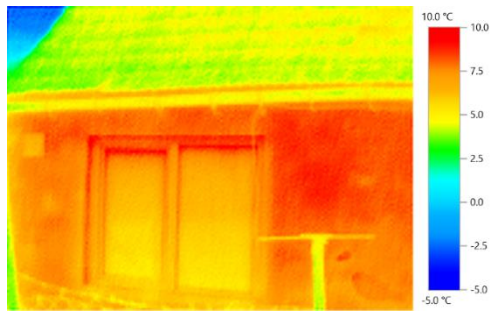


Abb. 14. Warnowo und Ładzin (PL), Thermogramm 3

Gebäude ohne Wärmedämmung der Außenwände.

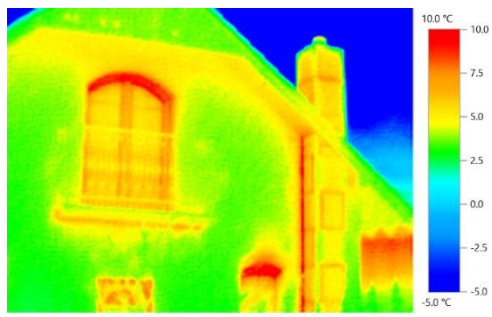


Abb. 15. Warnowo und Ładzin (PL), Thermogramm 4

Wärmegedämmtes Gebäude (Außenwände). Sichtbares unregelmäßiges Wärmebild der Verbindung zwischen der Außenwand im Giebel und den Dachschrägen. Wahrscheinlich ein nachgebauter, nicht wärmegedämmter Schornstein mit einer sichtbaren linearen Wärmebrücke an der Verbindungsstelle zur Außenwand. Erhöhter Wärmeübergang von der Anschlussfläche der Balkontür zur Außenwand. Auf beiden Seiten der Balkontür sind die Verankerungspunkte des Geländers sichtbar. Unterhalb der Balkontür gibt es eine lineare Wärmebrücke nach der Einbettung einer schmalen freitragenden Platte. Unten ein Ausschnitt aus der Eingangstür mit den markierten Feldern der reduzierten Wärmedämmung.

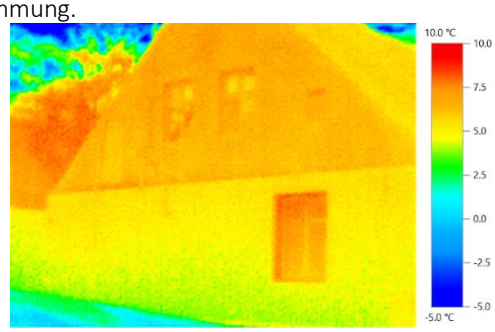


Abb. 16. Warnowo und Ładzin (PL), Thermogramm 5

Das Gebäude wurde teilweise wärmegedämmt, d. h. im Bereich des Erdgeschosses. Sichtbares Fehlen oder unzureichende Wärmedämmung der Fensterausschrägung im Erdgeschoss. Der geringe Unterschied in der Oberflächentemperatur der Giebelwand zwischen dem Erdgeschoss und dem unbeheizten Dachgeschoss lässt auf eine schlechte Wärmedämmung der Decke über dem Erdgeschoss schließen.

Kodrąb (PL)

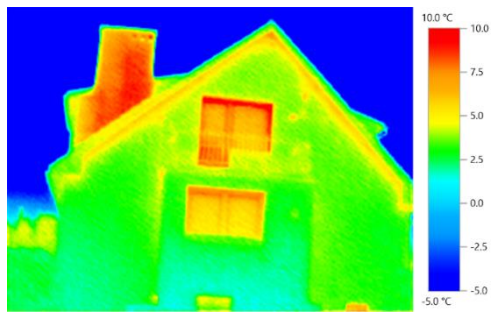


Abb. 17. Kodrąb (PL), Thermogramm 1

Wärmegedämmtes Gebäude. Außenwände mit einem nahezu gleichmäßigen Temperaturbereich mit scheinbar einheitlichen Bereichen der Diskontinuität im Wandfeld. Sichtbare lineare Wärmebrücke an der Verbindung zwischen der Erkerwand im Erdgeschoss und der Hauptfläche der Giebelwand (hellere Kante links vom Erdgeschossfenster). Sichtbarer punktueller Durchbruch in der Wärmedämmung für die Montage des Terrassengeländers. Öffnungskomponenten mit unterschiedlichen thermischen Eigenschaften – Fenster und Balkontüren erzeugen einen deutlich höheren Wärmestrom als die Fenster im Erdgeschoss. Das vorherrschende Bild des Schornsteins im Thermogramm – ein thermisch nicht isolierter Schornstein, der auf der rechten Seite wärmer ist und in den sichtbaren Öffnungen endet, d. h. in dem Teil, der zu den Schwerkraftlüftungsleitungen führt. Der an den Schornstein angrenzende Teil der Gaube (links davon) wurde nicht wärmegedämmt.

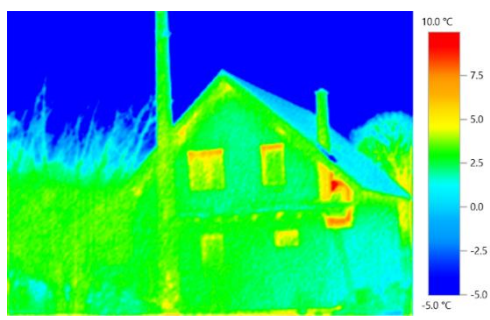


Abb. 18. Kodrąb (PL), Thermogramm 2

Ein zeitgenössisches wärmegedämmtes Gebäude. Sichtbare Unterbrechung der Wärmedämmung am Übergang zwischen Wand und Schornstein. Punktuelle Wärmebrücken über den Fenstern im Erdgeschoss. Lineare Wärmebrücken an der Verbindung zwischen Außenwand und Traufe.

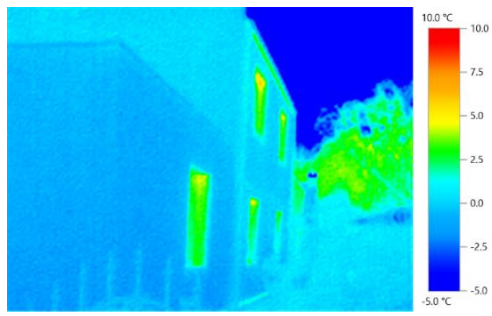


Abb. 19. Kodrąb (PL), Thermogramm 3

Wärmegedämmtes Gebäude – thermisch homogene Trennflächen.

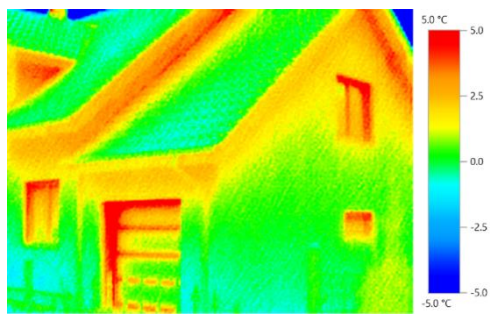


Abb. 20. Kodrąb (PL), Thermogramm 4

Ein zeitgenössisches wärmegedämmtes Gebäude. Sichtbare erhebliche thermische Inhomogenitäten zeigen sich entlang des flächigen Anschlusses der beiden Dächer sowie des Anschlusses der Gaubenseitenwand an die Dachschräge und der Außenwände an das Dach an der Traufe – insbesondere an der Giebelseite des Gebäudes.

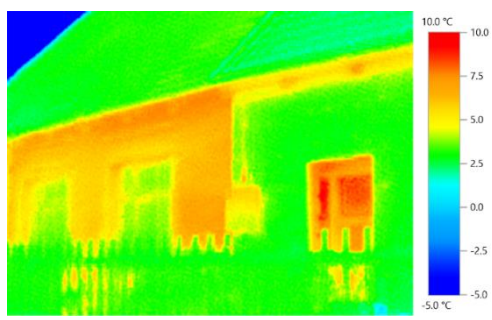


Abb. 21. Kodrąb (PL), Thermogramm 5

Doppelhaushälfte. Die rechte Seite des Gebäudes wurde thermisch saniert. Sichtbare lineare Wärmebrücke, verursacht durch die Unterbrechung der Wärmedämmung zwischen Außenwand und Dachschräge (rechtes Segment). Eingangstür (rechtes Segment) wahrscheinlich mit Einfachverglasung (hohe Temperatur auf der Außenfläche der Verglasung sichtbar). Linker Teil ohne Wärmedämmung der Außenwände, mit einem wärmegedämmten Dach, das jedoch eine geringere Wärmeleistung als das Dach des rechten Teils aufweist. Eine deutliche Verstärkung des Wärmeübergangs an der Traufe, d. h. am Übergang zwischen Wand und Dachfläche.

Wollin (PL)

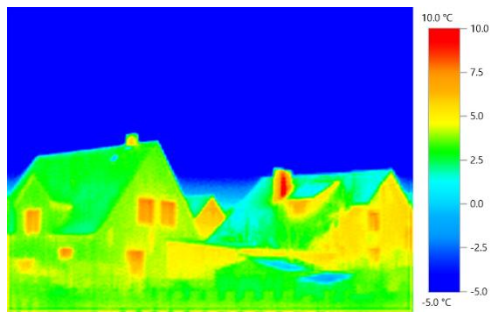


Abb. 22. Wollin (PL), Thermogramm 1

Gebäude mit unterschiedlichen thermischen Hülleneigenschaften. Gebäude auf der linken Seite mit isolierten Außenwänden (thermisch aufgerüstet). Sichtbare lokale Unterbrechungen der Wärmedämmung an Trennwänden. Fenster- und Türelemente mit geringer Wärmedämmung. Das Gebäude rechts hat ein wärmegedämmtes Dach, aber keine Dämmung im Bereich der Außenwände. Bemerkenswert ist die sehr warme Oberfläche des Schornsteins, die auf eine aktive Wärmequelle für feste Brennstoffe schließen lässt.

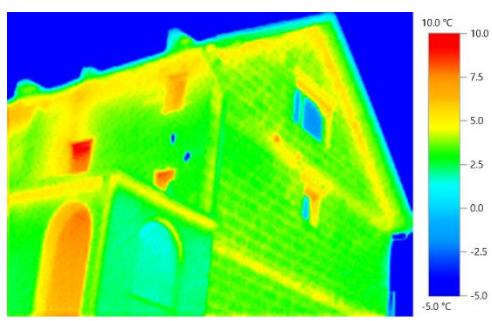


Abb. 23. Wollin (PL), Thermogramm 2

Gebäude ohne Wärmedämmung der Außenwände. Übersichtliche Gestaltung von Wandelementen (Mauerblöcke), Randeinfassungen und Stürzen. Schlechte thermische Qualität der Verbindungen zwischen den Öffnungselementen und den Außenwänden. Sehr energieintensives Gebäude.

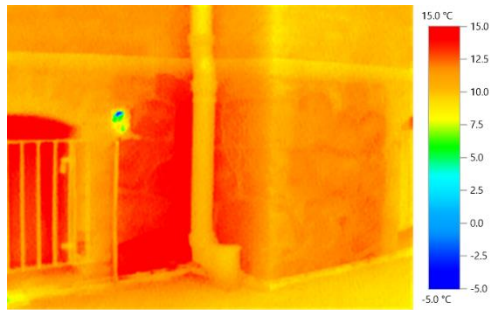


Abb. 24. Wollin (PL), Thermogramm 3

Die Wärmeleitfähigkeit eines Mauerwerksabschnitts wird durch Oberflächenfeuchtigkeit aus einem undichten Regenwassersystem aufgehoben.

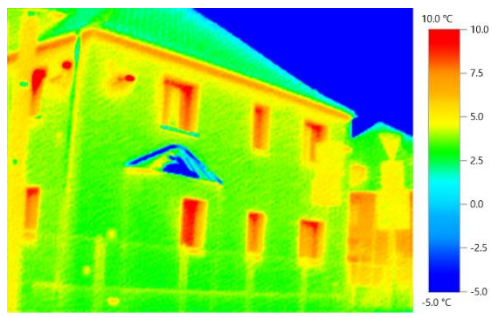


Abb. 25. Wollin (PL), Thermogramm 4

Ein Gebäude, das thermisch modernisiert wurde. Gedämmte Außenwände und Dach. Das Wärmebild der Wände und des Daches ist homogen. Sichtbare Unterbrechungen oder Ausdünnung der Wärmedämmung an der Verbindungsstelle zwischen Außenwänden und Dach. Fenster mit unterschiedlichen thermischen Eigenschaften. Im zweiten Stockwerk wird an den Ecken der Außenwände eine Außenbeleuchtung oder ein Überwachungssystem installiert. Haupteingang mit Blechdach (ein Material mit einem anderen, viel niedrigeren Emissionsgrad) – das Thermogramm zeigt die Wirkung der Hintergrundreflexion, d. h. die Temperatur des Himmels (blau und dunkelblau).

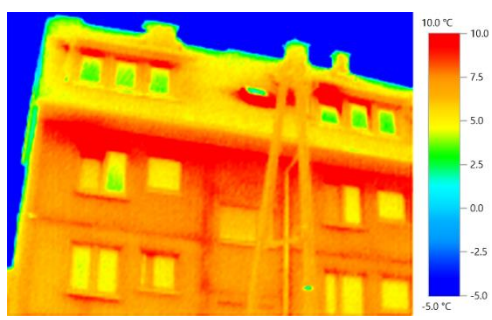


Abb. 26. Wollin (PL), Thermogramm 5

Mehrfamilienhaus aus vorgefertigten Elementen in industrieller Bauweise. Sichtbare Fugen der einzelnen Wandelemente und eine erhebliche Wärmebrücke des Außenwand-Dach-Anschlusses. Wärmegedämmtes Dach, jedoch mit geringer Wärmedämmung. Sichtbare Lecks im Bereich der Dachluke.

Międzyzdroje (PL)

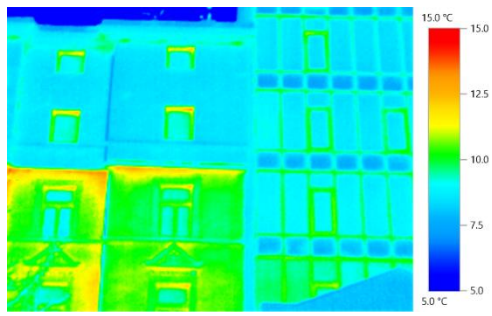


Abb. 27. Międzyzdroje (PL), Thermogramm 1

Wärmegedämmtes Gebäude – Kombination aus denkmalgeschütztem Gebäude (linke Seite) und zeitgenössischem Ausbau (rechte Seite). Ein Bereich mit gestörter Temperaturverteilung – das zweite und dritte Stockwerk des historischen Gebäudes, das wahrscheinlich mit einem Wärmeschutzputz oder einer Wärmedämmschicht mit geringem Wärmewiderstand (eine Schicht in der Dicke des ursprünglichen Putzes) bedeckt ist, um die Lesbarkeit der architektonischen Details zu erhalten. Erhebliche Wärmebrücke zwischen der Wandoberfläche der unteren Geschosse und der dekorativen Umrandung. Die beiden obersten Geschosse sind wärmegedämmt, die Verankerung der Dämmung im Mauerwerk erfolgt über eine klare Punktanordnung der mechanischen Befestigungen. Im historischen Teil sind undichte Stellen im Bereich der Fenster- und Türelemente vorhanden. Zeitgenössischer Teil (rechte Seite des Thermogramms) – als Systemfassade ausgeführte Wand, verglast. Die Fassade hat eine gute Wärmedämmleistung. Sichtbare, mit Dämmplatten gefüllte und mit Fassadenglas veredelte Geschossdecken – das sind die Bauteile mit der höchsten Wärmedämmleistung im analysierten Thermogramm.

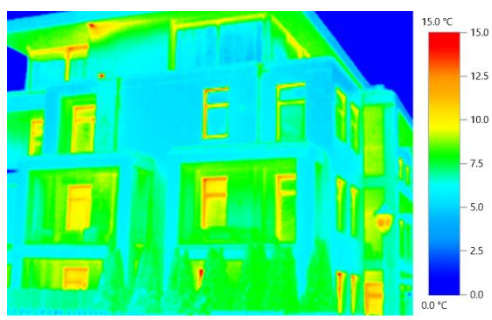


Abb. 28. Międzyzdroje (PL), Thermogramm 2

Wärmegedämmtes Gebäude. Geringfügig verminderte thermische Qualität der Wände innerhalb der Loggia. Erhebliche Wärmebrücke an der Verbindung zwischen den Außenwänden und der Flachdachebene. Geringe Wärmedämmung der Öffnungselemente.

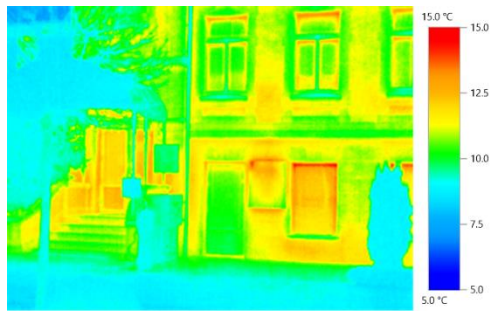


Abb. 29. Międzyzdroje (PL), Thermogramm 3

Außenwand nicht wärmegedämmt. Die Fensterbänder sind kühler (mit einer niedrigeren Temperatur im Vergleich zur angrenzenden Wand), was auf die größere Dicke der gesamten Trennwand zurückzuführen ist. Leckagen innerhalb der Öffnungselemente.

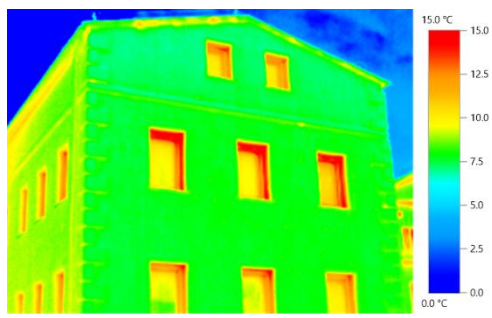


Abb. 30. Międzyzdroje (PL), Thermogramm 4

Thermische Sanierung des Gebäudes mit Wiederherstellung der Rustizierungskonturen an den Außenwandecken. Homogenes Bild des Außenwandfeldes mit Ausnahme des Gesimses über dem zweiten Stockwerk. Sichtbare Lecks in der Verbindung zwischen der Wärmedämmung der Wände und des Daches. Fensterausschrägungen mit erhöhter Oberflächentemperatur.

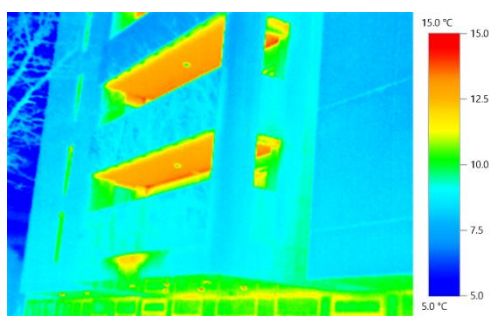


Abb. 31. Międzyzdroje (PL), Thermogramm 5

Ein zeitgenössisches wärmegedämmtes Gebäude. Wände mit einheitlichem Wärmebild, rechts mit sichtbaren Fugen der Fassadenplatten. Nicht wärmegedämmte Balkonplatten dienen als Kühlrippen für die Gebäudestruktur. Im Erdgeschoss (unten im Thermogramm), Glasfassaden mit Rahmen mit niedrigem Wärmewiderstand.

Swinemünde (PL)

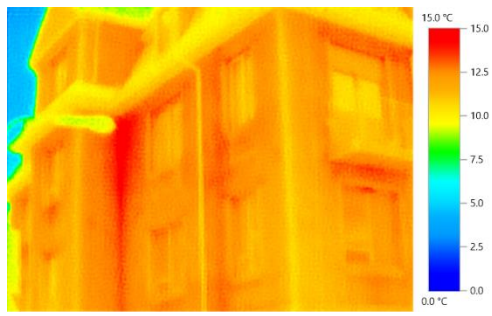


Abb. 32. Swinemünde (PL), Thermogramm 1

Ein Gebäude ohne Wärmedämmung. In der konkaven Ecke ist ein deutlicher Anstieg der Wärmeabgabe an die Umgebung festzustellen, wobei sich die Wärmeabgabe im oberen Teil der Wand direkt an der Traufe noch verstärkt, was auf den Einfluss von Feuchtigkeit auf der Wandoberfläche aufgrund eines nicht funktionierenden Dachentwässerungssystems schließen lässt.

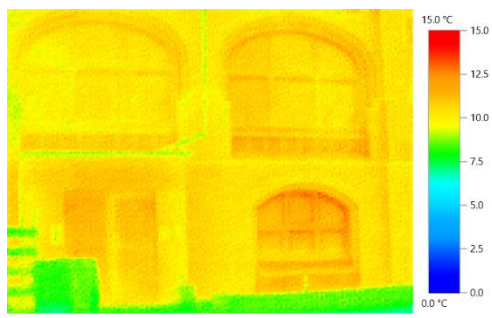


Abb. 33. Swinemünde (PL), Thermogramm 2

Ein Gebäude ohne Wärmedämmung. Fenster- und Türelemente mit vergleichbarer Wärmedämmung wie bei den Außenwänden, etwas schlechter im Erdgeschoss auf der rechten Seite.

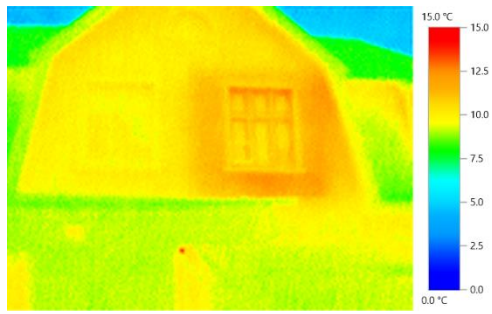


Abb. 34. Swinemünde (PL), Thermogramm 3

Räume, die auf unterschiedliche operative (interne) Temperaturen beheizt werden.

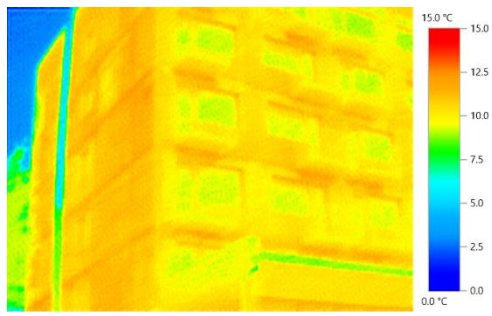


Abb. 35. Swinemünde (PL), Thermogramm 4

Mehrstöckiges Gebäude aus vorgefertigten Elementen in industrieller Bauweise. Durch die fehlende Wärmedämmung werden die technischen Fugen zwischen den großen Plattenelementen sichtbar. Wärmebild der Fenster- und Türelemente ähnlich dem der Außenwände.

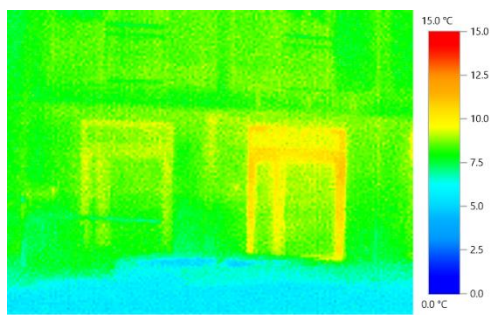


Abb. 36. Swinemünde (PL), Thermogramm 5

Wärmegedämmtes Gebäude. Homogenes Wärmebild des Außenwandfeldes. Auf der rechten Seite des Erdgeschosses befindet sich eine Außentür mit niedriger Rahmenisolierung.

Mölschow (DE)

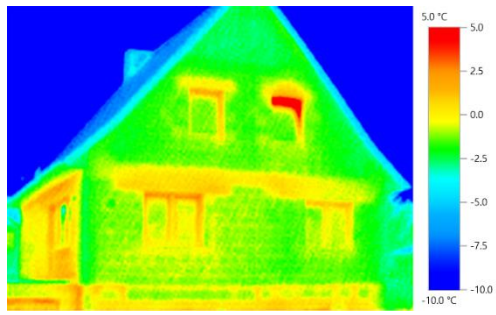


Abb. 37. Mölschow (DE), Thermogramm 1

Gebäude ohne Wärmedämmung der Außenwände. Klare Schichtung von Wandelementen und Stürzen. Das Fenster im Dachgeschoss rechts ist angekippt.

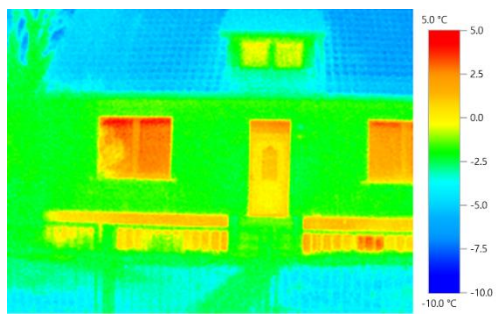


Abb. 38. Mölschow (DE), Thermogramm 2

Ein Gebäude, das thermisch modernisiert wurde. Wird die Wand im Sockelbereich nicht gedämmt, kommt es zu einem erhöhten Wärmeverlust von der Decke über dem Keller und weiter durch die Sockelwände. Außentüren und Fenster mit relativ geringer Wärmedämmung. Im Keller rechts vom Gebäudeeingang befindet sich wahrscheinlich ein Raum mit einer Wärmequelle, die das Gebäude mit Wärme versorgt.

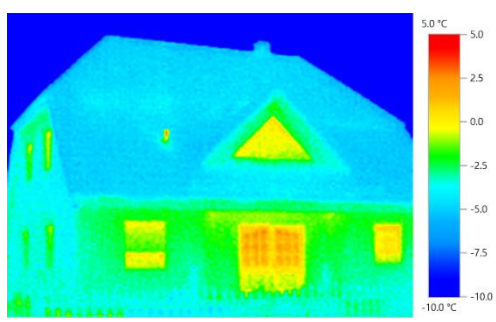


Abb. 39. Mölschow (DE), Thermogramm 3

Wärmegedämmtes Gebäude. Wärmebild der Außenwand und der homogenen Dachflächen. Teil des Eingangs in der Arkade mit etwas geringerer Wärmedämmung im Vergleich zu den anderen Außenwänden. Verminderte Wärmedämmung der Außentürverglasung. Andere Fensterwärmebilder wie erwartet. Oberhalb der Dachschräge, links von der vorderen Dachgaube, ist ein Stück Rohrleitung herausgeführt – wahrscheinlich die Entlüftung der Kanalisation.

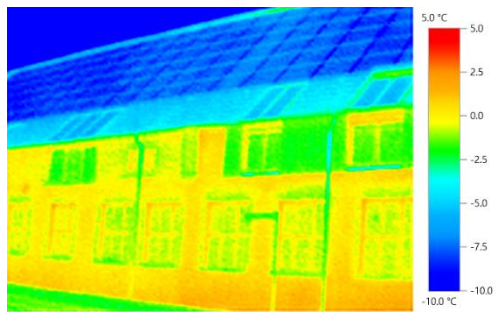


Abb. 40. Mölschow (DE), Thermogramm 4

Gebäude wahrscheinlich ohne Wärmedämmung an den Außenwänden. Sichtbarer unbeheizter/unbenutzter Raum (kalte Außenwandfläche). Gute Dämmung des Schrägdachs. Ein Bild der Photovoltaikanlage auf dem Dach.

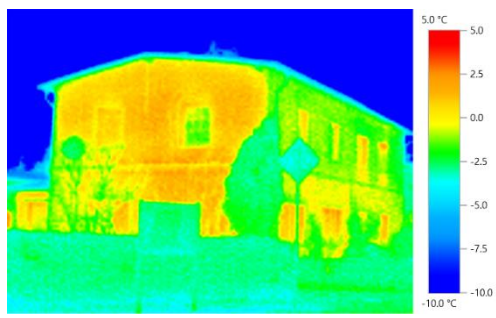


Abb. 41. Mölschow (DE), Thermogramm 5

Teilweise thermisch saniertes Gebäude mit Ausschluss der Giebelwand oder der Verbretterung der Fassade des ersten Stocks.

Mellenthin (DE)

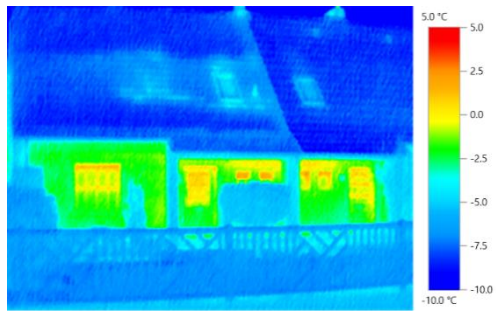


Abb. 42. Mellenthin (DE), Thermogramm 1

Wärmegedämmte Gebäude. Sichtbare Unterbrechung der Wärmedämmung im Bereich der Fensterbank. Auf der rechten Seite des Thermogramms sind die Außenrollladenkassetten über den Fenstern zu sehen. In der Dachfläche die deutliche Auswirkung der Verletzung der Wärmedämmung – Entfernung des Schrägfensters im Gebäude links und wahrscheinlich Ersatz des sichtbaren Schrägfensters.

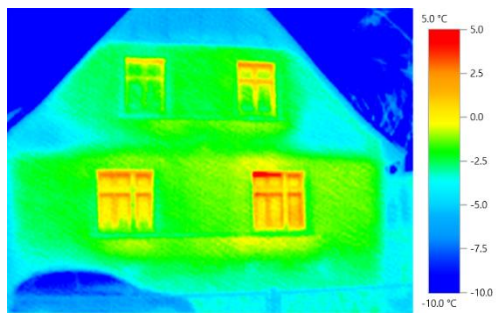


Abb. 43. Mellenthin (DE), Thermogramm 2

Wärmegedämmtes Gebäude. Giebelwand mit Brettern verkleidet. Fenster- und Türelemente mit relativ geringer Wärmedämmung. Fenster im Erdgeschoss undicht. Eine deutliche Veränderung der Außentemperatur um die Fenster herum kann durch das Eindringen kalter Luft unter die Wärmedämmschicht im Bereich des Fenstereinbaus verursacht werden.

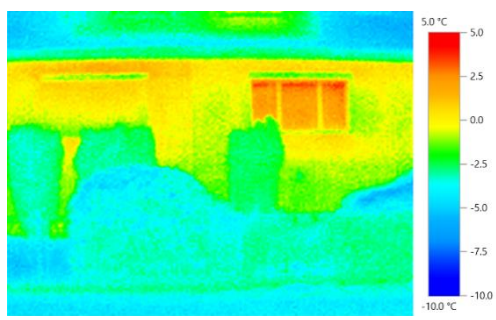


Abb. 44. Mellenthin (DE), Thermogramm 3

Ansicht der Fenster mit Außenjalousien, Außenjalousiekassette über den Fenstern. Das linke Fenster ist mit einer Jalousie verdeckt, das rechte Fenster ist unbedeckt. Die Wand auf der rechten Seite ist wahrscheinlich mit einer Schicht mit nicht sehr hohem Wärmewiderstand wärmegedämmt. Wärmegedämmtes Dach.

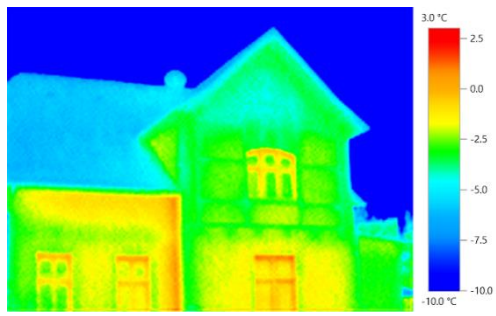


Abb. 45. Mellenthin (DE), Thermogramm 4

Gebäude ohne Wärmedämmung der Außenwände. Ein klares architektonisches Detail "in der Dicke" der Trennwand (die Trennwand ist an dieser Stelle breiter und bietet somit mehr Wärmewiderstand). Markantes Detail der Wärmebrücke des Außenwandanschlusses an der konkaven Ecke. In der Giebelspitze der Giebelwand ist die Abgrenzung zwischen dem beheizten und dem unbeheizten Teil des Dachbodens sichtbar (kaltes Giebeldreieck). Fenster im alten Stil, die sich an die thermische Qualität des Gebäudes anpassen. Thermisch isoliertes Dach, homogen im Wärmebild.

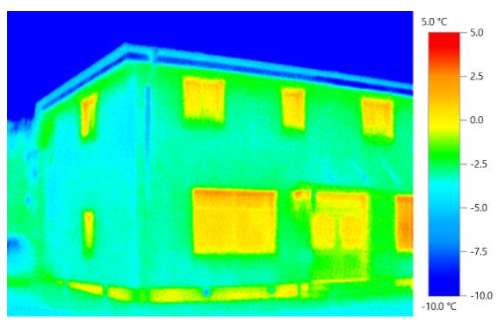


Abb. 46. Mellenthin (DE), Thermogramm 5

Wärmegedämmtes Gebäude. Das Wärmebild der Wände ist außerhalb der Bodenkontaktfläche, wo eine erhöhte Wärmeübertragung mit der Umgebung zu beobachten ist, gleichmäßig. Fenster mit unterschiedlicher thermischer Qualität (Erdgeschossfenster – rechts und links). Außentür mit Rahmen und Paneel (unterer Teil der Tür) mit guter Wärmedämmung. Links von der Außentür an der Fassade ist ein Außenlichtpunkt zu sehen.

Usedom (DE)

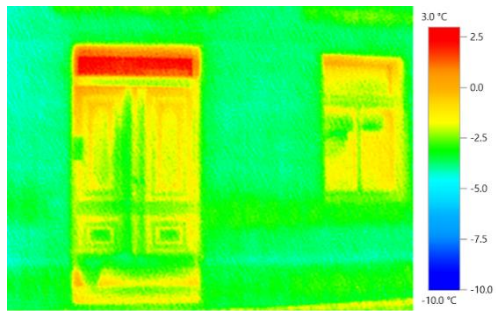


Abb. 47. Usedom (DE), Thermogramm 1

Wärmegedämmte Wand. Ein Kontakt zwischen einer Außenwand und dem Boden mit erhöhter Außentemperatur deutet auf eine unzureichende Wärmedämmung in diesem Teil des Gebäudes hin. Holzgetäfelte Außentür mit Oberlicht. Oberlichtverglasung mit Einfachverglasung – geringe Wärmedämmung.

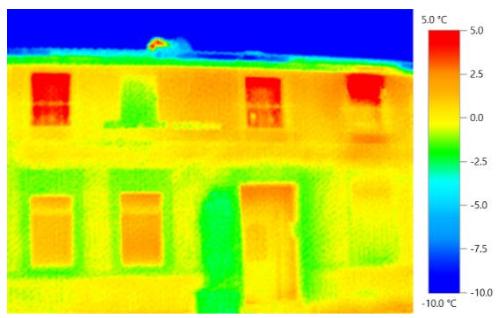


Abb. 48. Usedom (DE), Thermogramm 2

Gebäude ohne Wärmedämmung der Außenwände. Markante architektonische Details in Form von Fensterbändern und Gesimsen unterhalb der Fenstereinfassungen (lokale Verdickung der Trennwand). Erhöhter Wärmeübergang an der Verbindungsstelle zwischen Außenwand und Boden (rechter Teil des Thermogramms). Deutliche Unterschiede in der thermischen Qualität der Fenster. Räume im ersten Stock (rechts) werden auf eine höhere operative (interne) Temperatur geheizt. Wärmegedämmtes Dach. Ein Teil des warmen Schornsteins ist in der Nähe der Dachfirst zu sehen.

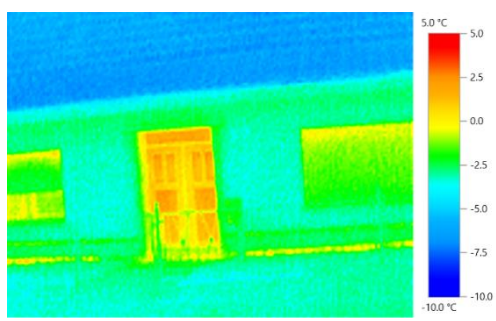


Abb. 49. Usedom (DE), Thermogramm 3

Wärmegedämmtes Gebäude. Falsche Ausführung des Anschlusses zwischen Außenwand und Boden. Hölzerne, verglaste Türen mit Paneelen – schlechte thermische Qualität dieser Elemente. Oberhalb der Fensteröffnungen, vermutlich in der Wärmedämmschicht, sind Kästen für Außenjalousien angebracht. Fenster rechts von der Außentür mit teilweise heruntergelassenem Rollladen, Fenster links – Rollladen geschlossen. Die Verwendung von Außenjalousien verringert den Wärmeverlust über die Fensterfläche (insbesondere die Strahlungskomponente), aber in den meisten Fällen führt der Einbau einer Jalousiekassette zu einer Wärmebrücke.

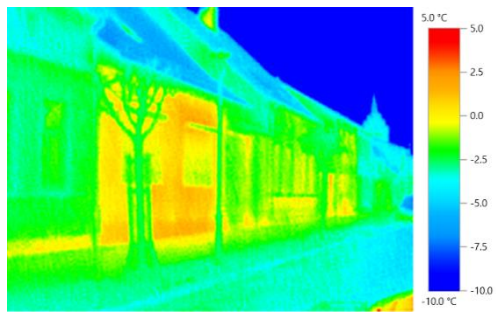


Abb. 50. Usedom (DE), Thermogramm 4

Ansicht der kompakten Bebauung. Differenzierte Dämmung von Außenwänden. Erhöhter Wärmeverlust in Erdgeschossbereichen. Wärmegedämmte Dächer. Sichtbarer warmer Schornstein, der auf eine aktive Wärmequelle hinweist.

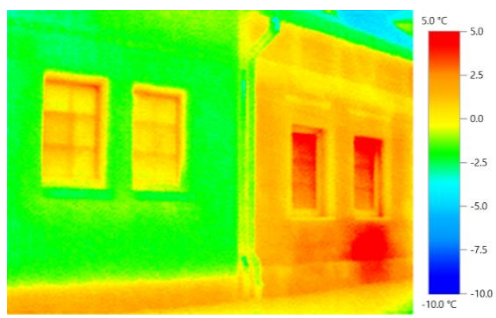


Abb. 51. Usedom (DE), Thermogramm 5

Nachbarschaft zweier Gebäude – mit Außenwand-Wärmedämmung (links) und ohne Dämmung (rechts). Bei beiden Gebäuden ist ein Teil der Wände im Sockelbereich ungedämmt und führt zu einem verstärkten Wärmeaustausch mit der Umgebung. In dem Gebäude auf der rechten Seite des Thermogramms ist unter dem rechten Fenster ein Anstieg der Wärmestromdichte zu erkennen, der auf die Position des aktiven Heizelements hinweist. Über den Fenstern ein sichtbarer Rand oder ein anderer horizontaler Balken (z. B. ein Rähm). Ebenfalls sichtbar ist die strukturelle Anordnung des Kniestocks. Unterschiedliche thermische Qualität der Fenster in beiden Gebäuden. Das Dach des rechten Gebäudes ist wärmegedämmt.

Reetzow (DE)

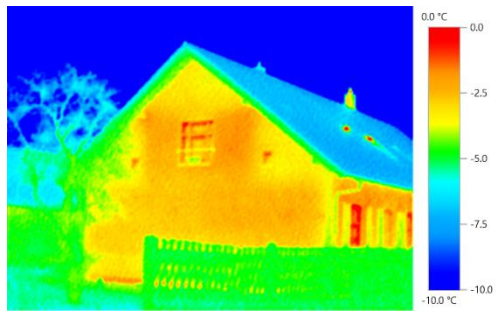


Abb. 52. Reetzow (DE), Thermogramm 1

Gebäude mit Wänden ohne Wärmedämmung. Deutliche Teilnutzung des Dachbodens (die Dachschrägen und der obere Teil des Dachbodens sind unbeheizt). Bemerkenswert sind die verstärkte Wärmeübertragung vom Erdgeschoss (sichtbarer Teil der Giebelwand) und die schlechte Wärmedämmung einiger Fenster. Wärmegedämmtes Dach. Oberhalb des Daches sind Einbauteile und der Rand des Dachfensters sichtbar (Abb. 54).

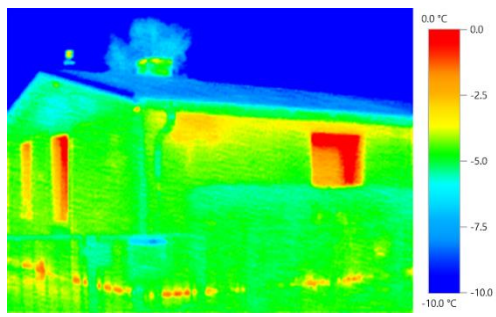


Abb. 53. Reetzow (DE), Thermogramm 2

Gebäude mit wärmegedämmten Außenwänden und Dach. Der ausgeprägte Wärmeverlust im Erdgeschossbereich deutet auf eine fehlende oder unzureichende Wärmedämmung des Sockels und der erdberührten Wände hin. Auffällige Wärmebrücke der Außenwandverbindung mit der Längstraufe. Das Bild wurde auf der linken Seite der Wand in der Nähe der Stelle verstärkt, an der das Regenwasser vom Dach abfließt (mit dem Fallrohr in die Dachrinne), was auf ein (früheres?) Leck im Dachentwässerungssystem hindeutet. Fenster- und Türelemente erzeugen deutliche Wärmeverluste. Wärmegedämmter Schornstein, sichtbare Abluftkanäle (gelbe Punkte).

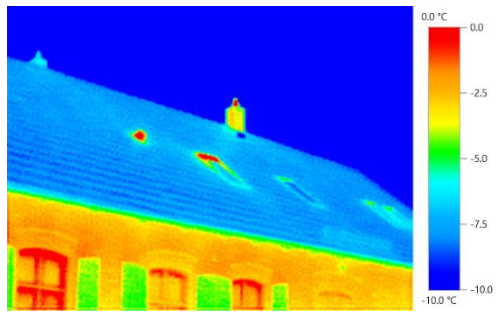


Abb. 54. Reetzow (DE), Thermogramm 3

Unter Bezugnahme auf die Beschreibung von Abb. 54 kann die Oberkante eines Schrägfensters mit erhöhtem Wärmeübergang auf einen offenen Schrägfensterlüfter hindeuten. Sichtbarer Schornstein mit Abgasrohr.

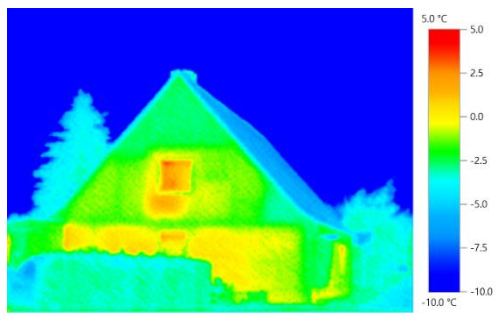


Abb. 55. Reetzow (DE), Thermogramm 4

Gebäude ohne Wärmedämmung der Außenwände. Deutlich sichtbarer Nutzbereich des Dachbodens und Skelettkonstruktion der Giebelwand im Dachbereich. Unterhalb des Fensters wird die Position des Heizelements angezeigt. Das Dach ist wahrscheinlich wärmegedämmt.

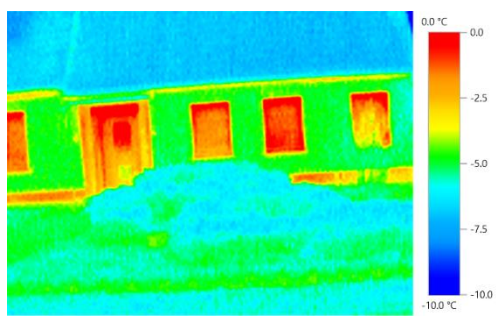


Abb. 56. Reetzow (DE), Thermogramm 5

Gebäude mit Wärmedämmung der Außenwände und des Daches. Fehlende Wärmedämmung oder unzureichende Wärmedämmung des Sockels. Deutliche Wärmebrücke zwischen Außenwand und Dach. Öffnungselemente von geringer thermischer Qualität.

Ulrichshorst (DE)

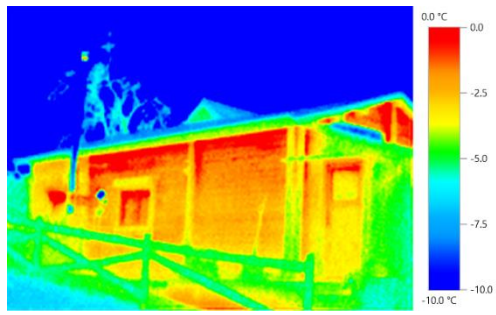


Abb. 57. Ulrichshorst (DE), Thermogramm 1

Ungedämmtes Gebäude. Erhöhter Wärmeverlust im Erdgeschoss. Starke Wärmebrücken an der Verbindung zwischen den Außenwänden und dem Dach. Geringe Wärmedämmung der Öffnungselemente.

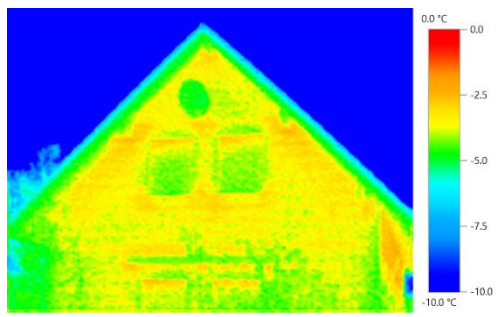


Abb. 58. Ulrichshorst (DE), Thermogramm 2

Die Wand ist nicht wärmegedämmt. Deutliche Schichten von Mauerwerkselementen.

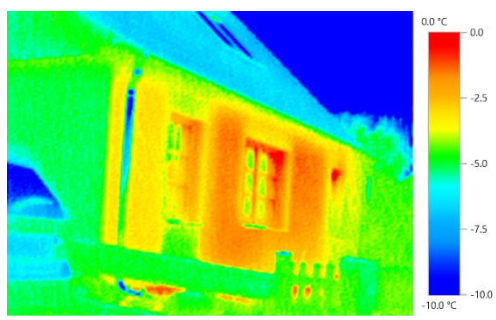


Abb. 59. Ulrichshorst (DE), Thermogramm 3

Bei einem Gebäude mit einer gedämmten Giebelwand wurden die Arbeiten wahrscheinlich in mehreren Etappen durchgeführt, was auf Wärmebrücken im Erdgeschoss und eine Giebeldämmung im Dachgeschoss schließen lässt. Nicht wärmegedämmte

Vorderwand mit einem Raum mit deutlich höherer Betriebstemperatur. Erhöhter Wärmeverlust im Erdgeschoss. Wärmegedämmtes Dach. Das Fenster in der Tiefe ist angekippt.

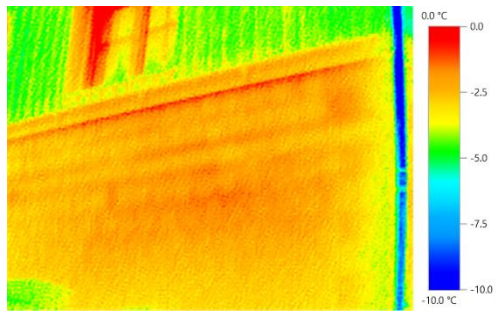


Abb. 60. Ulrichshorst (DE), Thermogramm 4

Ein Wandabschnitt ohne Wärmedämmung. Sichtbare Schichten von Wandelementen. Im oberen Teil wird eine Schalung angebracht, die den Wärmeverlust der Wandoberfläche aufgrund des gut belüfteten Zwischenraums direkt unter den Platten nur teilweise reduziert (die Bretter werden nicht direkt auf die Wand gelegt).

Heringsdorf und Ahlbeck (DE)

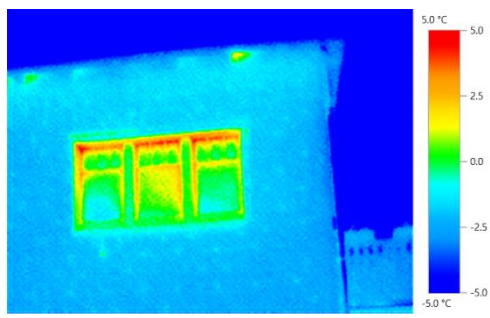


Abb. 61. Heringsdorf und Ahlbeck (DE), Thermogramm 1

Gebäude mit wärmegedämmten Außenwänden. Bei den Arbeiten wurden die Elemente zur Isolierung der mechanischen Befestigungen (Wärmedämmkappen), mit denen die Wärmedämmschicht in der Konstruktionsschicht verankert ist, nicht verwendet, was dazu führte, dass die Verbindungselemente sichtbar waren. Stellenweise Unterbrechungen der Verbindung zwischen Außenwand und Flachdach. Fensterrahmen von ziemlich schlechter Qualität, mit sichtbaren Lecks im oberen Bereich des Fensters.

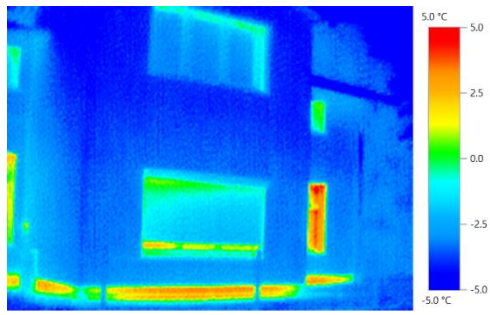


Abb. 62. Heringsdorf und Ahlbeck (DE), Thermogramm 2

Gebäude mit Wärmedämmung der Außenwände. Deutliche thermische Auswirkungen der fehlenden Wärmedämmung des Erdgeschosses. Fenster im Erdgeschoss, das zusätzlich mit einer Außenjalousie isoliert ist (das Fenster ist abgedeckt), weiter rechts wahrscheinlich ein Bild eines Kippfensters.

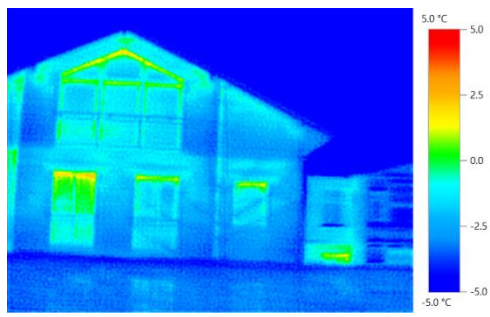


Abb. 63. Heringsdorf und Ahlbeck (DE), Thermogramm 3

Ein zeitgenössisches wärmegedämmtes Gebäude. Lecks im oberen Teil der Befestigung der Öffnungselemente. Hohe thermische Qualität der eingebauten Öffnungselemente.

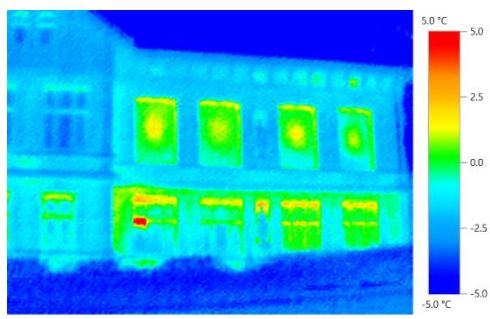


Abb. 64. Heringsdorf und Ahlbeck (DE), Thermogramm 4

Wärmegedämmtes Gebäude. Fenster- und Türelemente im ersten Stock sind mit Isolierglas von hoher thermischer Qualität verglast, wie der sichtbare "Halo"-Effekt zeigt

(aufgrund der natürlichen Viskosität des Edelgases, das die Kammer(n) des Isolierglases füllt, entsteht im mittleren Teil der Scheibe eine Konkavität als Folge des Temperaturunterschieds, der auf beiden Seiten der Scheibe auftritt). Eines der Fenster im Erdgeschoss ist angekippt.

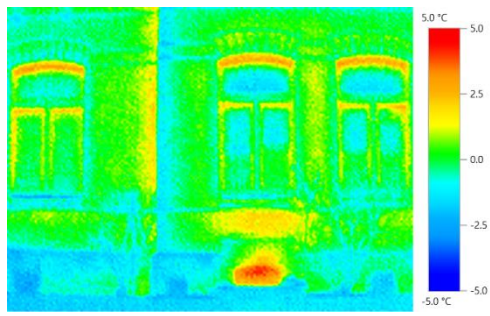


Abb. 65. Heringsdorf und Ahlbeck (DE), Thermogramm 5

Schlechte thermische Qualität der Fenster, erhöhter Wärmedurchgang in der oberen Ebene der Fenster in der Nähe der Fensterstürze. Sichtbare Auswirkungen eines offen gelassenen Kellerraumfensters.

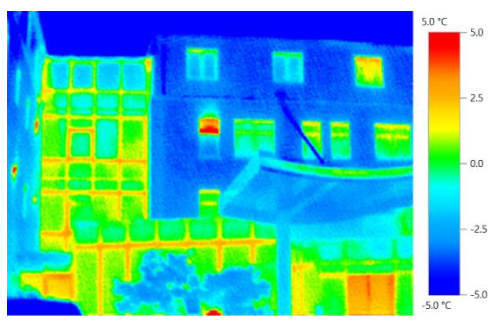


Abb. 66. Heringsdorf und Ahlbeck (DE), Thermogramm 6

Wärmegedämmte Außenwände des Gebäudes. Geringe Wärmedämmung der Konstruktionselemente (Pfosten/Riegel) des Glasfassadensystems. Sehr geringe Wärmedämmung der Außentüren. Im vorletzten Stockwerk: aufklappbare und undichte Fenster (mit Lüftungsfunktion).

Zusammenfassung

Die an einer ausgewählten Anzahl von Gebäuden auf den Inseln Usedom und Wollin durchgeführten Wärmebilduntersuchungen und eine Analyse der Beschaffenheit der bestehenden Gebäude haben zu folgenden Schlussfolgerungen geführt:

1. Das MoRE-Projektgebiet ist mit Gebäuden unterschiedlicher architektonischer, struktureller und materieller Beschaffenheit bebaut. Es überwiegen

Gebäude aus der Zeit vor 1945 oder aus der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts. Die Objekte sind auch im Hinblick auf ihre ästhetischen Qualitäten sowie ihre regionalen und überregionalen kulturellen Werte sehr unterschiedlich. In den größeren Zentren mit starken stadtbildenden Funktionen überwiegen moderne Einrichtungen.

2. Die Gebäude auf der deutschen Seite sind technisch anspruchsvoller als die Gebäude auf der polnischen Seite, aber im gesamten Inselgebiet (auf beiden Seiten der Grenze) reicht die Palette der bestehenden Gebäude von Gebäuden mit hohem Energiebedarf bis zu Gebäuden mit hoher Energieeffizienz.
3. Das Gebiet der Inseln zeichnet sich durch ein hohes Potenzial für die thermische Modernisierung aus. Es zeigte sich ein erheblicher Anteil von Gebäuden mit schlechter thermischer Qualität, ohne Wärmedämmung der festen Trennwände und mit Öffnungselementen mit unzureichender Wärmedämmung. Dieser Zustand ist vor allem auf ihr Alter und die während ihrer Bauzeit verwendeten Technologien und Materialien zurückzuführen. Das Potenzial für die Thermomodernisierung ist auf der polnischen Seite des MoRE-Gebiets höher als auf der deutschen Seite.
4. Bei den Bewohnern des Untersuchungsgebiets ist ein wachsendes Energiebewusstsein festzustellen, was durch die große Zahl der bereits durchgeführten teilweisen oder vollständigen Thermomodernisierungsmaßnahmen, d. h. der gesamten Gebäudehülle, belegt wird. Der Anteil der partiellen Thermomodernisierungen auf polnischer Seite ist deutlich höher als ähnliche unvollständige Modernisierungen auf deutscher Seite.
5. Thermische Modernisierungsarbeiten an bestehenden Gebäuden zeichnen sich durch unterschiedliche Verarbeitungsqualität aus. Die am häufigsten festgestellten Fehler betrafen die fehlende oder unzureichende Dämmung von Gebäuden im Erdgeschossbereich. Die sehr geringe Wärmedämmung von Grundmauern/Kellern erhöht den Wärmedurchgang nicht nur von deren Oberflächen, sondern auch, wenn kein Keller vorhanden ist, von den Fußböden im Erdreich und, bei vorhandenen Kellern, von den Decken über den Kellern. Bei der Dämmung von Außenwänden wurde in den meisten Fällen auf die Verwendung von Dämmstoffverbindern verzichtet, was dazu führte, dass die Rosetten, die die Dämmschicht an der Fassade halten, sichtbar wurden. Häufig wurde auf Undichtigkeiten am Übergang zwischen der Wärmedämmung der Außenwand und der Dach- bzw. Flachdachdämmung hingewiesen. Es wurde auf Probleme im Zusammenhang mit der

Wärmedämmung von Steildächern hingewiesen, die dazu führen, dass die Dämmung zwischen der Konstruktion verrutscht und undichte Stellen an den Dachschrägen entstehen.

6. Außerdem wurde festgestellt, dass bei thermischen Modernisierungsarbeiten in den Außenwänden die Einbindetiefe der Öffnungselemente nicht beachtet wurde. Bei der Dämmung von Wänden wurde trotz des damit verbundenen Austauschs von Fenstern/Türen die Position der Öffnungselemente meist nicht korrigiert, sondern sie blieben in ihrer ursprünglichen Position. Diese Situation führt zu einer unzureichenden Wärmedämmung der Fenster-/Türausschrägungen aufgrund der begrenzten Wärmedämmdicke, die eingebracht werden kann, und damit – trotz der vorgenommenen thermischen Sanierung – zur Bildung einer erheblichen Wärmebrücke. Es wurde auf die häufige Verwendung von Öffnungsbauteilen mit schlechter thermischer Qualität des gesamten Bauteils oder von Bauteilen mit Rahmen ohne Wärmedämmeinlage (Kaltrahmen) hingewiesen. Es wurde auch auf die Möglichkeit hingewiesen, dass die ursprüngliche Wärmedämmung von Doppelverglasungen verloren gehen kann und sich dadurch die thermischen Eigenschaften der Doppelverglasung schnell verschlechtern.
7. Die auf den Thermogrammen angegebenen Bereiche mit erhöhtem Wärmedurchgang durch die Trennwandflächen (Wärmebrücken) wirken sich nicht nur auf den Energiestatus des Gebäudes aus, sondern senken auch die innere Oberflächentemperatur der Trennwände, was wichtig ist, um sie vor möglicher Schimmelbildung zu schützen.
8. Die grundlegende Instandhaltung von Gebäuden mit einer angemessenen technischen Ausrüstung ist wichtig für den Energiestatus der Bebauung. Es hat sich gezeigt, dass Luftleckagen in der Gebäudehülle, z. B. infolge von Rissen, den Wärmeverlust durch Penetration sowie den Wärmeverlust im Zusammenhang mit der Erwärmung der unkontrolliert in das Gebäude eindringenden Luft erhöhen. Es wurde auch darauf hingewiesen, dass Feuchtigkeit in den Trennwänden den Wärmeverlust durch Eindringen erhöht, da die Wärmeleitfähigkeit der (meist porösen) Materialien in den Trennwänden steigt. Feuchtigkeit in Gebäuden ist in den meisten Fällen die Folge einer unzureichenden Dachentwässerung und einer fehlenden oder unzureichenden Abdichtung von erdberührten Wänden (einschließlich Grundmauern).
9. Bei einigen der untersuchten Gebäude handelt es sich um teilweise beheizte Gebäude.

10. Es hat sich gezeigt, dass die Infrarotdetektion ein geeignetes Prüfverfahren ist, um die Art der Gebäudestruktur ohne äußere Wärmedämmschicht zu bestimmen. Der Einsatz dieser Technik ist besonders wichtig, um Fachwerkgebäude, z. B. Flechtwerkwand, zu identifizieren, da für die thermische Sanierung von Fachwerkwänden unterschiedliche Techniken/Materialien verwendet werden müssen.

Zeitliche und räumliche Veränderungen der CO_2 – und CH_4-Konzentrationen in der Atmosphäre auf den Inseln Usedom und Wollin

Paweł Burandt, Katarzyna Glińska-Lewczuk, Andrzej Skwierawski
Universität von Ermland und Masuren in Olsztyn

Treibhausgase in der Atmosphäre

Die Atmosphäre ist ein dynamisches, sich ständig veränderndes System, in dem die Strahlungsbilanz des Systems Erdoberfläche-Atmosphäre das Klima bestimmt. Sogenannte Treibhausgase spielen eine wichtige Rolle bei der Gestaltung des Klimas. Die wichtigsten davon sind die kohlenstoffhaltigen Gase Kohlendioxid (CO_2) und Methan (CH_4), da ihr Anteil in der Erdatmosphäre in den letzten Jahrhunderten gestiegen ist [1]. Änderungen der Treibhausgaskonzentrationen in der Atmosphäre werden durch eine Reihe von Prozessen zwischen den Elementen der Geosphäre gesteuert, wie z.B. Temperaturschichtung, Änderungen des atmosphärischen Drucks, photochemische Reaktionen oder biologische Prozesse. Die wichtigsten natürlichen Prozesse, welche die CO_2-Konzentration in der Atmosphäre beeinflussen, sind:

- Austausch mit der Geobiosphäre durch die Prozesse der Atmung, der Photosynthese und der Zersetzung organischer Stoffe,
- CO_2-Austausch mit dem Ozean, gesteuert durch Photosynthese, Lösungs- und Entgasungsprozesse,
- Waldbrände,
- Vulkanausbrüche.

Der Anstieg der atmosphärischen Kohlendioxidkonzentration in den letzten Jahren wird auf anthropogene Aktivitäten zurückgeführt [2]:

- Reduzierung des Reservoirs der Geobiosphäre, die in der Lage ist, CO_2 zu binden, aufgrund der Abholzung von Wäldern,
- Anstieg der anthropogenen Emissionen durch die Verbrennung von fossilen Brennstoffen und Biomasse, die Zementherstellung und den Einsatz von Düngemitteln (N) in der Landwirtschaft.

Die CH_4-Konzentration in der Atmosphäre hingegen wird beeinflusst durch:

- Anaerobe Zersetzung von organischem Material (hauptsächlich aus Sümpfen und Torfmooren),

- Rinder- und Schweinezucht – enterische Fermentation,
- Mülldeponien,
- Kohle- und Erdölförderung,
- Erdgasverteilung,
- Verbrennung von Biomasse,
- Termiten,
- Reisanbau.

Die Konzentrationen von Kohlendioxid (CO_2) und Methan (CH_4) haben im Jahr 2020 mit 413,2 und 1889 ppm neue Höchstwerte erreicht. Diese Werte entsprechen 149% bzw. 262% des vorindustriellen Niveaus aus der Zeit um 1750, als die menschlichen Aktivitäten begannen, die Zusammensetzung der Atmosphäre erheblich zu beeinflussen [3]. Es wird geschätzt, dass die gegenwärtigen Konzentrationen von Treibhausgasen in der Atmosphäre höher sind als zu jedem anderen Zeitpunkt in den letzten 800.000 Jahren. In der Erdgeschichte gab es in den letzten 60 Millionen Jahren Perioden, in denen die CO_2-Konzentration viel höher war als heute. Es gibt jedoch zahlreiche Belege dafür, dass der Anstieg der atmosphärischen CO_2-Konzentration zwischen 1900 und 2019 mindestens 10-mal schneller war als zu jedem anderen Zeitpunkt in den letzten 800 000 Jahren [1]. Obwohl natürliche Prozesse die Veränderungen der Konzentration von Treibhausgasen in der Atmosphäre beeinflussen, werden die bereits erwähnten Eingriffe des Menschen in die Umwelt für die Auswirkungen einer zusätzlichen Erwärmung, sprich für einen starken Klimawandel, verantwortlich gemacht [4].

Es gibt zahlreiche Netzwerke von (stationären) Messstationen, die die Treibhausgaskonzentrationen weltweit überwachen. Sie werden unter anderem von Organisationen wie der *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) in den USA, der *World Meteorological Organisation* (WMO), dem *World Data Centre for Greenhouse Gases* (WDCGG) in Japan oder der *Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation* (CSIRO) in Australien koordiniert und liefern Informationen über die zeitliche und räumliche Verteilung der Konzentrationen dieser Gase im globalen Maßstab. In Europa wurde das ICOS – *Integrated Carbon Observing System* – eingerichtet, ein System, das Kohlenstoffveränderungen anhand bodengestützter Beobachtungen verfolgt, während die USA und Japan GOSAT – *Greenhouse Gases Observing Satellite* – in Betrieb genommen haben. Die ersten Stationen, die regelmäßig CO_2-Messungen durchgeführt haben, wurden in den 1950er Jahren in Betrieb genommen, und zwar die Südpolstation und die Mauna Loa Station auf Hawaii (1958). In Polen wurde die THG-Forschung von der Akademie für Bergbau und Hüttenwesen

(AGH) 1975 in Krakau, 1994 auf dem Kasprowy Wierch und im April 2005 auf der Schneekoppe begonnen.

Die Variabilität des Treibhausgasgehalts in der oberflächennahen Schicht der Atmosphäre ist nicht nur im globalen oder regionalen, sondern auch im lokalen Maßstab wahrnehmbar. Die unterschiedliche Flächennutzung, wie z. B für die Land- und Forstwirtschaft, Erschließung oder natürliche Gewässer und Feuchtgebiete, d. h. räumlich heterogene Gebiete, liefert Informationen über die Verteilung der Quellen und Absorbierer dieser Gase sowie über die Mechanismen, die ihren Transport zwischen der Atmosphäre und anderen Elementen der Geosphäre steuern. Darüber hinaus ermöglichen neue Messtechnologien das Aufspüren und Reduzieren von Leckagen, z.B. von CH_4 und anderen Kohlenwasserstoffen im Erdgas aus Pipelines, was eine wichtige Rolle bei der Reduzierung von Treibhausgasemissionen, der Verbesserung der Luftqualität und der Sicherheit der Verbraucher sowie bei Kosteneinsparungen spielt. Die Erfassung von Gebieten bzw. Zentren von Gasemissionen (insbesondere CH_4) kann auch ein Indikator für das Potenzial einer Anlage sein, Gase zu sammeln und zu nutzen, z.B. für Biogas. Zu diesem Zweck werden mobile Messsysteme für Treibhausgase (CO_2, CH_4) wie z.B. tragbare Spektrometer mit georeferenzierten Systemen verwendet, zu denen u. a. das Picarro G2301 Cavity Ring-Down Spectrometer (Picarro, Inc, Santa Clara, CA) gehört. Der Vorteil der mobilen Treibhausgasüberwachung ist die Erfassung einzigartiger Daten aus gemischt genutzten Gebieten, die für die Validierung von Emissionsschätzungen, Modellergebnissen und Satellitenbeobachtungen nützlich sein können. Die Überwachung liefert eine detaillierte Beschreibung des saisonalen und tageszeitlichen Verlaufs von CO_2 und CH_4 und ihrer möglichen Quellen.

Es besteht daher zweifellos ein Bedarf an mobilen Messungen von Treibhausgaskonzentrationen auf lokaler Ebene, um deren Auswirkungen auf die Umwelt kontinuierlich zu überwachen und zu bewerten, was wiederum zu einem besseren Verständnis der Kohlenstoffkreislaufprozesse in der Atmosphäre und zu einer wirksamen Bekämpfung des Klimawandels führt. Die mobile Überwachung ist eine Methode, um aktuelle Informationen über potenzielle Quellen von Treibhausgasemissionen zu erhalten, die gleichzeitig eine gute Grundlage für die Entwicklung von Lösungen zur Reduzierung von Luftschadstoffemissionen und zum Umgang mit Treibhausgasen darstellen können.

Untersuchungsgebiet und Messmethoden

Das Hauptziel dieser Studie war es, die Art der kurzfristigen und saisonalen Veränderungen der Konzentrationen von Methan und Kohlendioxid in der

Atmosphäre auf den Inseln Usedom (Deutschland/Polen) und Wollin (Polen) im Detail zu analysieren. Neben der Analyse der zeitlichen Veränderung der Kohlendioxid- und Methankonzentrationen in der Atmosphäre wurde auch eine Analyse der räumlichen Veränderung der CO_2- und CH_4-Konzentrationen durchgeführt.

Die wichtigste Stadt der Region ist Swinemünde (41.000 Einwohner), die auf beiden Seiten des Flusses Swina liegt. Die Wirtschaft der Stadt ist stark mit dem Schiffbau, dem Hafen und der fischverarbeitenden Industrie verbunden, was auf die Küstenlage der Stadt und ihre Rolle als vorderster Seehafen an der Route nach Stettin zurückzuführen ist. Swinemünde ist ein Badeort mit einem historischen Stadtbild des Küstenbezirks, in dem sich Sanatorien befinden. Im zentralen Teil der Region liegt Miedzyzdroje (ca. 6.000 Einwohner), eines der wichtigsten Tourismuszentren an der polnischen Küste. Im Süden hingegen liegt Wollin (5.000 Einwohner), durch das die Nationalstraße Swinemünde-Goleniów und eine Eisenbahnlinie führt, die Swinemünde mit Stettin und Kamień Pomorski verbindet. An der polnischen Küste gelegen, verbindet die Provinzstraße Swinemünde und Międzyzdroje mit weiteren Küstenstädten im Osten, darunter Dziwnow, Rewal und Kołobrzeg. An der Landesgrenze gelegen, hat Swinemünde ebenfalls eine Straßen- und Bahnverbindung nach Deutschland. Die Insel Usedom ist aufgrund ihrer Strände, natürlichen Umgebung und Küstenorte wie Ahlbeck, Heringsdorf und Bansin eines der wichtigsten Freizeit- und Erholungsgebiete Deutschlands. Der Name der Insel stammt von der Stadt Usedom, die im südwestlichen Teil der Insel liegt.

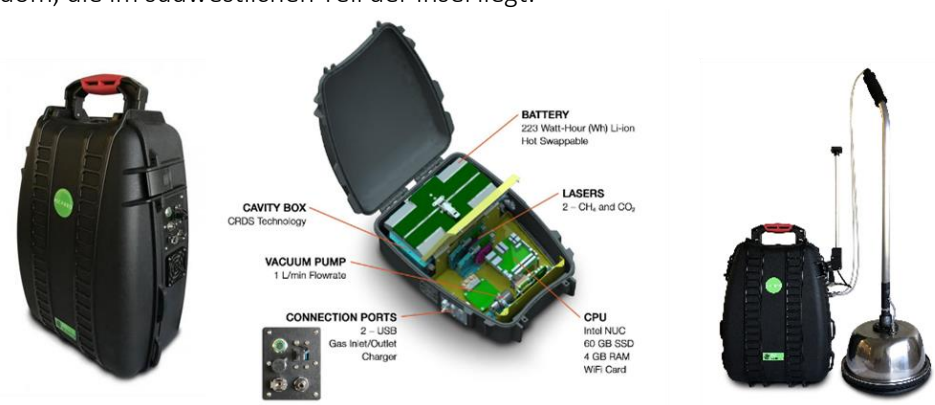


Abb. 1. GasScouter G4301 – Mobiles Gaskonzentrationsmessgerät – Gerät zur Messung von Konzentrationen und Emissionen der Treibhausgase CO_2, CH_4

Messungen der Höhe der CO_2- und CH_4-Konzentrationen in der Luft wurden während der mobilen Überwachung bei Tag und Nacht in Gebieten beider

Inseln im Rahmen von 4–5-tägigen Messkampagnen durchgeführt. Die Konzentration und die Emissionen der untersuchten Gase wurden mit dem mobilen Gaskonzentrationsmessgerät GasScouter TM G4301 von PICARRO gemessen (Abb. 1). Insgesamt wurden Daten aus 22 Fahrten bei Tageslicht und nach Einbruch der Dunkelheit während vier Jahreszeiten im Jahr 2021 (Winter – Februar/März, Frühling – Mai, Sommer – Juli, Herbst – Oktober) gesammelt. Diese Daten wurden außerdem durch stationäre und Daten aus Wanderungen ergänzt. Die parallel zu den Fahrten durchgeführten Untersuchungen betrafen die Kläranlagen in Międzyzdroje, Wollin, Międzywodzie (Insel Wollin) und Swinemünde (Insel Usedom). Auch in der städtischen Müllumschlagstation Swinemünde-Ognica, die sich im südwestlichen Teil der Insel Wollin befindet, wurden Untersuchungen durchgeführt. Diese Messungen wurden in zwei Zyklen im Mai und Oktober durchgeführt. Es wurden insgesamt 32 Messreihen durchgeführt.

Abb. 2. Messroute (rote Linie) auf der Insel Wollin und Usedom während der saisonalen mobilen Messungen im Jahr 2021

Die Hintergrundmessungen wurden während der Fahrt in einem Pickup durchgeführt, der mit einer Anlage ausgestattet war, die es ermöglichte, das GasScouter TM G4301 Messgerät anzuschließen und gleichzeitig verkehrsbedingte Störungen zu reduzieren. Neben den bei den Fahrten durchgeführten

Messungen wurden stationäre Messungen in einer Höhe von 1,5 m über dem Boden durchgeführt, die von manuellen Messungen von Windstärke und -richtung, Temperatur und Luftfeuchtigkeit begleitet wurden. Die Route der Fahrten (Abb. 2) und damit der Messungen umfasste sowohl die Haupt- als auch die Nebenstraßen der Inseln Usedom und Wollin. Sie wurde konzipiert, um mögliche Quellen von Gasemissionen zu erfassen und den Hintergrund der Gaskonzentrationen auf beiden Inseln zu bewerten.

Die rohen Messergebnisse wurden im Speicher des GasScouters mit einer Probenahmerate von durchschnittlich 74 Mal pro Minute gespeichert. Der Datensatz für jeden Messpunkt enthält Werte für die CO_2- und CH_4-Konzentrationen und Informationen zur Geolokalisierung. Diese Daten wurden überprüft und nach den Zeitpunkten der Beobachtungen sortiert und gefiltert, um fehlerhafte Messungen oder Ausreißer auszusortieren. Um die Integrität der Daten aus den Zeitpunkten der Fahrten zu gewährleisten, wurden die Zeiträume, in denen an den Untersuchungseinrichtungen angehalten wurde, und die Teile der Untersuchungen, die Störungen unterworfen waren, z. B. beim Rangieren des bei den Untersuchungen verwendeten Fahrzeugs, von der Auswertung ausgeschlossen. Die georeferenzierten Daten ermöglichten eine detaillierte Analyse und grafische Datenverarbeitung (GIS).

Meteorologische Bedingungen während des Messzeitraums

Die Inseln Usedom und Wollin, insbesondere ihr maritimes Küstengebiet, zeichnen sich durch das Vorkommen eines warm-gemäßigten Klimas mit größten maritimen Einflüssen aus. Der Einfluss des Meeres spiegelt sich in der geringen Amplitude und den relativ niedrigen Werten der extremen Wärme- und Niederschlagsbedingungen wider. Die Meeresküste zeichnet sich durch höhere Windgeschwindigkeiten aus, was sich in hohen Werten für die maximale durchschnittliche tägliche Windgeschwindigkeit widerspiegelt [5]. Windrichtung und -geschwindigkeit haben einen erheblichen Einfluss auf die Dynamik der Atmosphäre auf lokaler Ebene und damit auch auf die Spurengaskonzentrationen. Für die Analyse dieser Konzentrationen ist es daher wichtig, die meteorologische Situation während des Messzeitraums, die den Transport der lokal emittierten Gase beeinflusst, genau zu bestimmen.

Während der im Winter durchgeführten Messungen (Februar/März) betrug die durchschnittliche Lufttemperatur im Februar 8,9 °C und lag damit sogar 8,1 °C über dem mehrjährigen Durchschnittswert für diesen Monat. Auch an den einzelnen Messtagen wichen die Werte der mittleren, maximalen und minimalen

Lufttemperatur deutlich von den monatsbezogenen Durchschnittswerten ab. Die gemessenen Höchstwerte der Lufttemperatur lagen in diesem Zeitraum zwischen 12,1 und 17,3 °C. Der Zeitraum, in dem die Messungen durchgeführt wurden, kann als regenfrei betrachtet werden. Nur an einem einzigen Tag war ein Niederschlag von lediglich 0,1 mm zu verzeichnen. Während des betrachteten Zeitraums herrschte ein Wind aus südwestlicher Richtung mit einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von 2,4–3,0 m/s. Am letzten Tag der Messungen wurden Winde aus westlicher und nordwestlicher Richtung beobachtet. In den 7 Tagen vor Beginn der Probenahme herrschte ein Wind aus südlicher und südwestlicher Richtung vor. Die durchschnittliche Lufttemperatur während der Messungen im März betrug 2,1 °C und lag damit sogar 2 °C unter dem Monatsdurchschnitt. Auch an den einzelnen Messtagen wichen die Werte der mittleren, maximalen und minimalen Lufttemperatur deutlich von den mehrjährigen monatsbezogenen Durchschnittswerten ab. Die aufgezeichneten Höchstwerte der Lufttemperatur reichten von 2,8 bis 4,3 °C und die Mindestwerte von −1,2 bis 1,2 °C. Während des Zeitraums, in dem die Messungen durchgeführt wurden, betrug die Gesamtniederschlagsmenge 3,3 mm. Der Wind kam überwiegend aus nordwestlicher Richtung (52%), und in den sieben Tagen vor den Messungen herrschte Wind aus südlicher Richtung vor, vor allem aus Südwesten.

Die durchschnittliche Lufttemperatur während der Frühjahrsmessungen (Mai) betrug 3,6 °C und lag sogar 0,1 °C unter dem mehrjährigen Monatsdurchschnitt. An den einzelnen Tagen der Untersuchung wichen die Werte der mittleren, maximalen und minimalen Lufttemperatur nicht von den mehrjährigen monatlichen Durchschnittswerten ab. Die aufgezeichnete maximale Lufttemperatur reichte von 7 bis 13,9 °C und die minimale Temperatur von −1,4 bis 4,3 °C. Die Gesamtniederschlagsmenge während des Messzeitraums betrug 3,0 mm. Der Wind kam überwiegend aus nordwestlicher Richtung mit einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von 4,2 m/s. In den 7 Tagen vor Beginn der Messungen herrschte Wind aus nördlichen Richtungen vor, insbesondere aus Norden.

Die Sommermessungen (Juli) waren durch eine durchschnittliche Lufttemperatur von 21,6 °C gekennzeichnet, die 1,2 °C über dem mehrjährigen Monatsdurchschnitt lag. An den einzelnen Messtagen wichen die Werte der mittleren, maximalen und minimalen Lufttemperatur nicht von den monatsbezogenen Durchschnittswerten ab. Die aufgezeichneten Höchstwerte der Lufttemperatur lagen in diesem Zeitraum zwischen 22,4 und 29,9 °C, und das Minimum zwischen 13,7 und 20,0 °C. Die Gesamtniederschlagsmenge während des Zeitraums der Messungen betrug 0,7 mm. Der Wind wehte überwiegend aus Nord-

Ost mit einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von 3,6 m/s. In den 7 Tagen vor dem Beginn der Messungen herrschten Winde aus nördlicher und westlicher Richtung vor.

Im Herbst (Oktober) lag die durchschnittliche Lufttemperatur bei 10,1 °C und damit 0,6 °C unter dem mehrjährigen Monatsdurchschnitt. An den einzelnen Messtagen wichen die Werte der mittleren, maximalen und minimalen Lufttemperatur nicht von den monatsbezogenen Durchschnittswerten ab. Die Höchstwerte der Lufttemperatur in diesem Zeitraum lagen zwischen 12,1 und 14,4 °C und die Mindestwerte zwischen 5,1 und 9,4 °C. Während des Zeitraums der Messungen betrug die Gesamtniederschlagsmenge 2,8 mm. Der Wind kam überwiegend aus südwestlichen und westlichen Richtungen mit einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von 3,7 m/s. In den 7 Tagen vor dem Beginn der Messungen herrschten Winde aus südlicher und südwestlicher Richtung vor.

Konzentration der Treibhausgase CO_2 und CH_4 in der Luft auf den Inseln Usedom und Wollin

Die tägliche Veränderung der Methan- und Kohlendioxidkonzentration in der Atmosphäre ist nicht zyklisch und hängt weitgehend von der meteorologischen Situation des Gebiets und der Jahreszeit ab. Der Hauptfaktor, der für die Form der tageszeitlichen Veränderungen der Methan- und Kohlendioxidkonzentrationen in der unteren Troposphäre verantwortlich ist, ist die Inversionsschicht, die hauptsächlich nachts auftritt [6]. Durch dieses Phänomen wird der vertikale Austausch von Luftmassen behindert und es kommt zu einem Anstieg der CO_2- und CH_4-Konzentrationen, die nicht weiter ansteigen, wenn die Inversionsschicht durchbrochen wird und die vertikale Durchmischung der Atmosphäre eine Verdünnung der während der Nacht angesammelten Gase nahe der Oberfläche ermöglicht.

Während des Untersuchungszeitraums reichten die CO_2-Konzentrationen auf beiden Inseln von 364,99 bis 560,28 ppm und erreichten einen Mittelwert von 423,32 ppm (Tab. 1). Unter Berücksichtigung des globalen Aufwärtstrends der CO_2-Konzentration in der Luft und des zyklischen Musters dieser Veränderungen zeigten die in aufeinanderfolgenden Jahreszeiten auf den Inseln Usedom und Wollin durchgeführten Messungen eine besondere Variabilität der Konzentrationen dieses Gases, sowohl tagsüber als auch nachts.

Tab. 1. Zusammenfassung der durchschnittlichen CO_2- und CH_4-Gaskonzentrationen in der Luft während der verschiedenen Jahreszeiten im Messzeitraum 2021, Bezeichnungen: T – Tag, N – Nacht

Saison	Tage-szeit	CH_4 [ppb]			CO_2 [ppm]		
		Mittel-wert	Min.	Max.	Mittel-wert	Min.	Max.
Winter	D	1975	1870	2150	435,60	414,94	505,95
	N	1955	1860	2360	443,92	413,21	511,51
Frühjahr	D	1985	1716	2303	418,98	365,52	476,12
	N	1993	1941	2606	434,16	387,43	560,28
Sommer	D	2002	1825	3524	409,49	369,62	451,1
	N	1998	1794	2523	418,46	364,99	534,92
Herbst	D	2020	1960	2279	413,57	394,45	459,53
	N	1996	1968	2078	413,37	402,97	447,37
Insgesamt		1989	1716	3524	423,62	364,99	560,28

Die durchschnittlichen CO_2-Konzentrationen im Winter waren auf beiden Inseln deutlich höher als die globalen CO_2-Werte im gleichen Zeitraum, und zwar um mehr als 25 ppm in der Nacht und 15 ppm am Tag (Abb. 3). Im Frühjahr 2021 lag die Kohlendioxidkonzentration in der Luft während der Nacht um etwa 15 ppm über dem globalen Wert, während sie tagsüber auf dem Niveau dieses Wertes lag, während im Sommer die CO_2-Konzentration in der Luft auf beiden Inseln um etwa 5 ppm über dem globalen Wert lag, während sie tagsüber unter dem globalen Wert lag und bei etwa 410, d.h. 7 ppm unter dem globalen Durchschnitt blieb. Im Herbst wichen die Konzentrationen sowohl tagsüber als auch nachts nicht von den globalen Werten ab.

Die Kohlendioxidkonzentration war unabhängig von der Jahres- und Tageszeit auf der Insel Wollin höher als auf der Insel Usedom (Abb. 4). In den meisten Fällen waren diese statistisch signifikant, wobei die größten Unterschiede im Winter festgestellt wurden, als das durchschnittliche Ergebnis tagsüber um 20 ppm und nachts um 15 ppm höher war. Im Sommer waren die durchschnittlichen CO_2-Konzentrationen tagsüber auf den beiden Inseln statistisch nicht signifikant unterschiedlich und lagen bei 409 ppm. In der Nacht jedoch lag die CO_2-Konzentration auf der Insel Wollin bei durchschnittlich 430 ppm und somit statistisch gesehen höher als auf der Insel Usedom (409 ppm). Angesichts des höheren Waldanteils auf der Insel Wollin im Vergleich zur Insel Usedom könnten diese Unterschiede mit den hohen CO_2-Emissionen der Waldgebiete in Zusammenhang stehen.

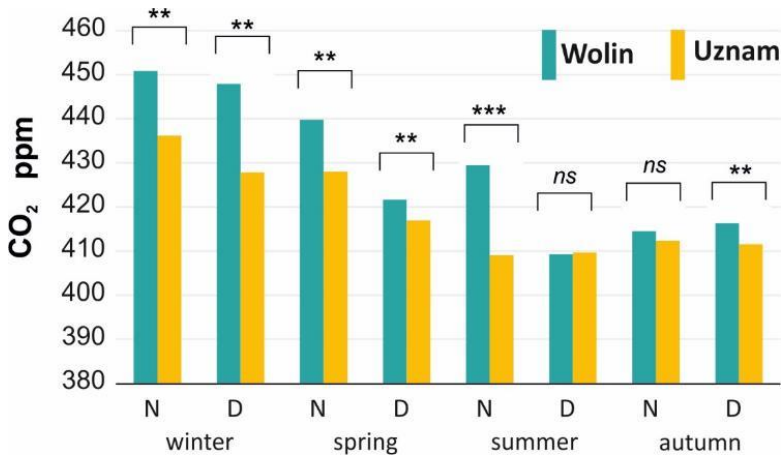


Abb. 3. Vergleich der mittleren CO_2-Konzentrationen zwischen den Inseln Wollin und Usedom in Abhängigkeit von der Jahres- und Tageszeit und statistische Signifikanz der Unterschiede: * p < 0,05, ** p < 0,01, *** p < 0,001

Während der Untersuchungen lag die durchschnittliche CH_4-Konzentration in der Luft auf beiden Inseln bei 1989 ppb, die niedrigste Konzentration bei 1716 ppb und die höchste Konzentration bei 3524 ppb (Tab. 1). Die Konzentrationen dieses Gases lagen im Dezember 2021 etwa 8 ppb über dem globalen Durchschnitt von 1891 ppm. Die Analyse der mittleren CH_4-Konzentrationen während des Tages und der Nacht in den aufeinanderfolgenden Jahreszeiten ergab statistische Signifikanz (Abb. 5). Die niedrigsten CH_4-Konzentrationen im Gebiet der beiden Inseln wurden im Winter nach Einbruch der Dunkelheit (ca. 1950 ppb CH_4) und im Winter tagsüber (ca. 1976 ppb CH_4) festgestellt. Die beiden Durchschnittswerte waren statistisch signifikant unterschiedlich. Im Frühling und Sommer unterschied sich die Methankonzentration in der Luft zwischen Tag und Nacht nicht. Im Gegensatz dazu erreichten die Methanemissionen im Herbst tagsüber ihre höchsten Werte, und ihr Mittelwert (2020 ppb CH_4) war statistisch signifikant höher als zu den anderen Tages- und Jahreszeiten (Abb. 5). Die ausgeprägten tageszeitlichen Unterschiede zwischen den CH_4-Konzentrationen im Laufe des Tages und der Nacht sowie im Sommer zwischen den Inseln Usedom und Wollin sind möglicherweise auf die hohen Emissionen dieses Gases aus den dort vorherrschenden Feuchtgebieten, Wiesen und Weiden zurückzuführen, die sich auf dem Torfsubstrat der ausgedehnten, an organischer Substanz reichen Senken des Gebiets entwickelt haben.

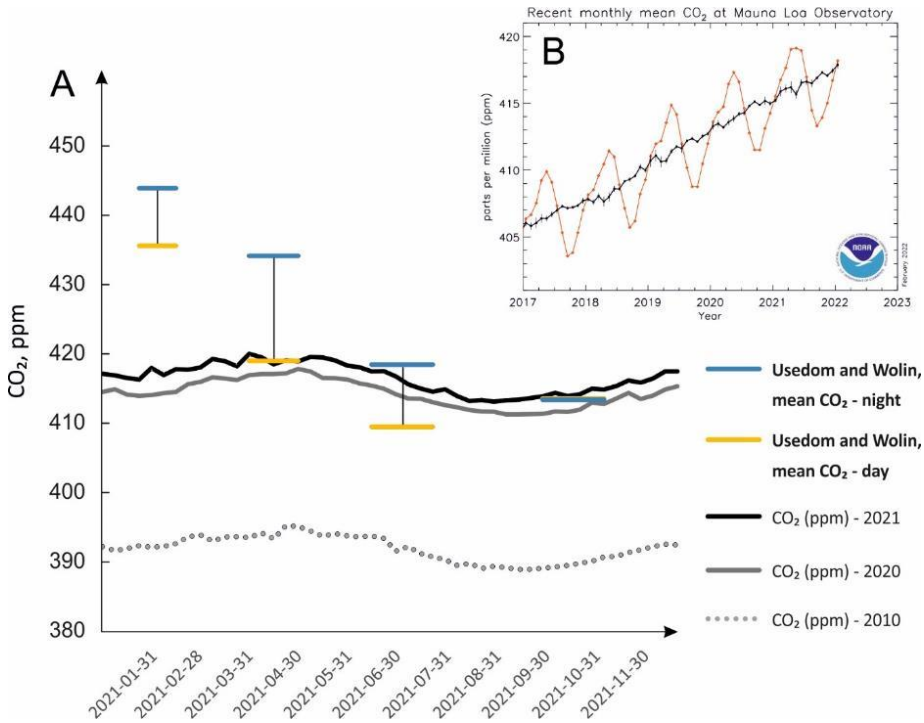


Abb. 4. Kohlendioxid-Konzentration in der Luft:

A) Saisonale Veränderungen der durchschnittlichen täglichen und nächtlichen CO_2-Konzentrationen auf den Inseln Usedom und Wollin im Jahr 2021 im Vergleich zu globalen Daten für 2021, 2020 und 2010 [7]; B) Monatliche Mittelwerte der CO_2-Konzentration, gemessen am Mauna Loa Observatorium, Hawaii[16] [8], Bezeichnungen: rote Linie – monatliche Mittelwerte, zentriert in der Mitte eines jeden Monats; schwarze Linie – monatliche Mittelwerte, zentriert in der Mitte eines jeden Monats nach Korrektur um den mittleren saisonalen Zyklus

Der Vergleich der jahreszeitlichen Verteilung der CO_2- und CH_4-Konzentrationen in der Luft zeigt einen entgegengesetzten, wenn auch erwarteten Verlauf, der auf die spezifischen Bedingungen der Bildung, Akkumulation und Emission beider Gase unter bestimmten meteorologischen und ökologischen Bedingungen zurückzuführen ist. Die durchschnittlichen CH_4-Konzentrationen in der Luft lagen nur im Sommer nach Einbruch der Dunkelheit höher, wobei die durchschnittliche

[16] Die CO_2-Daten von Mauna Loa stellen die längste Aufzeichnung von direkten Messungen der Konzentration dieses Gases in der Atmosphäre dar). Die Daten werden in einer Höhe von 3400 m in der nördlichen subtropischen Zone gemessen und können von der globalen durchschnittlichen CO_2-Konzentration abweichen [8].

Methankonzentration in der Luft auf der Insel Wollin um 41 ppb höher war als die durchschnittliche Konzentration auf der Insel Usedom. Auf der Insel Usedom wurden im Winter (sowohl nach Sonnenuntergang als auch tagsüber) und im Sommer tagsüber deutlich höhere durchschnittliche Methankonzentrationen gemessen.

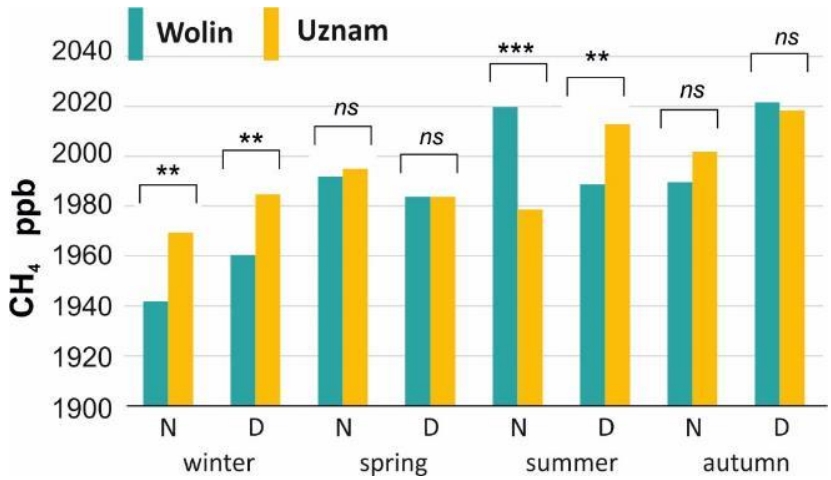


Abb. 5. Vergleich der mittleren CH_4-Konzentrationen zwischen den Inseln Wollin und Usedom nach Jahres- und Tageszeit; Bezeichnungen: * statistische Signifikanz der Unterschiede ($p < 0,05$) zwischen den für die Inseln erzielten Ergebnissen; *ns* – keine statistisch signifikanten Unterschiede (*nicht signifikant*)

Im Falle von CO_2 lassen sich zwei unterschiedliche Muster der täglichen Schwankungen der Konzentration dieses Gases beobachten. Das erste ist charakteristisch für warme Monate, mit einem Konzentrationsminimum am Nachmittag. Die Form der tageszeitlichen Veränderungen der CO_2-Konzentration hängt von der Aktivität der Biosphäre ab. Die niedrige Konzentration ist auf die Assimilation dieses Gases durch die Pflanzen bei der Photosynthese zurückzuführen. Das zweite Muster ist charakteristisch für die kalten Monate, mit einem Konzentrationsminimum in den frühen Morgenstunden. Es steht im Zusammenhang mit anthropogenen CO_2-Emissionen aus urbanen Gebieten (Abb. 6). Der Tageszyklus der Veränderungen der CH_4-Konzentration hängt nicht von den Jahreszeiten ab, sondern von der meteorologischen Situation (Abb. 7). Die Hauptquellen dieses Gases befinden sich im Bereich des Bodens (z. B. Gasleitungen, Torfmoore, Mülldeponien, Kläranlagen).

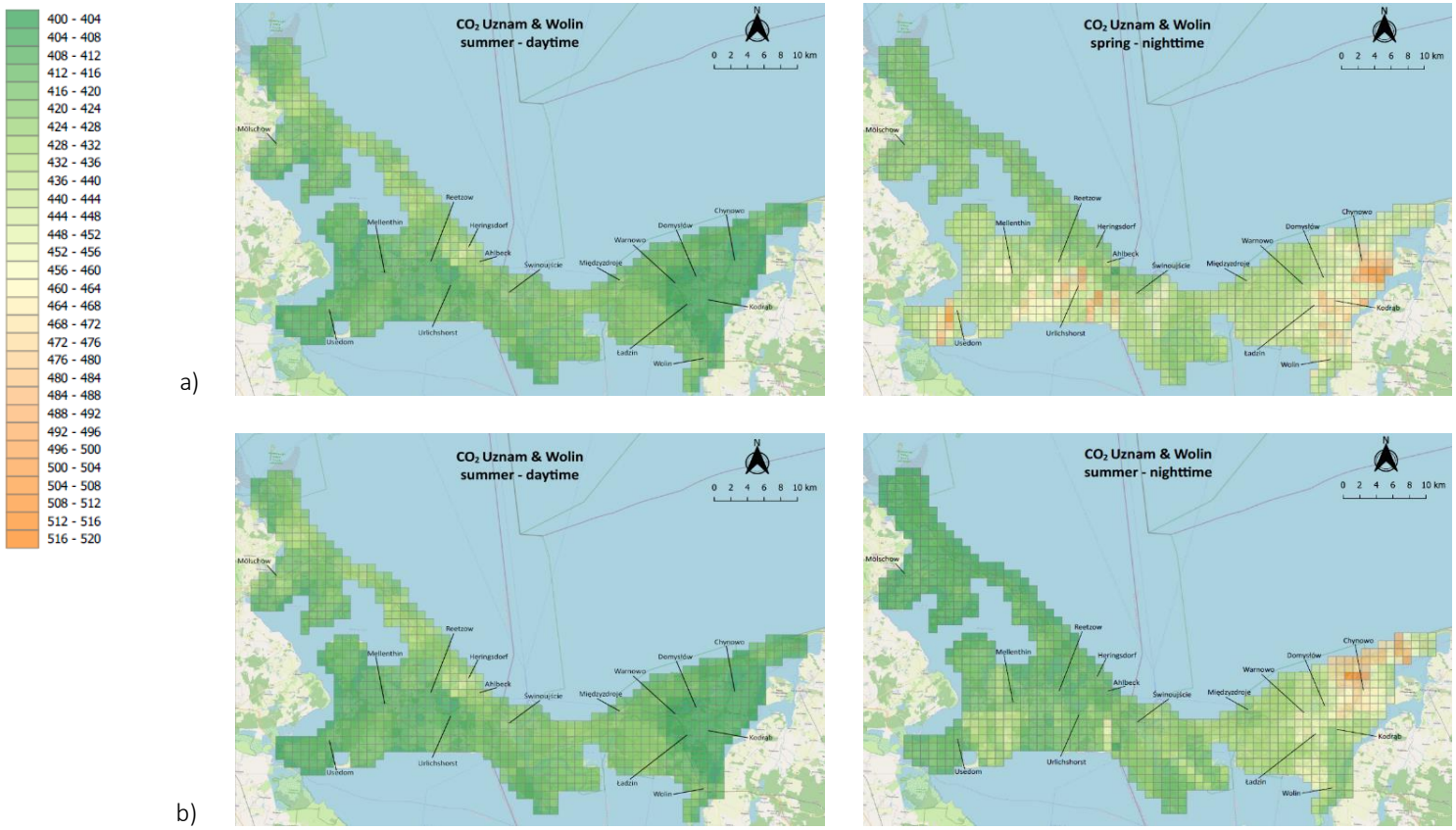
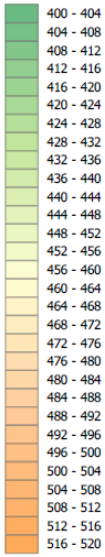
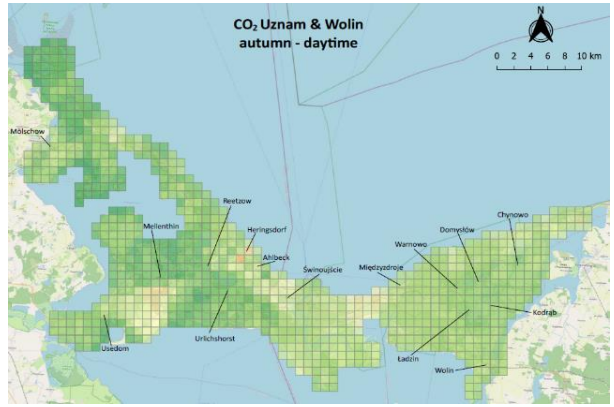
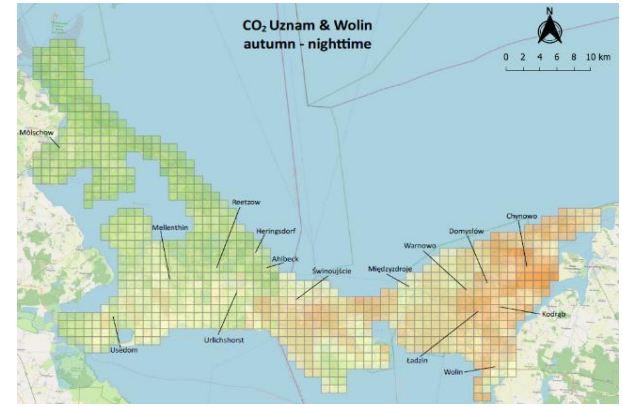


Abb. 6. Veränderungen der durchschnittlichen CO_2-Konzentration in der Luft in Abhängigkeit von der Tageszeit in vier charakteristischen Jahreszeiten: a) Frühling, b) Sommer

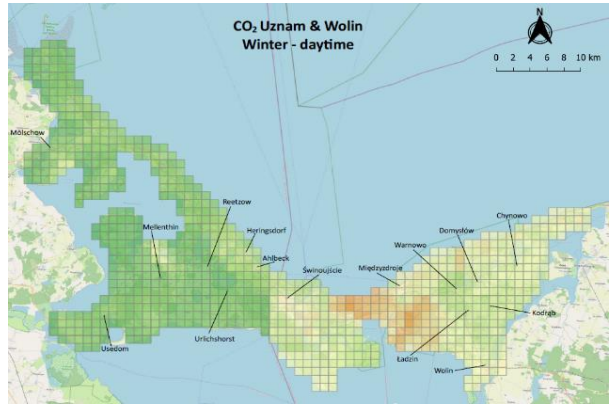


c)





d)



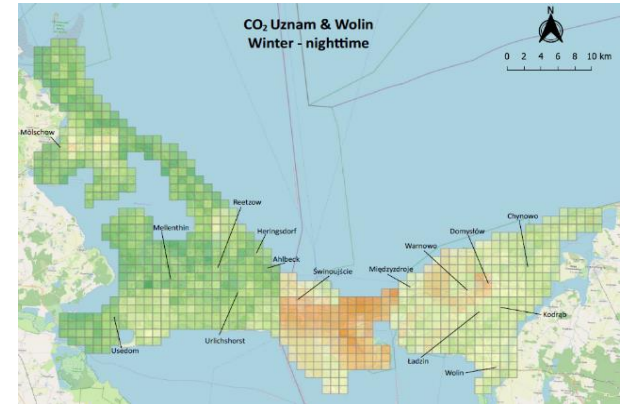


Abb. 6. Veränderungen der durchschnittlichen CO_2-Konzentration in der Luft in Abhängigkeit von der Tageszeit in vier charakteristischen Jahreszeiten: c) Herbst, d) Winter

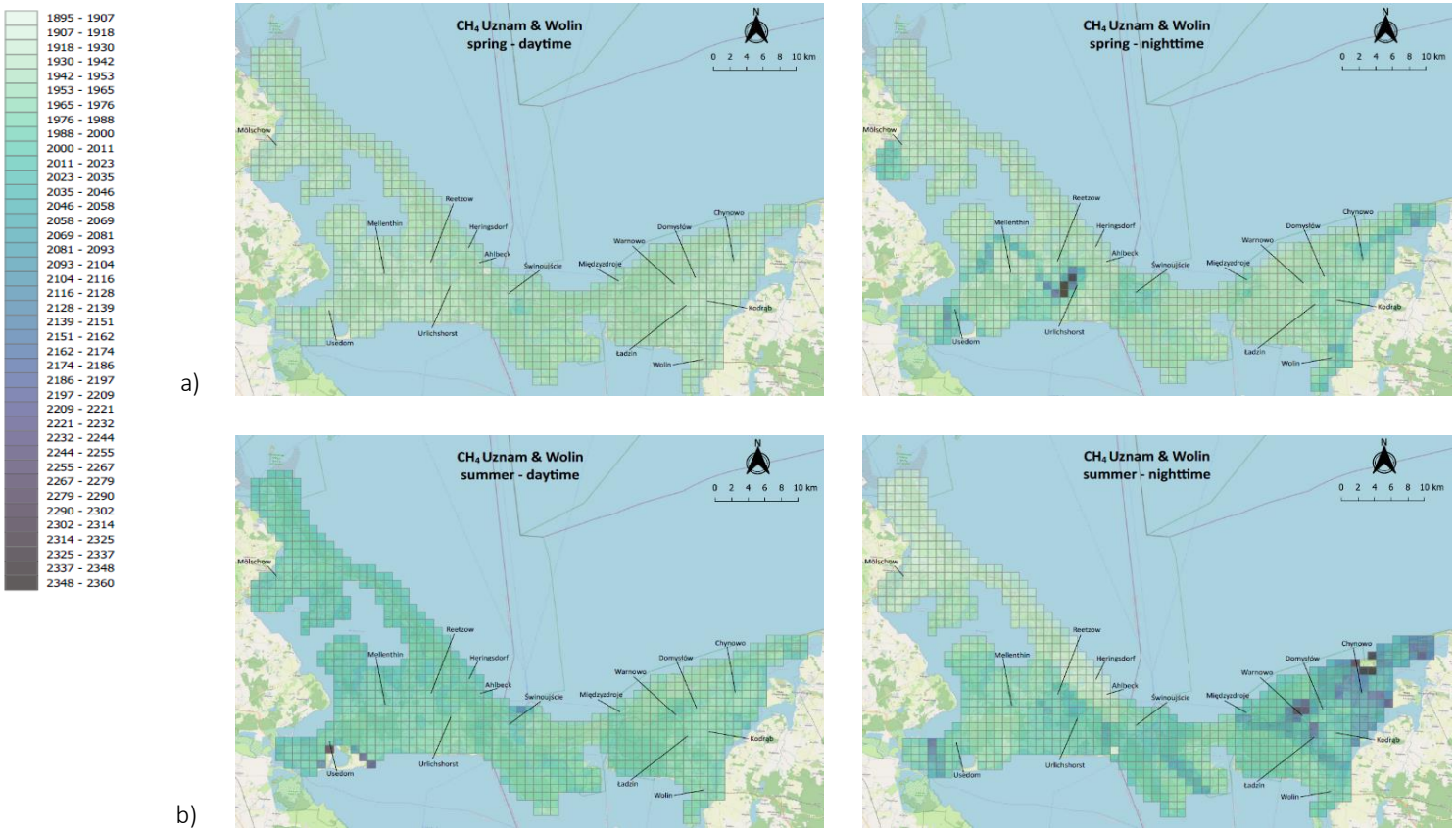


Abb. 7. Veränderungen der durchschnittlichen CO_2-Konzentration in der Luft in Abhängigkeit von der Tageszeit in vier charakteristischen Jahreszeiten: a) Frühling, b) Sommer

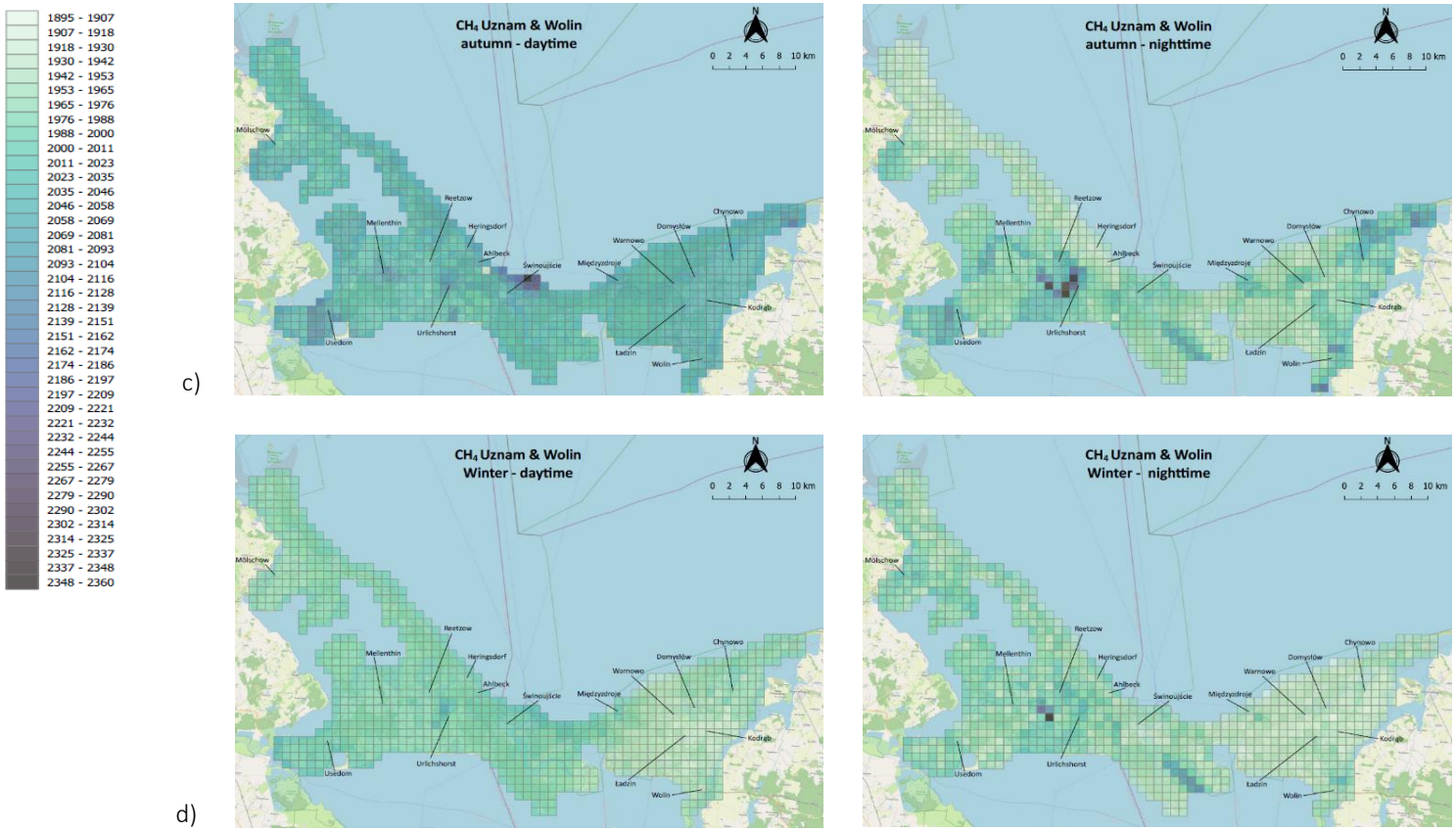


Abb. 7. Veränderungen der durchschnittlichen CO_2-Konzentration in der Luft in Abhängigkeit von der Tageszeit in vier charakteristischen Jahreszeiten: c) Herbst, d) Winter

Landnutzung und die Veränderung der CO_2- und CH_4-Konzentrationen auf den Inseln Usedom und Wollin

Bei der Messung von Treibhausgasen ist neben der Überwachung der zeitlichen Veränderungen der Konzentrationen in der Atmosphäre auch die Untersuchung ihrer räumlichen Veränderungen wichtig, damit die Konzentrationen miteinander verglichen werden können. Die räumliche Veränderung der THG-Konzentrationen hängt von der Größe der von bestimmten Formen der Landnutzung eingenommenen Fläche ab (Abb. 8). Es wird geschätzt, dass fast ein Viertel der weltweiten Treibhausgasemissionen aus dem AFOLOU-Sektor (*Landwirtschaft, Forstwirtschaft und andere Landnutzung*) stammen. Es wird zudem von einem stetigen Anstieg der Emissionen aus diesen Sektoren ausgegangen [9, 10]. Feuchtgebiete hingegen sind für mehr als 30 % der weltweiten CH_4-Emissionen verantwortlich und stellen die größte natürliche Quelle von CH_4 in der Umwelt dar [11]. Aufgrund des großen Einflusses der Landnutzung auf die Treibhausgaskonzentrationen ist es wichtig, ein detailliertes Verständnis der Landnutzung in einer Region zu haben, wenn man ihre räumliche Veränderung untersucht.

Der Anteil der verschiedenen Arten der Landnutzung auf den Inseln Wollin und Usedom ist in Abbildung 8 dargestellt. Auf der Insel Usedom dominieren Flächen, nach *Corine Land Cover* als landwirtschaftliche Flächen (Kategorie II) eingestuft sind (37%), wobei Wiesen und Weiden (23%) im Vergleich zu Ackerland (14,5%) überwiegen. Wälder und natürliche Ökosysteme bedecken dagegen 26% der Insel Usedom und Wasserflächen 23%. Siedlungsflächen machen nur 10% der Insel aus, wovon die Hälfte eine lockere Bebauung aufweist. Die Insel Wollin wird von Wäldern und natürlichen Ökosystemen dominiert (Kategorie III, 40% der Insel), wobei Nadelwälder überwiegen (23%). Landwirtschaftliche Flächen (Kategorie II) nehmen hier 27% ein, mit einem leichten Übergewicht an Wiesen und Weiden (13%). Ackerland nimmt 12% der Insel ein. Aquatische Ökosysteme nehmen 20% der Fläche der Insel Wollin ein und bestehen hauptsächlich aus Lagunen und Seen. Die Siedlungsfläche der Insel Wollin beträgt 6 %, wovon der größte Teil in Form von lockerer Bebauung (4,5 %) vorliegt. Innerhalb der Inseln wird die potenzielle natürliche Vegetation von Küstenkiefernwäldern zusammen mit säureliebenden pommerschen Buchen--Eichenwäldern dominiert, die durch ein Mosaik aus kontinentalen Kiefern-Eichen-Mischwäldern und subatlantischen Eichen-Hainbuchenwäldern ergänzt werden. Zu den wertvollsten Waldlebensräumen in diesem Gebiet gehören die fruchtbaren Tiefland-Buchenwälder mit zahlreichen Altbeständen, die auf den Hochebenen der

Insel Wollin wachsen. Im Swina-Delta, das zahlreiche natürliche Flussarme und sumpfige Inseln umfasst, sowie in den Tälern der Wasserläufe und Becken haben sich Tiefland-Eschen- und Erlenwälder und mitteleuropäische Erlenwälder sowie wertvolle und seltene subatlantische Moorbirken entwickelt.

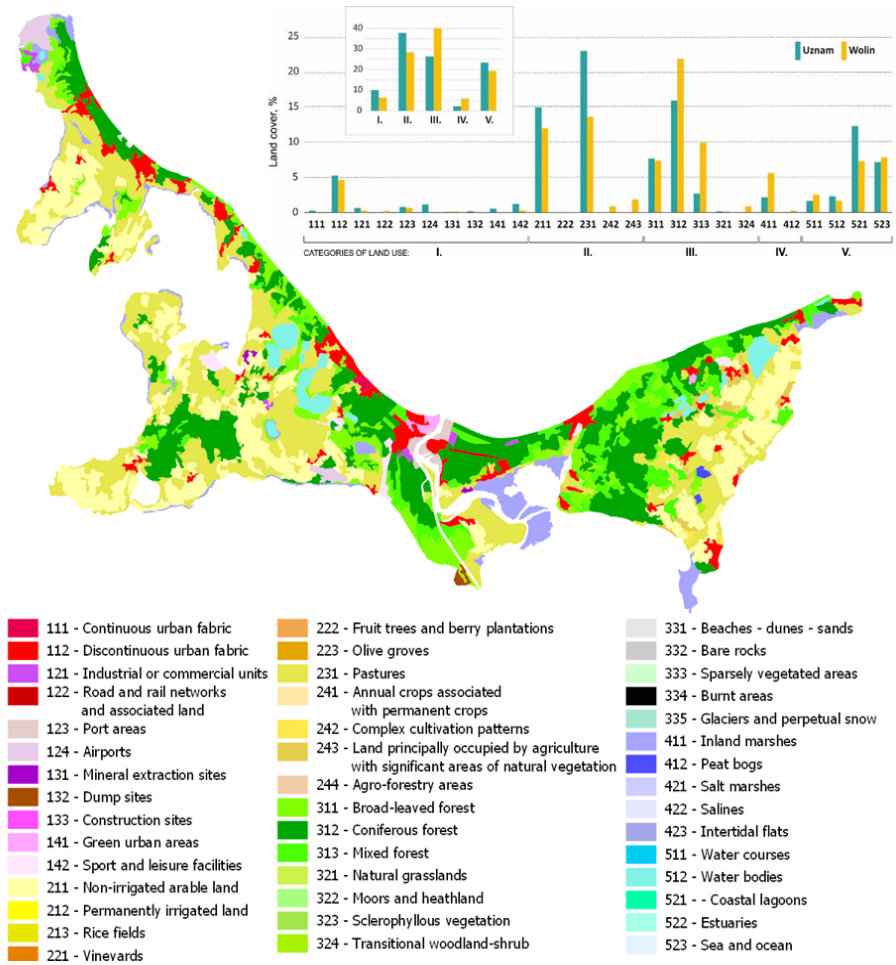


Abb. 8. Anteil der Landnutzungskategorien nach *Corine Land Cover* auf den Inseln Usedom und Wollin: I. Anthropogene Gebiete, II. Landwirtschaftliche Flächen, III. Wälder und natürliche Ökosysteme, IV. Feuchtgebiete, V. Wasserflächen

In anthropogen veränderten Gebieten (CLC-Kategorie I) wurden die höchsten Korrelationen mit CO_2 für Hafengebiete (CLC = 123) und Flughäfen (CLC = 124), Verkehrsknotenpunkte und Dörfer mit lockerer, meist niedriger Bebauung (112)

festgestellt. Kohlendioxid zeigte eine signifikante statistische, wenn auch negative, Korrelation hinsichtlich der von Ackerland (211) und Wiesen und Weiden (231) eingenommenen Fläche. Komplexe Anbau- und Parzellensysteme (242) und überwiegend landwirtschaftlich genutzte Flächen mit einem hohen Anteil an Naturflächen (243) zeigten einen statistisch signifikanten Zusammenhang mit CO_2. Die höchsten Kohlendioxidkonzentrationen herrschten über Wiesen und Weiden in Frühlingsnächten (434–438 ppm CO_2) und in Winternächten (434–444 ppm CO_2). Der Anstieg der CO_2-Konzentrationen im Winter in Grünlandgebieten im Flachland ist jedoch eher auf die hohen CO_2-Emissionen aus anthropogenen Quellen und die Tendenz dieses Gases, sich in Senken nahe der Oberfläche zu halten, zurückzuführen.

Die größte räumliche Veränderung in der Höhe der CH_4-Konzentrationen in der Luft wurde im Sommer auf beiden Inseln festgestellt. In diesem Zeitraum unterschied sich die räumliche Verteilung der CH_4-Konzentrationen jedoch von der im Winter und Frühjahr, wo hohe Konzentrationen in der Nähe von Dörfern, Kreuzungen und Verkehrswegen aufgetreten sind. Im Sommer traten hohe CH_4-Konzentrationen in Feuchtgebieten auf, die durch Gräben entwässert wurden, eine hohe Biomasseproduktion aufwiesen und über einen organischen und hydrischen kohlenstoffreichen Boden verfügten.

Messungen der Kohlendioxid- und Methankonzentration in der Nähe von Emissionsquellen

Es ist auch zu berücksichtigen, dass es neben den großen Treibhausgasemissionsquellen auch verstreute Quellen gibt, wie z.B. Heizungen von Privathaushalten, den Individualverkehr oder die Abwasserbehandlung und die kommunale Abfallentsorgung.

Die durchgeführten Messungen zeigten eine große Schwankungsbreite der gemessenen Methankonzentrationen an den Untersuchungsstandorten. Die in Tabelle 2 angegebenen Mindestwerte stellen die Hintergrundwerte dar, die während der Messungen vor allem an der Peripherie der Emissionsquellen auf der windzugewandten gemessen wurden. Die höchsten 10-Sekunden-Durchschnittskonzentrationen waren um ein Vielfaches höher als der Hintergrundwert – über 5500 ppb – und traten am Anfang der Prozesslinie der Kläranlage, in der Nähe der Rechen und Vorklärbecken auf (Abb. 9). Erhöhte Werte wurden auch an anderen Stellen der Kläranlage in der Nähe der Belebtschlammbecken und Nachklärbecken festgestellt. Die höchsten Kurzzeitkonzentrationen überstiegen sogar 10.000 ppb; diese wurden bei den Herbstmessungen in der Kläranlage von Swinemünde und bei den

Frühjahrsmessungen in der Kläranlage von Międzyzdroje festgestellt. Hohe Konzentrationen wurden auch in der Umladestation für Siedlungsabfälle in Swinemünde-Ognica, in dem Bereich, in dem frische Abfälle zwischengelagert werden, sowie zwischen den nicht aktiven Bereichen im südlichen Teil der Anlage festgestellt. Geringe Methankonzentrationen wurden in der Umgebung der rekultivierten Bereiche im östlichen Teil des Geländes sowie im Bereich des Sperrmülllagers festgestellt.

Tab. 2. Konzentrationen von CO_2 und CH_4 in der Luft auf dem Gelände der untersuchten Einrichtungen

Standort der Einrichtung	Monat	CH_4-Konzentrationen [ppb]			CO_2-Konzentrationen [ppm]		
		Mittelwert	Min.	Max.	Mittelwert	Min.	Max.
Kläranlage Swinemünde	V	2084	2012	3593	426,2	421,8	467,1
	X	2348	2025	5553	407	393,5	680,6
Kläranlage Międzyzdroje	V	2215	2011	4476	423,9	415,4	545,3
	X	2411	2018	3981	406,6	396	470,3
Kläranlage Międzywodzie	V	2034	1987	2504	414,5	409,7	468,5
	X	2106	2021	2756	413,1	406,5	445,9
Kläranlage Wollin	V	2238	2003	6280	413,3	407,3	429,1
	X	2063	2008	2382	409,1	405,2	417
Umladestation Ognica	V	2335	2016	6640	418,9	416,1	434,4
	X	2184	2019	2851	412,5	409,5	417,6

Bei Kohlendioxid waren die Konzentrationsunterschiede wesentlich geringer. Für dieses Gas wurden die Emissionsquellen nicht so eindeutig identifiziert wie für Methan. In verschiedenen Teilen der Anlagen wurden erhöhte CO_2-Konzentrationen gemessen, aber die Differenz zwischen den festgestellten Werten und dem Hintergrundniveau betrug nicht mehr als 30 %, was darauf hindeuten könnte, dass sowohl die Kläranlagen als auch die Umladestation für Siedlungsabfälle keine signifikanten Emissionsquellen für dieses Gas darstellen. An diesen Standorten wurden außerdem erhöhte CO_2-Konzentrationen in der Nähe von Verkehrswegen festgestellt, was möglicherweise auf die Emissionen von Fahrzeugen zurückzuführen ist, die sich auf dem Gelände dieser Standorte bewegt haben.

Abb. 9. Veränderung der CH_4-Konzentration in der Luft auf dem Gelände der Kläranlage Międzywodzie entlang der Messstrecke vor dem Hintergrund eines Satellitenbildes (Google Earth Pro)

Die durchgeführten Gebietsmessungen deuten darauf hin, dass sich die Methanemissionen aus den überwachten Anlagen schnell in der Atmosphäre verteilen. Allerdings wurden in der Nähe der Kläranlagen periodisch erhöhte CH_4-Konzentrationen in der Atmosphäre gemessen, die von der Windrichtung und -geschwindigkeit abhingen, was auf den Gebietskarten zu sehen ist, die auf Grundlage der mobilen Messungen entlang der Straßen in der Nähe der untersuchten Anlagen erstellt wurden. Deutlich erhöhte Konzentrationen traten nur in Gebieten auf, die unmittelbar an die Emissionsquellen angrenzten. Im Hinblick auf die Situation im gesamten Untersuchungsgebiet waren dies jedoch unbedeutende Veränderungen.

Literaturverzeichnis

1. Denman K.L., Brasseur G., Chidthaisong A., Ciais P., Cox P.M., Dickinson R.E., Hauglustaine D., Heinze C., Holland E., Jacob D., Lohmann U., Ramachandran S., da Silva Dias P.L., Wofsy S.C., Zhang X., Couplings Between Changes in the Climate System and Biogeochemistry, [Im:] Solomon S., Qin D., Manning M. (Hrsg.), Climate Change 2007: The Physical science basis. Contribution of Working Group I to the

Fourth Assessment Report of the Intergovernmental panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge 2007, 499–588.
2. Jose V.S., Sejian V., Bagath M., Ratnakaran A.P., Lees A.M., Al-Hosni Y.A., Sullivan M., Bhatta R., Gaughan J.B., Modeling of greenhouse gas emission from livestock, „Frontiers in Environmental Science", 2016, 4, 27.
3. The State of Greenhouse Gases in the Atmosphere Based on Global Observations through 2020, „WMO Greenhouse Gas Bulletin", 2021, 17, https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=21975#.YqzGIHZBwUE (23.03.2022).
4. Quaghebeur M., Nielsen P., Horckmans L., Mechelen D.V., Accelerated carbonation of steel slag compacts: development of high-strength construction materials, „Fronties in Energy Research", 2015, 3, 52.
5. Tylkowski J., Hydrometeorologiczne uwarunkowania erozji wybrzeża klifowego wyspy Wolin, „Przegląd Geograficzny", 2018, 90 (1), 111–135.
6. Walczewski J., Bonior Z., Dębicka K., Druzgała P., Feleksy-Bielak M., Godłowska J., Orkisz K., Rozwoda W., Śliwińska U., Tomaszewska A.M., Meteorologia i pomiary napływu zanieczyszczeń powietrza w 1997 roku. Raport o stanie zanieczyszczenia powietrza w Krakowie w roku 1997.
7. https://gml.noaa.gov/aftp/products/trends/co2/co2_weekly_mlo_lastyear.txt, (23.03.2022).
8. https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/ (dostęp 23.03.2022).
9. Pradhan B.B., Chaichaloempreecha A., Limmeechokchai B., GHG mitigation in Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU) sector in Thailand, „Carbon Balance Manage", 2019, 14, 3.
10. Smith P., Bustamante M., Ahammad H., Clark H., Dong H., Elsiddig E.A., Haberl H., Harper R., House J., Jafari M., Masera O., Mbow C., Ravindranath N.H., Rice C.W., Abad C.R., Romanovskaya A., Sperling F., Tubiello F.N. Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU), [Im:] Edenhofer O., Pichs-Madruga R., Sokona Y. (Hrsg.), Climate change 2014: mitigation of climate change. Contribution of working group III to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change, Cambridge University Press, Cambridge–New York, 2014, 811–922.
11. Xu J., Lai D.Y., Neogi S., Effects of land use types on CH_4 and CO_2 production potentials in subtropical wetland soils, „Water", 2020, 12(7), 1856.

Zeitliche und räumliche Variabilität der atmosphärischen Konzentrationen von PM2,5- und PM10-Partikeln auf den Inseln Usedom und Wollin

Wojciech Tuchowski, Marek Kurnatowski, Piotr Nikończuk, Beata Tryba, Bartosz Bogusławski, Tomasz Olechwir[1], Aleksandra Łacwik, Justyna Strzyżewska[2], Jacek Przepiórski, Karolina Kurtz-Orecka

Westpommersche Technische Universität Stettin; [1] *Universität Stettin*

[2] *Regionalbüro für Raumplanung der Woiwodschaft Westpommern in Stettin*

Einleitung

Bestehende Luftqualitätsdaten von Messstationen in der Nähe der Inseln Usedom und Wollin können nicht als Grundlage für Rückschlüsse bezüglich der Bedingungen auf den Inseln verwendet werden. Die wichtigsten Überwachungsstationen (in Löcknitz und Stettin) sind mehrere Dutzend Kilometer von den Inseln entfernt (Abb. 1). Die Daten aus der Überwachungsstation Wolgast sind unvollständig und jene aus der Station Kamień Pomorski sind nicht verfügbar.

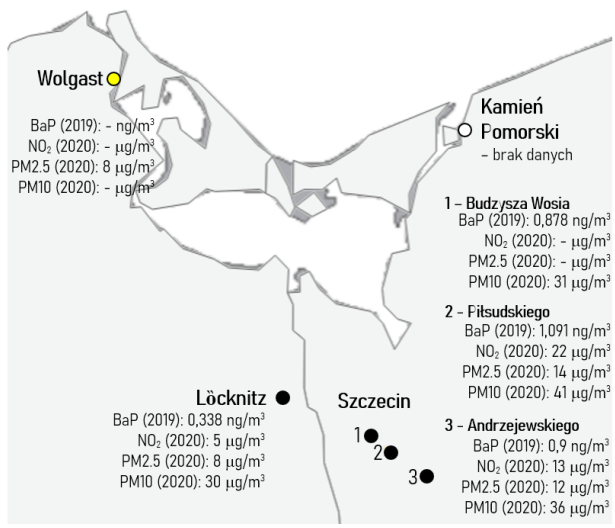


Abb. 1. Jährliche Durchschnittskonzentrationen von BaP, NO_2, PM2,5 und PM10 in den Jahren 2019 und 2020 an den Messstationen, die dem MoRE-Gebiet am nächsten liegen [1]

PM2,5- und PM10-Feinstaubkonzentration – Prüfmethodik

Aufgrund der Weite der Inseln wurden in den ausgewählten Ortschaften keine Pilotstudien durchgeführt. Es wurde eine mobile Fahrzeugüberwachung einge-setzt, die eine erhebliche Ausweitung des Untersuchungsgebiets ermöglichte. Die Route und damit die Messungen umfassten sowohl die Haupt- als auch die Ne-benrouten der Inseln Usedom und Wollin. Sie wurde entwickelt, um potenzielle Emissionsquellen zu erfassen und die Hintergrundkonzentration der Luftver-schmutzung durch Partikel auf beiden Inseln zu bewerten. Die vorgesehene Route wurde bei den saisonalen Erhebungen (Frühjahr, Sommer, Herbst, Winter) bei Tag und Nacht abgefahren.

Die Messgeräte wurden so im Fahrzeug angebracht, dass die Störungen durch die Straße (Verkehr) begrenzt wurden. Jede Messung wurde mit georeferenzierten Daten (Längen- und Breitengrad) aufgezeichnet, um eine weitere Analyse und grafische Datenverarbeitung (GIS) zu ermöglichen. Die vorläufige Untersuchung der Luftqualität auf den Inseln Usedom und Wollin, einschließlich der Momentanmessungen der Konzentrationen von PM2,5- und PM10-Feinstaub, der auf den Inseln aus anthropogenen und natürlichen Quellen emittiert wird, wurde in vier charakteristischen Jahreszeiten durchgeführt: Frühling, Sommer, Herbst und Winter, und zwar zu zwei Zeiten: tagsüber und nachts (Abb. 2 und 3).

Abb. 2. PM2,5- und PM10-Feinstaubmessgerät

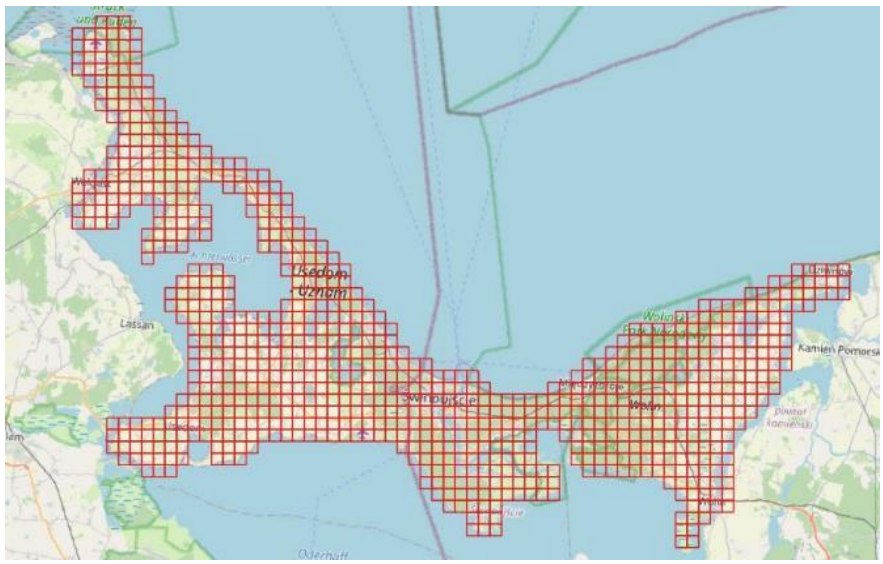


Abb. 3. Forschungsdiagrammnetz auf den Inseln Usedom und Wollin

Die Messreihen wurden in folgenden Zeiträumen durchgeführt:

- Frühjahr 2021, am 29. April, 5. Mai und 7. bis 9. Mai,
- Sommer 2021, am 5.-6. Juni,
- Herbst 2021, an den Tagen 14.-17. Oktober,
- Winter 2022, an den Tagen 5. und 7. Februar.

Felddaten, insgesamt 32 Serien, wurden in Zyklen von Fahrten vor und nach der Dunkelheit während der oben genannten Jahreszeiten gesammelt.

Die Messungen der PM2,5- und PM10-Feinstaubkonzentrationen wurden mit dem mobilen Feinstaub-Mehrfachregister-Luftqualitätsmessgerät APFinder, SN APF202102, durchgeführt (Abb. 2).

Analyse von Rohdaten

Die Messdaten des Feinstaubmessgeräts enthalten Informationen über die Lage von Punkten im WGS-84-System (Ellipsoidkoordinaten B, L) und die Konzentrationswerte von PM10- und PM2,5-Feinstaub für diese Koordinaten. Der Staubsensor nimmt Proben in 30-Sekunden-Intervallen. Da sich der Sensor mit dem Fahrzeug auf der Straße bewegt, sind die Messpunkte in einer linearen Folge angeordnet, die mit dem Straßensystem übereinstimmt. Diese Messmethode veranschaulicht sehr gut die Staubkonzentration entlang von Verkehrswegen.

Zur Darstellung der Messergebnisse wurde eine Auswahl objektiver Schätzmethoden verwendet, darunter:

- mathematische und geostatistische Methoden zur Berechnung von Konzentrationen anhand von Werten, die aus Messungen an anderen Orten oder zu anderen Zeiten gewonnen wurden, unter Verwendung von Kenntnissen über die Verteilung von Konzentrationen und Emissionen auf dem jeweiligen Gebiet,
- Verwendung von Analogien zu Konzentrationen, die in einem anderen Gebiet gemessen wurden,
- Verwendung von Analogien zu Konzentrationen, die in einem bestimmten Gebiet zu einem anderen Zeitpunkt gemessen wurden.

Diese Methoden wurden ergänzend eingesetzt. Mit ihrer Hilfe wurde nicht nur die räumliche Verteilung der PM2,5- und PM10-Feinstaubkonzentrationen ermittelt, sondern auch die Gebiete mit Überschreitungen der kritischen Werte angegeben.

Um die linearen Messdaten in Form von Konzentrationswerten für bestimmte Gebiete darstellen zu können, wurde beschlossen, die Messpunkte in Voronoi-Diagramme umzuwandeln. Diese Methode besteht darin, die Ebene in Bereiche um die Messpunkte herum zu unterteilen, so dass jeder Punkt in einem bestimmten Bereich, der einem Messpunkt zugeordnet ist, näher an diesem Punkt liegt als an jedem anderen Messpunkt im Datensatz. Die Erstellung der Flächenaufteilung und der Kontaminationskarten erfolgte mit dem QGIS-Programm. Jeder Bereich erhielt einen für diesen Messpunkt spezifischen Staubkonzentrationswert. Diese Methode ist umso genauer, je dichter die Messlinien sind. Bei großen Entfernungen zwischen den Reiserouten wurden die Konzentrationswerte für bedeutende Gebiete extrapoliert, was die Wahrscheinlichkeit der Berechnung der tatsächlichen Konzentrationswerte verringert. Das Untersuchungsgebiet der Inseln wurde in Polygone von 1 × 1 km (1 km^2) aufgeteilt. Anschließend wurden aus dem Polygonnetz 1.800 Polygone, die das betreffende Gebiet abdecken, für die weitere Analyse ausgewählt (Abb. 3) und einem einzigen gemittelten Gas- oder Staubkonzentrationswert zugeordnet.

Auf den Kontaminationskarten sind die einzelnen Rasterquadrate mit einer Farbe gekennzeichnet, die dem Bereich der Konzentrationswerte entspricht. Um die Konzentrationswerte für die Gitterquadrate zu erhalten, wurde jeweils ein gewichteter Durchschnitt aus allen Fragmenten der Voronoi-Diagramme (Abb. 4), die ein bestimmtes Quadrat umfassen, berechnet. Das angenommene Feldraster (1 × 1 km) wurde mit den Voronoi-Diagrammen überlagert und die beiden Ebenen wurden zusammengeführt (Abb. 5). Die Gewichtung erfolgte anhand der Fläche jedes Abschnitts jedes Polygons, das die Fläche eines

bestimmten Quadrats umfasst. Die Summe der Gewichtungen betrug 1 km^2, die Werte für den gewichteten Durchschnitt waren die dem Diagramm zugeordneten PM2,5- und PM10-Konzentrationswerte. Mit dieser Methode lassen sich Punktdaten am besten in Flächendaten umwandeln, aber an den Enden der Erhebungslinien wirken sich die Werte der letzten Punkte in der Linie stark auf die Werte der Quadrate außerhalb der Linie aus, da die Werte der letzten Punkte die höchsten Gewichte zu den Quadraten beitragen, in denen kein Erhebungspunkt vorhanden ist.

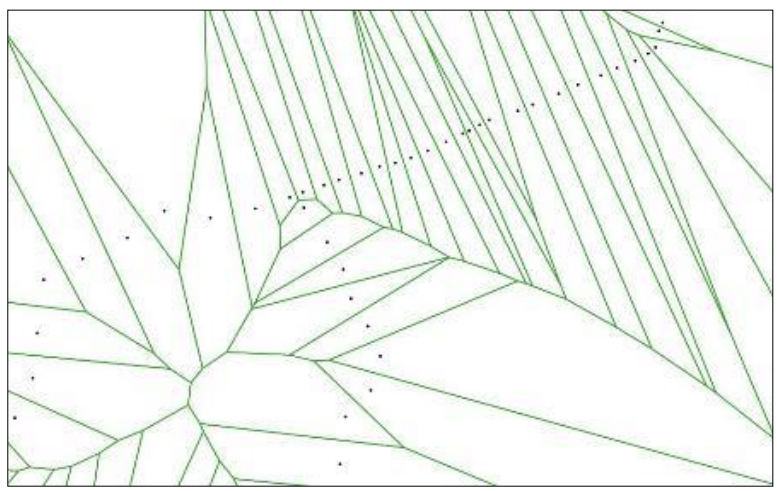


Abb. 4. Voronoi-Diagramme

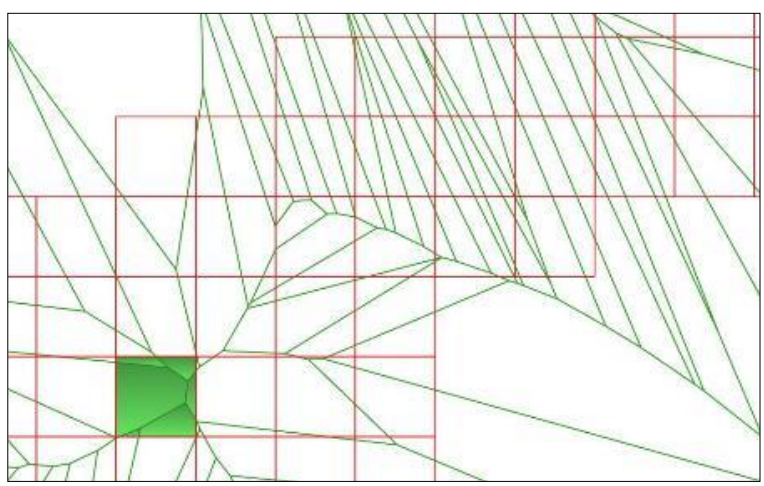


Abb. 5. Kombinierte Schicht aus Voronoi-Diagrammen und 1 × 1 km Feldnetz

Den einzelnen Feldern wurden die Werte der gemessenen Schadstoffe aus den Voronoi-Diagrammen anhand eines gewichteten Durchschnitts zugeordnet, wobei das Gewicht der Fläche für einen bestimmten Wert entsprach. Diese Werte wurden verwendet, um eine Polygonebene zu erstellen, die ein vorgeneriertes Raster von Quadraten mit zugewiesenen gewichteten Mittelwerten darstellt, die als Karten visualisiert wurden (Abb. 6). Derartige Kartogramme wurden für alle Messtage erstellt, und es wurden Karten mit Durchschnittswerten für die Jahreszeiten und eine Übersichtskarte für das Jahr erstellt.

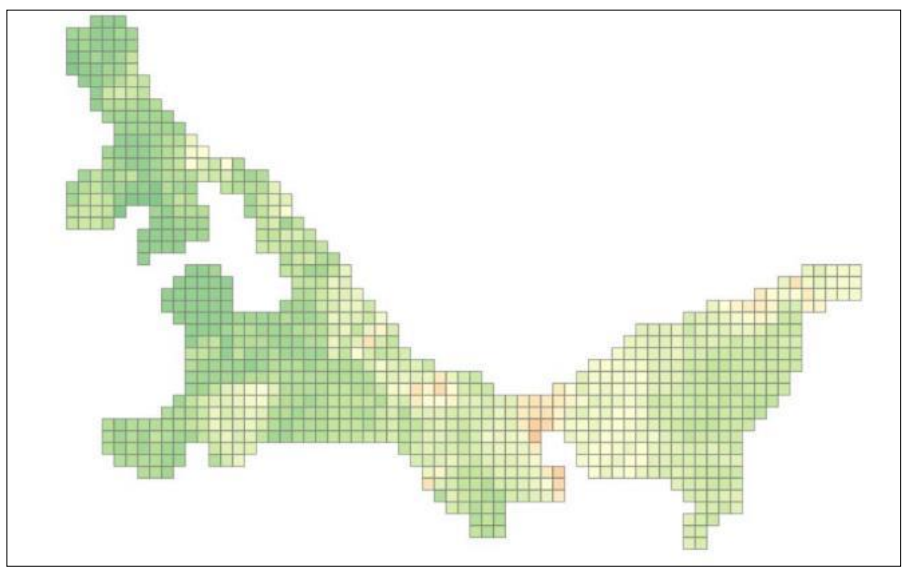


Abb. 6. Beispiel für die Variation der Indikatorwerte in einem 1 × 1 km großen Quadratgitter

Darüber hinaus wurden Liniendiagramme erstellt (Abb. 9–22), die die Verteilung der Konzentrationen entlang der vom Prüfgerät befahrenen Straßen zeigen. Die horizontale Achse zeigt die Entfernungen zwischen den Messpunkten, die aus den Koordinaten berechnet wurden. Die Diagramme wurden für ausgewählte Strecken zwischen den Ortschaften angefertigt. Jedes Diagramm zeigt die Höhe der Tagesgrenzwerte gemäß den WHO-Richtlinien vom September 2021 (15 µg/m^3 für PM2,5 und 45 µg/m^3 für PM10-Feinstaub).

Ergebnisse der Messungen der PM2,5- und PM10-Feinstaubkonzentration

Die Ausbreitungsbedingungen von partikelförmigen Schadstoffen in der atmosphärischen Luft werden durch die zeitlichen und räumlichen Auswirkungen der vorherrschenden meteorologischen Bedingungen bestimmt, die auf Skalen von intern bis global beschrieben werden (Tab. 1). Meistens werden die Konzentrationen unter gemessenen Staubkonzentrationsbedingungen als Ergebnis lokaler und regionaler Einflüsse beobachtet.

Tab. 1. Räumliches und zeitliches Ausmaß der Verschmutzungsausbreitung [2]

Wirkungsbereich	Horizontale Skala [km]	Vertikale Skala [km]	Zeitintervall	Ausmaß des Problems
Intern	10^{-2}–10^{-1}	bis 10^{-1}	Minuten-Stunde	Aktivitäten im Bereich Dienstleistungen und Dasein
Lokal	10^{-1}–10	bis 3	Minuten-Stunde	Stadt/Land
Städtisch	10–10^{2}	bis 3	Stunde-mehrere Tage	Stadt/Land
Regional	10^{2}–10^{3}	bis 15	Stunden-Monat	Region/Land
Kontinental	10^{3}–10^{4}	bis 30	mehrere Tage-Monate	Land/Welt
Hemisphäre	10^{4}–2×10^{4}	bis 50	Monat-Jahr	Welt
Global	4×10^{4}	bis 50	Monate-Jahre	Welt

Die Untersuchung der PM2,5- und PM10-Feinstaubkonzentrationen in der Luft wurde in vier Zeiträumen durchgeführt, d. h. im Frühjahr, Sommer, Herbst und Winter, getrennt nach Tag und Nacht. Aufgrund einer während der Erhebung nicht feststellbaren Gerätefehlfunktion wurden die nächtlichen Herbstbeobachtungsreihen nicht korrekt aufgezeichnet. Aufgrund der angewandten Messmethodik sind die erfassten PM2,5- und PM10-Feinstaubkonzentrationen das Ergebnis punktueller, oberirdischer und standortspezifischer linearer Emissionen.

Abbildung 7a-d zeigt die Verteilung der PM2,5-Konzentrationen für die Tages- und Nachtmessungen in den vier Messkampagnen. Die angenommene

Skala umfasst PM2,5-Konzentrationen von 0 µg/m^3 bis zu Werten über 15 µg/m^3, die in acht Bereiche unterteilt sind. Der angenommene Grenzwert von 15 µg/m^3 ist der von der WHO empfohlene Tagesgrenzwert für die PM2,5-Konzentration (ab 2021). Aufgrund von Messbeschränkungen (fehlende Möglichkeit von 24-Stunden-Messungen) ist zu beachten, dass es sich bei den in den Verschmutzungskarten dargestellten Werten um Momentanwerte handelt, die die Konzentration der Verschmutzungsquellen und deren Verteilungstrend veranschaulichen. Trotz der Annahme von Konzentrations skalen in Bezug auf den Tagesgrenzwert (WHO) ermöglichen sie keine eindeutige Bestimmung des Zustands der Luftqualität in dem betreffenden Gebiet.

Während des Frühjahrs (Abb. 7a) sind die Schwankungen der PM2,5-Konzentrationen im MoRE-Gebiet deutlich sichtbar. Die flächenhafte Variabilität der Schadstoffkonzentrationen verläuft nicht innerhalb der Inselgrenzen, sondern deckt ganz klar die territoriale Aufteilung des Projektgebiets ab. Die PM2,5-Konzentration in der Luft ist auf der deutschen Seite deutlich günstiger (niedriger) als in dem untersuchten Gebiet auf der polnischen Seite. Die gemessenen Konzentrationen von PM2,5-Feinstaub auf dem größten Teil der Insel Usedom (deutsche Seite) liegen im Bereich von 0–3 µg/m^3. Auf der polnischen Seite der Insel Usedom und auf Karsibor wurden unterschiedliche Konzentrationen von Feinstaub PM2,5 in der Luft mit steigenden Werten im Bereich von 4,5–6 µg/m^3 gemessen. Die momentanen Feinstaubkonzentrationen auf der Insel Wollin werden durch alle Intervalle der angenommenen Skala beschrieben, mit einer Überschreitung des empfohlenen Höchstwertes der PM2,5-Tageskonzentration, die in der Nähe von Warnow gemessen wurde.

Im Gegensatz zum Tageszeitraum zeigten die nächtlichen Messungen im Frühjahr auf den Inseln erhöhte Emissionen auf der deutschen Seite von Usedom, wobei die höchsten PM2,5-Konzentrationen im Bereich von 9–15 µg/m^3 auf Usedom gemessen wurden. Hohe PM2,5-Konzentrationen in der Luft wurden auch in den folgenden Ortschaften gemessen: Karnin, Zinnowitz, Krummin und Dargen.

Die nächtliche Momentankonzentration auf der Insel Wollin lag im Frühjahr im Bereich von 0–4,5 µg/m^3.

Im Sommer (Abb. 7b) ist das Bild der PM2,5-Konzentration auf dem gesamten Gebiet viel ausgeglichener. Der vorherrschende Bereich der Momentankonzentration schließt sich im Bereich von 0–6 µg/m^3 und steigt nur lokal im Bereich von 6–9 µg/m^3 an. Die Ergebnisse für den Sommerzeitraum zeigen, dass die

PM2,5-Konzentration an zwei Standorten auf der Insel Usedom im Küstenbereich der Achterwasser-Bucht erhöht ist.

Die gemessene PM2,5-Konzentration in der Sommernacht (Abb. 7b) zeigt niedrige Konzentrationswerte auf der Insel Usedom, die zwischen 0 und 4,5 µg/m^3 liegen. Im Vergleich zu den Sommermonaten wurde auf der Insel ein Rückgang der PM2,5-Konzentration festgestellt.

In den meisten Teilen der Insel Wollin nahmen die PM2,5-Konzentrationen im Sommer auch nachts ab, mit Ausnahme des Gebiets, das mit der Strecke Wollin-Międzyzdroje der Schnellstraße S3 und Warszów (rechtsufriger Teil von Swinemünde) zusammenfällt. Die momentanen PM2,5-Konzentrationen in dem Gebiet wurden zwischen 7,5 und 9 µg/m^3 gemessen.

Während des Herbstes (Abb. 7c) weist das gesamte MoRE-Gebiet eine sehr gute momentane Luftqualität auf. Die Feinstaubkonzentrationen lagen zumeist im Bereich von 0–3 µg/m^3, mit lokalen Bereichen erhöhter Emissionen, aber nicht über 4,5 µg/m^3.

Bei der Messung im Winter (Abb. 7d) lagen die Momentanwerte der PM2,5-Konzentration tagsüber auf einem ähnlichen Niveau wie im Herbst. In Swinemünde wurden im Herbst leicht erhöhte Konzentrationen der untersuchten Feinstaubpartikel festgestellt.

Bei den nächtlichen Wintermessungen lagen die momentanen PM2,5-Konzentrationswerte auf beiden Inseln im Bereich von 0–3 µg/m^3. Bei der Analyse der Winterergebnisse ist jedoch der starke Wind in der Region zu beachten. Die Erhebungen wurden bei schwacher Windstärke durchgeführt, aber 24 Stunden später war der Wind bei 6 B mit Böen bis zu 8 B abgeflaut. Die Durchführung der Winterkampagne wurde durch die vorherrschenden Wetterbedingungen mit vorbeiziehenden Wetterfronten und einer ungünstigen langfristigen Wettervorhersage erschwert. Die gemessenen PM2,5-Konzentrationen im Winter könnten auf die atmosphärischen Bedingungen vor der Untersuchung zurückzuführen sein, die die Verfrachtung von Schadstoffen und damit die "Durchlüftung" des untersuchten Gebiets begünstigten.

Abbildung 8a-d zeigt die Verteilung der PM10-Konzentrationen für die Tages- und Nachtmessungen in den vier Messkampagnen. Die angenommene Skala umfasst PM10-Konzentrationen von 0 µg/m^3 bis zu Werten über 45 µg/m^3, die in acht Bereiche unterteilt sind. Der angenommene Grenzwert von 45 µg/m^3 entspricht dem von der WHO empfohlenen Tagesgrenzwert für PM10-Feinstaub (ab 2021).

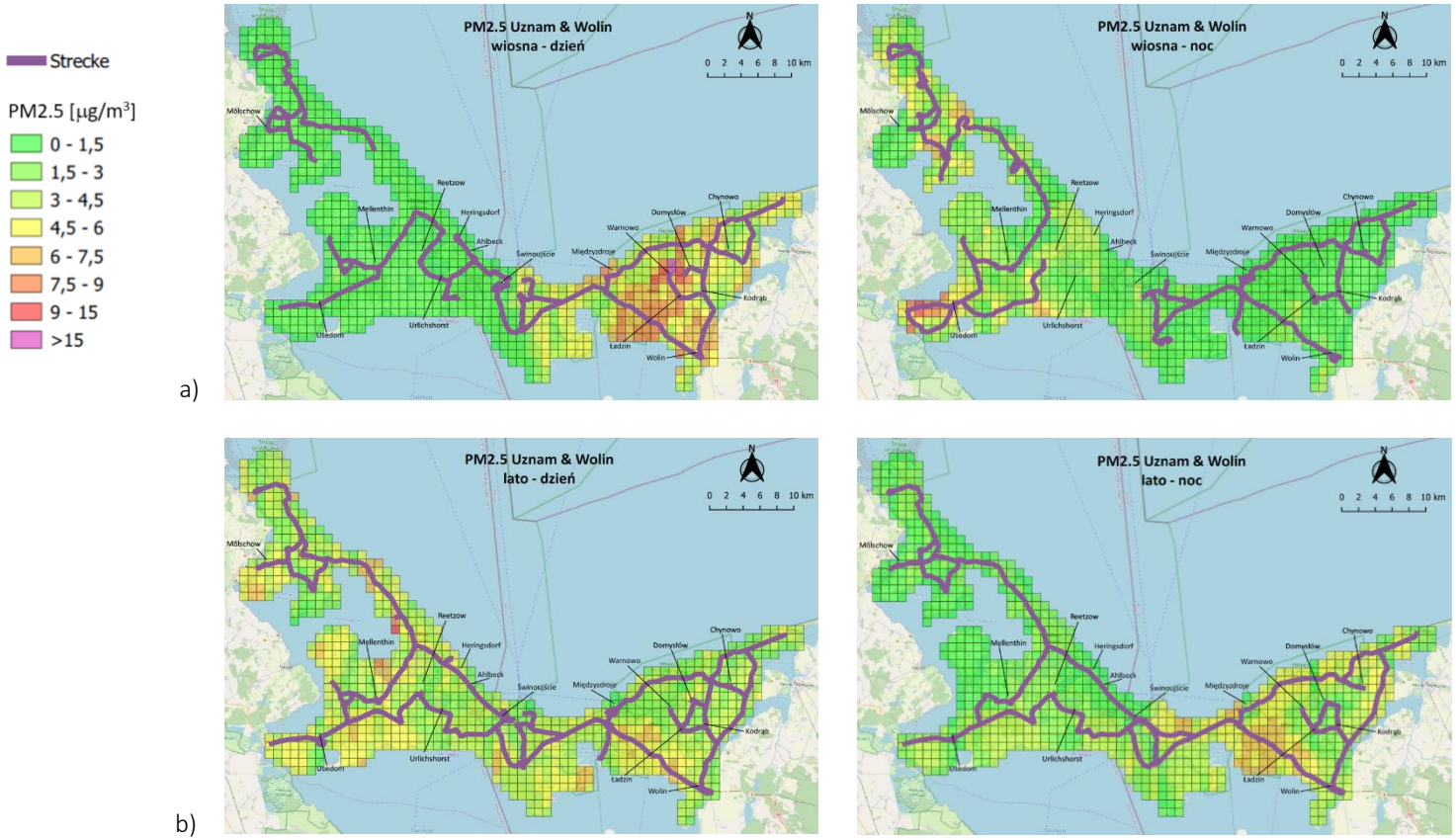
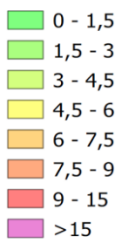
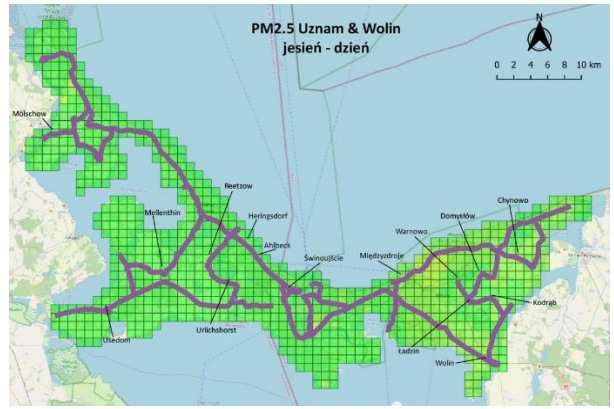


Abb. 7. Änderungen der momentanen PM2,5-Konzentrationen in der Luft in Abhängigkeit von der Tageszeit in vier verschiedenen Jahreszeiten: a) Frühling, b) Sommer

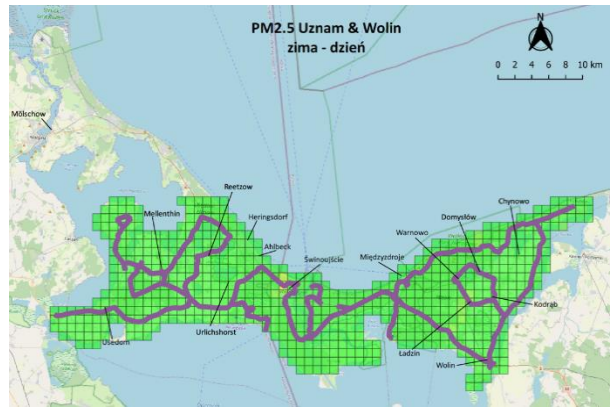


c)



(keine Messdaten)

d)



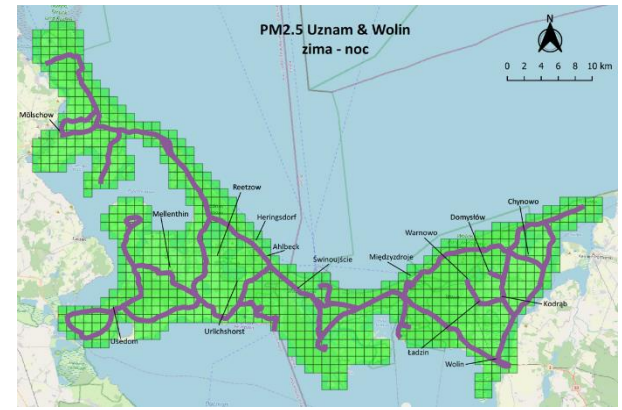


Abb. 7. Änderungen der momentanen PM2,5-Konzentrationen in der Luft in Abhängigkeit von der Tageszeit in vier verschiedenen Jahreszeiten: c) Herbst, d) Winter

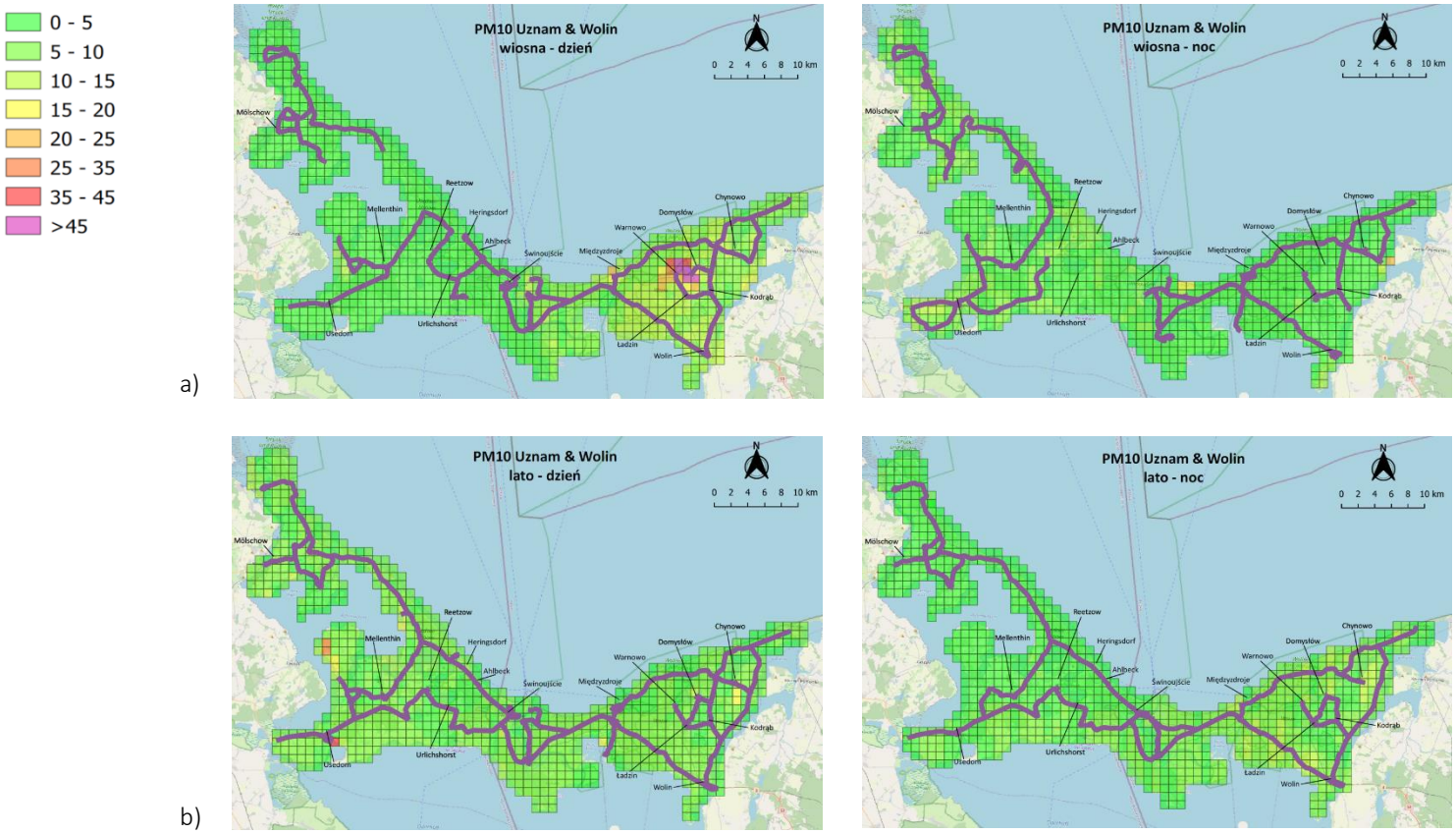
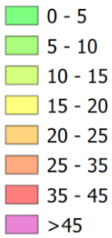
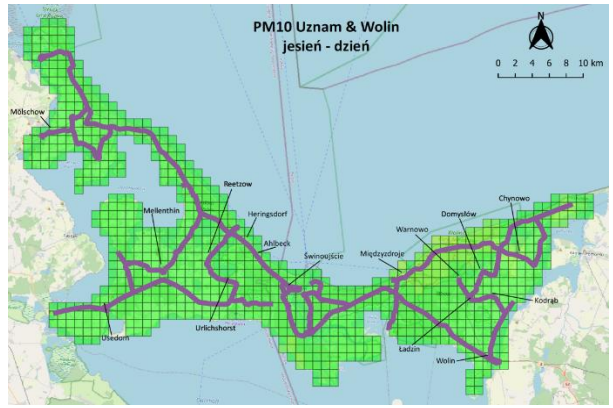


Abb. 8. Änderungen der momentanen PM10-Konzentrationen in der Luft in Abhängigkeit von der Tageszeit in vier verschiede-nen Jahreszeiten: a) Frühling, b) Sommer

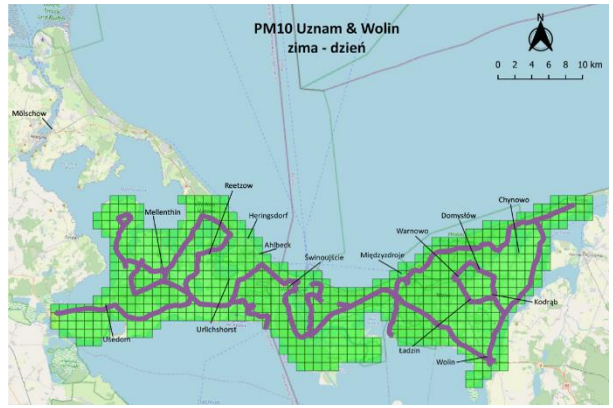


c)



(keine Messdaten)

d)



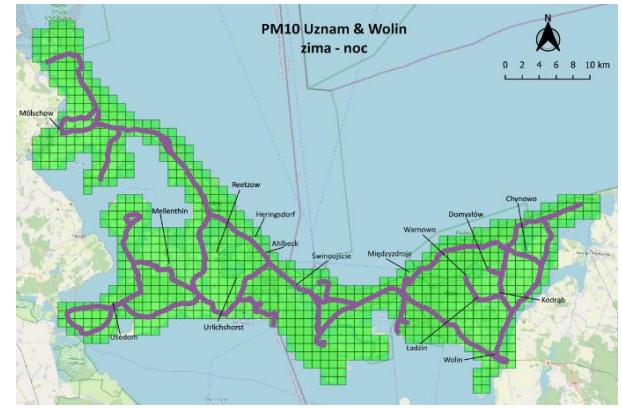


Abb. 8. Änderungen der momentanen PM10-Konzentrationen in der Luft in Abhängigkeit von der Tageszeit in vier verschiede-nen Jahreszeiten: c) Herbst, d) Winter

Im Frühjahr (Abb. 8a) sind die Schwankungen der PM10-Konzentrationen auf den Inseln Usedom und Wollin weniger ausgeprägt als bei den PM2,5-Konzentrationen in diesem Zeitraum. In den meisten Gebieten schwankt die momentane Konzentration von PM10-Feinstaub zwischen 0 und 15 µg/m^3. Im zentralen Teil der Insel Wollin, in der Nähe von Warnowo und Domysłów, ist die Konzentration von PM10-Feinstaub besonders hoch, und die momentane Konzentration übersteigt den von der WHO empfohlenen Tagesgrenzwert für PM10. Erhöhte PM10-Konzentrationen treten auch in der Nähe von Międzyzdroje auf, aber die gemessenen Momentanwerte der PM10-Feinstaubkonzentrationen liegen nahe bei 25 µg/m^3.

Im Gegensatz zum Tageszeitraum ergaben die nächtlichen Messungen im Frühjahr ein nahezu homogenes räumliches Bild der PM10-Konzentrationen in der Luft auf beiden Inseln. Örtlich erhöhte Konzentrationen wurden in dem Gebiet östlich des LNG-Terminals in Swinemünde und in der Nähe von Łunowo festgestellt. Beide Standorte liegen auf der Insel Wollin.

Die Ergebnisse der Momentanmessungen der PM10-Feinstaubkonzentrationen im Sommer (Abb. 8b) weisen auf begrenzte Emissionen im gesamten Untersuchungsgebiet hin. Die PM10-Feinstaubkonzentrationen an einem Frühlingstag lagen zwischen 0 und 15 µg/m^3. Örtlich erhöhte Werte wurden in der Nähe von Lubiń und Chynów (Insel Wollin) gemessen – Konzentrationen von 15–20 µg/m^3. Auf der Insel Usedom wurden lokal erhöhte PM10-Feinstaubkonzentrationen in der Umgebung von Ückeritz im Bereich von 15–20 µg/m^3, Rankwitz-Liepe im Bereich von 20–25 µg/m^3 und am höchsten in der Umgebung von Usedom im Bereich des von der WHO empfohlenen Tagesgrenzwertes, d. h. 35–45 µg/m^3, registriert.

Das räumliche Bild der Momentankonzentrationen von PM10-Feinstaub in der Luft während des Sommertages auf der Insel Wollin zeigt eine hohe Homogenität der Luftbedingungen, die im Zusammenhang mit diesem Schadstoff bewertet wurden. Die momentane PM10-Konzentration lag im gesamten Gebiet im Bereich von 0–10 µg/m^3, mit einem lokalen Anstieg auf 15 µg/m^3 im Küstenstreifen des Gebietes Insel Wollin – Nationalpark Wollin, was mit der geringeren Windeinwirkung auf die Strecke (die Straße ist in diesem Abschnitt größtenteils mit Baumkronen geschlossen), die sich mit der Verbindungsstraße zwischen den Küstenstädten überschneidet, und mit der Intensität des Straßenverkehrs zusammenhängen könnte. Die Momentankonzentrationen der PM10-Feinstaubbelastung während des Sommerzeitraums in der Nacht auf beiden Inseln folgten einem ähnlichen Muster wie im Frühjahr, was zu einem fast einheitlichen räumlichen Muster der Konzentrationen im gesamten MoRE-Gebiet führte,

wobei die untersuchten PM10-Feinstaubkonzentrationen zwischen 0–15 µg/m^3 lagen.

Die Verteilung der momentanen PM10-Konzentrationen in der Luft während des Wintertages (Abb. 8d) zeigt ebenfalls einen sehr homogenen Zustand. Die momentane Konzentration von PM10-Feinstaub lag im gesamten Gebiet zwischen 0–10 µg/m^3.

Die Momentankonzentrationen der PM10-Feinstaubbelastung in der Winternacht folgten auf beiden Inseln einem ähnlichen Muster wie im Frühjahr, so dass sich für das gesamte MoRE-Gebiet ein nahezu einheitliches Bild ergab. Die momentane Konzentration betrug bis zu 10 µg/m^3.

Die Abbildungen 9 bis 22 zeigen das Muster der Veränderung der momentanen PM2,5- und PM10-Feinstaubkonzentrationen bei der Entwicklung der Tag/Nacht-Reiserouten während der untersuchten Jahreszeiten. Ausgewählte Routen enthalten:

– Auf der Insel Usedom die Strecken: Peenemünde – Karlshagen – Trassenheide – Zinnowitz – Zemplin – Koserow – Pudagla – Neppermin – Mellenthin – Morgenitz – Usedom,
– Auf der Insel Wollin die Strecken: Swinemünde – Międzyzdroje – Wisełkę – Kołczewo – Międzywodzie – Dziwnów.

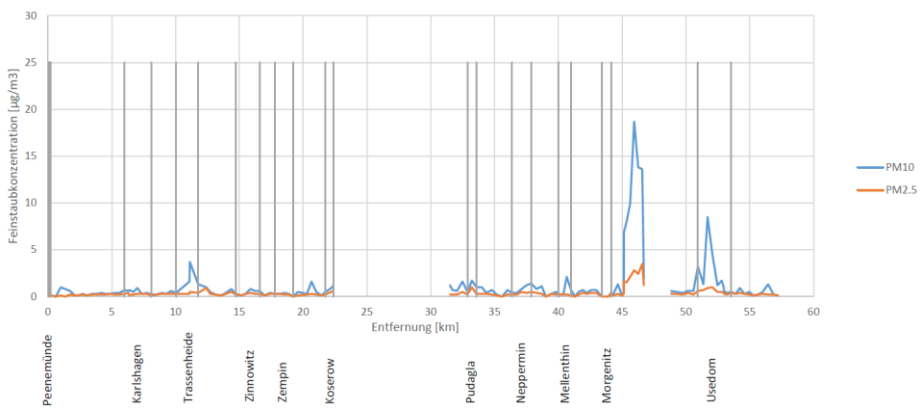


Abb. 9. Insel Usedom – PM2,5- und PM10-Konzentrationen auf der Strecke Peenemünde-Usedom, Frühjahr – tägliche Messung (2021)

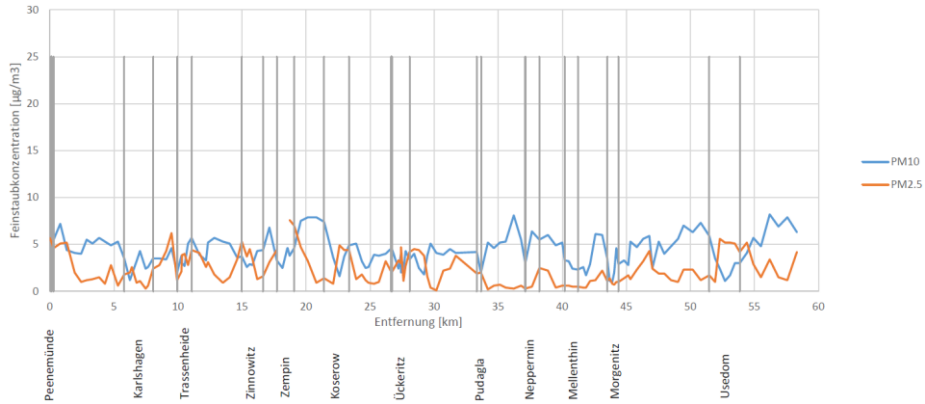


Abb. 10. Insel Usedom – PM2,5- und PM10-Konzentrationen auf der Strecke Peenemünde-Usedom, Sommer – tägliche Messung (2021)

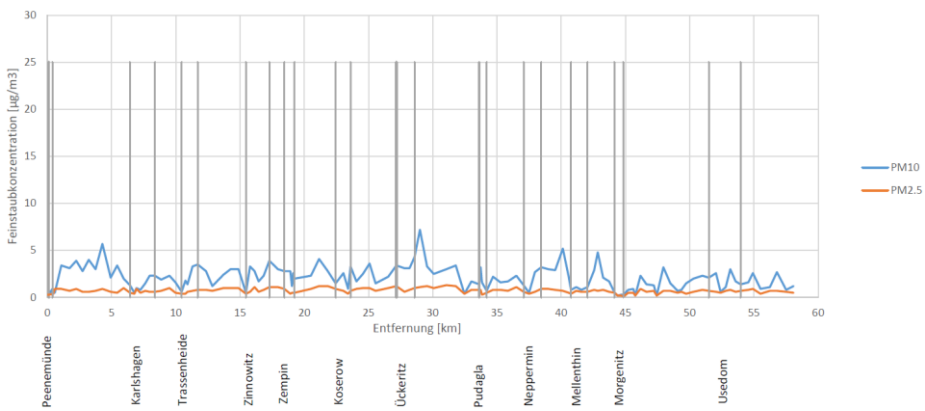


Abb. 11. Insel Usedom – PM2,5- und PM10-Konzentrationen auf der Strecke Peenemünde-Usedom, Herbst – tägliche Messung (2021)

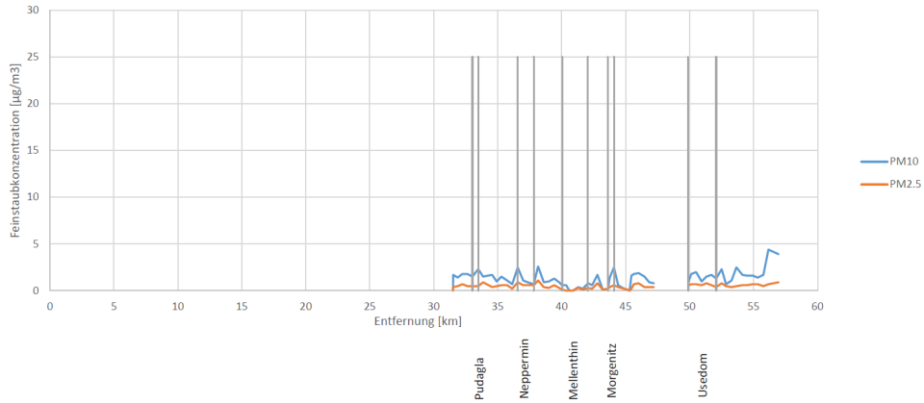


Abb. 12. Insel Usedom – PM2,5- und PM10-Konzentrationen auf der Strecke Peenemünde-Usedom, Winter – tägliche Messung (2021)

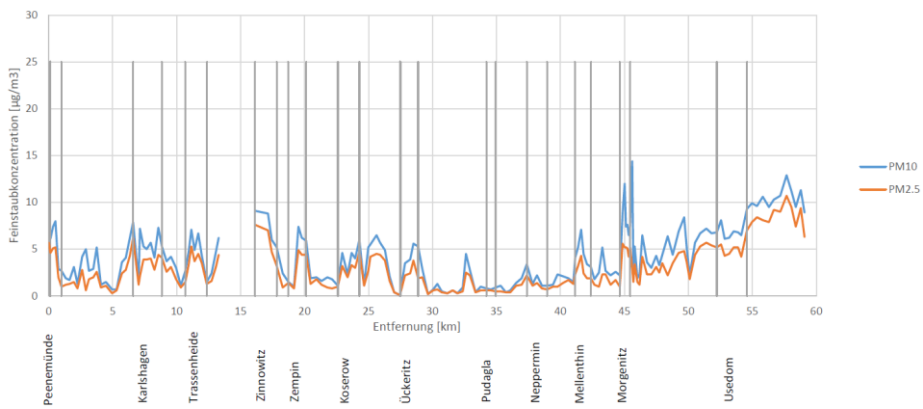


Abb. 13. Insel Usedom – PM2,5- und PM10-Konzentrationen auf der Strecke Peenemünde-Usedom, Frühjahr – nächtliche Messung (2021)

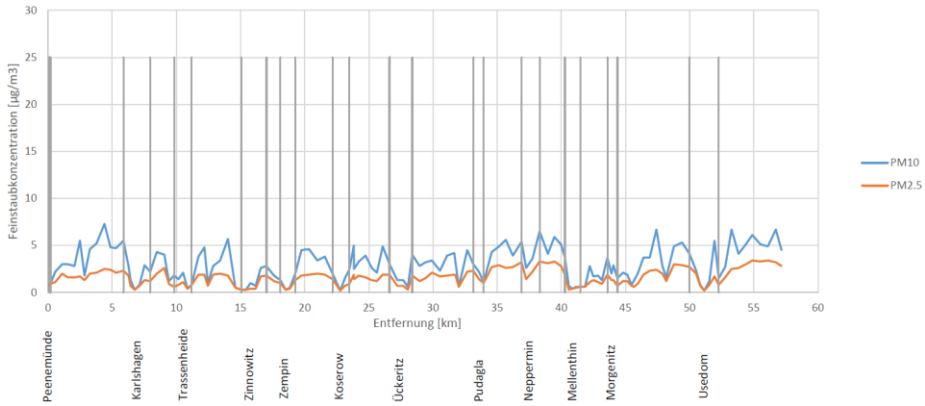


Abb. 14. Insel Usedom – PM2,5- und PM10-Konzentrationen auf der Strecke Peenemünde-Usedom, Sommer – nächtliche Messung (2021)

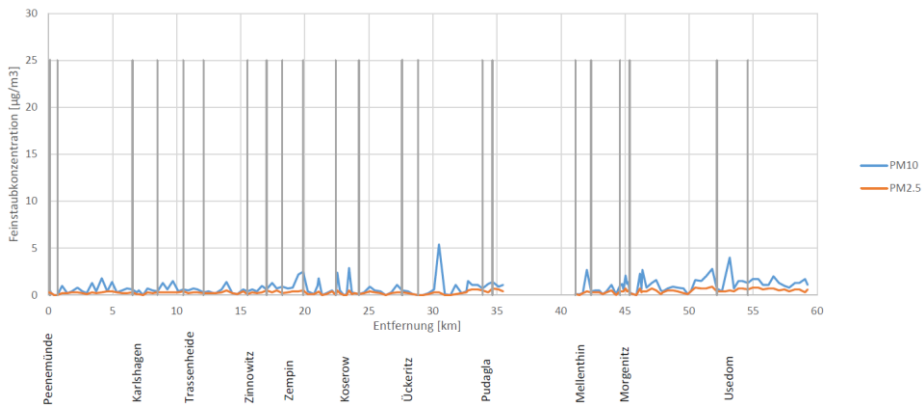


Abb. 15. Insel Usedom – PM2,5- und PM10-Konzentrationen auf der Strecke Peenemünde-Usedom, Winter – nächtliche Messung (2021)

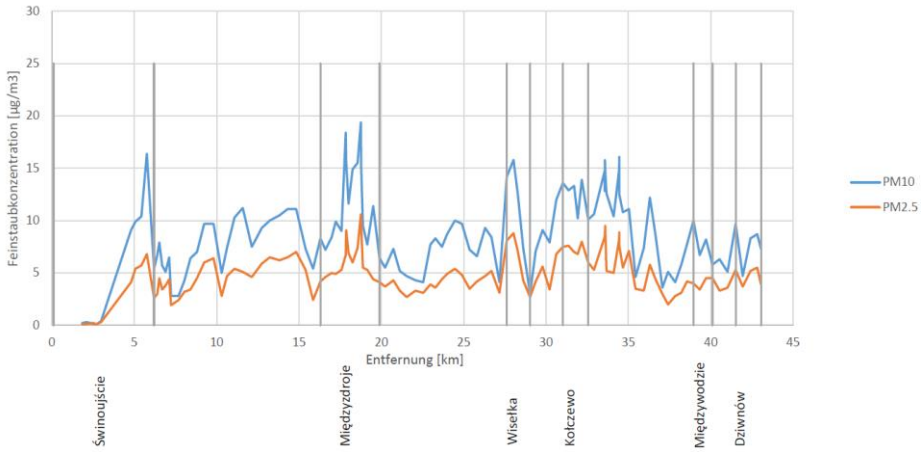


Abb. 16. Insel Wollin – PM2,5- und PM10-Konzentrationen auf der Strecke Swinemünde-Dziwnów, Frühjahr – tägliche Messung (2021)

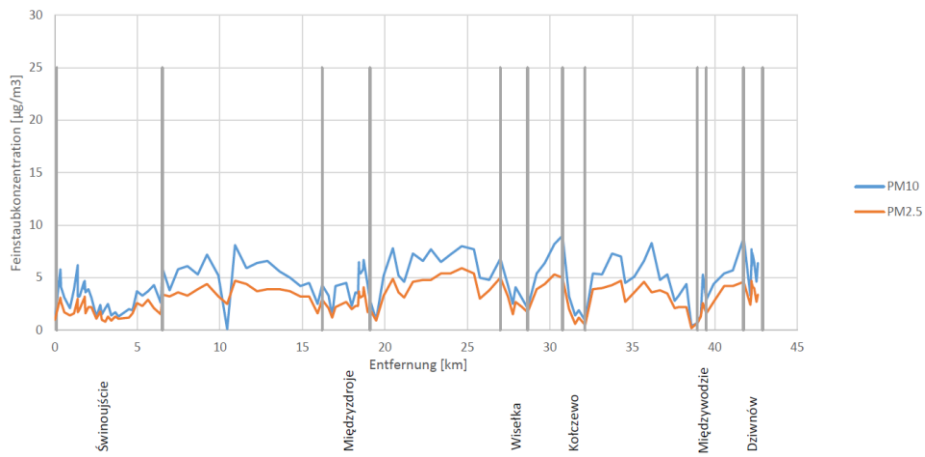


Abb. 17. Insel Wollin – PM2,5- und PM10-Konzentrationen auf der Strecke Swinemünde-Dziwnów, Sommer – tägliche Messung (2021)

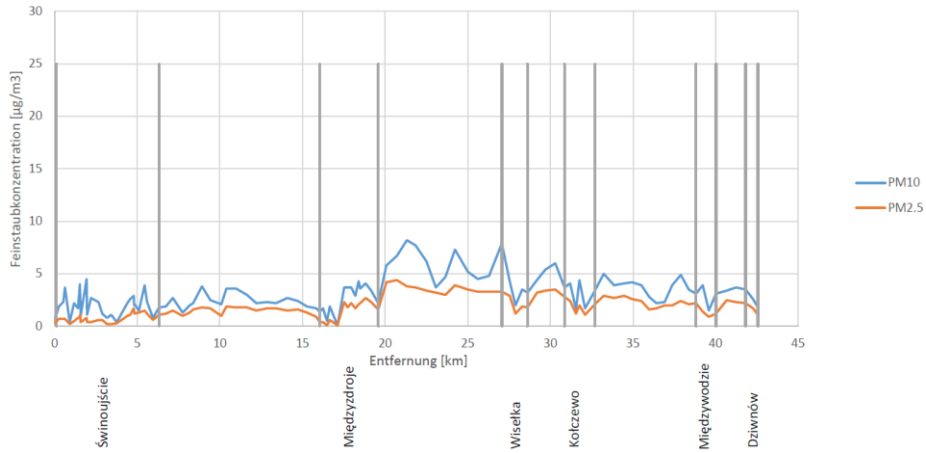


Abb. 18. Insel Wollin – PM2,5- und PM10-Konzentrationen auf der Strecke Swinemünde-Dziwnów, Herbst – tägliche Messung (2021)

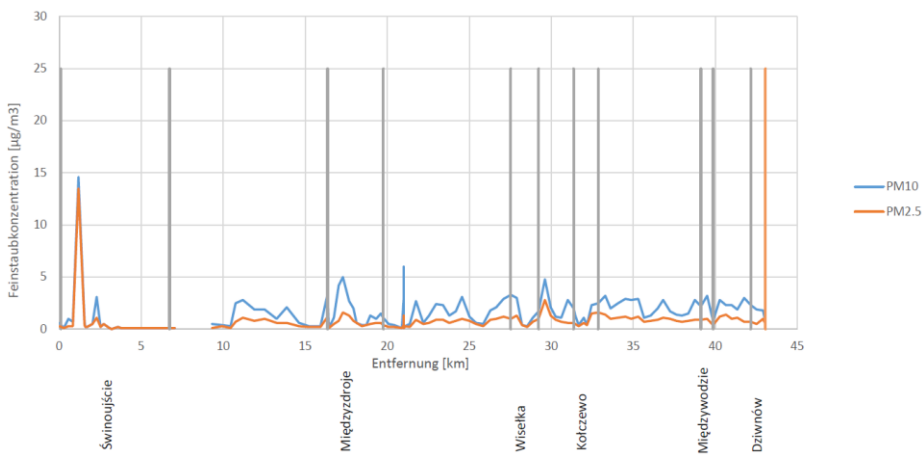


Abb. 19. Insel Wollin – PM2,5- und PM10-Konzentrationen auf der Strecke Swinemünde-Dziwnów, Winter – tägliche Messung (2021)

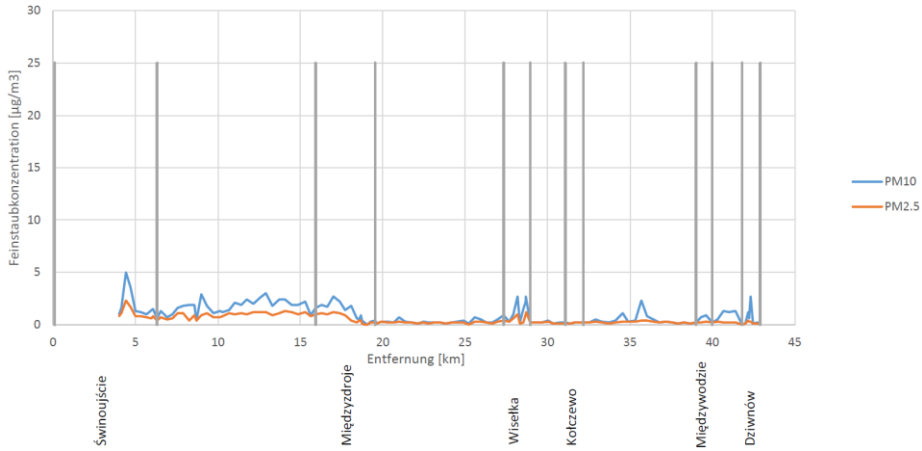


Abb. 20. Insel Wollin – PM2,5- und PM10-Konzentrationen auf der Strecke Swinemünde-Dziwnów, Frühjahr – nächtliche Messung (2021)

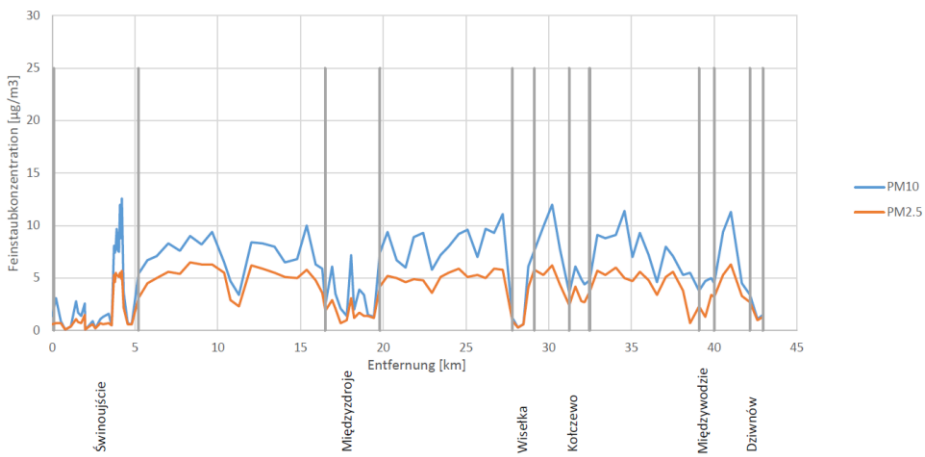


Abb. 21. Insel Wollin – PM2,5- und PM10-Konzentrationen auf der Strecke Swinemünde-Dziwnów, Sommer – nächtliche Messung (2021)

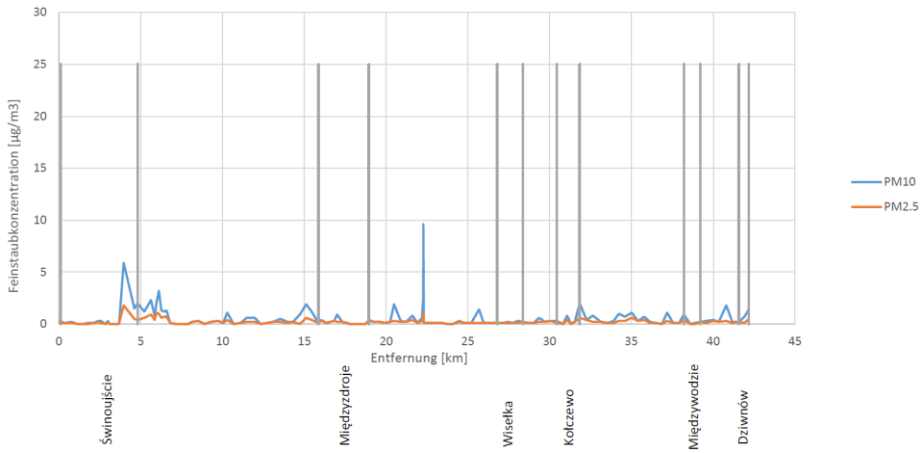


Abb. 22. Insel Wollin – PM2,5- und PM10-Konzentrationen auf der Strecke Swinemünde-Dziwnów, Winter – nächtliche Messung (2021)

Zusammenfassung

In städtischen Gebieten ist der Einfluss der Lufttemperatur auf die Partikelemissionen wirtschaftlich-, sozial- und daseinsbedingt. Wenn die Temperaturen sinken, steigen die Partikelemissionen in die Atmosphäre aufgrund der intensiven Beheizung von Wohnungen und der zunehmenden Energieintensität von Industrieprozessen. Der zweite Bereich, in dem die Lufttemperatur eine Rolle spielt, ist die Bildung von thermodynamischen Gleichgewichtsbedingungen in den atmosphärischen Schichten. Die anthropogenen Emissionen sind bei schlechtem Wetter geringer als bei gutem Wetter. Die Auswirkungen der sekundären, natürlichen und anthropogenen Staubbildung auf der Bodenoberfläche nehmen jedoch zu.

Die Inseln Usedom und Wollin stehen weiterhin unter dem klimatischen Einfluss der Ostsee und des Stettiner Haffs. Es handelt sich um ein sonnenreiches, relativ warmes Gebiet mit geringeren Jahresniederschlägen als in den Nachbarregionen, das durch starke Winde gekennzeichnet ist. Diese Merkmale beeinflussen die Entstehung der Luftqualität in dem betreffenden Gebiet.

Die Bestandsaufnahme der Luftqualität 2021–2022 in Bezug auf die PM2,5- und PM10-Konzentrationen hat ein erstes Bild der Merkmale der Luftschadstoffe im MoRE-Gebiet, bestehend aus Punkt-, Flächen- und linearen Quellen, geliefert. Die Analyse der gemessenen Momentankonzentrationen ermöglichte es, die räumlich-zeitliche Variabilität der Verteilung der untersuchten PM2,5- und PM10-Feinstaubpartikel in der Luft zu visualisieren.

Die gemessenen Momentankonzentrationen sowohl aus anthropogenen als auch aus natürlichen Quellen, insbesondere diejenigen, die nahe an den von

der WHO empfohlenen Tagesgrenzwerten liegen oder diese überschreiten, zeigen die Notwendigkeit eines Luftqualitätsüberwachungssystems in dem Gebiet und weiterer systematischer Untersuchungen über den Zustand der Luft auf den Inseln Usedom und Wollin.

Literaturverzeichnis

1. https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2021/air-quality-status-briefing-2021 (3.05.2022).
2. Arya S.P., Air pollution meteorology and dispersion, Oxford University Press, Oxford 1999.

Physikalisch-chemische Beschaffenheit der Oberflächengewässer der Inseln Wollin und Usedom

Andrzej Skwierawski, Katarzyna Glińska-Lewczuk, Paweł Burandt
Ermland- und Masurenuniversität Olsztyn

Lage und Hydrographie der Inseln Usedom und Wollin

Die Inseln Wollin und Usedom liegen an der Pommerschen Bucht in der Ostsee, am nordwestlichen Rand Polens (Insel Wollin und der polnische Teil von Usedom) und an der nordöstlichen Grenze Deutschlands (Insel Usedom). In Bezug auf die physisch-geografische Regionalisierung gehören die Inseln zur Subprovinz Südostseeküste, zur Region Stettiner Küste und zur Mesoregion Wollin und Usedom [1].

Das Stettiner Haff und die drei Meerengen trennen die Inseln vom Festland: Die Swine trennt die beiden Inseln, Dievenow auf der Ostseite der Insel Wollin und der Peenestrom, der die südliche und westliche Grenze der Insel Usedom bildet. Die Meerengen weisen eine Fläche von 333 km^2 auf und sind in geografischer Hinsicht ein Teil des Stettiner Haffs, das eine Gesamtfläche von 968 km^2, davon 479 km^2 auf polnischer Seite aufweist. Das Stettiner Haff wird durchschnittlich pro Jahr mit etwa 16 km^3 Wasser aus seinen Zuflüssen (der größte Teil davon kommt aus der Oder) versorgt. Das Wasser wird anschließend in die Ostsee abgeleitet. Davon fließen 75 % von Wasser durch die Swine, 15 % durch den Peenestrom und 10 % durch Dievenow [1]. Nach Angaben von Volker Mohrholz und Hans Ulrich Lass [2] sowie Teresa Radziejewska und Gerald Schernewski [3] betragen diese Werte entsprechend: 69%, 17% und 14% des Gesamtabflusses. Die Strömungsrichtung verändert sich manchmal und das Meereswasser fließt in die Meerengen in südlicher Richtung, wodurch sich das so genannte Rückstromdelta der Swine gebildet hat. In diesem Gebiet zwischen den Inseln Wollin und Usedom liegen 42 kleinere Inseln, die mit Ausnahme der Insel Karsibór [4] unbewohnt sind. Die Folge der Rückströmung des Meereswassers mit einem Volumen von etwa 7 km^3 pro Jahr ist auch die Erhöhung des Salzgehalts im Wasser, sowohl in der Meerenge als auch im Stettiner Haff. Durch die periodischen Wasserhochstände der Oder und die Zuflüsse aus dem Rückstrom von Meereswasser bei Stürmen treten erhebliche Wasserpegelschwankungen im Mündungsgebiet (Ästuar) auf, die bis zu 2 m betragen können [1].

Die beiden Inseln sind geomorphologisch vielfältig. Zu den wichtigsten Elementen, die die Landschaft hier gestalten und differenzieren, gehören die Hügel der Endmoräne, die auf der Insel Usedom bis zu 59 m ü. NN und auf Wollin bis zu 115 m ü. NN Höhe erreichen. Hinzu kommen Reihen von sandigen Küstendeichen, Nehrungen, Halbinseln und Senken, die durch Meeresablagerungen und äolische Prozesse entstanden sind.

In hydrographischer Hinsicht sind 55 % der Fläche der Insel Wollin von zwei Einzugsgebieten bedeckt. Das erste ist das Einzugsgebiet des Wasserlaufs Lewińska Struga, das sich vom zentralen bis zum nordöstlichen Teil der Insel erstreckt. Dieses Einzugsgebiet weist eine Fläche von 56,66 km^2 [5] auf, ist zu 47 % bewaldet, mehr als 13 % dessen Oberfläche nehmen die Seen auf [6]: Warnowskie (11 ha), Rabiąż (14 ha), Czajcze (72 ha) und Domysłowskie (47 ha) im oberen Teil des Einzugsgebiets (innerhalb der Grenzen des Wolinski-Nationalparks), sowie Żółwińskie (42 ha), Kołczewo (49 ha) und Koprowo (489 ha), die im weiteren Verlauf von Lewińska Struga liegen. Darüber hinaus gibt es im Einzugsgebiet weitere Seen: Wisełka (20 ha), Zatorek (7 ha) und Recze (4 ha) – Angaben zu den Flächen siehe [7]. Lewińska Struga mündet in die Meerenge Dievenow in ihrem Überschwemmungsgebiet – Camminer Bodden im Ort Międzywodzie. Die einzigen Seen der Insel Wollin, die außerhalb des Einzugsgebiets von Lewińska Struga liegen, sind der an der Küste gelegene Gardno-See (2,5 ha) und der künstlich angelegte Turkusowe-See (7 ha) im Ort Wapnica, der im ehemaligen Kreidetagesbau angelegt wurde [8].

Das zweite wichtige hydrographische Element auf der Insel Wollin ist das Einzugsgebiet des Mokrzycki-Kanals (Darzowicki-Kanal), das 89,74 km^2 groß ist und sich im zentralen Teil der Insel befindet. Es wird durch ein Netz von Entwässerungskanälen entwässert, aus denen das Wasser in südlicher Richtung zu einem Pumpwerk in Darzowice abfließt, von wo aus es in Dievenow gepumpt wird. Auch die Einzugsgebiete der Seen Wicko Wielkie und Wicko Małe (34,7 km^2, also 13 % der Inselfläche, einschließlich eines Teils der Stadt Międzyzdroje) und die Einzugsgebiete des Küstenstreifens (18,8 km^2, also 7 % der Insel) sind flächenmäßig immer noch von Bedeutung für die Insel Wollin. Der Rest der Insel Wollin ist durch direkte oder kleinflächige Einzugsgebiete der die Insel umgebenden Gewässer bedeckt: Swine und seinem Nebenarm – Wielka Struga, Dievenow mit dem Camminer Bodden und das Stettiner Haff.

Im polnischen Teil der Insel Usedom können vier hydrographische Gebiete unterschieden werden: das Einzugsgebiet von Swine, das direkte Einzugsgebiet des Stettiner Haffs, des Torfowy-Kanals, der in diesem Gewässer mündet, sowie das Küstengebiet der Stadt Świnoujście.

Der deutsche Teil der Insel Usedom besteht zu einem großen Teil aus Senken, die durch Wasserläufe und Entwässerungskanäle entwässert werden, die in den Peenestrom oder in das Stettiner Haff und im zentralen Teil der Insel in die Gewässer Achterwasser und Krumminer Wiek münden. An der Ostseite der Insel liegt das Einzugsgebiet des Gothensees, der eine Fläche von mehr als 56 km^2 aufweist und über den Sakkanal (in Heringsdorf) und den Beekkanal (Ahlbeck) Richtung Norden in die Ostsee entwässert wird. Die meisten Usedomer Seen liegen im östlichen Teil der Insel: Schmollensee (556 ha, durch den Wasserlauf Groote Beek mit dem Gewässer von Achterwasser verbunden), Gothensee (503 ha, mit seiner Umgebung als Naturschutzgebiet Schmollensee und Thurbruch unter Naturschutz gestellt, mit einer Fläche von 808 ha), Kachliner See (93 ha), Großer Krebssee (40 ha), Kleiner Krebssee, der zusammen mit seinem Uferstreifen ein 50 ha großes Naturschutzgebiet bildet [9], Wolgastsee (44 ha), sowie weitere kleinere Seen: Schloonsee (19 ha), Krebsee und Schwarzes Hertz [10]. Im nördlichen Teil der Insel gibt es einige kleine Seen: Kölpiensee (30 ha), Großer See (12 ha) und der künstlich angelegte Cämmer See (32 ha), der durch die Abtrennung der Peenestrom-Bucht durch einen Deich entstanden ist, sowie eine Reihe kleinerer Gewässer und Teiche anthropogenen Ursprungs [11]. Im mittleren Teil der Insel, auf der Nehrung zwischen der Ostsee und dem Gewässer von Achterwasser liegt der küstennahe gelegene Kölpinsee (28 ha), dessen Wasserspiegel 0,1 m unter dem Meeresspiegel liegt.

Auf den Inseln Wollin und Usedom gibt es Probleme mit der ausreichenden Süßwasserversorgung, weil Salzwasser nicht tief unter der Erde vorkommt [12]. Für die Wasserversorgung werden auf diesem Gebiet insbesondere die Grundwasservorkommen aus holozänen und pleistozänen Schichten gefördert, während in den tieferen Schichten hoch mineralisierte Wässer (mit einem Mineralisierungsgrad von bis zu 42 g/dm^3) vorkommen, die auch für Kur- und Heilzwecke verwendet werden. Der erhöhte Salzgehalt von Holozänwasser ist sowohl auf den Auftrieb (Aufstieg) von salzhaltigem Wasser aus tieferen Schichten, als auch auf die Einwirkung (Ingression) von Meeres- und Brackwasser des Stettiner Haffs zurückzuführen.

Beschreibung der Messstellen, sowie der Voraussetzungen für die Forschung 2021

Für die Untersuchung sind insgesamt 29 Standorte (Messstellen), davon 14 auf der Insel Wollin und 15 auf der Insel Usedom ausgewählt worden. Die Messstellen können in drei Gruppen unterteilt werden: (1) Seen und Binnengewässer, (2) Fließgewässer, also natürliche Wasserläufe und Kanäle, sowie (3) Gewässer

der Meerengen um die Inseln (Abb. 1). Die Überwachung der Gewässer auf den Inseln Wollin und Usedom war ein Bestandteil der Aufgaben im Rahmen des Projekts MoRE und umfasste die Untersuchung des qualitativen Zustands von hydrographischen Ressourcen, die auf der Route der so genannten *mobilen Bestandaufnahme* liegen, die zu wichtigsten Forschungsziele dieses Projekts gehörte, d. h. Überwachung der räumlich-zeitlichen Entwicklung der CH_4- und CO_2-Konzentrationen in der Luft der beiden Inseln. Für die Untersuchungen der Wasserqualität wurden Gewässer ausgewählt, die leicht zugänglich sind, so dass instrumentelle Messungen durchgeführt und repräsentative Wasserproben entnommen werden können. Die Anzahl und die Anordnung der Messstellen wurde so gewählt, dass infolge der durchgeführten Messungen ein Gesamtbild des Zustands der Oberflächengewässer auf den Inseln Wollin und Usedom gewonnen werden kann. Da die Oberflächengewässer innerhalb der Grenzen des Wolinski Nationalparks (WNP) hinsichtlich ihrer natürlichen Beschaffenheit und Planung von Schutzmaßnahmen bereits gut untersucht sind [6, 7, 13–17], fokussierte sich unsere Forschung daher auf die Gewässer außerhalb des Nationalparkgebiets auf der Insel Wollin.

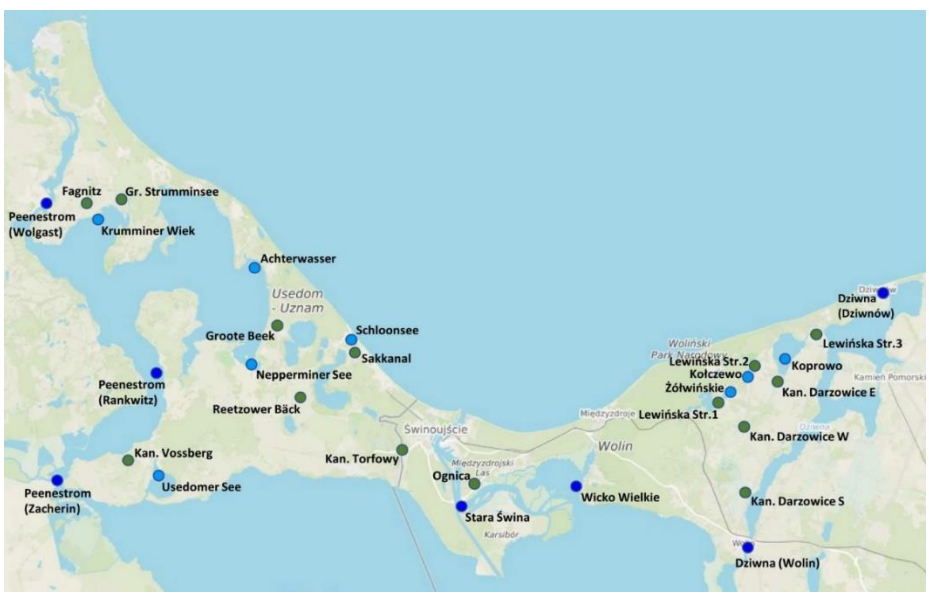


Abb. 1. Anordnung der Messstellen auf den Inseln Wollin und Usedom, die zum Programm der physikalischen und chemischen Untersuchungen gehören; Legende: hellblau – Seen und Binnengewässer; grün – Fließgewässer; dunkelblau – die Meerengen um die Inseln

Die folgenden Stellen wurden auf der Insel Wollin untersucht (Abb. 2):

1. Seen: Żółwińskie (42 ha, Tiefe max. 5 m), Kolczewo (49 ha, max. Tiefe 4 m) und Koprowo (487 ha, max. Tiefe 3 m). Diese liegen im zentralen und nordöstlichen Teil der Insel und sind durch einen schmalen Wasserlauf Lewińska Struga miteinander verbunden, der in Camminer Bodden (Überschwemmungsgebiet des Flusses Dziwna) mündet; die Seen Żółwińskie und Kołczewo sind typische postglaziale Binnenseen, während der See Koprowo ein küstennaher See ist, dessen Wasserpegel ähnlich dem Meerespegel ist und zeitweise durch die Zuflüsse von Gewässern aus Camminer Bodden gespeist wird.
2. Lewińska Struga – ein kleiner Wasserlauf, der im Warnowskie-See im Wolinski Nationalpark entspringt und durch sechs weitere Seen (Rabiąż, Czajcze, Domysłowskie, Żółwińskie, Kołczewo und Koprowo) in nordöstlicher Richtung zum Camminer Bodden einfließt; das Einzugsgebiet von Lewińska Struga weist eine Gesamtfläche von 56,6 km2 auf; der Wasserlauf selbst, sowie die im oberen Teil seines Einzugsgebiets gelegenen Seen gehören seit 2009 zum Forschungsgebiet der Adam-Mickiewicz-Universität Poznań im Rahmen der Forschungsstation für die integrierte Überwachung der Umwelt in Biała Góra [17]; für die Untersuchung wurden drei Stellen am Wasserlauf Lewińska Struga ausgewählt: 1) unterhalb des Domysłowski-Sees, 2) unterhalb des Kolczewo-Sees und 3) am Abfluss vom Koprowo-See in Międzywodzie (s. Abb. 1).
    2a. Darzowice-Kanal – dient der Entwässerung des mittleren und südlichen Teil der Wollin-Insel, in dem Senken liegen, die hauptsächlich landwirt-schaftlich genutzt werden; das Einzugsgebiet umfasst in seinem nord-westlichen Teil auch bewaldete Gebiete, die zum Wolinski-Nationalpark gehören; auf der nordöstlichen Seite mündet der Kanal in den Koprowo-See (vor dem See liegt eine Messstelle am Kanal Darzowice E), und in süd-licher Richtung führt der Kanal Wasser aus dem Gebiet zwischen Kodrab und Lazin (Messstelle Darzowice W) zum Dorf Darzowice, wo sich eine Pumpstation befindet, die das Wasser in den Fluss Dievenow leitet (Mess-telle Darzowice S, auch Mokrzycki-Kanal genannt).

Abb. 2. Ausgewählte Forschungsstellen auf der Insel Wollin: 1) Żółwińskie-See; 2) Kołczewo-See; 3) Südufer des Koprowo-Sees; 4) Lewińska Struga unterhalb des Kołczewo-Sees; 5) Darzowice-Kanal zwischen Kodrąb und Łazin; 6) Ognica-Kanal; 7) Dievenow in der Stadt Wollin; 8) See Wicko Wielkie (Bild: A. Skwierawski)

Abb. 3. Ausgewählte Forschungsstellen auf der Insel Usedom: 9) Schloonsee in Heringsdorf-Bansin; 10) Gewässer Achterwasser in Ückeritz; 11) Usedomer See mit einem Jachthafen in Usedom; 12) Sakkanal in Heringsdorf; 13) Vossberg-Kanal; 14) Torfkanal am Grenzübergang Świnoujście/Garz; 15) Peenestrom in Wolgast; 16) Peenestrom, Autobrücke im Ort Zacherin (Bild: A. Skwierawski)

2b. Ognica – ein 3,2 km langer Entwässerungskanal im westlichen Teil der Insel Wollin, dessen Lauf westlich des Ortes Przytór beginnt und in unmittelbarer Nähe der städtischen Müllumladestation und einer Mülldeponie in der ul. Pomorska in Świnoujście verläuft; Ognica mündet am westlichen Ende der Insel Wollin in die Swine.

3. Außengewässer rund um die Insel Wollin mit zwei Messstellen an der Dievenow (bei Ort Dziwnów, also ca. 1,1 km von der Mündung in die Ostsee und bei Ort Wollin, also 27 km von der Mündung entfernt); In das Forschungsprogramm wurde auch der See Wicko Wielkie einbezogen, der aufgrund seiner Strömung und der Lage im Rückstromdelta der Swine in das Forschungsprogramm aufgenommen wurde.

Die Forschungsstellen auf der Insel Usedom (Abb. 3):

1. Schloonsee – als der einzige für die Studie ausgewählte See ohne einen Anschluss ans Meer, aber nur 100 m von der Strandgrenze entfernt, im Ort Heringsdorf (Kreis Bansin) gelegen; der See weist nach eigenen Messungen eine Fläche von 19 ha auf und befindet sich in einem stark urbanisierten Einzugsgebiet.

1a. Die Binnengewässer auf der Insel Usedom, die mit dem Peenestrom verbunden sind:

- Krumminer Wiek – das am nördlichsten gelegene Gewässer der Insel, wobei die Messstelle sich direkt am Jachthafen im Ort Krummin befindet;
- Achterwasser – das größte offene Gewässer der Insel Usedom mit einer Fläche von ca. 8.000 Hektar (ohne seine Buchten, die als eigenständige Gewässer betrachtet werden), die Messstelle befand sich in der Ortschaft Ückeritz;
- Nepperminer See – eine südliche Bucht des Gewässers Achterwasser mit einer Fläche von ca. 250 ha, mit einer Messstelle im Ort Neppermin;
- Usedomer See – ein 360 Hektar großes Gewässer, das sich im südlichen Teil der Insel am Stettiner Haff befindet und mit diesem durch einen breiten Landstreifen verbunden ist; die Messungen fanden im nördlichen Teil des Beckens statt, in der Nähe der Ortschaft Usedom;

2. Fließgewässer/Kanäle:

- Sackkanal (Heringsdorf Kanal) – ein künstlicher, im 19. Jahrhundert zur Regulierung des Wasserstandes des Schmollensees angelegter

Kanal; er verläuft durch Heringsdorf in nördlicher Richtung, ist 1,6 km lang und mündet direkt in die Ostsee;

- Fagnitz – ein kleiner, 1,9 km langer Kanal, der landwirtschaftlich genutzte, nordwestlich des Orts Krummin gelegene Gebiete entwässert; der Kanal verläuft durch den Ort und mündet im Achterwasser;
- Gr. Strumminsee – ein Netz von Entwässerungskanälen zur Entwässerung eines ausgedehnten ehemaligen Überschwemmungsgebiets, das heute als Wiesen und Ackerland genutzt wird, zwischen Orten Zinnowitz, Trassenheide und Bannemin gelegen; das Wasser wird in südlicher Richtung abgeleitet, wo sich ein Pumpwerk befindet, das das Wasser in die Bucht Krumminer Wiek befördert;
- Groote Beek – ein 2 km langer Wasserlauf, der den Schmollensee mit dem Achterwasser verbindet; er verläuft vom Ort Pudagla aus in nordwestlicher Richtung und entwässert die landwirtschaftlich genutzten Ackerflächen;
- Vossberg-Kanal – im südlichen Teil der Insel Usedom gelegen, ein Sammellauf aus einem Netz von Entwässerungskanälen, das eine ausgedehnte Wiesenlandschaft (ca. 7.000 ha) südöstlich von Usedom entwässert; der Kanal endet in einem Pumpwerk, das das Wasser in den Peenestrom befördert;
- Reetzower Bäck (Bäck, Reetzow-Kanal) – ein 2,6 km langer Wasserlauf, der die Seen Kachliner See und Gothensee verbindet; er verläuft durch die entwässerten Landwirtschaftsflächen zwischen diesen Seen;
- Der Torfkanal – ein 5,3 km langer Wasserlauf, der teilweise entlang der Staatsgrenze zwischen Polen und Deutschland fließt; der Kanal beginnt an den Schrebergärten im westlichen Teil der Stadt Świnoujście und führt das Wasser nach Süden zum Stettiner Haff hin; auf der polnischen Seite ist er fast auf seiner gesamten Länge eingedeicht.

3. Peenestrom rund um die Insel Usedom – die Messungen fanden an drei Stellen statt: 1) am Anfang im Ort Zacherin, 6 km von der Grenze des Stettiner Haffs entfernt; 2) vor Achterwasser im Ort Zacherin und 3) im Ort Wolgast, 4,5 km nördlich des Krumminer Boddens entfernt.

Die Messungen und die Laboranalysen fanden 2021 in unterschiedlichen Jahreszeiten statt: am Ende des Winters (Februar/März), im Frühjahr (Anfang Mai), im Sommer (Juli) und im Herbst (Oktober). Insgesamt wurden 114 Was-

serproben zwecks Untersuchung entnommen. Die physikalisch-chemischen Parameter wurden direkt vor Ort mit Hilfe einer Multiparametersonde YSI EXO2 gemessen und aufgezeichnet, die zur Bestimmung folgenden Größen geeignet ist: Wassertemperatur, pH-Wert, Redoxpotential, elektrolytische Leitfähigkeit, Salzgehalt, Trübung, Chlorophyll-A-Konzentration und Konzentration gelöster organischer Stoffe (fDOM=Fluorescent Dissolved Organic Matter). Im Labor der Fakultät für Wasserwirtschaft und Klimatologie der UWM Olsztyn wurden die Konzentrationen von organischem Kohlenstoff, Gesamtstickstoff (TOC-Analysator für Flüssigkeiten und Feststoffe – Multi N/C 2100S Duo, Analytik Jena) und von Gesamtphosphor in den entnommenen Wasserproben bestimmt.

Anhand der Daten der synoptischen IMGW-Station in Świnoujście kann man feststellen, dass das Jahr 2021 sich meteorologisch durch mäßig hohe Temperaturen und nahezu durchschnittliche Jahresniederschlagsmengen ausgezeichnet hat. Die Jahresdurchschnittstemperatur betrug 9,6 °C und lag damit um 0,5 °C über dem Durchschnitt von 1991–2020 und um 1,5 °C über dem Durchschnitt von 1951–1980. 2021 war jedoch durchschnittlich kühler als die vorangegangenen Jahre (2020 – durchschnittliche Temperatur von 10,6 °C und 2019–10,5 °C). Was den Verlauf der monatlichen Durchschnittstemperaturen anbelangt, zeichnete sich das Jahr 2021 durch durchschnittliche Bedingungen aus, allerdings mit einem kalten April und einem deutlich überdurchschnittlich warmen Juni, Juli und September. Die Gesamtniederschlagsmenge an der Station Świnoujście betrug 2021 525,8 mm und lag damit leicht unter dem Durchschnitt von 1991–2020 (585,1 mm). Die Niederschläge waren gleichmäßig über das ganze Jahr verteilt, wobei im April und Juni Trockenperioden zu verzeichnen waren.

Die wichtigsten physikalisch-chemischen Parameter der untersuchten Gewässer

Die aquatischen Ökosysteme auf den Inseln Wollin und Usedom weisen stark variierende Wasserqualität und damit unterschiedliche Lebensraumbedingungen auf, die einerseits durch das Meer und andererseits durch das Land beeinflusst werden. Neben der Unterscheidung zwischen den individuellen Messstellen kann man einige Regelmäßigkeiten für die einzelnen Gruppen der drei Gewässertypen, nämlich Wasserbecken, Fließgewässer und Meerengen feststellen (s. Abb. 4 und 5).

Der Salzgehalt (Salinität) ist dabei die wichtigste Kenngröße für die Unterscheidung des Wassertyps. Anhand des Salzgehaltes können folgende Wasserty-

pen unterschieden werden: Süßwasser (Salzgehalt <0,5‰), leicht brackig – oligohalin (0,5–5‰), brackig – mesohalin (5–18‰), stärker salzig – polyhalin (18–30‰), salzig – euhalin (30–40‰) und mineralisch – hyperhalin (>50‰) [18]. Wasserbecken mit einem Salzgehalt im Bereich zwischen 1 bis 20‰ werden in der Regel als Brackwasserseen bezeichnet. Den Literaturquellen zufolge, weisen die Gewässer der Ostsee in der Pommerschen Bucht, die an die Inseln Wollin und Usedom grenzt, einen Salzgehalt im Bereich von 5 bis 8‰ [19] und gehören somit zum mesohalinen Wassertyp. Der deutsche Teil des Stettiner Haffs (Kleines Haff) weist einen Salzgehalt im Bereich von 1 bis 3‰ auf, während auf der polnischen Seite (Großes Haff) der Salzgehalt (aufgrund des Zuflusses der Oder aus dem Süden) niedriger ist und 0,5 bis 2‰ beträgt. Die Differenzen der Salinität sind auf die periodischen Meerwasserzuflüsse durch die Meerengen zurückzuführen, deshalb steigen diese Werte im Stettiner Haff nach Norden hin [19].

Die Salinität an den untersuchten Messstellen überschritt sowohl auf der Insel Wollin, als auch auf der Insel Usedom meist den Grenzwert für die Wassertypen mit einem höheren Salzgehalt (oligohaline Wassertypen). Typische Werte für die Binnensüßwasser wurden nur für den Wasserlauf Lewińska Struga oberhalb des Koprowo-Sees festgestellt (mit dem Salzgehalt <0,2‰ und der Leitfähigkeit <400 µS/cm). Der Wasserlauf Lewińska Struga wurde von Mariusz Samołyk und Paulina Ścisłowska untersucht [6]. Im Domysłów-Profil (in der vorliegenden Studie war das die Messstelle Lewińska Struga 1) in den Jahren 2009 bis 2011 wurde dort die Leitfähigkeit im Bereich von 231 bis 359 µS/cm festgestellt. Der Mittelwert aus dem Winter und dem Frühjahr 2021 (im Sommer und Herbst keine Strömung vorhanden) war etwas höher als der von den zitierten Autoren [6] angegebene Höchstwert und betrug 363,4 µS/cm (bei Salzgehalt 0,175‰). Dies war jedoch der niedrigste Salzgehalt aller untersuchten Messstellen auf den beiden Inseln. Der obere Teil des Darzowice-Kanals und des Schloonsees, sowie der Torfkanal auf der Insel Usedom zeichneten sich ebenfalls durch einen relativ niedrigen Salzgehalt aus. Für die weiteren Abschnitte des Darzowice-Kanals und des Reetzower Backs, der den Kachliner See und den Gothensee auf der Insel Usedom miteinander verbindet, wurden ebenfalls Salzgehalte nahe am unteren Grenzwert für die oligohalinen Wassertypen gemessen. Die übrigen Gewässer können als oligohalin eingestuft werden. Diese Einstufung ist für die die Inseln umspülenden Meerengen und ihre Buchten typisch [19]. Auch Binnengewässer auf den Inseln zeigen vergleichbare Parameter (s. Abb. 4).

Der saisonale Salzgehalt in den untersuchten Gewässern stieg zwischen dem Frühjahr und dem Herbst oder blieb während aller Jahreszeiten auf einem

konstanten Niveau. Im Herbst wurde in Dievenow sowohl in dessen Mündung (Dziwnów), als auch am Anfangsabschnitt (Stadt Wollin) Rückstrom von Wasser festgestellt. An der Mündung wurde der höchste über den gesamten Messzeitraum ermittelte Salzgehalt mit 6,29‰ festgestellt (frühere Messung im Sommer: 2,39‰). Einen vergleichbaren Anstieg, der mit der Rückströmung von Meerwasser im Herbst zusammenhängt, wurde auch im Peenestrom auf der Insel Usedom an der Messstelle Wolgast aufgezeichnet. Der Salzgehalt, der im Zeitraum Winter – Sommer bei 2,14 bis 2,52‰ lag, stieg in diesem Zeitraum auf 5,05‰. Ein anderer Fall war der Wasserlauf Sakkanal in Heringsdorf, in dem ein Rückstrom im März festgestellt und der Salzgehalt im Wasser i.H.v. 5,32‰ gemessen wurde. Im Sommer und Herbst war die Strömung dieses Wasserlaufs vernachlässigbar, aber in der Richtung vom Gothensee zur Ostsee wurde in diesem Zeitraum ein durchschnittlicher Salzgehalt von 0,64‰ gemessen.

Normalerweise können die elektrolytische Leitfähigkeit und der Salzgehalt (Salinität) dazu hingezogen werden, den Wasserverschmutzungsgrad zu bestimmen. Auf den Inseln Wollin und Usedom ist dies wegen der Vermischung und der Rückströmung von Meereswasser ins Landesinnere sowie aufgrund des Vorkommens von salzhaltigem Grundwasser nicht so einfach möglich. Die durchgeführten Messungen können lediglich zur Bestimmung der Auswirkung von Salzwasser auf die Oberflächengewässer in den untersuchten Einzugsgebieten hinzugezogen werden.

Die untersuchten Gewässer zeichneten sich durch einen leicht bis stark alkalischen pH-Wert aus, alle untersuchten Messstellen weisen einen pH-Wert >7 auf (s. Abb. 2). Alle untersuchten Gewässer wiesen einen durchschnittlichen pH-Wert von >8,5 auf, der Peenestrom und die Gewässer auf der Insel Usedom sogar >9,0. Dies kann ein Hinweis auf die hohe Bioproduktivität dieser Gewässer sein. Der pH-Wert steigt unter Bedingungen intensiver Photosynthese an. Dies war besonders bei den Messungen aus dem Sommer deutlich, als der pH-Wert im Peenestrom (bei Zacherin), im Achterwasser, im Usedomer See und im Koprowo-See den Wert von 9,50 überschritt. Auf die hohe mikrobiologische Aktivität der untersuchten Gewässer deuten auch die eher niedrigen Redoxpotential-Werte hin, die durchschnittlich unter 100 mV in fließenden Gewässern beider Inseln und in den Seen auf Wollin liegen (s. Abb. 4).

Ein Sonderfall war dabei der Fluss Ognica, der ein durchschnittliches Redoxpotential von 4,5 mV aufwies, das im Sommer und im Herbst deutlich unter Null sank (entsprechend: −132 und −70 mV). Solche Werte können auf eine starke Verschmutzung und einen schlechten ökologischen Zustand dieses Wasserlaufs hinweisen.

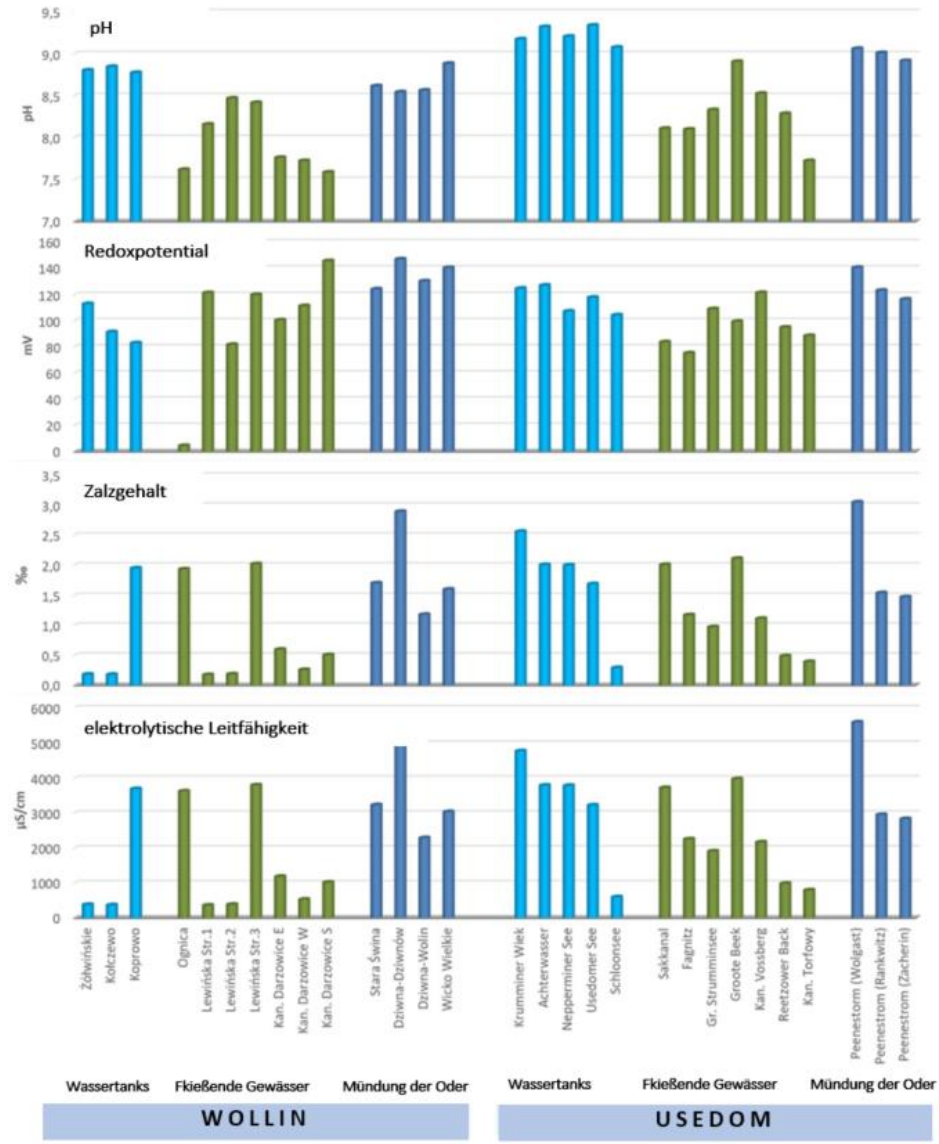


Abb. 4. Die wichtigsten physikalisch-chemischen Indikatoren von Gewässern der Inseln Wollin und Usedom: Durchschnittswerte aus saisonalen Messungen 2021

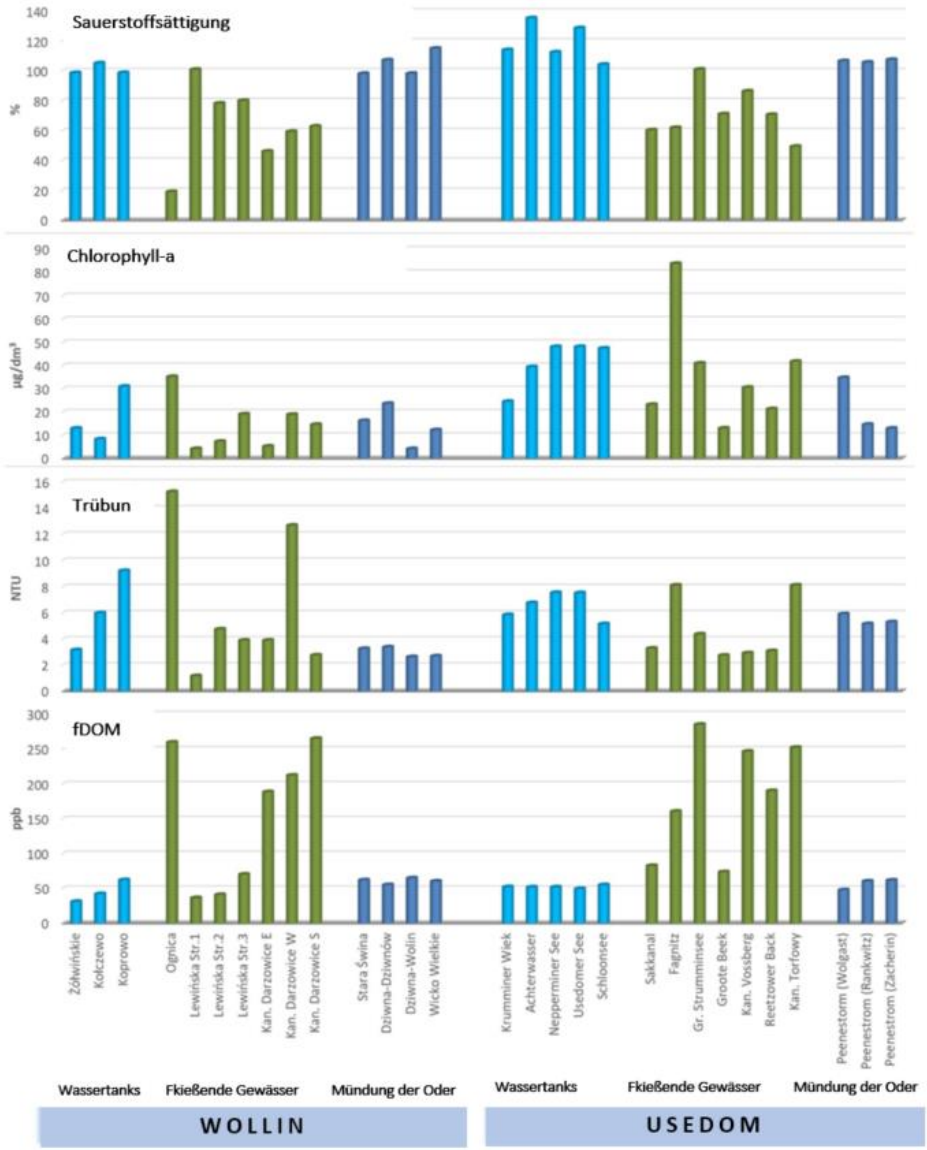


Abb. 5. Sauerstoffgehalt und weitere Indikatoren für die Gewässer der Inseln Wollin und Usedom: Durchschnittswerte aus saisonalen Messungen 2021

Die Gewässer und Meerengen innerhalb der beiden Inseln zeichnen sich durch gute Sauerstoffsättigung aus, wobei sie an den meisten Messstellen bei 100 % liegt (s. Abb. 5), d. h. die Konzentration von im Wasser gelöstem Sauerstoff erreicht beinah den Gleichgewichtszustand zwischen Luft und Wasser. Die Gewässer der Insel Wollin zeichneten sich jedoch durch eine deutliche Sauerstoffübersättigung aus, insbesondere im Sommer, als die Sauerstoffsättigung im Achterwasser und im Usedomer See 182,8 % bzw. 184,1 % betrug. Sauerstoffuntersättigung wurde in einigen anderen Wasserläufen festgestellt (weniger als 50% der Sättigung), nämlich in den Gewässern des Torfkanals, des Kanals Darzowice E und im Fluss Ognica. In dem zuletzt genannten Wasserlauf betrug diese im Durchschnitt 19,1 %, wobei im Sommer ein extremer Tiefstwert von 4,7 % aufgezeichnet wurde. In Verbindung mit dem niedrigen Wert des Redoxpotentials deuten diese Werte auf eine hohe Intensität der laufenden Biomateriezersetzung und gleichzeitig auf einen extrem schlechten Zustand dieses Gewässers.

Die Messung der Schwebstoffe im Wasser (gemessen als Trübung) ergaben die höchsten Werte im Fluss Ognica, bei gleichzeitig mäßig hohen Chlorophyllkonzentrationen, was auf eine hohe Ansammlung von abgestorbenen organischen Resten hinweisen könnte. Der Kanal Darzowice W auf der Insel Wollin und der Fagnitz- und Torfkanal auf der Insel Usedom wiesen ebenfalls eine erhöhte Trübung auf. Erhebliche Trübung und darüber hinaus hohe Chlorophyllkonzentrationen zeichnen die Gewässer auf der Insel Usedom aus, wo insbesondere im Frühjahr Chlorophyllkonzentrationen im Bereich von 62 bis 91 µg/dm^3 infolge der intensiven Phytoplanktonblüte beobachtet wurden. Ähnliche Parameter wurden für den Koprowo-See aufgezeichnet (s. Abb. 5). In Hinsicht auf die gelösten organischen Verbindungen (fDOM) zeichneten sich die Wasserbecken und die die Inseln umspülenden Meerengen durch niedrige und gleichmäßige Werte aus, während der höchste Gehalt an diesen Stoffen in den Kanälen verzeichnen wurde (s. Abb. 5). Dies könnte ein Hinweis auf die Ausspülung organischer Stoffe (Mutterböden) aus den Böden der von diesen Wasserläufen entwässerten Senken sein.

Biogene Nährstoffe (Stickstoff, Phosphor und organischer Kohlenstoff) in den Oberflächengewässern der Inseln Wollin und Usedom

Phosphor und Stickstoff gelten als die wichtigsten biogenen Elemente, die für die Eutrophierung von Gewässern verantwortlich sind [20]. Ihre Konzentration kann gleichzeitig als ein Indikator für den trophischen Zustand und, insbesondere bei fließenden Gewässern, als ein Indikator für die Auswirkungen des Einzugsgebiets auf

den Zustand dienen. Bei Auswertung von Seen wird davon ausgegangen, dass eine Phosphorkonzentration von >0,1 mg/dm^3 als ein Anzeichen für die hypertrophen, d. h. überdüngten Gewässer gilt [21]. Für Stickstoff liegt dieser Grenzwert bei >1,5 mg/dm^3 (oder bei >1,2 mg/dm^3 in anderen Quellen).

In allen untersuchten Gewässern wurden durchschnittliche Phosphorkonzentrationen über dem Grenzwert von 0,1 mgP/dm^3 festgestellt. An 16 Messstellen waren diese Werte jedoch niedriger als der für die Ostsee gemessene Durchschnittswert von 0,21 mgP/dm^3 (s. Abb. 6). In fließenden Gewässern waren die P-Konzentrationen deutlich höher als in stehenden Gewässern. Extrem hohe Werte wurden im Fluss Ognica festgestellt. Ein weiterer Hinweis für seinen schlechten Zustand also, aber auch für den Vossberg-Kanal auf der Insel Usedom. Die durchschnittliche Konzentration an dieser Messstelle betrug 1,23 mgP/dm^3, wobei dort die höchste Konzentration im gesamten Messdatensatz aus dem Sommer mit 2,55 mgP/dm^3 aufgezeichnet wurde. Dies ist wahrscheinlich darauf zurückzuführen, dass die Termine der Messungen sich mit der intensiven organischen Düngung von Wiesen und Ackerflächen im Einzugsgebiet dieses Wasserlaufs überlappten.

Die durchschnittliche Phosphorkonzentration in den Gewässern der Meerengen mit 0,17 mgP/dm^3 für die Insel Wollin und 0,19 mgP/dm^3 für die Insel Usedom kann als mäßig niedrig eingestuft werden. Bei Messungen in den 1990ern Jahren [19] schwankte die Phosphorkonzentration im Stettiner Haff im Durchschnitt zwischen 0,15 und 0,30 mgP/dm^3 nahm nach Norden hin ab.

Die durchschnittlichen Stickstoffkonzentrationen an den Messstellen überstiegen in der Regel den Grenzwert von 1,5 mg/dm^3 nicht. In Wasserläufen/Kanälen wurden höhere Stickstoffkonzentrationen als in Seen und Meerengen aufgezeichnet (s. Abb. 6). Die höchsten Konzentrationen wurden in den Gewässern des Torfkanals (teilweise ein stark urbanisiertes Einzugsgebiet, mit Schrebergärten) und des Kanals Ognica festgestellt, dessen Zustand aufgrund der meisten gemessenen Parameter als sehr schlecht zu bewerten sei. Hohe Stickstoffkonzentrationen wurden auch in weiteren Wasserbecken festgestellt, die Wasser von landwirtschaftlich genutzten Flächen ableiten (Reetzower Bäck, Gr. Strumminsee und Vossberg-Kanal auf der Insel Usedom, sowie Darzowice-Kanal an der Mündung auf der Insel Wollin). An allen untersuchten Messstellen sind höhere Stickstoffkonzentrationen als in der Ostsee (Messstelle Międzyzdroje) aufgezeichnet worden, wo die durchschnittliche Konzentration bei 0,52 mg/dm^3 lag. Im Stettiner Haff, aus dem das Wasser in die die Inseln umspülenden Meerengen hineinfließt, nahmen die Stickstoff- und die Phosphorkonzentrationen in Richtung Norden ab und erreichten Werte im Bereich von 0,7 bis 3,5 mg/dm^3 [19].

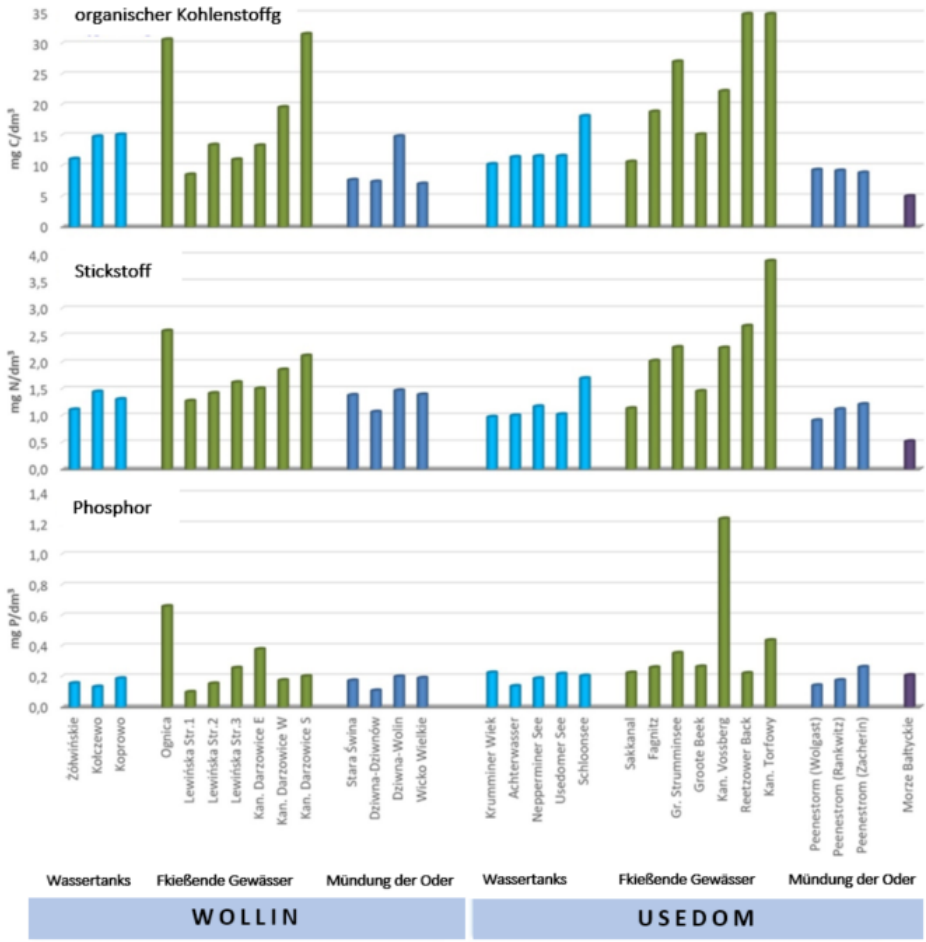


Abb. 6. Die Konzentration von organischem Kohlenstoff und Stickstoff und Phosphor in den Gewässern der Inseln Wollin und Usedom: Durchschnittswerte aus den saisonalen Messungen 2021.

Zusammenfassung

Die 2021 untersuchten Oberflächengewässer auf der Insel Wollin weisen überwiegend eine mäßige bis schlechte Qualität auf. Wir konnten eine deutliche Differenzierung von Wassertypen feststellen. Die Fließgewässer unterscheiden sich von den stehenden Gewässern durch ihren Salzgehalt, ihre Konzentration von Nährstoffen, Schwebstoffen und organischen Stoffen. Die günstigsten Bedingungen wurden im Einzugsgebiet von Lewińska Struga bis zum Abfluss aus dem Kolczewo-Sees festgestellt, dessen Zustand sich jedoch ab dem Koprowo-See deutlich verschlechterte. Unter den Fließgewässern zeichnet sich der

Ognica-Kanal, der im westlichen Teil der Insel Wollin liegt und in unmittelbarer Nähe der städtischen Müllumschlagstation Świnoujście-Przytór verläuft, durch einen sehr schlechten Zustand aus. Einen ungünstigen Zustand konnten wir auch für den Vossberg-Kanal auf der Insel Usedom feststellen, der große Flächen intensiv genutzter Wiesen entwässert, sowie für den Torfkanal, zu dessen Einzugsgebiet Schrebergärten und ein Teil der Stadt Świnoujście gehören.

Die Gewässer auf der Insel Wollin zeichnen sich durch keinen optimalen Zustand aus, sind aber für den qualitativen Zustand der Gewässer um die Insel eher von geringer Bedeutung. Der Volumenstrom dieser Gewässer liegt zwischen 50 bis 150 Tsd. m^3 pro Tag [22], was nur etwa 0,3 bis 1,0 % der Binnenwassermenge entspricht, die in diese Gebiete fließt, hauptsächlich über die Oder. In den 1990er Jahren wurden auf der Insel Wollin eine Reihe von Investitionen getätigt, die zu einer Verringerung der Schadstoffbelastung der Gewässer führten. In erster Linie wurden vier Kläranlagen in Betrieb genommen: Międzyzdroje, Miedzywodzie, Wollin und Świnoujście. Die Abfallwirtschaft wurde auch modernisiert. In die die Insel umspülenden Gewässer fließen jedoch weiterhin das geklärte Abwasser und Drainagewasser aus den Poldern, sowie Wasser aus der oberflächigen Entwässerung der Insel.

Literaturverzeichnis

1. Kodracki J., Geografia regionalna Polski, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2022.
2. Mohrholz V., Lass H.U., Transports between Oderhaff and Pomeranian Bight – a simple barotropic box model, „Deutsche Hydrographische Zeitschrift", 1998, 30, 371–383.
3. Radziejewska T., Schernewski G., The Szczecin (Oder-) Lagoon, [Im:] Ecology of Baltic coastal waters, Springer-Verlang, Berlin 2008, 115–129.
4. Musiaka Ł., Wolin i Uznam – obszar pogranicza czy centrum regionu? Historyczne i współczesne uwarunkowania funkcjonowania wysp, „Acta Universitatis Lodziensis. Folia Geographica Socio-Oeconomica", 2014, 16, 73–95.
5. Hydroportal ISOK, 2022. Serwis map Informatycznego Systemu Osłony Kraju i Krajowego Zarządu Gospodarki Wodnej: https://wody.isok.gov.pl/imap_kzgw/ (15.06.2022).
6. Samołyk M., Ścisłowska P., Bilans wodny i denudacji chemicznej Lewińskiej Strugi w profilu Domysłów w latach 2009–2011, „Monitoring Środowiska Przyrodniczego", 2014, 15, 33–39.
7. Samołyk M., Charakterystyka nadmorskiej zlewni rzeczno-jeziornej Lewińskiej Strugi (wyspa Wolin), „Geologia i Geomorfologia", 2013, 10, 167–178.
8. Alexandrowicz Z., Kry lodowcowe w Wolińskim Parku Narodowym, „Ochrona Przyrody", 1967, 32, 207–224.

9. de.wikipedia.org (15.06.2022).
10. Nixdorf B., Hemm M., Hoffmann A., Richter P., Dokumentation von Zustand und Entwicklung der wichtigsten Seen Deutschlands. Teil 2. Mecklenburg-Vorpommern, Umweltbundesamt, Berlin 2004.
11. Geoportal.de (15.06.2022).
12. Gurwin J., Krawiec A., Zagrożenia dla zasobów wód słodkich na wyspie Uznam w świetle badań modelowych i geofizycznych, „Biuletyn PIG", 2010, 442, 61–68.
13. Poleszczuk G., Bucior A., Nowicka E., Grzegorczyk K., O jakości wód powierzchniowych jezior Czajczego i Domysłowskiego w Wolińskim Parku Narodowym w różnych porach roku, „Rocznik Ochrona Środowiska", 2005, 7, 219–231.
14. Bucior A., Poleszczuk G., What happens in the waters of the Warnowo, Rabiaz, Czajcze and Domyslowskie lakes in the Wolin National Park during summer stagnation?, „Ecological Chemistry and Engineering", 2013, 20(1), 7–20.
15. Kostrzewski A., Tylkowski J., Samołyk M., Selected aspects of functioning of the lake Gardno catchment (the Wolin island) as a characteristic indicator of environmental geoecosystem changes within the coastal young glacial zone, „Prace Geograficzne", 2016, 147, 25–46.
16. Czyryca P., Samołyk M., The surface water quality ecotoxicological assessment of Wolin Island, „Journal of Education, Health and Sport", 2017, 7(4), 258–268.
17. Tylkowski J., Samołyk M., Czyryca P., Stan i przemiany środowiska przyrodniczego geoekosystemów Polski w latach 1994–2015 w oparciu o realizację programu Zintegrowanego Monitoringu Środowiska Przyrodniczego, [Im:] Stan i przemiany środowiska przyrodniczego geoekosystemów polski w latach 1994–2015 w oparciu o realizację programu zintegrowanego monitoringu środowiska przyrodniczego, „Biblioteka Monitoringu Środowiska", 2018, XXXII, 41–74.
18. Venice system, 1959. The final resolution of the symposium on the classification of brackish waters, Archo Oceanogr. Limnol., 11 (suppl), 243–248.
19. Bangel H., Schernewski G., Bachor A., Landsberg-Uczciwek M., Spatial pattern and long-term development of water quality in the Oder estuary, [Im:] T. Dolch, G. Schernewski (Hrsg.), The Oder Lagoon – against the background of the European Water Framework Directive. Marine Science Reports 2004 57: 17–65.
20. Górniak A., Kajak Z., Hydrobiologia – Limnologia, PWN, Warszawa 2020.
21. Vollenweider R.A., Kerekes J., Eutrophication of waters. Monitoring, assessment and control. OECD Cooperative programme on monitoring of inland waters (Eutrophication control), Environment Directorate, OECD, Paris 1982.
22. Poleszczuk G., Domagała J., Markiewicz I., Sitek S., Ekosystemy wód przybrzeżnych Wolińskiego Parku Narodowego – jako odbiorniki wód odpadowych, „Rocznik Ochrona Środowiska", 2002, 4, 403–417.

Nutzungspotential von Oberflächengewässern für Heiz- und Kühlzwecke auf den Inseln Usedom und Wollin

Wojciech Tuchowski, Piotr Nikończuk, Tomasz Olechwir[1],
Anna Głowacka, Jacek Mazur, Grażyna Kwaśniewska, Dominika Dudek,
Bartosz Bogusławski, Leszek Jastrzębski[2], Karolina Kurtz-Orecka
Westpommersche Technologische Universität Szczecin; [1] *Universität Szczecin*;
[2] *Regionalbehörde für Raumordnung der Woiwodschaft Westpommern Szczecin*

Einleitung

Zu den natürlichen Ressourcen und Potenzialen der Inseln Usedom und Wollin, sowohl im Kontext der touristischen, infrastrukturellen, als auch energetischen Entwicklung, gehören die Oberflächen- und Grundwässer. Hydrologisch gesehen gehören die beiden Inseln zum direkten Einzugsgebiet der Ostsee, darunter zum Einzugsgebiet des Stettiner Haffs und der Mündungsarme der Oder. Die Inseln werden im Norden vom Meereswasser der Pommerschen Bucht und im Süden des Stettiner Haffs umspült. Auf den Inseln gibt es eine beachtliche Anzahl von Binnengewässern. Die Tabellen 1 bis 3 zeigen Angaben zu bestehenden Oberflächengewässern auf den Inseln Usedom, Wollin und Karsibór (Kaseburg). In der Tabelle sind nur die Orte aufgeführt, die einen direkten Zugang zu den Oberflächengewässern (offenen oder geschlossenen) haben.

Wasser als eine untere Wärmequelle für die wasserversorgten Wärmepumpen weist neben unstrittigen Vorteilen, auch eine Reihe Nachteile auf, u. a. die verkürzten Wartungsintervalle der Wärmetauscher der unteren Quelle, die hohen notwenigen Investitions- und Betriebskosten oder Einschränkungen in Bezug auf die Leistungsfähigkeit (z. B. in Folge der oberflächigen Vereisung des Wassertanks) und folglich die Abnahme der energetischen Effizienz der gesamten Anlage. Zu den wichtigsten Voraussetzungen, die für die Auswahl der Wärmerückgewinnungstechnik von Bedeutung sind, zählen: Wassertemperatur, physikalisch-chemische Eigenschaften von Wasser, sowie dessen langfristige Einwirkung auf die unterschiedlichen Materialien, insbesondere Stoffe, die zur Herstellung der Wärmepumpe verwendet wurden.

Tab. 1. Bestehende Oberflächengewässer auf der Insel Usedom

Ort	Ostsee	Meerenge	Stettiner Haff	See
DE				
Benz	–	ja	–	Schmollensee
Dargen	–	–	ja	–
Garz	–	–	ja	–
Heringsdorf	ja	–	–	Gothensee Schloonsee
Kamminke	–	–	ja	–
Karlshagen	ja	ja	–	–
Korswandt	–	–	–	Wolgastsee
Koserow	ja	ja	–	–
Krummin	–	ja	–	–
Loddin	ja	ja	–	Kölpinsee
Mölschow	–	ja	–	–
Peenemünde	ja	ja	–	–
Pudagla	–	ja	–	Schmollensee
Rankwitz	–	ja	–	–
Sauzin	–	ja	–	–
Stolpe auf Usedom	–	–	ja	–
Trassenheide	ja	–	–	Kölpiensee Cämmerer See
Ückeritz	ja	ja	–	–
Usedom	–	ja	–	Usedomer See
Wolgast	–	ja	–	–
Zempin	ja	ja	–	–
Zinnowitz	ja	ja	–	–
Zirchow	–	–	ja	–
Benz	–	ja	–	Schmollensee
PL				
Świnoujście	ja	Swine/ Piastowski- Kanal	–	–

Tab. 2. Bestehende Oberflächengewässer auf der Insel Karsibór (Kaseburg)

Ort	Ostsee	Meerenge	Stettiner Haff	See
PL				
Świnoujście – Karsibór	ja	Swine/ Piastowski- -Kanal	ja	–

Tab. 3. Bestehende Oberflächengewässer auf der Insel Wollin

Ort	Ostsee	Meerenge	Stettiner Haff	See
PL				
Biała Góra	ja	–	–	–
Darzowice	–	Dziwna	–	–
Domysłów	–	–	–	Czajcze Domysłowskie Żółwińskie
Dziwnów	ja	Dziwna	–	Martwe
Grodno	ja	–	–	Gardno
Jaromierz	–	Dziwna	–	–
Jarzębowo	–	Dziwna	–	–
Karnocice	–	–	ja	–
Kołczewo	–	–	–	Recze Kołczewo
Korzęcin	–	Dziwna	–	–
Lubin	–	–	ja	Wicko Wielkie
Łojszyno	–	Dziwna	–	–
Łuskowo	–	Dziwna	–	–
Międzywodzie	ja	–	–	–
Międzyzdroje	ja	–	–	–
Płocin	–	–	ja	–
Rekowo	–	–	–	Koprowo
Sierosław	–	Dziwna	–	–
Sułomino	–	–	ja	–
Świętouść	ja	–	–	Koprowo
Świnoujście	ja	Świna	–	–
Unin	–	Dziwna	–	–
Wapnica	–	–	ja	Turkusowe Wicko Wielkie
Warnowo	–	–	–	Warnowo Zachodnie Warnowo Wschodnie
Wicko	–	–	ja	Wicko Małe
Wisełka	ja	–	–	Wisełka Zatorek
Wollin	–	Dziwna	–	–
Zastań	–	Dziwna	–	–
Żółwino	–	–	–	Żółwińskie

Wenn wir die Größe des Stettiner Haffs, sowie den Wasseraustausch berücksichtigen, wird die Entnahme der Wärme für die Heizzwecke sogar von großen Anlagen (mit 1 MW und mehr) und die Abführung von Warmwasser aus der Kühlung des Kondensators die Wassertemperatur dieses Beckens nicht wesentlich beeinflussen können. Der Einsatz von Wärmepumpen muss aber wirtschaftlich begründet sein. Zu den wichtigsten Faktoren, die für die Rentabilität solcher Investitionen eine wichtige Rolle spielen, ist die Verteilung und Führung der Wärme- oder der Kälteleistung zum Endverbraucher. Bei größeren Entfernungen von der unteren Wärmequelle kann ein Zwischenkreislauf genutzt werden. Hier werden weitere Umwälzpumpen gebraucht, deren Einsatz jedoch den gesamten Wirkungsgrad der Anlage wesentlich mindern kann. Der höchste Wirkungsgrad (also den niedrigsten Preis für die Erzeugung von 1 kWh der Wärme-/Kälteleistung) weisen solche technologische Verfahren auf, wo das Kältemittel direkt im Wasser verdampft/verflüssigt wird.

Der Zugang zum Uferbereich eines Gewässers, sowie die minimale Tiefe der Wasserentnahme sind für die Auswahl einer passenden Betriebsart der Wärmepumpe entscheidend. Folgende Systemkonfigurationen sind dabei berücksichtigt worden:

- eine Wärmepumpe mit einer direkten Verdampfung/Verflüssigung des Kältemittels im Wasser,
- eine Wärmepumpe, die mit einem indirekten Kreislauf (Glykol-Kreislauf) sowohl im Winter als auch im Sommer betrieben wird,
- eine Wärmepumpe mit einem Rohrbündelwärmetauscher, der im Winter als Verdampfer und im Sommer als Kondensator betrieben und mit Wasser über eine Saugleitung versorgt wird (Ansaugung von Wasser aus einem Wasserbecken über eine Saugvorrichtung).

Die Methoden für die Wärmerückgewinnung aus dem Wasser, sowie eine vereinfachte Wasserbilanz sind der Abbildung 1 zu entnehmen.

Die Forschung zum Thema energetischer Nutzung von Grundwasser umfasste die Feldstudien mit Entnahme von Wasserproben, sowie ausführliche Laboruntersuchungen der physikalisch-chemischen Eigenschaften und Parameter von Wasser im Sommer und im Winter. Die Feldstudien wurden als Pilotversuche an ausgewählten Standorten auf deutscher und polnischer Seite durchgeführt.

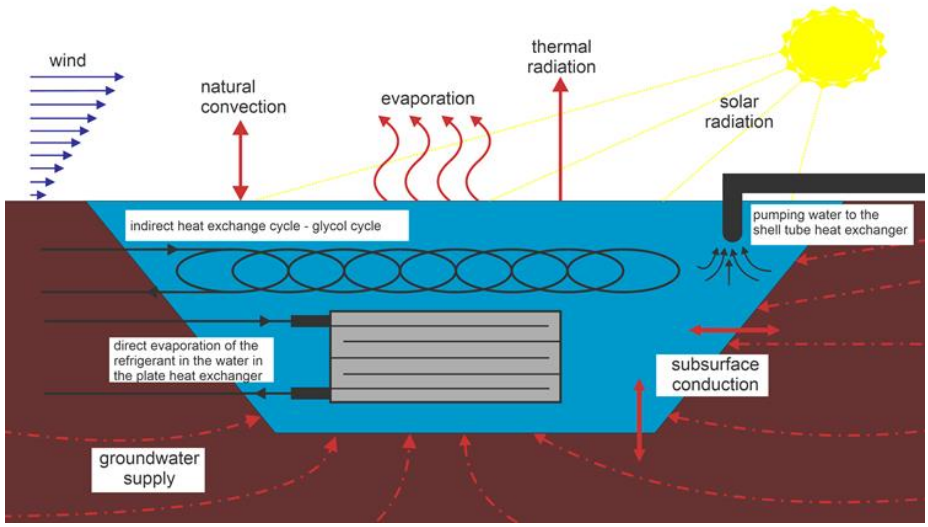


Abb. 1. Vereinfachte Darstellung der Bilanz eines Wasserbeckens und die untersuchten Wärmerückgewinnungsmethoden aus dem Wasser, bearbeitet von: W. Tuchowski

Physikalisch-chemische Voraussetzungen für die Nutzung von Wasser für die Wärmepumpentechnik

Eine der wichtigsten Voraussetzungen, die für die Auswahl der Wärmerückgewinnungstechnik von Bedeutung ist, sind die physikalisch-chemischen Eigenschaften von Wasser, sowie dessen langfristige Einwirkung auf die unterschiedlichen Materialien, insbesondere Stoffe, die zur Herstellung einer Wärmepumpe verwendet wurden. In den Tabellen 4 und 5 ist die Wirkung von unterschiedlichen chemischen Elementen und in Wasser vorkommenden Stoffen auf die Edelstahlgüte 1.4401 dargestellt, die insbesondere in der chemischen, petrochemischen, Lebensmittel- und Ölindustrie, im Maschinenbau, sowie bei Herstellung von Dekoartikeln und Kücheneinrichtung häufig eingesetzt wird.

Im Fall schlechter Wasserqualität (im Zusammenhang mit der Nutzung als untere Wärmequelle für die Wärmepumpe) können die in den Tabellen 4 und 5 aufgeführten Grenzwerte eventuell nicht eingehalten werden. Aus diesem Grund wird der Einsatz der Zwischenkreisläufe zur Wärmegewinnung empfohlen. Dadurch erhöht sich die Betriebssicherheit, auf der anderen Seite kann dies den erreichbaren Leistungsgrad der Energieeffizienz der Wärmepumpe mindern.

Tab. 4. Beständigkeit von Edelstahl (Stahlgüte 1.4401) und Kupfer gegen die Inhaltsstoffe/Eigenschaften von Wasser

Bezeichnung	Konzentration mg/Liter	Edelstahl	Kupfer
Organische Verbindungen	soweit feststellbar	↑	↔
Hydrogencarbonate (HCO_3)	<70	↑	↔
	70–300	↑	↑
	>300	↑	↔/↑
Sulfate (SO_4)	<70	↑	↑
	70–300	↑	↔/↓
	>300	↓	↓
Hydrogencarbonate (HCO_3)	<1,0	↑	↔/↓
Sulfate (SO_4)	>1,0	↑	↑
Ammoniak (NH_3)	<2	↑	↑
	2–20	↑	↔
	>20	↑	↓
Chloride (Cl-, max. 60°C)	<300	↑	↑
	>300	↔	↔/↑
Sulfate (SO_3^{-2})	< 1	↑	↑
Chlor als Reingas (Cl_2)	1–5	↑	↔
	>5	↔/↑	↔/↓
Eisen (FE) aufgelöst	<0,2	↑	↑
	>0,2	↑	↔
Freie aggressive Kohlensäuren (CO_2)	<5	↑	↑
	5–20	↑	↔
	>20	↑	↓
Mangan (Mn) aufgelöst	<0,1	↑	↑
	>0,1	↑	↔
Aluminium (Al) aufgelöst	<0,2	↑	↑
	>0,2	↑	↔
Nitrate (NO_3) aufgelöst	<100	↑	↑
	>100	↑	↔
Schwefelwasserstoff (H_2S)	<0,05	↑	↑
	>0,05	↑	↔/↑

Legende: ↑ – gute Beständigkeit unter normalen Bedingungen; ↔ – Korrosionsgefahr, insbesondere bei Verwendung mehrerer Materialien; ↓ – nicht geeignet

Tab. 5. Einfluss der physikalisch-chemischen Eigenschaften von Wasser auf die Korrosivität von Edelstahl und Kupfer

Eigenschaft	Grenzwerte	Edelstahl	Kupfer
Gesamthärte	4,0–8,5 °dH	↑	↑
pH-Wert	<6,0	↔	↔
	6,0–7,5	↔/↑	↔
	7,5–9,0	↑	↑
	>9,0	↑	↔
Konduktanz[17]	<10 µS/cm	↑	↔
	10–500 µS/cm	↑	↑
	>500 µS/cm	↑	↓

Legende: ↑ – gute Beständigkeit unter normalen Bedingungen; ↔ – Korrosionsgefahr, insbesondere bei Verwendung mehrerer Materialien; ↓ – nicht geeignet

Das Untersuchungsgebiet und die Standorte der Pilotstudien

Das gegenständliche Untersuchungsgebiet umfasste die Inseln Usedom, Wollin und Karsibór (Kaseburg). Es sind 26 Standorte (Stellen) für die Durchführung der Untersuchungen aufgrund ihrer Anordnung, Verteilung der Siedlungen und größerer Ballungszentren, Entfernung von Oberflächengewässern ausgewählt worden. Eine allgemeine Anordnung von Stellen der Probenentnahme ist der Abb. 2 und ausführlich den Abb. 3 – 28 zu entnehmen. Die Nummerierung der Stellen entspricht der zeitlichen Reihenfolge der Durchführung von Feldstudien und der Entnahme von Proben für die physikalisch-chemischen Untersuchungen, die anschließend im Labor am Lehrstuhl für Umwelttechnik des Fachbereichs Bauwesen und Umwelttechnik an der Westpommerischen Technologischen Universität Stettin ausgeführt wurden.

Die genauen Standorte der Feldstudien zur Oberflächengewässerqualität wurden anhand der Analysen der Verteilung von eventuellen Verbrauchern der Wärme-/Kälteleistung aus den Wärmepumpen gewählt (s. Tab. 1–3).

[17] Konduktanz (elektrische Leitfähigkeit von Wasser) – ein Maß der elektrischen Leitfähigkeit von Wasser, ermittelt für den gemittelten Mineralisationsgrad und Verschmutzung von Wasser.

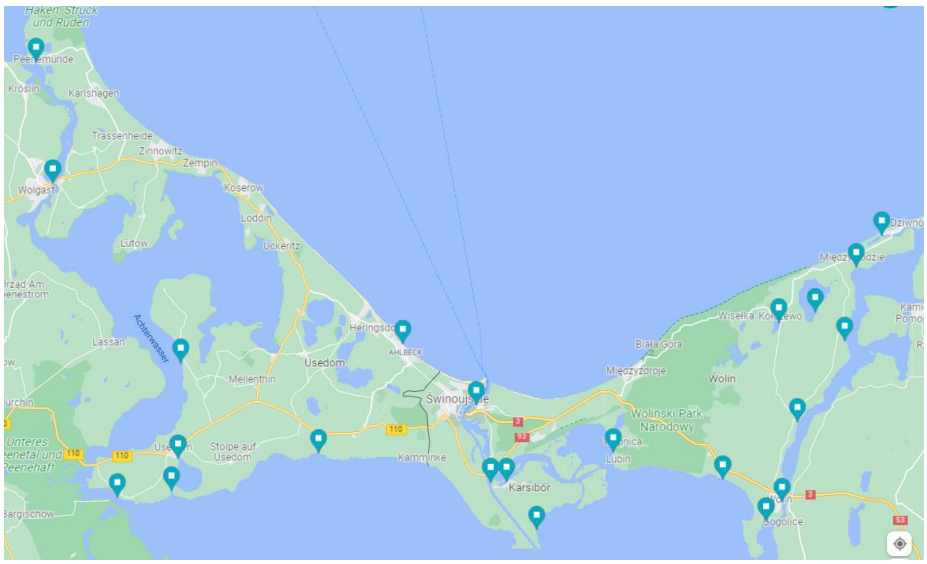


Abb. 2. Inseln Usedom und Wollin, Standorte der Feldstudien und Entnahmestellen der Wasserproben

Abb. 3. Standorte der Feldstudien: 1 – Karsibór (PL), Strand

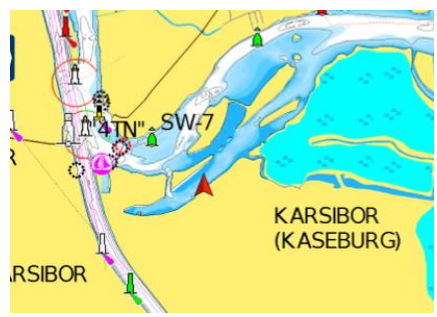


Abb. 4. Standorte der Feldstudien: 2 – Karsibór (PL), Stara Świna

Abb. 5. Standorte der Feldstudien: 3 – Karsibór (PL), U-Boothafen

Abb. 6. Standorte der Feldstudien: 4 – Bossin (DE)

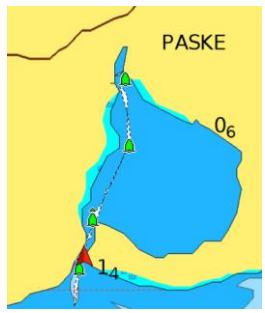


Abb. 7. Standorte der Feldstudien: 5 – Wilhelmshof (DE)

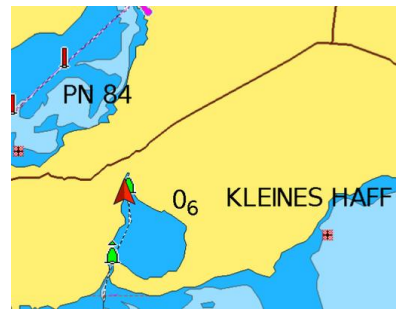


Abb. 8. Standorte der Feldstudien: 6 – Usedom (DE)

Abb. 9. Standorte der Feldstudien: 7 – Karnin (DE)

Abb. 10. Standorte der Feldstudien: 8 – Rankwitz (DE)

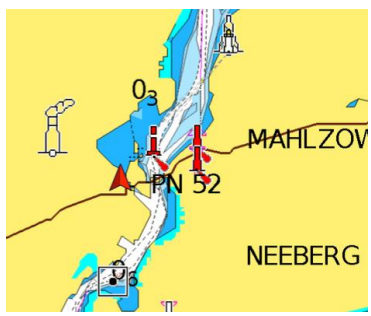


Abb. 11. Standorte der Feldstudien: 9 – Wolgast (DE)

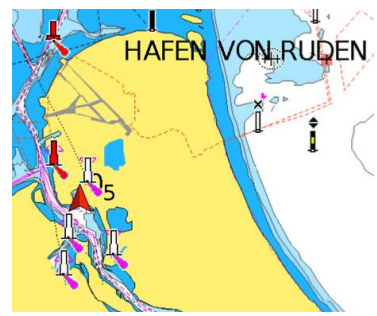


Abb. 12. Standorte der Feldstudien: 10 – Peenemünde (DE)

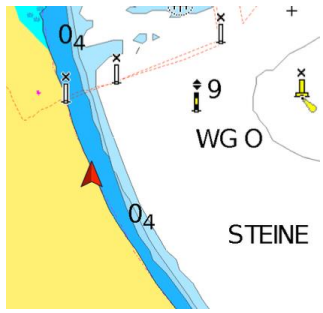


Abb. 13. Standorte der Feldstudien: 11 – Karlshagen, Strand (DE)

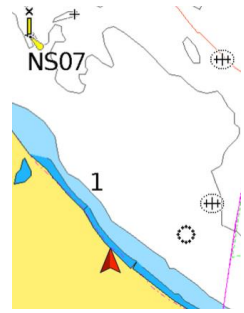


Abb. 14. Standorte der Feldstudien: 12 – Alhbeck, Strand (DE)

Abb. 15. Standorte der Feldstudien: 13 – Sułomino (PL)

Abb. 16. Standorte der Feldstudien: 14 – Wapnica (PL)

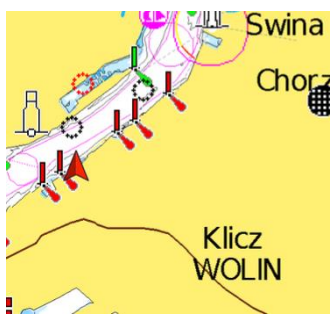


Abb. 17. Standorte der Feldstudien: 15 – Świnoujście, Stadtfähre (PL)

Abb. 18. Standorte der Feldstudien: 16 – Międzyzdroje, US-Meeresstation (PL)

Abb. 19. Standorte der Feldstudien: 17 – Kołczewo, Kołczewo-See (PL)

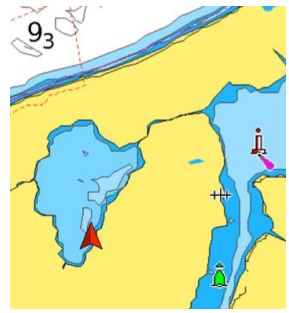


Abb. 20. Standorte der Feldstudien: 18 – Chynowo, Koprowo-See (PL)

Abb. 21. Standorte der Feldstudien: 19 – Sierosław (PL)

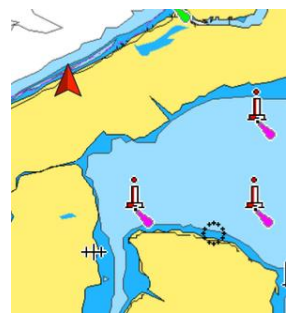


Abb. 22. Standorte der Feldstudien: 20 – Międzywodzie, Strand (PL)

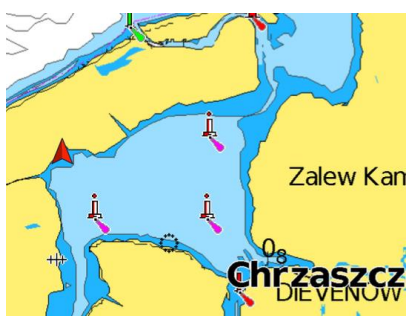


Abb. 23. Standorte der Feldstudien: 21 – Międzywodzie, Haff (PL)

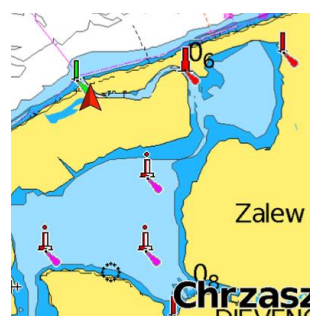


Abb. 24. Standorte der Feldstudien: 22 – Dziwnów (PL)

Abb. 25. Standorte der Feldstudien: 23 – Unin (PL)

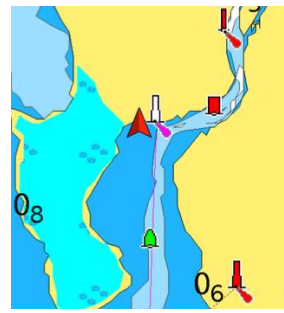


Abb. 26. Standorte der Feldstudien: 24 – Wollin, Strand (PL)

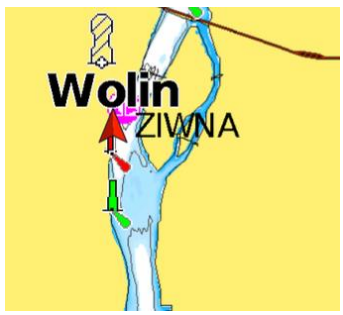


Abb. 27. Standorte der Feldstudien: 25 – Wollin, Anlegestelle (PL)

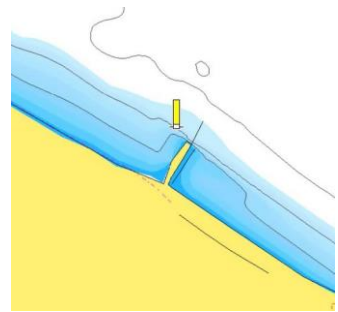


Abb. 28. Standorte der Feldstudien: 26 – Koserow, Strand (DE)

Methodik für die Durchführung von Untersuchungen der Oberflächengewässer

Untersuchung der physikalisch-chemischen Eigenschaften an 26 Stellen im MoRE-Gebiet (Abb. 2 bis 28). Die Untersuchungen wurden in zwei Jahreszeiten, nämlich im Sommer und Winter durchgeführt. Die Wasserproben wurden in einer Entfernung von 100 m von der Uferlinie entnommen. Untersuchte Größen:

- Lufttemperatur – Messung vor Ort,
- Wassertemperatur über dem Boden – Messung vor Ort,
- pH-Wert von Wasser – Messung vor Ort,
- elektrische Leitfähigkeit von Wasser – Messung vor Ort,
- Sauerstoffgehalt in Wasser – Messung vor Ort,
- Wassertrübung – Laboruntersuchung,
- Chloridgehalt – Laboruntersuchung,
- Alkalität, allgemein – Laboruntersuchung.

Die für die Laboruntersuchungen entnommenen Wasserproben sind entsprechend konditioniert worden.

Für die Messungen vor Ort wurde die folgende Messtechnik eingesetzt:

- ein Multimeter Hq40d mit folgender Technikausstattung: LDO-Sensor zur Messung des Gehalts von im Wasser aufgelöstem Sauerstoff, Elektrode zur Messung des pH-Werts, Elektrode zur Messung der Leitfähigkeit,
- eine mobile Messgarnitur auf Basis einer SPS SIEMENS LOGO!8 samt eines zweikanaligen Temperaturmessmoduls AM2 RTD zur Messung der Temperatur von Wasser und Luft über dem Wasserpegel, und zwei Dreileiter-Messwiderstände Pt 1000,
- Testo-Sonden: ein 410i Windaugen-Thermoanemometer und ein 405i Thermo-Widerstands-Thermoanemometer zur Messung der Temperatur und Windgeschwindigkeit, sowie ein 605i Thermo-Hygrometer zur Messung der Temperatur und relativer Luftfeuchtigkeit.

Die Laboruntersuchungen wurden mithilfe der Labortechnik am Lehrstuhl für die Umwelttechnik WBiIŚ ZUT durchgeführt:

- am Laborstand zur Bestimmung von Chloriden nach der Mohr-Methode,
- am Laborstand zur Bestimmung der allgemeinen Alkalität von Wasser,
- mit dem Trübungsmessgerät HI 88713.

Messergebnisse der physikalisch-chemischen Wasserparameter im MoRE-Gebiet – warme Jahreszeit

Die Tabelle 6 zeigt die Ergebnisse der vor Ort gemessenen Wasser- und Lufttemperatur an den Wasserentnahmestellen in der Sommersaison. Es ist zu beachten, dass Die Temperatur von Wasser an den Messstellen in unterschiedlichen Tiefen gemessen wurde. Die erzielten Werte wurden anschließend gemittelt.

Die durchschnittliche Wassertemperatur an allen Messstellen während dieser Messperiode lag bei 15,3 °C und die Lufttemperatur bei durchschnittlich 17,8 °C. Die großen Unterschiede der gemessenen Lufttemperatur an den Messpunkten, d. h. zwischen der in Bossin und an zwei Punkten am Karsibor gemessenen Temperatur von 15 °C und der in Rankwitz gemessenen Temperatur von 25,5 °C, ist darauf zurückzuführen, dass die Messungen zu unterschiedlichen Tageszeiten durchgeführt wurden. Höhere Temperaturen wurden nachmittags zwischen 14.00 und 16.00 Uhr gemessen. Die Schwankungen der Wassertemperatur zeichneten sich durch eine geringere Amplitude aus. Die niedrigste durchschnittliche Wassertemperatur von 14,3 °C wurde in drei Orten auf Usedom gemessen, d. h. in Bossin, Wilhemhof und Usedom. Die höchste durchschnittliche Wassertemperatur, nämlich 17,7 °C, wurde in Ahlbeck, ebenfalls in Usedom gemessen.

Tab. 6. Ergebnisse der Wasser- und Lufttemperaturmessungen an den Probeentnahmestellen – in der Warmsaison

Messstelle-Nr.	Standort	Temperatur [°C]	
		Wasser	Luft
1	Krasibór (PL), Naturstrand	15,8	15,0
2	Krasibór (PL), Stara Świna	14,5	15,8
3	Krasibór (PL), Stützpunkt der 4. Übungsflottille	14,8	15,0
4	Bossin (DE)	14,3	15,0
5	Wilhemhof (DE)	14,3	20,3
6	Usedom (DE)	14,3	18,3
7	Karnin (DE)	14,5	22,5
8	Rankwitz (DE)	15,0	25,5
9	Wolgast (DE)	15,3	24,3
10	Peenemunde (DE)	14,5	22,5
11	Karlshagen (DE), Strand	15,4	23,3
12	Ahlbeck (DE), Strand	17,7	18,0
13	Sułomino (PL)	15,8	15,8
14	Wapniaca (PL)	15,5	15,8
15	Świnoujście (PL), Stadtfähre	15,5	16,3
16	Miedzyzdroje (PL), Strand	15,5	15,5
17	Kołczewo (PL), Kołczewo-See	14,5	16,5
18	Chynowo (PL), Koprowo-See	15,0	15,3
19	Sierosław (PL)	15,5	15,8
20	Międzywodzie (PL), Strand	15,5	15,5
21	Międzywodzie (PL), Haff	15,5	16,0
22	Dziwnów (PL), Mündung des Flusses Dievenow	16,4	17,3
23	Unin (PL)	17,3	18,0
24	Wollin (PL), Strand	15,5	16,3
25	Wollin (PL), Anlegestelle	15,5	16,0
26	Koserow (DE), Strand	16,5	20,6

Nach der Unterteilung der Messstellen in die Messstellen im Binnenland, am Stettiner Haff und an der Ostsee wurden keine signifikanten Unterschiede der Wassertemperatur in Hinsicht auf den eventuellen Betrieb von Wärmepumpen festgestellt. Die durchschnittliche Wassertemperatur der Binnengewässer betrug 15,2 °C, während sie an der Ostseeseite 15,8 °C betrug.

In der Tabelle 7 sind die Ergebnisse der Feldstudien aus der Sommersaison zum Sauerstoffgehalt, pH-Wert und der Leitfähigkeit der Oberflächengewässer zusammengestellt. Auf der Grundlage, sowie nach Auswertung der Laboruntersuchungen konnten die Parameter der untersuchten Oberflächengewässer ermittelt werden. Auf dieser Grundlage konnte die Korrosivität/Aggressivität der Wasserproben festgelegt werden. Die Ergebnisse sind in tabellarischer Form (Tab. 7–8) sowie grafisch (Abb. 29–33) dargestellt.

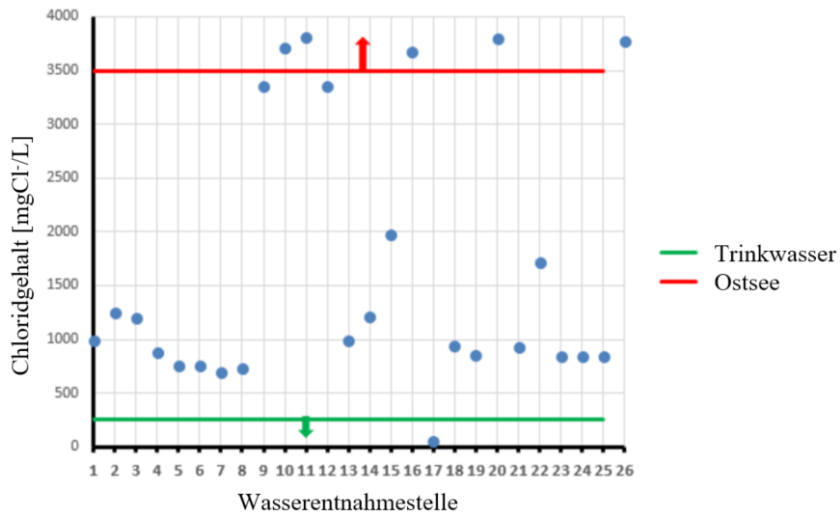


Abb. 29. Gehalt an Chloridionen in den untersuchten Wasserproben – Warmsaison

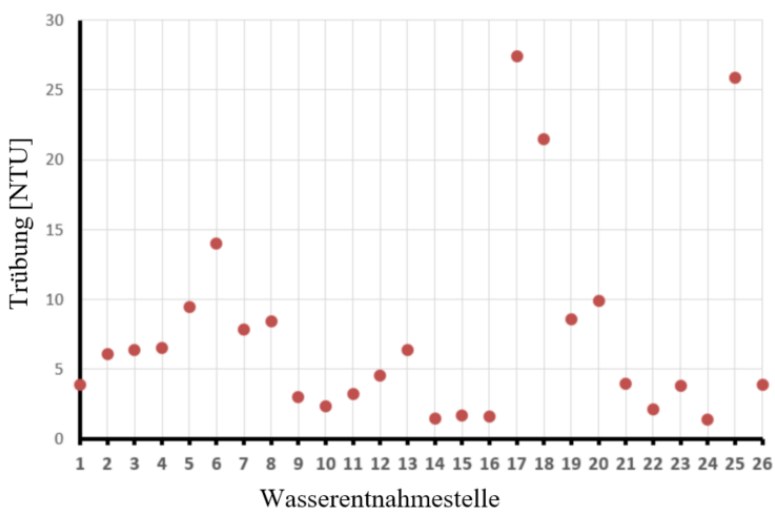


Abb. 30. Trübung der untersuchten Wasserproben [NTU] – Warmsaison

Tab. 7. Ergebnisse der Feldstudien zum Sauerstoffgehalt, pH-Wert und Leitfähigkeit der Oberflächengewässer – Sommerzeit

Stelle-Nr.	Stelle	Ergebnisse der Feldversuche									Gemittelte Ergebnisse Feldmessungen		
		Sauerstoffgehalt [mgO_2/dm^3]			pH-Wert [pH]			Leitfähigkeit [mS/cm]					
		Messung 1	Messung 2	Messung 3	Messung 1	Messung 2	Messung 3	Messung 1	Messung 2	Messung 3	O_2 [mgO_2/dm^3]	pH-Wert [pH]	Leitfähigkeit [mS/cm]
1	Karsibór (PL), Strand	10,9	–	–	7,41	7,43	7,45	4,04	4,04	4,04	10,90	7,43	4,04
2	Karsibór (PL), Stara Świna	9,75	9,74	9,71	7,25	7,35	7,45	4,9	4,92	4,92	9,73	7,35	4,91
3	Karsibór (PL), U-Boothafen	9,93	9,93	9,92	7,36	7,34	7,33	4,84	4,86	4,83	9,93	7,34	4,84
4	Bossin (DE)	9,44	9,45	9,46	7,3	7,19	7,2	3,55	3,56	3,56	9,45	7,23	3,56
5	Wilhelmshof (DE)	9,19	9,23	9,2	7,24	7,23	7,24	3,37	3,37	3,37	9,21	7,24	3,37
6	Usedom (DE)	11,3	11,41	11,5	8,59	8,66	8,7	3,1	3,11	3,14	11,40	8,65	3,12
7	Karnin (DE)	10,09	10,13	10,18	7,5	7,5	7,5	2,9	2,91	2,91	10,13	7,50	2,91
8	Rankwitz (DE)	11,7	11,77	11,79	7,4	7,4	7,43	3,05	3,07	3,07	11,75	7,41	3,06
9	Wolgast (DE)	9,66	–	–	7,1	7,11	7,44	11,86	11,95	11,98	9,66	7,22	11,93
10	Peenemünde (DE)	11,2	11,31	11,41	7,17	7,41	7,48	12,58	12,63	12,69	11,31	7,35	12,63
11	Karlshagen (DE), Strand	10,64	10,69	10,72	7,37	7,9	7,91	13,44	13,46	13,49	10,68	7,73	13,46

Tab. 7 (fortgesetzt)

12	Ahlbeck (DE), Strand	10,12	10,16	10,2	7,32	7,52	7,6	11,48	11,92	11,91	10,16	7,48	11,77
13	Sułomin (PL)	8,5	8,47	8,46	7,34	7,32	7,32	3,9	3,92	3,93	8,48	7,33	3,92
14	Wapnica (PL)	8,73	8,71	8,71	7,31	7,32	7,32	4,75	4,75	4,75	8,72	7,32	4,75
15	Świnoujście (PL), Stadtfähre	9,85	9,87	9,88	7,33	7,32	7,33	7,4	7,39	7,4	9,87	7,33	7,40
16	Międzyzdroje (PL), SM US	10,5	10,58	10,58	7,32	7,36	7,4	13,15	13,16	13,16	10,55	7,36	13,16
17	Kołczewo (PL)	13,32	13,38	13,4	7,89	7,95	8,05	0,352	0,353	0,354	13,37	7,96	0,35
18	Chynowo (PL), Koprowo-See	10,16	10,18	10,18	7,61	7,6	7,62	3,82	3,82	3,82	10,17	7,61	3,82
19	Sierosław (PL)	2,1	1,97	1,88	7,29	7,27	7,24	3,49	3,5	3,49	1,98	7,27	3,49
20	Międzywodzie (PL), Strand	10,74	10,51	10,53	7,3	7,31	7,32	13,4	13,41	13,41	10,59	7,31	13,41
21	Międzywodzie (PL), Haff	7,47	7,43	7,4	7,29	7,28	7,27	3,71	3,71	3,71	7,43	7,28	3,71
22	Dziwnów (PL)	10,25	10,26	10,26	7,34	7,33	7,33	6,47	6,47	6,47	10,26	7,33	6,47
23	Unin (PL)	7,21	7,18	7,15	7,2	7,19	7,17	3,53	3,52	3,52	7,18	7,19	3,52
24	Wollin (PL), Strand	9,55	8,55	9,55	7,32	7,31	7,31	3,49	3,53	3,53	9,22	7,31	3,52
25	Wollin (PL), Anlegestelle	9,23	9,21	9,19	7,31	7,29	7,27	3,52	3,51	3,51	9,21	7,29	3,51
26	Koserow (DE), Strand	10,38	10,43	10,46	7,35	7,71	7,78	12,46	12,69	12,7	10,42	7,61	12,62

Tab. 8. Ergebnisse der Laboruntersuchungen der entnommenen Oberflächengewässerproben – Sommerzeit

Stelle-Nr.	Stelle	Gemittelte Ergebnisse – Feldmessungen			Laboruntersuchung am Tag nach der Probenahme					Anmerkungen	Laboruntersuchung	
		O_2 [mgO_2/L]	pH-Wert [pH]	Leitfähigkeit [mS/cm]	O_2 [mgO_2/L]	pH-Wert [pH]	Leitfähigkeit [mS/cm]	Trübung [NTU]	Chloride [mg/L]		pH-Wert [pH]	Gesamtalkalität [mval/L]
1	Karsibór (PL), Strand	10,90	7,43	4,04	10,54	7,29	3,88	3,87	989	sichtbare Aufhängung	7,78	2,8
2	Karsibór (PL), Stara Świna	9,73	7,35	4,91	9,55	7,18	4,74	6,05	1249	sichtbare Aufhängung	7,6	2,6
3	Karsibór (PL), U-Bo-othafen	9,93	7,34	4,84	9,69	7,15	4,74	6,35	1197	sichtbare Aufhängung	7,52	2,8
4	Bossin (DE)	9,45	7,23	3,56	9,19	7,17	3,49	6,48	872	sichtbare Aufhängung	7,63	3,1
5	Wilhelmshof (DE)	9,21	7,24	3,37	8,97	7,21	3,3	9,41	755	sichtbare Aufhängung	7,58	3
6	Usedom (DE)	11,40	8,65	3,12	10,51	7,83	3,09	14	755	sichtbare Aufhängung	8,1	2,6
7	Karnin (DE)	10,13	7,50	2,91	9,8	7,69	2,86	7,8	690	sichtbare Aufhängung	7,94	3,05
8	Rankwitz (DE)	11,75	7,41	3,06	11,21	7,86	3,04	8,39	729	sichtbare Aufhängung	7,89	3
9	Wolgast (DE)	9,66	7,22	11,93	9,73	7,71	11,76	2,96	3350	Aufhängung unten	7,54	2,3
10	Peenemünde (DE)	11,31	7,35	12,63	10,87	7,68	12,44	2,3	3708	weniger Aufhängung	7,57	2,2
11	Karlshagen (DE), Strand	10,68	7,73	13,46	10,13	8,2	12,87	3,23	3806	weniger Aufhängung	8	2,5

Tab. 8 (fortgesetzt)

12	Ahlbeck (DE), Strand	10,16	7,48	11,77	9,77	8	11,48	4,5	3350	sichtbare Aufhängung	7,8	2,4
13	Sułomin (PL)	8,48	7,33	3,92	8,15	7,03	3,83	6,33	989	sichtbare Aufhängung	7,62	2,9
14	Wapnica (PL)	8,72	7,32	4,75	9,39	6,97	4,63	1,46	1210	weniger Aufhängung	7,56	2,6
15	Świnoujście (PL), Stadtfähre	9,87	7,33	7,40	9,89	7,05	7,19	1,68	1978	weniger Aufhängung	7,6	2,6
16	Międzyzdroje (PL), SM US	10,55	7,36	13,16	10,33	7,11	11,52	1,6	3675	weniger Aufhängung	7,61	2,4
17	Kołczewo (PL)	13,37	7,96	0,35	12,11	7,85	0,302	27,4	51	sichtbare Aufhängung	8,21	2,4
18	Chynowo (PL), Koprowo-See	10,17	7,61	3,82	9,15	7,46	3,34	21,5	937	sichtbare Aufhängung	7,96	2,6
19	Sierosław (PL)	1,98	7,27	3,49	2,3	7,49	3,07	8,58	859	sichtbare Aufhängung	7,66	2,55
20	Międzywodzie (PL), Strand	10,59	7,31	13,41	10,27	7,35	11,72	9,89	3799	sichtbare Aufhängung	7,68	2
21	Międzywodzie (PL), Haff	7,43	7,28	3,71	7,18	7,58	3,28	3,9	924	sichtbare Aufhängung	7,79	2,6
22	Dziwnów (PL)	10,26	7,33	6,47	10,02	7,25	5,66	2,1	1713	weniger Aufhängung	7,7	2,6
23	Unin (PL)	7,18	7,19	3,52	6,99	7,28	3,1	3,82	846	sichtbare Aufhängung	7,6	2,7
24	Wollin (PL), Strand	9,22	7,31	3,52	9,67	7,36	3,08	1,39	846	sichtbare Aufhängung	7,76	2,85
25	Wollin (PL), Anlege-stelle	9,21	7,29	3,51	9,26	7,39	3,08	25,9	846	sichtbare Aufhängung und Algen	7,84	2,7
26	Koserow (DE), Starnd	10,42	7,61	12,62	9,95	8,1	12,18	3,87	3578	weniger Aufhängung	7,9	2,5

Tab. 9. Ermittelte Werte ausgewählter Parameter der entnommenen Wasserproben – Sommerzeit

Stelle-Nr.	Stelle	Gemittelte Ergebnisse – Feldmessungen			Gemittelte Ergebnisse – Feldmessungen								
		pH-Wert [pH]	Gesamtalkalität [mval/L]	pH-Werte [-]	LSI [-]	Säuregehalt, allgemein [mval/L]	Freies CO_2 [mgCO_2/L]	Gebundenes CO_2 [mgCO_2/L]	Zugehöriges CO_2 [mgCO_2/L]	Aggressives CO_2 [mgCO_2/L]	Index der Aggressivität [-]	Karbonathärte [mg $CaCO_3$/L]	Veränderung der O_2-Konzentration nach 1 Tag
1	Karsibór (PL), Strand	7,78	2,8	7,81	–0,03	0,11	4,8	61,6	6,0	0,0	0,0	140	–0,36
2	Karsibór (PL), Stara Świna	7,6	2,6	7,88	–0,28	0,15	6,7	57,2	4,8	1,9	0,1	130	–0,18
3	Karsibór (PL), U-Boothafen	7,52	2,8	7,81	–0,29	0,20	8,7	61,6	6,0	2,7	0,1	140	–0,24
4	Bossin (DE)	7,63	3,1	7,72	–0,09	0,17	7,5	68,2	8,2	0,0	0,0	155	–0,26
5	Wilhelmshof (DE)	7,58	3	7,75	–0,17	0,18	8,1	66	7,4	0,7	0,0	150	–0,24
6	Usedom (DE)	8,1	2,6	7,88	0,22	0,05	2,1	57,2	4,8	0,0	0,0	130	–0,89
7	Karnin (DE)	7,94	3,05	7,74	0,20	0,08	3,6	67,1	7,8	0,0	0,0	152,5	–0,33
8	Rankwitz (DE)	7,89	3	7,75	0,14	0,09	4,0	66	7,4	0,0	0,0	150	–0,54
9	Wolgast (DE)	7,54	2,3	7,98	–0,44	0,16	6,8	50,6	3,3	3,5	0,2	115	0,07
10	Peenemünde (DE)	7,57	2,2	8,02	–0,45	0,14	6,1	48,4	2,9	3,2	0,2	110	–0,44
11	Karlshagen (DE), Strand	8	2,5	7,91	0,09	0,06	2,6	55	4,3	0,0	0,0	125	–0,55
12	Ahlbeck (DE), Strand	7,8	2,4	7,94	–0,14	0,09	3,9	52,8	3,8	0,1	0,0	120	–0,39

Tab. 9 (fortgesetzt)

13	Sułomin (PL)	7,62	2,9	7,78	−0,16	0,16	7,2	63,8	6,7	0,5	0,0	145	−0,33
14	Wapnica (PL)	7,56	2,6	7,88	−0,32	0,17	7,4	57,2	4,8	2,6	0,1	130	0,67
15	Świnoujście (PL), Stadtfähre	7,6	2,6	7,88	−0,28	0,15	6,7	57,2	4,8	1,9	0,1	130	0,02
16	Międzyzdroje (PL), SM US	7,61	2,4	7,94	-0,33	0,14	6,1	52,8	3,8	2,3	0,1	120	−0,22
17	Kołczewo (PL)	8,21	2,4	7,94	0,27	0,03	1,5	52,8	3,8	0,0	0,0	120	−1,26
18	Chynowo (PL), Koprowo-See	7,96	2,6	7,88	0,08	0,07	2,9	57,2	4,8	0,0	0,0	130	−1,02
19	Sierosław (PL)	7,66	2,55	7,89	−0,23	0,13	5,8	56,1	4,6	1,2	0,0	127,5	0,32
20	Międzywodzie (PL), Strand	7,68	2	8,10	−0,42	0,10	4,3	44	2,2	2,1	0,1	100	−0,32
21	Międzywodzie (PL), Haff	7,79	2,6	7,88	−0,09	0,10	4,3	57,2	4,8	0,0	0,0	130	−0,25
22	Dziwnów (PL)	7,7	2,6	7,88	−0,18	0,12	5,4	57,2	4,8	0,5	0,0	130	−0,24
23	Unin (PL)	7,6	2,7	7,84	−0,24	0,16	7,0	59,4	5,4	1,6	0,0	135	−0,19
24	Wollin (PL), Strand	7,76	2,85	7,80	−0,04	0,12	5,1	62,7	6,4	0,0	0,0	142,5	0,45
25	Wollin (PL), Anlege-stelle	7,84	2,7	7,84	0,00	0,09	4,0	59,4	5,4	0,0	0,0	135	0,05
26	Koserow (DE), Strand	7,9	2,5	7,93	−0,03	0,08	3,3	53,9	4,1	0,1	0,0	123	−0,47

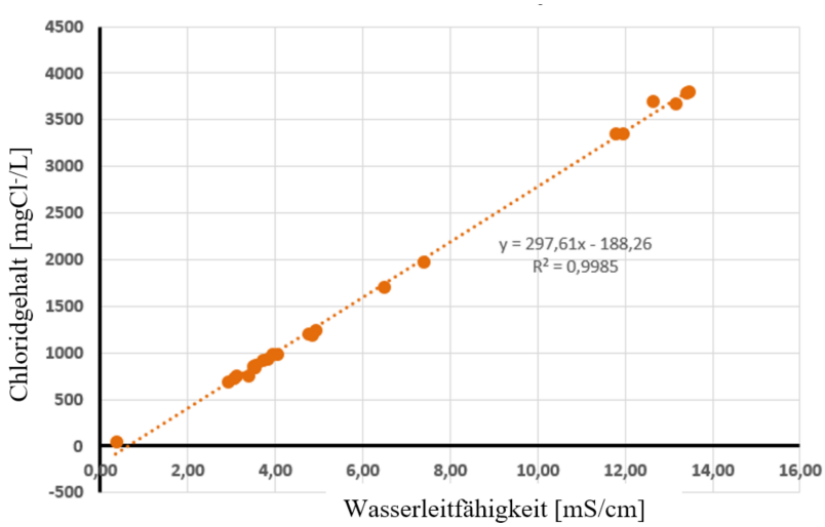


Abb. 31. Zusammenhang zwischen der Konzentration von Chloriden und der Leitfähigkeit von untersuchten Wasserproben – Warmsaison

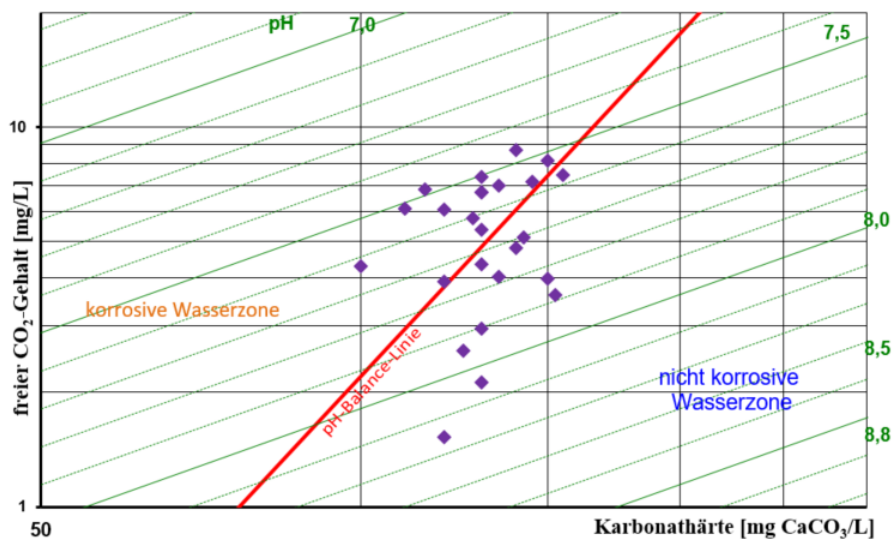


Abb. 32. Kalk-Kohlensäure-Gleichgewichtsdiagramm untersuchter Wasserproben – Warmsaison

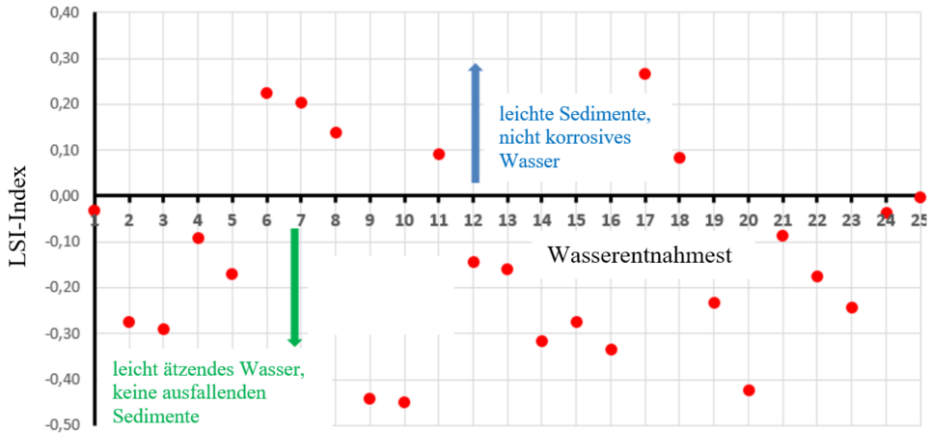


Abb. 33. Langelier-Sättigungsindex (LSI) untersuchter Wasserproben – Warmsaison

Anhand der durchgeführten Feld- und Laboruntersuchungen konnte Folgendes festgestellt werden:

1. Die untersuchten Gewässer weisen einen beinah neutralen pH-Wert mit geringer Verschiebung in die Richtung schwacher Alkalität auf.
2. Die niedrig geschätzten Gehalte an freiem und aggressivem Kohlendioxid, die Langelier-Indexwerte, sowie niedrige Werte der Ausprägung der Säure-Kohle-Aggressivität deuten auf ein stabiles Wasserbild mit einer leichten Korrosivitätsneigung hin. Auf dem Kalk-Kohlensäure-Gleichgewichtsdiagramm sind die einzelnen Messpunkte neben der Gleichgewichtslinie pHs angeordnet. Man kann davon ausgehen, dass das untersuchte Wasser bei den Temperaturen der Untersuchung weder eine starke Tendenz zur mineralischen Verkalkung, noch eine aggressiv korrosive Wirkung entfalten soll.
3. An beinah allen Messstellen (mit Ausnahme der Stelle Nr. 17 – Kołczewo-See) konnte ein erhöhter Gehalt an Chloridionen und eine erhöhte Leitfähigkeit festgestellt werden, die für die Gewässer der Ostsee und der Mündungsgebiete der Flüsse typisch sind. In dem gesamten Umfang der ermittelten Leitfähigkeit und Chloridgehalts konnte eine beinah vollständige Korrelation zwischen den Parametern festgestellt werden. Gleichzeitig sind hohe Sauerstoffkonzentrationen festgestellt worden. Die hohe Konzentration von Chloriden und Sauerstoff kann die Korrosionsprozesse beschleunigen.
4. Anhand der Untersuchung der Trübung und Beobachtung der Suspension in oberflächennahen Wasserschichten können wir davon ausgehen, dass die Suspension eines organischen Ursprungs ist. Die unterschiedlichen Organismen, die im Wasser vorkommen, können einen biologischen Film an

den Oberflächen der Geräte, die im Wasser eingetaucht sind, bilden und die Voraussetzungen für den Wärmetausch bei Wärmeaustauschern beeinträchtigen.

Messergebnisse der physikalisch-chemischen Wasserparameter im MoRE-Gebiet – kalte Jahreszeit

Die Tabelle 10 zeigt die Ergebnisse der vor Ort gemessenen Wasser- und Lufttemperatur an den Wasserentnahmestellen für die Wintersaison.

Wie auch bei den sommerlichen Messungen wurde auch die winterliche Wassertemperatur an den Messstellen in verschiedenen Tiefen gemessen und der Durchschnittswert wurde für die Auswertung herangezogen. Die durchschnittliche Wassertemperatur an allen Messstellen während der Messperiode betrug 2,6 °C, während die Lufttemperatur 7,6 °C betrug.

Trotz der Tatsache, dass die Temperatur an zwei Tagen gemessen wurde, wurden keine signifikanten Unterschiede der Lufttemperatur an den Messpunkten festgestellt. Der niedrigste gemessene Wert wurde in Sułomino auf der Insel Wollin mit 3,8 °C aufgezeichnet, während der höchste gemessene Wert in Międzyzdroje, ebenfalls auf der Insel Wollin gemessen wurde und 9 °C betrug. Ähnlich wie im Sommer zeigten die Wassertemperaturschwankungen eine geringere Amplitude. Die niedrigste durchschnittliche Wassertemperatur von 0 °C wurde im Ort Sułomino gemessen. Eine so niedrige Temperatur war höchstwahrscheinlich auf eindringendes Eis und die geringe Tiefe der Messstelle (1,2 m) zurückzuführen. Die höchste durchschnittliche Wassertemperatur von 6,3 °C wurde im Ort Karlshagen auf Usedom gemessen.

Nach der Unterteilung der Messstellen in die Messstellen im Binnenland, am Stettiner Haff und an der Ostsee wurden größere Wassertemperaturschwankungen als in der Sommersaison festgestellt. Für den Betrieb der Wärmepumpe wären diese jedoch nicht relevant. Die durchschnittliche Wassertemperatur der Binnengewässer betrug 2,1 °C, während diese an der Ostseeseite 3,6 °C betrug. So eine niedrige Wassertemperatur führt bei jeder Betriebsart zu periodischer Vereisung der Wärmeaustauscher. Es gibt jedoch inzwischen Technologien und Lösungen in Bezug auf den Aufbau der Anlagen, die vor Vereisung der Wärmetauscher effektiv schützen.

In der Tabelle 11 sind die Ergebnisse der Feldstudien aus der Wintersaison zum Sauerstoffgehalt, pH-Wert und der Leitfähigkeit der Oberflächengewässer zusammengestellt. Auf der Grundlage, sowie nach Auswertung der Laboruntersuchungen konnten die Parameter der untersuchten Oberflächengewässer ermittelt werden.

Auf dieser Grundlage konnte die Korrosivität/Aggressivität der Wasserproben festgelegt werden. Die Ergebnisse sind in tabellarischer Form (Tab. 11–13) sowie grafisch (Abb. 34–38) dargestellt.

Tab. 10. Ergebnisse der Wasser- und Lufttemperaturmessungen an den Probeentnahmestellen – Wintersaison

Messstelle-Nr.	Standort	Temperatur [°C]	
		Wasser	Luft
1	Krasibór (PL), Naturstrand	2,8	8,5
2	Krasibór (PL), Stara Świna	1,3	8
3	Krasibór (PL), Stützpunkt der 4. Übungsflottille	1,3	7
4	Bossin (DE)	1,8	5,8
5	Wilhemhof (DE)	2,8	8,3
6	Usedom (DE)	3,5	7,5
7	Karnin (DE)	3,8	7,3
8	Rankwitz (DE)	2,5	6,5
9	Wolgast (DE)	3,8	8,3
10	Peenemunde (DE)	3,5	7,8
11	Karlshagen (DE), Strand	6,3	6,5
12	Ahlbeck (DE), Strand	4,3	6
13	Sułomino (PL)	0	3,8
14	Wapniaca (PL)	0,8	8,3
15	Świnoujście (PL), Stadtfähre	1,3	8,8
16	Miedzyzdroje (PL), Strand	3,5	9
17	Kołczewo (PL), Kołczewo-See	2,5	8,3
18	Chynowo (PL), Koprowo-See	2,3	8,1
19	Sierosław (PL)	2,3	9
20	Międzywodzie (PL), Strand	5	9
21	Międzywodzie (PL), Haff	2,5	8,3
22	Dziwnów (PL), Mündung des Flusses Dievenow	2,5	8
23	Unin (PL)	2,3	8,5
24	Wollin (PL), Strand	0,5	6,5
25	Wollin (PL), Anlegestelle	0,3	7,5
26	Koserow (DE), Strand	5,3	6,25

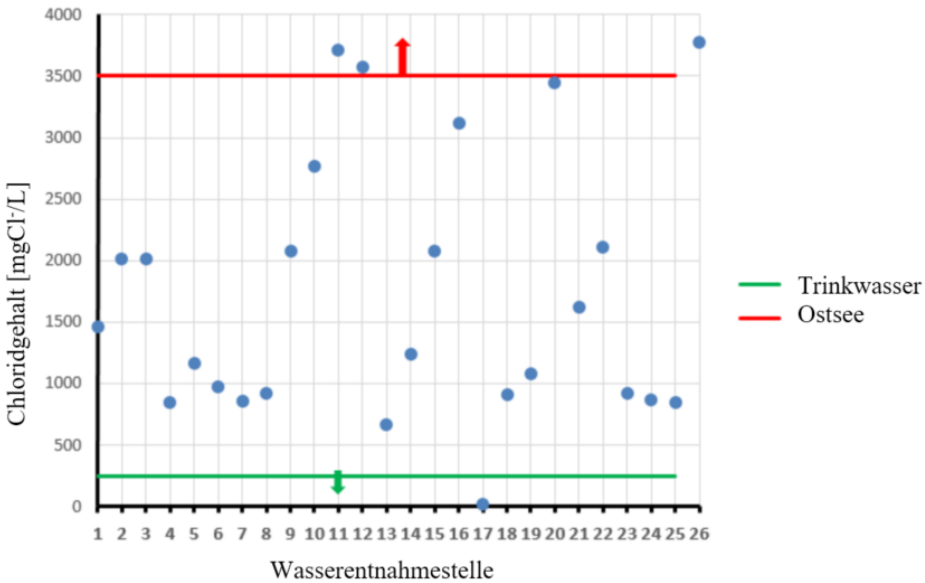


Abb. 34. Gehalt an Chloridionen in den untersuchten Wasserproben – Wintersaison

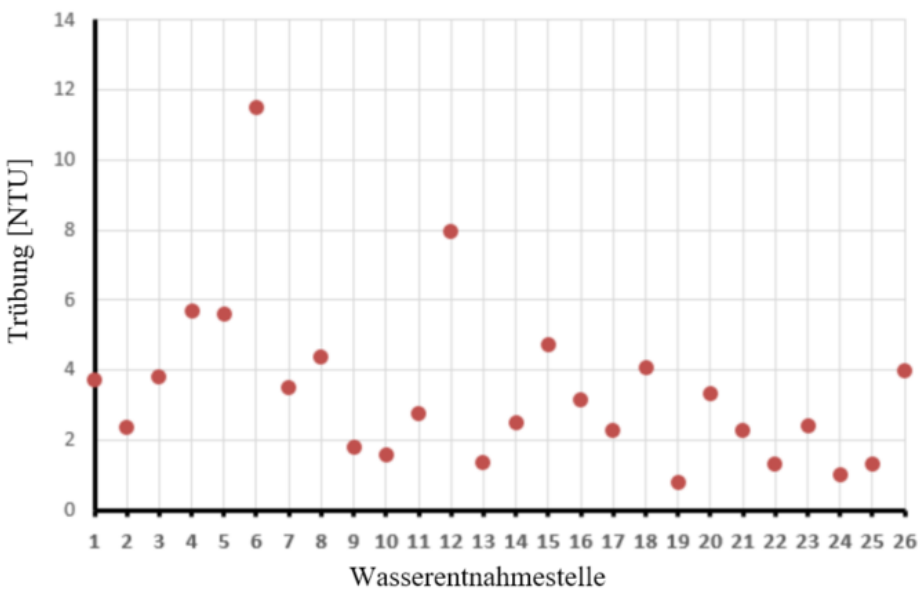


Abb. 35. Trübung der untersuchten Wasserproben [NTU] – Wintersaison

Tab. 11. Ergebnisse der Feldstudien zum Sauerstoffgehalt, pH-Wert und Leitfähigkeit der Oberflächengewässer – Wintersaison

Stelle-Nr.	Stelle	Ergebnisse der Feldversuche									Gemittelte Ergebnisse Feldmessungen		
		Sauerstoffgehalt [mgO_2/dm^3]			pH-Wert [pH]			Leitfähigkeit [mS/cm]					
		Messung 1	Messung 2	Messung 3	Messung 1	Messung 2	Messung 3	Messung 1	Messung 2	Messung 3	O_2 [mgO_2/dm^3]	pH-Wert [pH]	Leitfähigkeit [mS/cm]
1	Karsibór (PL), Strand	12,45	12,51	–	7,23	7,23	–	5,7	5,7	–	9,86	7,23	5,70
2	Karsibór (PL), Stara Świna	12,78	12,84	12,89	7,36	7,38	7,38	7,74	7,76	7,78	9,32	7,37	7,76
3	Karsibór (PL), U-Bo-othafen	12,69	12,73	12,76	7,42	7,41	7,41	7,36	7,62	7,64	9,23	7,41	7,54
4	Bossin (DE)	12,23	12,26	12,3	7,21	7,22	7,24	3,41	3,43	3,44	7,64	7,22	3,43
5	Wilhelmshof (DE)	12,54	12,6	12,69	7,43	7,45	7,48	4,74	4,74	4,77	8,27	7,45	4,75
6	Usedom (DE)	11,64	11,72	11,74	7,39	7,39	7,39	4,04	4,03	4,05	7,71	7,39	4,04
7	Karnin (DE)	12,17	12,22	12,28	7,47	7,47	7,48	3,64	3,68	3,68	7,79	7,47	3,67
8	Rankwitz (DE)	12,18	12,22	12,28	7,54	7,54	7,53	3,79	3,85	3,85	7,86	7,54	3,83
9	Wolgast (DE)	12,03	12,12	12,12	7,37	7,37	7,39	7,93	7,97	7,97	9,14	7,38	7,96
10	Peenemünde (DE)	12,25	12,33	12,39	7,5	7,48	7,48	9,91	10,13	10,13	9,96	7,49	10,06
11	Karlshagen (DE), plaża	12,31	12,35	12,36	7,45	7,44	7,44	13,32	13,34	13,33	11,04	7,44	13,33

Tab. 11 (fortgesetzt)

12	Ahlbeck (DE), Strand	12,1	12,12	12,14	7,38	7,38	7,38	12,77	12	83	12,84	7,38	35,92
13	Sułomin (PL)	11,86	11,9	11,96	7,58	7,57	7,55	2,79	2,79	2,8	7,42	7,57	2,79
14	Wapnica (PL)	13,03	13,04	12,7	7,5	7,49	7,49	4,82	4,9	4,93	12,92	7,49	4,88
15	Świnoujście (PL), Stadtfähre	12,84	12,87	12,88	7,47	7,45	7,45	7,65	7,78	7,78	12,86	7,46	7,74
16	Międzyzdroje (PL), SM US	13,03	13,04	12,7	7,5	7,49	7,49	4,82	4,9	4,93	12,92	7,49	4,88
17	Kołczewo (PL)	12,84	12,87	12,88	7,47	7,45	7,45	7,65	7,78	7,78	12,86	7,46	7,74
18	Chynowo (PL), Koprowo-See	13,03	13,04	12,7	7,5	7,49	7,49	4,82	4,9	4,93	12,92	7,49	4,88
19	Sierosław (PL)	12,84	12,87	12,88	7,47	7,45	7,45	7,65	7,78	7,78	12,86	7,46	7,74
20	Międzywodzie (PL), Strand	13,03	13,04	12,7	7,5	7,49	7,49	4,82	4,9	4,93	12,92	7,49	4,88
21	Międzywodzie (PL), Haff	9,98	10,24	10,27	7,36	7,36	7,37	6,49	6,48	6,48	8,00	7,36	6,48
22	Dziwnów (PL)	12,27	12,36	12,59	7,39	7,42	7,45	8	8,07	8,11	9,30	7,42	8,06
23	Unin (PL)	11,53	11,59	11,63	7,36	7,46	7,46	3,86	3,86	3,88	7,63	7,43	3,87
24	Wollin (PL), Strand	12,56	12,79	12,97	7,5	7,56	7,56	3,64	3,68	3,69	7,99	7,54	3,67
25	Wollin (PL), Anlegestelle	13,08	13,12	13,14	7,55	7,61	7,62	3,59	3,6	3,62	8,10	7,59	3,60
26	Koserow (DE), Strand	12,27	12,32	12,36	7,47	7,46	7,46	13,36	13,39	13,39	11,05	7,46	13,38

Tab. 12. Ergebnisse der Laboruntersuchungen der entnommenen Oberflächengewässerproben – Wintersaison

Stelle-Nr.	Stelle	Gemittelte Ergebnisse – Feldmessungen			Laboruntersuchung am Tag nach der Probenahme				Laboruntersuchung		
		O_2 [mgO_2/L]	pH-Wert [pH]	Leitfähigkeit [mS/cm]	pH-Wert [pH]	Leitfähigkeit [mS/cm]	Trübung [NTU]	Chloride [mg/L]	pH-Wert [pH]	Gesamtsäure [mval/L]	Gesamtalkalität [mval/L]
1	Karsibór (PL), Strand	9,86	7,23	5,70	7,51	5,66	3,73	1464	7,51	2,9	0,2
2	Karsibór (PL), Stara Świna	9,32	7,37	7,76	7,65	7,61	2,37	2017	7,65	2,8	0,2
3	Karsibór (PL),U-Bo-othafen	9,23	7,41	7,54	7,77	7,56	3,82	2017	7,77	2,8	0,2
4	Bossin (DE)	7,64	7,22	3,43	7,26	3,34	5,67	846	7,26	2,8	0,1
5	Wilhelmshof (DE)	8,27	7,45	4,75	7,66	4,6	5,58	1171	7,66	2,8	0,15
6	Usedom (DE)	7,71	7,39	4,04	7,79	3,98	11,5	976	7,79	2,9	0,1
7	Karnin (DE)	7,79	7,47	3,67	7,86	3,6	3,52	859	7,86	3,3	0,2
8	Rankwitz (DE)	7,86	7,54	3,83	7,92	3,79	4,37	924	7,92	3,1	0,15
9	Wolgast (DE)	9,14	7,38	7,96	7,87	7,78	1,8	2082	7,87	2,7	0,05
10	Peenemünde (DE)	9,96	7,49	10,06	7,89	9,86	1,57	2765	7,89	2,6	0,05
11	Karlshagen (DE), Strand	11,04	7,44	13,33	7,96	12,8	2,76	3708	7,96	2	0,05
12	Ahlbeck (DE), Strand	12,84	7,38	35,92	7,96	12,58	7,98	3578	7,96	2,1	0,1
13	Sułomin (PL)	7,42	7,57	2,79	7,86	2,81	1,38	664	7,86	2,4	0,2

Tabell 12 (fortgesetzt)

14	Wapnica (PL)	12,92	7,49	4,88	7,87	4,93	2,48	1236	7,87	2,9	0,1
15	Świnoujście (PL), Stadtfähre	12,86	7,46	7,74	7,88	7,77	4,73	2082	7,88	2,7	0,1
16	Międzyzdroje (PL), SM US	10,35	7,44	11,50	7,73	11,38	3,14	3123	7,73	2,2	0,1
17	Kołczewo (PL)	6,28	7,55	0,40	7,9	0,41	2,27	21	7,9	2,8	0,15
18	Chynowo (PL), Koprowo-See	7,81	7,48	3,78	7,72	3,76	4,05	911	7,72	3	0,1
19	Sierosław (PL)	8,05	7,44	4,42	7,85	4,4	0,79	1080	7,85	3	0,1
20	Międzywodzie (PL), Strand	10,61	7,47	12,44	7,79	12,34	3,32	3448	7,79	2,2	0,15
21	Międzywodzie (PL), Haff	8,00	7,36	6,48	7,66	6,39	2,29	1626	7,66	2,9	0,15
22	Dziwnów (PL)	9,30	7,42	8,06	7,74	7,96	1,32	2114	7,74	2,7	0,15
23	Unin (PL)	7,63	7,43	3,87	7,82	3,86	2,41	924	7,82	3,2	0,15
24	Wollin (PL), Strand	7,99	7,54	3,67	7,89	3,66	1,02	872	7,89	3	0,15
25	Wollin (PL), Anlege-stelle	8,10	7,59	3,60	7,88	3,62	1,33	846	7,88	3,1	0,15
26	Koserow (DE), Strand	11,05	7,46	13,38	7,95	13,06	4	3773	7,95	2	0,05

Tab. 13. Ermittelte Werte ausgewählter Parameter der entnommenen Wasserproben – Wintrsaison

Stelle-Nr.	Stelle	Gemittelte Ergebnisse – Feldmessungen		Laboruntersuchung am Tag nach der Probenahme							
		pH-Wert [pH]	Gesamtalkalität [mval/L]	pH-Werte	LSI	Freies CO_2 [$mgCO_2/L$]	Gebundenes CO_2 [$mgCO_2/L$]	Zugehöriges CO_2 [$mgCO_2/L$]	Aggressives CO_2 [$mgCO_2/L$]	Index der Aggressivität	Karbonathärte [mg $CaCO_3/L$]
1	Karsibór (PL), Strand	7,51	2,9	0,2	7,78	8,8	63,8	6,7	2,1	0,1	145
2	Karsibór (PL), Stara Świna	7,65	2,8	0,2	7,81	8,8	61,6	6,0	2,8	0,1	140
3	Karsibór (PL), U-Bo-othafen	7,77	2,8	0,2	7,81	8,8	61,6	6,0	2,8	0,1	140
4	Bossin (DE)	7,26	2,8	0,1	7,81	4,4	61,6	6,0	0,0	0,0	140
5	Wilhelmshof (DE)	7,66	2,8	0,15	7,81	6,6	61,6	6,0	0,6	0,0	140
6	Usedom (DE)	7,79	2,9	0,1	7,78	4,4	63,8	6,7	0,0	0,0	145
7	Karnin (DE)	7,86	3,3	0,2	7,67	8,8	72,6	9,9	0,0	0,0	165
8	Rankwitz (DE)	7,92	3,1	0,15	7,72	6,6	68,2	8,2	0,0	0,0	155
9	Wolgast (DE)	7,87	2,7	0,05	7,84	2,2	59,4	5,4	0,0	0,0	135
10	Peenemünde (DE)	7,89	2,6	0,05	7,88	2,2	57,2	4,8	0,0	0,0	130
11	Karlshagen (DE), Strand	7,96	2	0,05	8,10	2,2	44	2,2	0,0	0,0	100
12	Ahlbeck (DE), Strand	7,96	2,1	0,1	8,06	4,4	46,2	2,5	1,9	0,1	105

Tab. 13 (fortgesetzt)

13	Sułomin (PL)	7,86	2,4	0,2	7,94	8,8	52,8	3,8	5,0	0,4	120
14	Wapnica (PL)	7,87	2,9	0,1	7,78	4,4	63,8	6,7	0,0	0,0	145
15	Świnoujście (PL), Stadtfähre	7,88	2,7	0,1	7,84	4,4	59,4	5,4	0,0	0,0	135
16	Międzyzdroje (PL), SM US	7,73	2,2	0,1	8,02	4,4	48,4	2,9	1,5	0,0	110
17	Kołczewo (PL)	7,9	2,8	0,15	7,81	6,6	61,6	6,0	0,6	0,0	140
18	Chynowo (PL), Koprowo-See	7,72	3	0,1	7,75	4,4	66	7,4	0,0	0,0	150
19	Sierosław (PL)	7,85	3	0,1	7,75	4,4	66	7,4	0,0	0,0	150
20	Międzywodzie (PL), Strand	7,79	2,2	0,15	8,02	6,6	48,4	2,9	3,7	0,3	110
21	Międzywodzie (PL), Haff	7,66	2,9	0,15	7,78	6,6	63,8	6,7	0,0	0,0	145
22	Dziwnów (PL)	7,74	2,7	0,15	7,84	6,6	59,4	5,4	1,2	0,0	135
23	Unin (PL)	7,82	3,2	0,15	7,69	6,6	70,4	9,0	0,0	0,0	160
24	Wollin (PL), Strand	7,89	3	0,15	7,75	6,6	66	7,4	0,0	0,0	150
25	Wollin (PL), Anlege-stelle	7,88	3,1	0,15	7,72	6,6	68,2	8,2	0,0	0,0	155
26	Koserow (DE), Strand	7,95	2	0,05	8,10	2,2	44	2,2	0,0	0,0	100

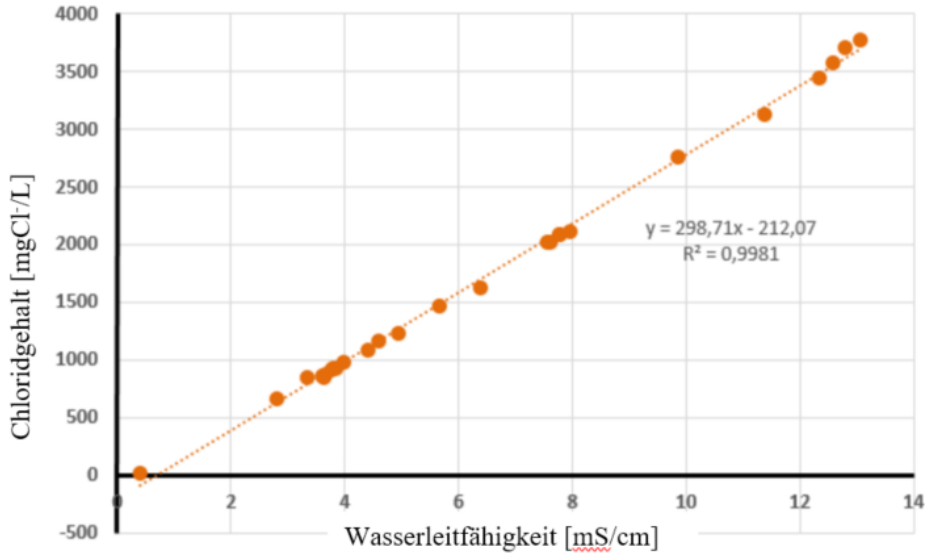


Abb. 36. Zusammenhang zwischen der Konzentration von Chloriden und der Leitfähigkeit von untersuchten Wasserproben – Wintersaison

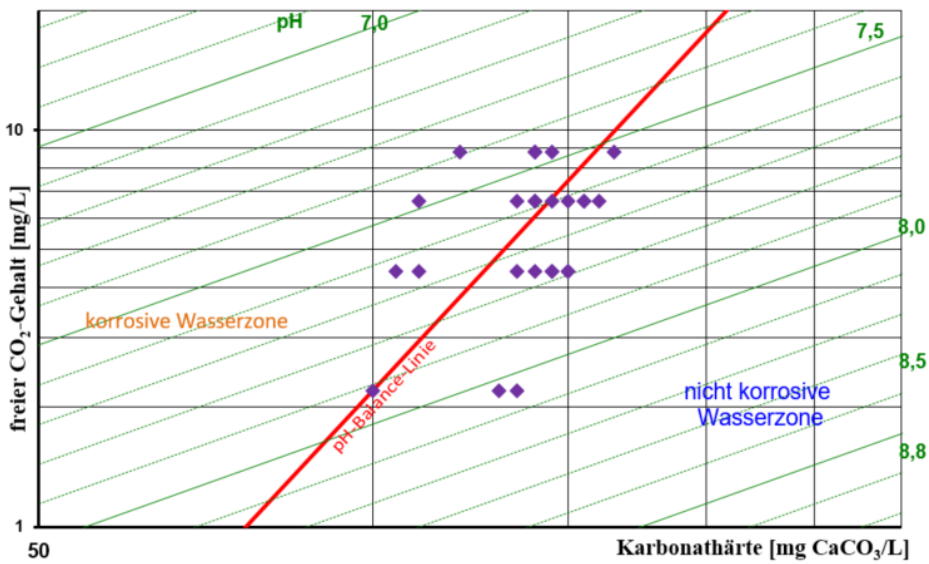


Abb. 37. Kalk-Kohlensäure-Gleichgewichtsdiagramm untersuchter Wasserproben – Wintersaison

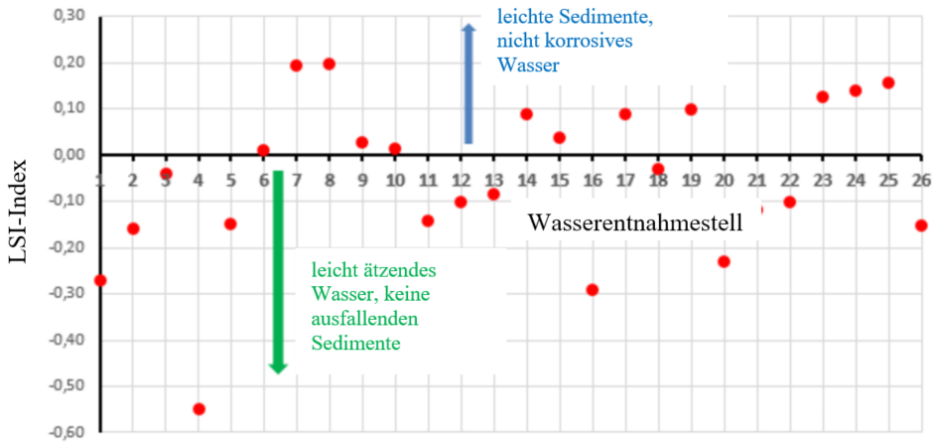


Abb. 38. Langelier-Sättigungsindex (LSI) untersuchter Wasserproben – Wintersaison

Die Auswertung der Ergebnisse für die während der Wintersaison entnommenen Wasserproben und deren Messungen lässt ähnliche Schlussfolgerungen zu, wie die Ergebnisse der während der Sommersaison durchgeführten Untersuchungen:

1. Die untersuchten Gewässer weisen einen beinah neutralen pH-Wert mit geringer Verschiebung in die Richtung schwacher Alkalität auf.
2. Die niedrig geschätzten Gehalte an freiem und aggressivem Kohlendioxid, die Langelier-Indexwerte, sowie niedrige Werte der Ausprägung der Säure-Kohle-Aggressivität deuten auf ein stabiles Wasserbild mit einer leichten Korrosivitätsneigung hin. Auf dem Kalk-Kohlensäure-Gleichgewichtsdiagramm sind die einzelnen Messpunkte neben der Gleichgewichtslinie pHs angeordnet. Man kann davon ausgehen, dass das untersuchte Wasser bei den Temperaturen der Untersuchung weder eine starke Tendenz zur mineralischen Verkalkung, noch eine aggressiv korrosive Wirkung entfalten soll.
3. An beinah allen Messstellen (mit Ausnahme der Stelle Nr. 17 – Kołczewo-See) konnte ein erhöhter Gehalt an Chloridionen und eine erhöhte Leitfähigkeit festgestellt werden, die für die Gewässer der Ostsee und der Mündungsgebiete der Flüsse typisch sind. In dem gesamten Umfang der ermittelten Leitfähigkeit und Chloridgehalts konnte eine beinah vollständige Korrelation zwischen den Parametern festgestellt werden. Gleichzeitig sind hohe Sauerstoffkonzentrationen festgestellt worden. Der hohe Gehalte an Chloriden und aufgelöstem Sauerstoff können die Korrosion fördern, diese kann jedoch durch niedrigere Temperaturen abgeschwächt werden.

4. Die im Vergleich zur Sommersaison geringeren Trübungswerte, sowie die Beobachtungen von Sedimenten in geringer Tiefe unter dem Wasserpegel lassen den Schluss zu, dass es sich um Schwebstoffe organischer Herkunft handelt. Die unterschiedlichen Organismen, die im Wasser vorkommen, können einen biologischen Film an den Oberflächen der Geräte, die im Wasser eingetaucht sind, bilden und die Voraussetzungen für den Wärmetausch bei Wärmeaustauschern beeinträchtigen, wobei diese Prozesse in der Wintersaison verlangsamt auftreten können.

Nutzungspotentiale von Wasser als Quelle der Kälte- und Wärmeleistung für die Wärmepumpen – Zusammenfassung

Die Abbildung 39 zeigt die Ergebnisse der im Sommer durchgeführten Untersuchungen von Oberflächengewässern, einschließlich Korrosivität und Wassertemperatur, die Abbildung 40 zeigt die Ergebnisse aus der Wintersaison.

Wie die durchgeführten Feldversuche, sowie die Laboruntersuchungen von Wasserproben, die aus den genannten Gewässern auf den Inseln Usedom und Wollin entnommen wurden, zeigen, weisen die Oberflächengewässer im Gebiet MoRE keine stark korrosive Wirkung auf.

In der Wintersaison sind große Temperaturunterschiede der Gewässer im untersuchten Gebiet zu verzeichnen. Die Messungen zeigen, dass die Wassertemperaturen in der Ostsee höher sind als in den Binnengewässern. Aus Sicht der Thermodynamik der Wärmepumpenzirkulation sind die höheren Temperaturen des Wärmeträgers im Hinblick auf die erzielten COP-Werte günstiger. Angesichts des durchschnittlichen Salzgehalts der Ostsee von 7 bis 8‰ müssen für diesen Einsatz Wärmetauscher eingeplant werden, die gegen die korrosiven Eigenschaften von salzhaltigem Meereswasser beständig sind. Sonst müssen eine kürzere Betriebsdauer, sowie häufigere Wartungsarbeiten vorgesehen werden.

Bei Wassertemperaturen unter 5 °C muss geeignete Wärmerückgewinnungstechnik eingesetzt werden, um den Verdampfer vor der Vereisung der Oberfläche zu schützen.

Aufgrund der klimatischen, auf den Inseln Usedom und Wollin herrschenden Bedingungen muss bei der Planung von Investitionen in die Wärmepumpe der negative Unterschied zwischen der Wärmemenge, die aus Gewässer gewonnen werden kann und dem Wärmebedarf für Heizzwecke in der Heizsaison berücksichtigt werden. Niedrige Lufttemperaturen in der kalten Jahreszeit wirken sich auf die Temperatur der Oberflächengewässer aus, die die Leistung der Energiegewinnung und die Energieeffizienz der gesamten Anlage wesentlich beeinträchtigen kann.

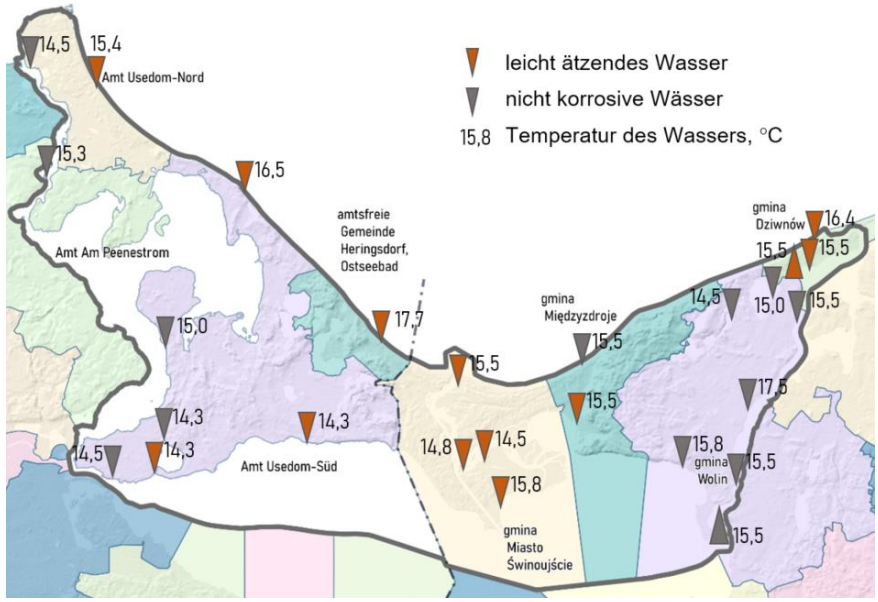


Abb. 39. Temperatur und Korrosivität von Oberflächengewässern in der Sommersaison

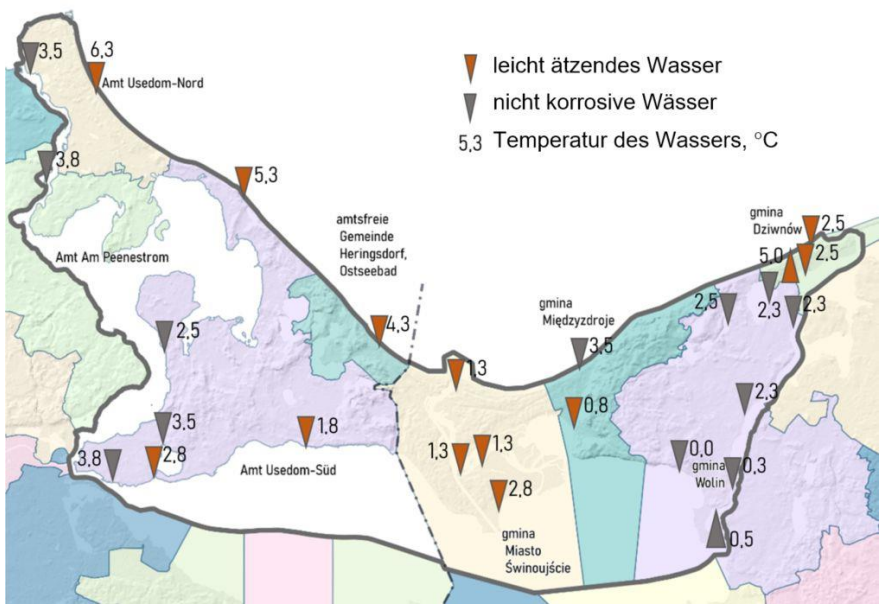


Abb. 40. Temperatur und Korrosivität von Oberflächenwassern in der Wintersaison

In dieser Zeit ist die Nachfrage nach der Wärmeleistung für die Heizzwecke und die Warmwasseraufbereitung am höchsten. In diesem Fall müssen die periodischen Leistungseinbußen, sowie Anlagen mit einer entsprechend höheren Leistung berücksichtigt werden (unter Einbeziehung der minimalen Wasser- und Lufttemperaturen und deren Vorhaltedauer in dem Gebiet). Eine andere Lösung, den Unterschied zwischen der Leistung der Wärmepumpe und der zu erzeugenden Sollwärmeleistung für den Wärmekomfort und die Warmwasseraufbereitung zu minimieren, umfasst die Auslegung und den Aufbau von Hybridanlagen, bei denen die Wärmepumpe eine von zwei verfügbaren Wärmequellen darstellen würde. Der Betriebsalgorithmus schaltet die Wärmepumpe je nach Entwicklung der Außentemperaturen um. Ein gutes Beispiel für die Betriebsarten solcher Anlagen ist die monoenergetische Betriebsweise. In diesem Fall wird die Wärmepumpe durch eine zusätzliche elektrische Wärmequelle (z. B. einen eingebauten elektrischen Durchlauferhitzer oder elektrisches Kessel) unterstützt. Bei der monoenergetischen Betriebsart muss ausschließlich der Stromanschluss im Gebäude genutzt werden (z. B. wenn kein Zugang zur Gasversorgung vorhanden). Diese Betriebsart bewährt sich sehr gut im Fall von thermisch modernisierten Gebäuden, wo der Betrieb der Wärmepumpe bis zu 90% des jährlichen Wärmebedarfs decken kann.

Dieses Problem tritt im Sommer jedoch nicht auf. Eine ausreichend ausgelegte und dimensionierte Wärmepumpe schafft es ohne Problem, den Überschuss an der Wärme in die Oberflächengewässer abzuleiten, auch wenn ihre Temperatur 25 °C überschreiten soll. Die ausreichende Trägheit der Gewässer sowie der intensive Wärmeaustausch durch die Verdampfung wird keinen Einfluss auf den Anstieg der Wassertemperatur haben.

Sämtliche untersuchte Varianten der Wärmepumpanlagen, d.h.:

- eine Wärmepumpe mit einer direkten Verdampfung/Verflüssigung des Kältemittels im Wasser,
- eine Wärmepumpe, die mit einem indirekten Kreislauf (Glykol-Kreislauf) sowohl im Winter als auch im Sommer betrieben wird,
- eine Wärmepumpe mit einem Rohrbündelwärmetauscher, der im Winter als Verdampfer und im Sommer als Kondensator betrieben und mit Wasser über eine Saugleitung versorgt wird (Ansaugung von Wasser aus einem Wasserbecken über eine Saugvorrichtung),

vor dem Hintergrund der gemessenen Temperatur der Oberflächengewässer, würde sie sich durch eine hohe Effizienzleistung (COP) auszeichnen, wobei man darauf hinweisen muss, dass die Anlagen mit einem Zwischenkreislauf oder

mit der Wasserförderung zum Maschinenraum mit der Wärmepumpe zum Wärmeaustauscher eher für Verbraucher mit einem großen Bedarf nach Heiz-/Kühlleistung und nach Warmwasseraufbereitung, wie für öffentliche Gebäude (wie Schulen, Ämter, Kirchen, Bürogebäude, Sporthallen), sowie ganzjährige Unterkünfte (Pensionen, Hotels) gedacht sind.

Die Anlagen, die auf der Technik der direkten Verdampfung/Verflüssigung des Kältemittels im Wasser zurückgreifen, eignen sich optimal für kleinere Haushalte, Einfamilienhäuser, Campings, Marinas, Restaurants und Gastronomie, die direkt an Ufern der Gewässer, sowohl im Winter, als auch im Sommer liegen.

Es soll darauf hingewiesen werden, dass eine höhere kostenbezogene (wirtschaftliche) Effizienz der Wärmepumpen im Vergleich mit anderen Heizsystemen für die Übergangsjahreszeiten zu verzeichnen ist, d. h. für die Klimazone des Gebiets MoRE – im Frühling und Herbst. Diese Perioden zeichnen sich durch große Schwankungen der Außentemperatur im Tagesverlauf (Temperaturunterschied nachts- und tagsüber), wodurch die Verbraucher dazu gezwungen werden, Heizungen zwecks der Kompensierung von Wärmeverlusten zu aktivieren. Die in diesen Jahreszeiten anhaltenden relativ hohen Temperaturen von Luft, Wasser und Boden tragen zur hohen Effizienzleistung der Wärmepumpen wesentlich bei. Bei einer Luft-Wasser-Wärmepumpe kann die Anlage beispielsweise am Tag, also zwischen 12.00 und 17.00 betrieben werden, wenn die Temperatur noch hoch ist (bis zu 15 °C im Oktober) und dann die Wärme dem Warmwasserpuffer zuführen. Dieses Wasser kann anschließend für Heizzwecke und als Warmwasser verwendet werden. Statistisch gesehen ist der Wasserverbrauch in der Klimazone südlicher Ostsee vormittags, also zwischen 7 und 11 Uhr, sowie abends zwischen 19 und 22 Uhr am höchsten. Bei solchen Bedingungen kann die Wärmepumpe in der monovalenten Betriebsart (ohne dass die obere Wärmequelle aktiviert werden kann) betrieben werden und deckt 100% des Bedarfs nach Wärme- oder Kälteleistung ab.

Auch im Sommer (die warme Jahreszeit) ist das Potenzial für die Nutzung der Wärmepumpen nur für die Aufbereitung von Warmwasser (Entnahme der Wärme aus dem Gewässer) vorhanden. Für diesen Zweck können auch Seen in Anspruch genommen werden, weil die Entnahme der Wärmeleistung und die daraus folgende Abkühlung von Wasser im Gewässer (hauptsächlich kleinere Binnengewässer) seinen Zustand positiv beeinflussen kann, insbesondere durch die Hemmung der Eutrophierung.

Bei Messung der Temperatur an spezifischen Orten haben wir auch den Temperaturgradient in Richtung des Bodens untersucht. Im Sommer in den

meisten Fällen war der Unterschied zwischen der Wassertemperatur am Boden und der Wassertemperatur an der Oberfläche nicht größer als 1 °C (maximale Tiefe der Messstelle betrug 3 m). Beim Einsatz einer Wärmepumpanlage, bei der Wasser über Rohrleitungen in einen Wärmeaustauscher gefördert werden müsste, wäre diese Korrelation von Vorteil. Der Entnahmestutzen kann z. B. 2 Meter unterhalb der Wasserfläche installiert werden. Durch eine solche Technik kann die Qualität von Wasser, das zum Wärmeaustauscher zwecks Verdampfung/Verflüssigung zugeführt wird, einfach verbessert werden, weil die meisten Organismen, die den biologischen Film absetzen können, direkt an der Wasserfläche schweben.

In der Wintersaison überschritt das Temperaturgefälle an den Messstellen 2 °C nicht. Dabei muss man beachten, dass dieses Verhältnis indirekt proportional zum Temperaturgradient von Wasser in der Sommersaison war. Das Wasser in der Nähe der Oberfläche wies die niedrigste Temperatur, und das Wasser am Boden des jeweiligen Wasserbeckens war in vielen Fällen höher. Die Ursache für so eine Temperaturverteilung in einem Wasserbecken im Winter ist zum Teil auf die Vereisung der Wasseroberfläche zurückzuführen. Durch Konvektion sammelt sich das Wasser mit der höchsten Dichte (ca. 4 °C) am Boden des Beckens. Unter diesen Umständen soll Wasser möglichst nah am Boden des Beckens entnommen werden. Bei einer erheblichen Vereisung sollen technische Maßnahmen getroffen werden, um das Ansaugrohr (bei einer Anlage im Freien) vor den Auswirkungen von Treibeis zu schützen.

Wie die Auswertungen der Wasser- und Lufttemperaturmessungen an den ausgewählten Stellen der Pilotuntersuchungen, die Messungen der physikalisch-chemischen Eigenschaften von Wasser sowie Auswertung den Trends im Zusammenhang mit der Vereisung zeigen, kann der Einsatz von wasserversorgten Wärmepumpen zu Kühl- und Heizzwecken sowohl aus ökologischer als auch aus finanzieller Sicht messbare Vorteile bringen. Die Erhöhung der Anzahl solcher Anlagen und deren Anteils an der Gesamtzahl der Wärme-/Kühlgeräte im MoRE-Gebiet kann direkt und indirekt zur Verbesserung der Luftqualität beitragen, indem die Emissionen von Kohlendioxid und anderen schädlichen Stoffen aus der Verbrennung fossiler Brennstoffe verringert werden. Darüber hinaus kann der entsprechende Aufbau des Versorgungssystems für die Wärmepumpen mit Strom aus Photovoltaikzellen oder bestehenden Windparks (die die vorhandene Infrastruktur nutzen) dazu führen, dass diese Anlagen Energie in Form der Wärme und Kälte liefern werden, die 100% aus erneuerbaren Energien gewonnen wird. Durch die Reduktion von Emissionen und durch den Einsatz von

modernen innovativen grünen Technologien für die Gewinnung der Wärme- und der Kälteleistung wird zur Verbesserung der Konkurrenzfähigkeit der Inseln im Vergleich zu anderen Küstenregionen führen.

Das untersuchte Gebiet weist in Hinsicht auf die Umwelt- und geografische Bedingungen ein großes Potenzial für die Implementierung und den Aufbau von Heiz- und Kühlanlagen, die auf die Nutzung der erneuerbaren Energie setzen.

Alle diese Maßnahmen befolgen der Verordnung des Europäischen Parlaments und des Rates (EU) Nr. 2021/1119 vom 30. Juni 2021, die Rahmen zur Erzielung der Klimaneutralität festsetzt und die (EG)-Verordnungen Nr. 401/2009 und (UE) 2018/1999 ändert („Europäisches Klimagesetz"). Diese Verordnung tritt am 29. Juli 2021 in Kraft und legt den Mitgliedsstaaten der EU eine Verpflichtung auf, die Emissionen von Treibhausgasen bis 2030 um mindestens 55% zu senken (in Bezug auf die Werte von 1990) und dass die EU 2050 klimaneutral wird.

Swinemünde – Beleuchtungs-Masterplan

Piotr Ratajkiewicz[1], Marcin Ciupak, Konrad Rychlik,
Magdalena Pożarowszczyk, Mateusz Cieślik,
Agnieszka Wawiórko, Karolina Kurtz-Orecka[2]
Studio DL sp. z o.o. [1] *Technische Universität Posen;*
[2] *Westpommersche Technische Universität Stettin*

Einleitung

Die Hauptaufgabe der städtischen Beleuchtung besteht darin, den Bewohnern nach Einbruch der Dunkelheit ein Gefühl der Sicherheit zu vermitteln und die Kriminalität einzudämmen, aber darüber hinaus spielt die Beleuchtung eine äußerst wichtige Rolle für die räumliche Wahrnehmung – sie ist ein wertvolles Bindemittel der Stadt. Das nächtliche Bild einer Stadt wird durch drei Beleuchtungsgruppen geprägt und zwar die funktionale, werbende und repräsentative Gruppe [1]. Nach Einbruch der Dunkelheit ist es die Beleuchtung, die es ermöglicht, das Bild eines Raumes zu lesen, es zu komponieren und die Aufmerksamkeit des Betrachters auf ausgewählte Elemente zu lenken. Durch ihre Eigenschaften verstärkt sie die Atmosphäre des Ortes – das emotionale Empfinden der Umgebung. Zudem beeinflusst sie den mentalen Zustand und die Stimmung der Nutzer des städtischen Raums und erfordert daher eine sorgfältige Planung. Fehler bei der Planung der Beleuchtung öffentlicher Räume können zu drei Arten von Gefahren führen [1]: ästhetische, ökologische und psychophysische.

Voraussetzung für die erfolgreiche Integration einer Stadt durch Licht ist die Erstellung einer umfassenden Lichtplanung [1]. Im Falle von Swinemünde, das auf drei Inseln liegt und spezifische Gebiete umfasst, die durch die vorherrschenden stadtbildenden Funktionen (Industrie, Tourismus, Kurort, Hafen, Marinestützpunkt) und die räumlichen Auswirkungen der historischen und städtischen Entwicklung (Kurpark in seiner ursprünglichen Funktion der Bindung und Entwässerung von Neuland – Poldergebiete aus der Zeit der Aufstauung des Flusses Swine zu Schifffahrtszwecken) geprägt sind, ist die Einführung von Lösungen erforderlich, die die Identifizierung der Stadt und die Schaffung ihres Images, die konsequente Gestaltung des Raums mit Licht und seine Verschönerung ermöglichen. Andererseits lassen sich so die vielen Gesichter ein und derselben Stadt gestalten. Die multidirektionale Erreichbarkeit der Stadt, die sich von den Landwegen bis hin zu den für diesen Standort besonders wichtigen

Wasserwegen erstreckt, führt zu einer vielschichtigen und facettenreichen Wahrnehmung von Swinemünde je nach gewähltem Betrachtungspunkt. Sie wird vom Land, aber auch vom Wasser aus – dem Meer, der Wasserstraße und den vielen Windungen des alten Flussbettes wahrgenommen.

Swinemünde bietet aufgrund ihrer Lage und natürlichen Schönheit ein großes Potenzial für nächtliche Besichtigungen. In diesem Aufsatz werden ausgewählte Aspekte der Gestaltung des nächtlichen Stadtbildes vorgestellt, die im Rahmen des Beleuchtungs-Masterplans für Swinemünde [2] entwickelt wurden. Die Grundannahme des entwickelten Konzepts zur Modernisierung der Nutz- und Repräsentationsbeleuchtung der Stadt war es, die Qualität des städtischen Raums zu verbessern, die Identifizierbarkeit einzelner Bereiche von Swinemünde zu erhöhen, das Interesse auf ausgewählte Objekte und den Verkehr in bestimmte, für die Stadt wichtige Richtungen zu lenken und das energetische und ökologische Potenzial aufzuzeigen, das in der Modernisierung der Stadtbeleuchtung steckt.

Abb. 1. Analyse des Stadtplans von Swinemünde samt Markierung der für die nächtliche Wahrnehmung der Stadt wichtigen Räume [2]

Das Konzept für die Modernisierung der Stadtbeleuchtung in Swinemünde wurde unter Berücksichtigung der so genannten DNA-Regeln erstellt:

- Regel 1 – Echtheit,
- Regel 2 – Konformität der Leuchttypen und Mastfarben,
- Regel 3 – Lichtkonformität,
- Regel 4 – Raumgestaltung mittels Licht.

Regel 1

Es wurde davon ausgegangen, dass Regel 1 – Echtheit – den klassischen und romantischen Geist des Ortes – Swinemünde, einer vielseitigen und facettenreichen Stadt – zum Vorschein bringen sollte. Seine Umsetzung sah vor, die zum Meer und zur Promenade führenden Verkehrswege hervorzuheben, die städtischen Räume – das Zentrum und seine Umgebung – durch die Freilegung des Wasserpanoramas der Stadt zu differenzieren (Abb. 1) und die nächtliche Wahrnehmung der wichtigen Einrichtungen der Stadt zu ermöglichen (Abb. 2).

Abb. 2. Verbesserung der Wahrnehmung wichtiger Objekte durch den Einsatz von geeigneten Lichtspielen [2]

Regel 2

Regel 2 sieht die Hervorhebung von Verkehrswegen, die für die Wahrnehmung des Stadtraums wichtig sind, durch die Verwendung unterschiedlicher Leuchttypen und Farben von Straßenbeleuchtungsmasten in separaten Zonen vor. Im Falle von Swinemünde wurden fünf räumliche Zonen identifiziert, die durch die Beleuchtungstechnik hervorgehoben werden. Dazu zählen:

- Zone 1 – unbebautes Land, Zufahrtsstraßen, Land auf der Insel Karsibór,
- Zone 2 – Zentrumsbereich und die Hauptzufahrtsstraßen zum Zentrum,
- Zone 3 – Wohngebiet,
- Zone 4 – Küstengebiet,
- Zone 5 – Kurort.

Regel 3

Gemäß Regel 3 – Beleuchtungsordnung – war vorgesehen, einzelne Räume der Stadt mit einer voreingestellten Farbtemperatur (im Bereich von 2.200 K bis 5.500 K) und Lichtverteilungsmethode zu beleuchten (Abb. 3). Ziel dieser Maßnahme ist es, die Merkmale der ausgewählten Gebiete hervorzuheben, um den Nutzern eine räumliche Orientierung zu ermöglichen.

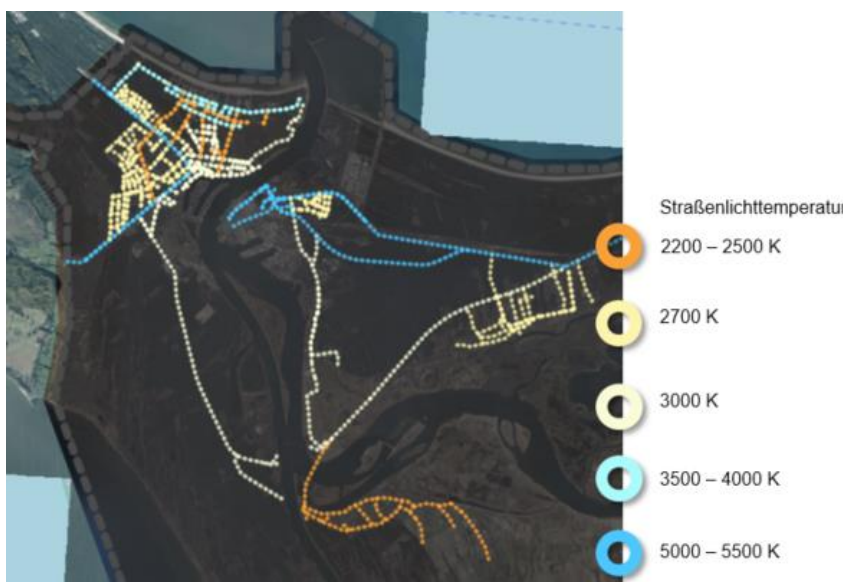


Abb. 3. Konzept für die Zuordnung der Farbtemperatur von Nutzlichtquellen zu ausgewählten Bereichen der Stadt [2]

Regel 4

Die Einführung der Regel 4 – Gestaltung mittels Licht – durch die Einführung von Lichtkompositionen, Beleuchtungen und Beleuchtungsdetails soll die Identitätselemente der ausgewählten Räume auf dem Stadtplan hervorheben (Abb. 4 und 5). An den ausgewählten Orten soll die Wirkung eines ausgedehnten Sonnenuntergangs durch den Einsatz von warmen Lichtfarben, Hell-Dunkel-Spiel, Beleuchtung von unten mit Akzentbeleuchtung und oberen Teilen der Objekte zum Ausgleich der Schatten erzielt werden.

Abb. 4. Konzeptannahmen für die Beleuchtung ausgewählter Stadträume [2]

Es wurde eine geschlossene Liste von Objekten angenommen, die mit repräsentativem Licht zu beleuchten sind. Bei der Typisierung wurden historische, semantische und ortsbezogene Aspekte berücksichtigt, insbesondere bei der multidirektionalen Interpretation der Stadtsilhouette. Als wichtig für die Gestaltung des „nächtlichen Stadtbildes“ wurden folgende Punkte genannt:

Es wurde eine geschlossene Liste von Objekten angenommen, die mit repräsentativem Licht zu beleuchten sind. Bei der Typisierung wurden historische, semantische und ortsbezogene Aspekte berücksichtigt, insbesondere bei der multidirektionalen Interpretation der Stadtsilhouette. Als wichtig für die Gestaltung des „nächtlichen Stadtbildes“ wurden folgende Punkte genannt:

- Mühlenbake,
- Leuchtturm von Swinemünde,
- erhaltene Befestigungsanlagen: Engelsburg, Westburg und die sog. Gerhard-Burg,

- Hafenmeisterbüro,
- Postamt Nr. 1,
- Seefischereimuseum in Swinemünde (ehemaliges Rathaus),
- Kirchen: Christkönigskirche, Kirche der Unbefleckten Empfängnis der Heiligen Jungfrau Maria, römisch-katholische Kirche der Jungfrau Maria Stern des Meeres,
- Turm der Martin-Luther-Kirche,
- Langzeitpflegeeinrichtung „Fregata“,
- Konzertmuschel,
- Kurort „Bursztyn” in Swinemünde,
- Gradierwerke.

Abb. 5. Beleuchtungskonzepte für ausgewählte Räume auf dem Stadtplan [2]

22 Wahrzeichen auf der Landkarte von Swinemünde wurden ebenfalls als wichtig für die räumliche und identitätsstiftende Wahrnehmung der Stadt eingestuft, darunter:

- Mühlenbake,

- Tunnel unter der Swine (im Bau),
- Nordbecken mit Jachthafen,
- Stadtzentrum – Panorama über der Swine,
- Seefischereimuseum in Swinemünde (ehemaliges Rathaus),
- Kurpark und Frederic-Chopin-Stadtpark,
- U-Boot-Hafen (Karsibór),
- Städtisches Kulturzentrum Warszów – als Zentrum des sozialen Lebens der Wohnsiedlung,
- Aussichtspunkte – Glockenbunker und Turm der Martin-Luther-Kirche,
- Konzertmuschel.

Es wurden auch städtische Innenräume identifiziert: Promenade, Gesundheitspromenade, Slawischer Platz, Freiheitsplatz, Fischerplatz, Kirchplatz, Adam-Mickiewicz-Platz, Malczewski-Spielplatz, Boulevards an der Swine, Olga- und Andrzej-Małkowski-Platz, Platz der polnischen Kombattanten, Platz des Weißen Adlers, Platz der nach Sibirien Deportierten und die Musikmuschel.

Die Abbildungen 6–10 zeigen ein Beispiel für eine detaillierte Analyse des Beleuchtungskonzepts für die repräsentative Beleuchtung des Freiheitsplatzes in Swinemünde in Form von sogenannten Anforderungsblättern, die für alle Räume und Objekte entwickelt wurden, die für die Schaffung eines „nächtlichen Stadtbildes“ wichtig sind.

Abb. 6. Freiheitsplatz – Aufwertung der den Platz umgebenden Gebäude [2]

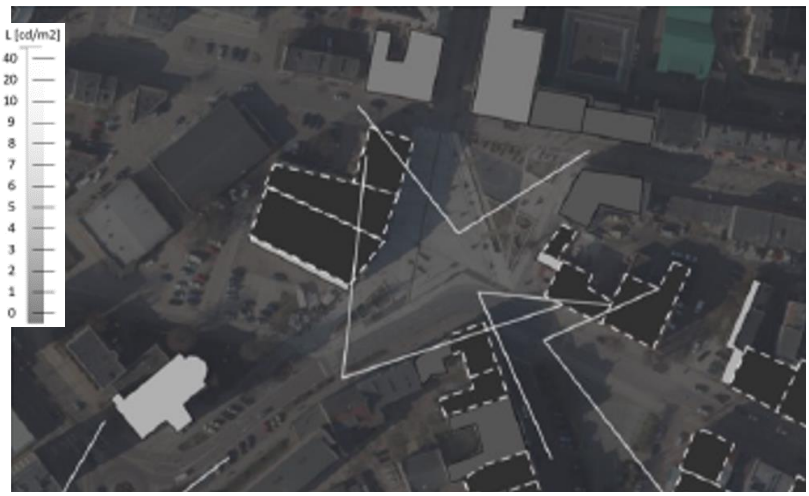


Abb. 7. Konzept für die Beleuchtung des Stadtraums von Swinemünde – Freiheitsplatz [2]

Abb. 8. Farbtemperaturkarte der Objekte – Freiheitsplatz [2]

Abb. 9. Visualisierung der Beleuchtung des Freiheitsplatzes [2]

Die für die Standorte entwickelten Anforderungsblätter zeigen die durchschnittlichen Leuchtdichtewerte der jeweiligen Fassaden. Das bedeutet, dass die Fassaden vor Ort sowohl höhere als auch niedrigere Werte aufweisen können als die auf den Karten angegebenen. Lichtakzente sollten das 2–3-fache des Durchschnittswerts bzw. bei starken Akzenten das 4–6-fache der Leuchtdichte haben. In besonderen Fällen, z. B. bei künstlerischen Aktivitäten, kann die Leuchtdichte bis zum 10-fachen des Durchschnittswerts betragen. Die Tabellen 1 und 2 zeigen die Objekthierarchie und die angewandten Beleuchtungsregeln.

Tab. 1. Angenommene Hierarchie und Beleuchtungsregeln – durchschnittliche Leuchtdichte der Objekte [2]

Durchschnittliche Objekt-leuchtdichte, cd/m^2	Beschreibung
0,5–1,5	sanfter, normaler Lichtschleier
1,5–2,5	Umschließung von Plätzen (Fassaden von Stadthäusern, die Plätze umschließen), wichtige Objekte – starker Lichtschleier
2–3	beleuchtete Objekte, mit niedrigstem Hierarchiegrad
3–5	beleuchtete Objekte, mit durchschnittlichem Hierarchiegrad
5–15	beleuchtete Objekte mit höchstem Hierarchiegrad, Objekte an den Enden der Sichtachsen
0–50	Kunst, künstlerisches Ausdrucksmittel

Tab. 2. Angenommene Hierarchie und Beleuchtungsregeln – Kontrast [2]

Kontrast	Beschreibung	Anwendungsbeispiel
1 : 1	gleichwertige Objekte	Mietshäuser auf Plätzen und an Straßenfronten
1 : 2 1 : 3	prägnante Objekte	Objekte, die in der Hierarchie höher angesiedelt sind oder das Stadtbild prägen
1 : 4 1 : 5	Plastifizierung des Bildes	ausgewählte Lichtakzente
1 : 10	besondere Fälle	Objekte, die besonders hervorgehoben werden müssen

Allgemeine Beleuchtungsvorgaben

Zusätzlich zu den Anforderungsblättern für die Beleuchtung der betreffenden Einrichtungen wurden Beleuchtungsrichtlinien eingeführt, die sich auf folgende Bereiche beziehen: Einrichtungen, Leuchten, Steuerung und Elektroinstallation.

Richtlinien für die zu beleuchtenden Objekte [2]:

- je höher der Gebäudeabschnitt, desto höher die Farbtemperatur der Lichtquelle (kühleres Weiß),
- Sonnenuntergangskonzept – Verwendung von warmen Streifen auf den Dächern von Gebäuden, ausgewählten Fassaden und Dächern,
- Einführung blauer Akzente für Hafen- und Küstenanlagen, die das Stadtbild prägen,
- Die natürliche Form des Objekts, seine Tektonik, wird freigelegt und seine Plastizität und Vielschichtigkeit hervorgehoben,
- Eine Beleuchtung, die das Bild des beleuchteten Objekts und seiner Details verzerrt, wird als inakzeptabel bezeichnet,
- Die Spitzen der dominanten Höhen sollten von allen Seiten beleuchtet werden, um die Orientierung zu verbessern und das nächtliche Stadtbild aufzuwerten,
- Subtile Farbkontraste, die auf der Farbtemperatur des weißen Lichts basieren (z. B. auf einer warm beleuchteten Fassade, neutrale Reliefbeleuchtung), sind zulässig,
- Die Einführung einer so genannten Hintergrundbeleuchtung als Basis für die Hauptbeleuchtung, die als Lichtschleier dienen kann (sanfte Beleuchtung der Fassade nach der Regel "mehr als Dunkelheit, aber weniger als Beleuchtung", ein "Lichtflimmern", das von Straßenleuchten stammen kann, deren Lichtstrom teilweise auf die Fassade fällt),
- Verringerung der Lichtverschmutzung in den Innenräumen von Wohngebäuden.

Die endgültige Wahl der Beleuchtungslösung für einzelne Objekte und städtische Innenräume erfordert Visualisierungen und Beleuchtungstests aufgrund der individuellen Eigenschaften der Objekte, einschließlich der unterschiedlichen Lichtreflexion.

Richtlinien für die zu verwendenden Leuchten [2]:

- Es sollte besonders darauf geachtet werden, dass nicht abgeschirmte Lichtquellen oder Leuchtreflektoren aus den Hauptblickrichtungen nicht sichtbar sind; um die Blendung zu minimieren, sind Blendschutzgitter, Klappen

zu verwenden und die Montagehöhe der Beleuchtungseinrichtungen entsprechend zu wählen,
- Alle Leuchten müssen sich so in die Umgebung einfügen, dass sie mit dem Mast oder der Fassade verschmelzen und bei Tag und nach Einbruch der Dunkelheit möglichst unsichtbar sind,
- Es sollte darauf geachtet werden, dass der Farbwiedergabeindex (Ra) von Lichtquellen nicht unter 70 und in besonderen Fällen zur Betonung von Oberflächenfarben nicht unter 90 liegt und dass das Farbspektrum der verwendeten Produkte reproduzierbar ist,
- Bei der Planung der Beleuchtung eines Standorts sollte die Beleuchtung der unmittelbaren Umgebung des Standorts, insbesondere die Beleuchtung in der Nähe, in die Analyse einbezogen und in der Planung dokumentiert werden, um die Integrität des Standorts zu wahren.

Vorgaben zur Steuerung und Elektroinstallation [2]:
- Es ist ratsam, die elektrische Installation der Gebäudebeleuchtung vom Stromnetz der Straßenbeleuchtung zu entkoppeln,
- Alle für die Beleuchtung verwendeten Leuchten müssen DMX-steuerbar sein (bedingt DALI); schließlich sollte jeder Standort in ein zentrales Beleuchtungssteuerungssystem (CSSI) integriert werden, das die Fernverwaltung der Anlagen in der Stadt ermöglicht,
- CSSI muss die Programmierung und das synchrone Abspielen von Beleuchtungsszenarien ermöglichen,
- Die Beleuchtung sollte je nach Szenario nachts reduziert und/oder ausgeschaltet werden.

Vorgaben für die Stadtbeleuchtung:
- Verringerung von Lichtsmog und Lichtverschmutzung,
- Einschränkung der Himmelsausleuchtung,
- Einschränkung des Eindringens von Licht in bewohnte Gebäude,
- Einhaltung der gesetzlich festgelegten Beleuchtungsnormen,
- Begrenzung der Nutzungszeit der Beleuchtung auf die Nutzungszeit des betreffenden Raums,
- Verringerung des Einsatzes schädlicher Materialien in den technischen Komponenten von Leuchten,
- Verwendung von Leuchten mit einer effektiven Lichtverteilung,
- Minimierung des Energieverbrauchs durch den Einsatz energieeffizienter Leuchtmittel und die Reduzierung der Wattleistung der installierten Leuchten,

– Verwendung von Lösungen, die die Auswirkungen der Beleuchtung auf die Flora und Fauna der lokalen Ökosysteme minimieren.

Energiepotenzial für den Austausch der Straßenbeleuchtung in Swinemünde

Derzeit sind in der Stadt 5172 Straßenleuchten inventarisiert worden, von denen die meisten, nämlich 60 %, mit Entladungslichtquellen ausgestattet sind: Natriumdampf (55 %), Halogenmetalldampf (4 %) und etwas mehr als 1 % Leuchtstofflampen. 40% machen Lampen mit LED-Lichtquellen aus (Tab. 3). Bei Untersuchungen ausgewählter Gebiete der Stadt Swinemünde, die einer Überprüfung der Beleuchtungsparameter unterzogen wurden, wurde eine Überbelichtung von bis zu 200–300 % im Vergleich zu den geltenden Vorschriften festgestellt.

Tab. 3. Quellen der Straßenbeleuchtung in Swinemünde – Schätzung des Energieeinsparpotenzials für die Stadtbeleuchtung durch Modernisierung der verwendeten Lichtquellen [3]

Lichtquellen	Im aktuellen Zustand	Nach der Modernisierung	
		ohne Steuerung	mit intelligentem Steuerungssystem
INSGESAMT	5172	5172	5172
Natriumdampf	2855	0	0
Halogenmetalldampf	196	0	0
Fluoreszierend	70	0	0
bestehende LED	2051	2051	2051
neu installierte LED	0	2979	2979
Gesamtstromverbrauch	529,43 kW	243,26 kW	195,89 kW

Die durchgeführte Energieanalyse ergab ein hohes Einsparpotenzial für die Beleuchtung der Stadt, wenn Entladungslampen durch LED-Lampen ersetzt werden. Ohne zusätzliche Lichtmanagementsysteme liegen die geschätzten Energieeinsparungen bei etwa 53 %, mit intelligenter Lichtsteuerung sind nachweislich Einsparungen von 63 % möglich, mit zusätzlichen Anpassungen an bestehenden Leuchten mit LED-Lichtquellen sogar bis zu 70 % [3].

Modernisierung der Straßenbeleuchtung in Swinemünde – Leitlinien

Bei der Planung von Straßenbeleuchtungen ist es wichtig, zunächst die festgelegten Beleuchtungsziele zu verfolgen und dann nach Gerätelösungen zu suchen, die einen möglichst geringen Stromverbrauch gewährleisten. Auch der Einsatz von Lichtsteuerungssystemen ist in diesem Bereich von großer Bedeutung, sowohl bei bestehenden als auch bei neu geplanten Anlagen.

Bei bestehenden Beleuchtungsanlagen, die in den letzten Jahren auf LED-Technik umgerüstet wurden, sollten Beleuchtungsmessungen in Form von Leuchtdichten oder Beleuchtungsstärken durchgeführt und dann mit den Anforderungen für die Straße oder den Raum verglichen werden.

Im Zusammenhang mit dem Problem der Überbelichtung von Verkehrswegen, das an Orten festgestellt wurde, an denen in den letzten Jahren eine Umrüstung der Straßenbeleuchtung vorgenommen wurde, und der gleichzeitigen Feststellung der Betriebsbereitschaft für den Einsatz von Straßenbeleuchtungssteuerungen wird darauf hingewiesen, dass es ratsam ist, die bereits umgerüsteten Leuchtmittel weiter zu verbessern. Gleichzeitig wird die Notwendigkeit hervorgehoben, auf die Merkmale des Kommunikationssystems zu achten, d. h. auf geeignete Kommunikationsprotokolle für die Steuerung der Beleuchtung – API-Protokolle und den TALQ-Standard. Damit ein Lichtmanagementsystem seine Aufgabe erfüllen kann, wird eine maximale Anzahl von zwei Bedienern empfohlen.

Es wird empfohlen, Beleuchtungsanlagen, die erneuerbare Energiequellen zur Stromversorgung nutzen, nur in wirtschaftlich begründeten Fällen zu bauen. Die in Polen am weitesten verbreiteten Hybridanlagen basieren auf Strukturen, die Energie aus Photovoltaik-Paneelen und Mini-Windturbinen in Verbindung mit einer Batterieeinheit für die Stromversorgung der Leuchte nutzen. Die Kapazität dieser Art von Anlagen erweist sich in der Praxis unter den für den südlichen Ostseeraum typischen klimatischen Bedingungen als unzureichend, um den Energiebedarf für die Straßenbeleuchtung in der Zeit vom Spätherbst bis zum Frühjahrsbeginn zu decken. An Standorten, an denen der Anschluss an das Stromnetz sehr kostspielig wäre, kann die angegebene Einschränkung jedoch durch die wirtschaftliche Gesamtkalkulation und die Vorteile einer Beleuchtung, selbst für einen Teil des Bedarfs, ausgeglichen werden.

Zusammenfassung

Die öffentliche Beleuchtung spielt eine besondere Rolle bei der Gestaltung des städtischen Gefüges und wirkt sich unmittelbar auf die Art und Weise aus, wie es genutzt wird. Richtig angeordnetes künstliches Licht beeinflusst das Bild,

das dem Betrachter geboten wird. Licht schafft die Identität eines Ortes, prägt die Funktionen eines Raumes und beeinflusst die Art und Weise, wie die Nutzer ihre Umgebung wahrnehmen. Neben den grundlegenden Aufgaben des Lichts, die darin bestehen, bei Dunkelheit für Sicherheit und Sichtbarkeit zu sorgen, ist die Erzeugung von Werten und Stimmungen ein gleichberechtigtes Ziel der Beleuchtung. In dem qualitativen Stadtgefüge, das Swinemünde ihren Einwohnern serviert, sollte Licht als Bindemittel und Baustein fungieren, die die Wahrnehmung von Swinemünde durch Touristen, aber auch die Verbesserung des Lebens der Bewohner ermöglichen.

Literaturverzeichnis

1. Bartnicka M., Światło w architekturze i urbanistyce – niedoceniane spoiwo miasta, „Budownictwo i Architektura", 2017, 16(1), 139–151.
2. Beleuchtungs-Masterplan für die Stadt Swinemünde. Studio DL Sp. z o.o., Warschau 2022.
3. Energieeffizienz-Audit für die Straßenbeleuchtung in der Gemeinde Swinemünde.
4. Emissionsfaktoren von CO_2, SO_2, NO_x, CO und Gesamtstaub für Elektrizität auf Grundlage von Informationen aus der Nationalen Datenbank für Emissionen von Treibhausgasen und anderen Stoffen für das Jahr 2020. Nationales Zentrum für Bilanzierung und Emissionsmanagement. Institut für Umweltschutz. Nationales Forschungsinstitut. Warschau, Dezember 2021.

Konzept für die Energiewende im Bereich der Einschränkung von Abgasemissionen durch die Verbrennungsfahrzeuge am Beispiel der Stadt Międzyzdroje (Misdroy)

Bartosz Jarecki, Jakub Piecuch, Maria Zych-Lewandowska,
Krzysztof Ruciński, Bartłomiej Kasiuk, Jakub Balik, Macieja Mysona
Team der Wirtschaftsberater der GmbH TOR sp. z o.o.

Einleitung

Die saisonale Gestaltung des Fremdenverkehrs stellt die Küstengebiete vor ein Dilemma in Bezug auf die Entwicklung der Infrastruktur und deren Auslastung. In der Hochsaison übersteigen die Nachfrage nach den Transportmitteln, das Verkehrsaufkommen, sowie die Nachfrage nach Parkplätzen die Kapazität der bestehenden Infrastruktur. Der Ausbau der Infrastruktur, die den Spitzenbedarf abdecken muss, kann schnell zur Überdimensionierung der vorhandenen Infrastruktur führen, was mit hohen Investitions- und Betriebskosten, sowie mit fehlender Auslastung über das restliche Jahr hinaus einhergeht. Die Investitionen in Gebieten mit wertvollen Naturbeständen (und zu solchen Gebiet gehört auf jeden Fall die Gemeinde Międzyzdroje), sollen so umgesetzt werden, dass der Schaden für die Umwelt möglichst gering ist.

Durch den privaten motorisierten Verkehr der Einwohner entstehen für die kommunale Verwaltungsebene enorme Kosten (in finanzieller Hinsicht aufgrund des notwendigen Infrastrukturausbaus, durch Lärm und die Umweltverschmutzung sowie infolge der Verringerung der Sicherheit im Straßenverkehr). Die Nutzung aller denkbaren Transportmittel (wie Fahrrad, Fußgängerverkehr, Pkws, Busse) generiert Kosten, die sowohl die Einwohner, als auch die öffentliche Hand tragen müssen. Ein Teil dieser Kosten resultiert direkt aus dem Transportbedarf, wie z. B. Anschaffung der Fahrzeuge, Spritkosten, Ersatzteile, Abschreibung, Reisezeit, Errichtung und Instandhaltung des Verkehrsnetzes, Unfälle, Steuern und Abgaben. Der andere Kostenanteil betrifft die s. g. indirekten Kosten, u. a. Gesundheitswesen, Raum, Einfluss auf die Geschäftstätigkeit und soziale Aktivität der Einwohner, Umweltbelastung, Lärm und Energieverbrauch. Aus diesem Grund streben die meisten aktuellen Verkehrspolitiken Reduktion des anfallenden Autoverkehrs an. Die Öffentlichkeit muss für jeden ausgewiesenen öffentlichen Abstellplatz Kosten in Bezug auf die Errichtung und

Instandhaltung tragen, deswegen ist die marktgerechte Finanzierung von Parkplätzen optimal.

Die Schwächen der gesetzlichen Raumplanung führen dazu, dass die privaten Bauherren nicht dazu verpflichtet werden, sich an den Kosten für die Lösung der Verkehrsprobleme zu beteiligen, die sie selbst durch ihre Tätigkeit verursachen. Man kann natürlich argumentieren, dass die öffentliche Hand sie mit den Steuern finanzieren soll. Diese Einnahmen reichen aber nicht aus, um die Vorgaben der Verkehrspolitik umzusetzen. Die Küstengebiete stehen also vor einer Frage. Soll die öffentliche Hand die Verantwortung, sowie das finanzielle Risiko für die Lösung der Probleme in Bezug auf den Fremdenverkehr in der Hochsaison übernehmen und anschließend über das restliche Jahr hinaus die Kosten der überdimensionierten vorhandenen Infrastruktur tragen? Das gilt insbesondere für die Parkplätze. Wenn Fahrzeuge nicht an ausgewiesenen und dafür vorgesehenen Plätzen abgestellt werden können, dann werden sie meistens auf den Rasenflächen, Fußwegen oder an gefährlichen Stellen geparkt. Dies beeinträchtigt jedoch das Gesamtbild und die Raumnutzung des Ortes. Andererseits führen zu viele Abstellplätze dazu, dass extrem wertvolle Lagen und Bereiche mit zahlreichen natürlichen und touristischen Vorzügen nicht effektiv und bestimmungsgemäß genutzt werden.

In Bezug auf den Straßenverkehr gibt es einige Paradoxen, die man kurz zusammenfassen kann: Durch den Bau neuer Straßen und Parkplätze wird die Verkehrsüberlastung eher nur noch schlimmer. Die Kapazität DW102 entscheidet darüber, ob das Verkehrsaufkommen und die Anzahl der Fahrzeuge an einem Ort erhöht werden kann. Durch Errichtung von neuen Kreuzungen und Ausfahrten kann sich die Verkehrslage in einem Ort verschlechtern. Dies geschieht deswegen, weil die Kapazität des Verkehrsnetzes durch seine Bestandteile mit der niedrigsten Kapazität (s. g. Nadelöhre) definiert wird, die sich nur schwer umbauen lassen. Die Maßnahmen für die Deckung der Nachfrage, also der Bau von neuen und der Ausbau von bestehenden Straßen, Errichtung von Parkplätzen gehören zu äußerst kostspieligen Aufgaben.

In der Verkehrspolitik der meisten polnischen Gemeinden fehlt der Aspekt der Gestaltung der Nachfrage selbst, d. h. durch die Nutzung der Instrumente der Parkpolitik zur Gestaltung der Nachfrage nach Dienstleistungen in zeitlicher und räumlicher Hinsicht, sowie durch Förderung von alternativen Verkehrsmitteln als Privatfahrzeuge. Sowohl leer stehende, als auch voll belegte Parkplätze gehören zu Problemen der Parkpolitik. Wenn die Fahrer keinen freien Parkplatz finden können, beginnen sie, auf der Suche danach, herum zu kreisen und beeinträchtigen dadurch

den fließenden Verkehr. Oder auch sie stellen ihre Fahrzeuge an unzulässigen Stellen ab. Die Erfahrungswerte und die Forschung zeigen, dass die Belegungsrate von 80% bis 90% optimal ist.

Die kommunalen Behörden sollen ihre Politik an die Strategien des höheren Rangs, sowie an die europäischen Richtlinien anpassen. Das bedeutet, dass die Übereinstimmung der Maßnahmen in Bezug auf die Transportpolitik mit der Politik der nachhaltigen Mobilität und der Klimapolitik verifiziert werden muss. Praktisch bedeutet das, dass der Ansatz nach dem Motto: „Es gibt nicht genug Parkplätze, also lass uns neue bauen" heute nicht mehr ausreichend ist. Das bedeutet auch nicht, dass gar keine neuen Parkplätze gebaut werden sollen; diese sind unumgängliche und grundlegende Bestandteile der Verkehrsinfrastruktur. Jedes Vorhaben dieser Art muss im Rahmen einer bewussten und mehrdimensionalen Verkehrs- und Parkpolitik stattfinden [1–3].

Voraussetzungen für die Verkehrspolitik in strategischen Regelwerken

Sowohl in der *Landesstrategie für die Regionalentwicklung 2030*, als auch in der *Landespolitik für die Urbanisierung 2023* nehmen die Verfasser die negativen Folgen des stark wachsenden Verkehrsaufkommens wahr. Als Folgen werden u. a. negative Umweltauswirkungen, Verschlechterung der Lebensqualität infolge der längeren Anfahrtszeiten, sowie die Degradierung des städtischen Raums (wenn der motorisierte Verkehr sonstige Funktionen der Plätze und Straßen verdrängt) genannt.

Bezugnehmend auf die oben genannten Herausforderungen gemäß der Strategie sollen die Ziele der kommunalen Behörden auf die nachhaltige Mobilität der funktionellen Ebene der Stadt fokussiert werden. Damit werden so viele und so lange Fahrten verstanden, die die Bedürfnisse der Reisenden unter der Voraussetzung der plausiblen Nutzung der einzelnen Untersysteme des öffentlichen Nahverkehrs erfüllen. Um dieses Ziel zu erreichen, müssen vor allem die Verkehrsgewohnheiten der Menschen verändert werden, insbesondere in Hinsicht auf die Umkehrung des aktuellen Trends, also der immer wachsenden Abhängigkeit der Menschen von der täglichen Nutzung der Privatfahrzeuge für die Beförderung im städtischen Raum.

Laut der *Landespolitik für die Urbanisierung* [3] soll die Verkehrspolitik eindeutig auf das wichtigste Ziel der nachhaltigen Mobilität ausgerichtet und fokussiert werden. Die einzelnen Beschlüsse, Entscheidungen und die Initiativen der kommunalen Behörden, sowohl in Bezug auf den Verkehr und die städtische Mobilität, als auch die damit nur indirekt verbundene Ansätze, sollen zur Erfüllung

der im Rahmen der Verkehrspolitik festgelegten Ziele beitragen und sicherlich nicht damit im Widerspruch stehen.

Die Landespolitik für die Urbanisierung [3] führt in die strategische Planung des Staates den Vorrang der Zugänglichkeit vor der Mobilität ein. In Bezug auf die Investitionspolitik der Kommunen und Städte legt die Politik fest, dass die geplanten Verkehrsinvestitionen insbesondere darauf abzielen sollen, das bestehende Verkehrsnetz auszubauen, vor allem um die Lastkraftwagen und die Schwertransporte umzuleiten, so dass die bewohnten Gebiete entlastet werden. Der weitere Ausbau des bestehenden Verkehrsnetzes kann mit den Zielen der nachhaltigen Mobilität im Widerspruch stehen, und unter Umständen auch nicht die erwarteten Ergebnisse bringen. Die Instandhaltung und die Modernisierung des bestehenden Verkehrsnetzes soll mit den Prioritäten der kommunalen Verkehrspolitik und mit den Regeln für die Gestaltung des öffentlichen Raums in Einklang stehen.

Abb. 1. Beispiele für die Lösung der Probleme mit Parkplätzen, auf Grundlage von [4]

Die Landespolitik für die Urbanisierung [3] weist auch darauf hin, dass neue effektive Ansätze für die Parkpolitik entwickelt werden müssen. Ihre Anpassung

an die lokalen Gegebenheiten soll zur Verbesserung der Konkurrenzfähigkeit sonstiger Transportmittel, sowie der Parkplatzbelegung führen. Dabei spielt die Koordinierung mit den lokalen Unternehmen eine wichtige Rolle, so dass die Fragen in Bezug auf die Lieferungen geklärt werden. Durch solche Maßnahmen sollen die Stadtzentren belebt werden.

Anhand der durchgeführten Auswertungen strategischer Unterlagen kann man feststellen, dass die Beibehaltung (und insbesondere die Verstärkung) der bestehenden Aufgabenaufteilung in Bezug auf den Transport und Verkehr in der Stadt Międzyzdroje mit der Leitidee der Politik der nachhaltigen Entwicklung und den strategischen Feststellungen der städtischen Politik im Widerspruch steht. Das grundlegende Ziel der kommunalen Parkpolitik soll darin bestehen, das Interesse an alternativen Transportmitteln als Pkw zu stärken, die erlauben müssen, den Zielort problemlos zu erreichen. Die kommunale Strategie soll sich diesem Ziel unterordnen.

Trotz der erklärten Unterstützung der nachhaltigen Mobilität in den gestellten Anträgen auf die Mitfinanzierung, bei der Entwicklung von Strategien oder in Bezug auf die öffentliche Verkehrsmittel, wird die Beförderung von Personen oder Gütern in Polen weder für die Einwohner weniger belastend, noch für die Umwelt freundlicher. In den Jahren 2005 bis 2017 sind die Emissionen durch den Transportsektor in Polen um 76 % gestiegen, während sie in der restlichen EU in der Zeit um 3% gesunken sind. Das geschieht, obwohl die Transportinvestitionen, wie der Ausbau der Bahnstrecken, emissionsarme Busse, Park- und Ride-Knoten in der gesamten EU am stärksten befördert und mitfinanziert werden.

Polen – als ein wichtiges Mitglied der Europäischen Union – ist zur Umsetzung der Klimaziele verpflichtet. Für 2030 gilt für Polen die verbindliche Vorgabe von 7% Reduktion im Vergleich zum Jahr 2005 [5]. Dieses Ziel gilt für den gesamten Nicht-ETS-Bereich, also für Transport, Landwirtschaft, Abfallwirtschaft, industrielle Emissionen außerhalb von ETS sowie für den kommunalen Sektor. Die Emissionen in diesen Bereichen sind zu einem hohen Ausmaß von den lokalen und kommunalen Behörden abhängig. Der Transport ist der wichtigste Emittent in diesem Bereich und der einzige, bei dem heutzutage keine realen Perspektiven für die Reduktion erkennbar sind.

Dass die Klimaziele schnell durch freiwilligen Austausch von Fahrzeugantrieben bei fehlenden sonstigen Maßnahmen im Transportsystem erreicht werden können, ist ein eher wenig wahrscheinliches Szenario. Die Preise der Alternativkraftstoffe und der alternativ angetriebenen Fahrzeuge werden nicht

schnell genug fallen, um die gesamten Flotten von (häufig veralteten) Verbrennungsfahrzeugen gegen Plug-in-, Elektro- oder wasserstoffangetriebene Fahrzeuge bei der Beibehaltung der aktuellen Trends in Bezug auf die Gewohnheiten und die räumliche Entwicklung austauschen zu können. Die mit der Emission einhergehenden Probleme werden durch den technologischen Fortschritt nicht genug schnell gelöst.

Die kommunale Ebene trägt einen großen Anteil an der Verantwortung für die Sicherstellung der nachhaltigen Mobilität, weil diese über die entsprechenden Instrumente verfügt, die die räumliche Politik und das Verhalten bei täglichen Fahrten gestalten können. Die Mobilitätspolitik des gesamten Landes wird eben auf der lokalen Ebene durch die Führung von Fußgänger- und Radwegen, Investitionen in die öffentlichen Verkehrsmittel und die Parkpolitik gestaltet. Auch die Fragen, die vermeintlich nicht unter die kommunalen Kompetenzen fallen, stehen damit in Verbindung, wie die Beliebtheit und die Auslastung der Bahn, sowohl bei der Beförderung von Personen, als auch von Waren, die sich weitgehend auf die räumliche Politik und effektive Integration von Maßnahmen auf nationaler, regionaler und lokaler Ebene zurückführen lassen.

Systembasierte Lösungen für die Verkehrsprobleme in Küstenregionen

Die Herausforderungen in Bezug auf die Verkehrsfragen lassen sich nur durch eine umfassende, systembasierte Herangehensweise lösen. Als grundlegend für die Verkehrspolitik können die folgenden Instrumente genannt werden:

- die auf den öffentlichen Verkehr ausgerichtete Stadtplanung,
- die Einbindung der nachhaltigen Mobilitätsangebote in die Tourismus- und Informationspolitik,
- Einsatz der dynamischen Parkleitsysteme,
- die Integration der Verkehrsmittel im räumlichen Zusammenhang, auch in Bezug auf die Zugänglichkeit der Auskunft und Tarife,
- die Errichtung der Pufferparkplätze (P+R),
- die Festlegung von Umweltzonen und Mautgebühren.

Das grundlegende Instrument zur Lösung von Beförderungsproblemen ist die Planung von Neubaugebieten und deren Erschließung an den öffentlichen Verkehr. Nicht nur die Bauträger oder die Bauherren sollen über die Standorte ihrer Bauinvestitionen entscheiden. Diese sollen vor allem auf umfassenden Instrumenten der räumlichen Planung basieren, die auch den öffentlichen Verkehr berücksichtigen. Die in Küstengebieten liegenden Kommunen greifen oft

auf das Potenzial der Schienenbeförderung zurück. Alle größeren Orte auf Usedom sind über die Bahn oder Buslinien erschlossen.

In der Nähe des Ortes Heringsdorf gibt es sechs Bahnhaltestellen. Die Haltestellen sind so angeordnet, dass die meisten Bewohner und Besucher die Bahn komfortabel nutzen kann. Die Bahn zwischen Świnoujście und Zussow verkehrt im Stundentakt.

Die Abstimmung der touristischen Angebote mit den Mobilitätsangeboten gehört zweifellos zu den Instrumenten, mit deren Hilfe die Politik der nachhaltigen Mobilität umgesetzt werden kann. Hinweise zu alternativen Anfahrtsmöglichkeiten nach Międzyzdroje sollen überall dort sichtbar und vorhanden sein, wo die potenziellen Besucher nach Informationen über die Sehenswürdigkeiten und Unterkünfte suchen. Auf der Internetseite www.baumwipfelpfade.de auf der Insel Usedom werden in der ersten Reihe die nachhaltigen Verkehrsmittel genannt: Wanderwege, Fahrradwege, öffentlicher Nahverkehr, Bahn und erst zweitrangig die Parkplätze.

Die konsequente Nummerierung der Parkplätze, sowie die Leitung zu den Parkplätzen direkt nach der Einfahrt in den Ort, sowie im Internet verbessert die Ordnung und den Verkehrsfluss. So ein Nummerierungssystem wird z. B. im deutschen Ort Zinnowitz auf der Insel Usedom verwendet. Mithilfe der dynamischen Parkleitsystemen können nicht belegte Parkplätze direkt nach der Einfahrt in die Stadt gefunden werden. Die Hinweise auf die Nummerierung von Parkplätzen sollen auch auf den Seiten privater Partner angezeigt werden.

Die Einbeziehung und die Integration unterschiedlicher Transportmittel ist sicherlich dabei hilfreich, wenn der öffentliche Nahverkehr oder Fahrräder zu echten Alternativen zum Auto werden sollten. Die Entfernung zur nächstgelegenen Bushaltestelle (reale Entfernung und nicht in der Luftlinie) soll 400 bis 500 m, und im Fall der Bahn 1 km nicht überschreiten. Die Erschließungsintensität soll in Hinblick auf die vorliegenden Zugänglichkeitsparameter oder auf die Perspektive der Erschließung von öffentlichen Nahverkehrsmitteln abgestimmt werden. Die Zugangswege zu den Haltstellen sollen mithilfe der abgestimmten Führung von Fußgängerwegen möglichst abgekürzt werden.

Das Modell, in dem für alle lokalen und regionalen Verbindungen ein gemeinsamer Fahrschein gilt, werden bevorzugt, weil diese auch durch die ausländischen Besucher besser verstanden und auch online, durch digitale Kanäle angeboten werden können. Für die gesamten Inseln Wollin und Usedom soll ein Tarif gelten und die Bahn- und Busverbindungen sollen miteinbezogen werden. Man kann vom Erfolg der Integration sprechen, wenn die gesamte Reise mit

einem 24-Stunden-Ticket zurückgelegt werden kann. Bei einem attraktiven ÖPNV-System kauft der Fahrgast ein Ticket, prüft in einer App oder auf einem übersichtlichen Linienplan und Fahrplan an der Haltestelle seine Verbindung und nutzt alle Verkehrsmittel. Nur ein solches Angebot kann tatsächlich mit der Nutzung des eigenen Privatfahrzeugs konkurrieren. Auch die Zahlungen für den Fahrradverleih und die Parkgebühren können im Rahmen eines Systems integriert werden.

Die Vereinheitlichung der Fahrgastauskunft soll im physischen und virtuellen Raum sichergestellt werden. Durch den Aufbau der Verkehrsverbände (wobei bei aktuell geltenden gesetzlichen Rahmen ein Kreis- und Gemeindeverband die beste Option ist), durch die Mitwirkung von Kommunen bei der Gestaltung der einzelnen Bestandteile, sowie Verwendung von gemeinsamen Standards können einheitliche Auskunftssysteme für alle Beförderer angeboten werden.

Mit Pufferbereichen (P+R, *Park+Ride*) sollen Verkehrssystem aufgebaut werden, wo die Besucher ihre Autos auf den Parkplätzen außerhalb der Innenstadt stehen lassen und anschließend die Verkehrsmittel benutzen, um die Innenstadt zu erreichen. Bei der Auswahl des Standortes für den geplanten P+R-Parkplatz spielen Faktoren, wie die Größe der aktuellen und geplanten Fahrgastströme eine wichtige Rolle. Die praktischen Erfahrungen zeigen, dass „Park and Ride“ am besten zum Umsteigen in den Schienennahtransport mit kurzen Taktzeiten [6] geeignet ist. Diese Lösung ist vor allem überall dort effektiv, wo der öffentliche Nahverkehr schnellere und bequemere Transportmittel für die Weiterfahrt bietet. Auch die Häufigkeit der Taktzeiten der öffentlichen Nahverkehrsmittel spielt dabei eine wichtige Rolle.

Der andere Faktor, der zur effektiven Nutzung von Parkplätzen beiträgt, sind Maßnahmen, die die Einfahrtmöglichkeit für Privatautos in die Stadtmitte, auch in kleineren Küstenorten einschränkt. Diese Einschränkungen können unterschiedlich sein: Höhe der Parkgebühren, Verkehrsleitung, fehlende Parkplätze, Umweltzonen, Einfahrtgebühren, wodurch der öffentliche Nahverkehr schneller und attraktiver ist. Für die Gestaltung solcher Wechselwirkungen sind Auswertungen sowie Entscheidungsfindung auf der Ebene des gesamten Funktionsgebiets (OF), auch in den sonstigen küstennahen Gemeinden entscheidend. Im Fall von Międzyzdroje betrifft das vor allem die Verbindung nach Świnoujście.

Die P+R-Parkplätze sollen als ein Teil des umfassenden Entwicklungsplans für das Verkehrssystem betrachtet werden. Man kann nicht davon ausgehen, dass die Einwohner und die Besucher massenhaft in den Bus umsteigen, wenn

dieser keine attraktivere Anbindung bietet als ein Privatfahrzeug. Auch wenn der Parkplatz allen theoretischen Anforderungen genügt, kann seine Belegung und Nutzung infolge der fehlenden Auskunft oder der bisherigen Gewohnheiten der Einwohner nicht optimal sein. Bei neu angelegten P+R-Untersystemen müssen diese der Öffentlichkeit entsprechend kommuniziert und gefördert werden. Die Entscheidung über die Errichtung von Pufferparkplätzen kann nur dann begründet sein, wenn zugleich die Qualität der öffentlichen Nahverkehrsmittel verbessert und die Zugänglichkeit für die Pkws verringert werden.

Die Umweltzonen gelten als Bereiche, wo nur Fahrzeuge verkehren dürfen, die entsprechende Abgasnormen erfüllen, die durch Behörden auferlegt werden. Dadurch werden die Luftverschmutzung und die Verkehrsüberlastung verringert. Dank der Novellierung des Elektromobilitätsgesetzes [7] steht dieses Instrument allen Kommunen in Polen zur Verfügung. Für die kommunalen Straßen dürfen Zonen angelegt werden, die ausschließlich von Fahrzeugen befahren werden dürfen, die folgende Voraussetzungen erfüllen [7]: „elektrisch, wasserstoff- und erdgasangetriebene, sowie weitere, durch die Gemeinde festgelegte Fahrzeuge“. Für die Einschränkungen gibt es auch eine Anzahl von Ausnahmen, u. a. für [7]: Dienste, Behinderte, Straßenverwalter und Bauunternehmer. Die Umweltzonen dürfen für eine unbestimmte oder eine bestimmte Zeitdauer angelegt werden. Darüber hinaus dürfen die Zonen von anderen Fahrzeugen zwischen 9 und 17 Uhr nach Entrichtung einer Gebühr befahren werden.

Das Verkehrssystem auf der Insel Usedom umfasst ein integriertes Netz von Bus- und Bahnverbindungen, die durch die Gesellschaft UBB bedient werden und miteinander durch Umsteigeknoten verbunden sind. Obwohl die Fahrplanauskunft in diesem Bereich vollständig intergiert und einheitlich ist, konnte die Tarifbindung zwischen der Bahn und Bussen noch nicht abgeschlossen werden. Alle Angaben zu den Tarifen sind übersichtlich präsentiert und nachvollziehbar. Die Fahrplanauskunft ist mit der Funktion der touristischen Auskunft mit Vorschlägen für Wanderungen verbunden. Darüber hinaus bietet die UBB Shuttleservice zu den Fernbuslinien nach der Formel „Tür zur Tür“ auf der ganzen Insel für drei Entfernungskategorien (gelb, grün, blau).

2021 wurde das Elektrofahrrad-Verleihsystem UsedomRad auf der Insel in Betrieb genommen. Es umfasst insgesamt 26 Stationen und 500 Fahrräder. Ca. 100 Elektrofahrräder sollen abseits der großen Fremdverkehrszentren zum Ausleihen verfügbar werden. Dort können die Fahrräder ausgeliehen werden, um den nächstliegenden öffentlichen Verkehrsknoten ohne einen Pkw erreichen zu können, insbesondere dort, wo das Angebot an öffentlichen Verkehrsmitteln

begrenzt ist. Das Fahrradverleihsystem ist tariflich in das öffentliche Verkehrssystem eingebunden. Auf der Insel wird auch eine Umgebung der Share-Mobilität ausgeweitet: Bluegreen Usedom leiht Motorroller, Scooter und Elektroautos aus. Dank dieser Kombination aus attraktivem Angeboten für die Bahn, Regional- und Fernbusse, Auto-, Fahrrad- und Rollerverleih kann man die gesamte Insel Usedom ohne ein eigenes Auto problemlos bereisen und erkunden. Alle, die mit dem eigenen Pkw anreisen, müssen mit hohen Gebühren rechnen. In der Nähe von Sehenswürdigkeiten in Herringsdorf gibt es keine kostenlosen Parkplätze. Die strengen gebührenpflichtige Parkzonen tragen dazu bei, dass die Parkhäuser kommerziell genutzt werden können und sich selbst finanziell tragen. Die Gebühren sind so konzipiert, dass die Nutzung von Parkplätzen, die von der Stadtmitte entfernt sind, bevorzugt wird. Neue Parkplätze werden in der Nähe von Bahnhöfen gebaut, auch wenn es dort keine weiteren Reiseziele gibt, wie z. B. Pudagla-Schmollensee. Außerdem wurde das Projekt „die Weiterfahrer.de" ins Leben gerufen, das die Nutzung von zwei Elektroautos, zwei Elektrofahrrädern und zwei E-Lastenrädern für die Fahrten ab Bahnhof Anklam ermöglicht.

Die Elektromobilität wird weit gefördert: Auf der Insel Usedom steht das Ladenetz der Inselwerke Eg (Energiegenossenschaft) zur Verfügung. Der Betreiber bietet mehr als 25 Ladestellen, von denen einige in Zusammenarbeit mit Unternehmen oder Unterkünften errichtet wurden. In den Orten Ahlbeck, Neppermin und Karlshagen stehen überdachte Parkplätze mit Photovoltaik und integrierten Ladestationen zur Verfügung. Die Energiegenossenschaft betreibt auf der Insel noch weitere Photovoltaikanlagen: 18,7 kWp – Ahlbeck, Gemeinde Herringdof; 5,5 kWp – Karlhagen, Energie Vorpommern, Leader, Tankstelle Oil.

Die in den deutschen Kurorten eingesetzten Methoden sind ein Versuch, solche Verhältnisse zu erreichen, die einerseits die Attraktivität der öffentlichen Verkehrsmittel und der Fahrradmobilität verbessern (Zeit, Preis, Angebot), andererseits die zeitlichen oder finanziellen Einschränkungen den Autofahrenden auferlegt. Es ist jedoch wichtig darauf hinzuweisen, dass Menschen aus rein altruistischen Gründen nirgendwo auf der Welt auf das Autofahren verzichten werden. Eine Voraussetzung für den Aufbau nachhaltiger Mobilität besteht darin, sowohl die geeigneten Alternativen zum Pkw anzubieten, als auch die Nutzung von privaten Pkws einzuschränken.

Verkehrssituation in Międzyzdroje (Misdroy)

Obwohl die Qualität der alternativen Verkehrsmittel auf der Insel Wollin immer besser wird, ist diese Steigerung nicht ausreichend, um in den nächsten

Jahren die Maßnahmen zur Förderung des Autoverkehrs in Form der Errichtung der Schnellstraße S3, des Tunnels in Świnoujście oder kostenloser Parkplätze auszugleichen. Praktisch bedeutet dies, dass sich die Lage in Hinsicht auf die Verringerung der negativen Auswirkungen des individuellen Autoverkehrs eher nicht schnell verbessern wird, insbesondere vor dem Hintergrund der intensiven touristischen Investitionstätigkeit in Międzyzdroje. Das heißt jedoch nicht, dass diese Entwicklung nicht gelenkt werden kann, insbesondere durch die Förderung der Elektromobilität. Diese kann die räumlichen Probleme nicht lösen, aber sie wird die Luftqualität verbessern und den Straßenlärmpegel verringern.

Der Verkehr in Międzyzdroje basiert auf der Woiwodschaftsstraße Nr. 102, die durch die ganze Stadt führt und eine Verbindung zwischen der Schnellstraße 3 und den weiteren Orten auf der Insel Wollin darstellt. Anhand der Verkehrsüberwachungsdaten (Messstelle 35 km von Międzyzdroje entfernt, an der Schnellstraße S3 im Dorf Przybiernów) konnte die maximale Zahl von Fahrzeugen pro Tag auf der Schnellstraße 3 auf dem Abschnitt Międzyzdroje-Wollin (12 109) ermittelt werden. Diese Straße ist Teil der internationalen Route E65, die aus Malmö in Schweden nach Chania auf Kreta führt. Eine vergleichbar große Zahl von Fahrzeugen verkehrt auf dem Abschnitt zwischen Świnoujście und Międzyzdroje (11 894). Im Gegensatz dazu ist das Verkehrsaufkommen auf der Woiwodschaftsstraße 102 zwischen Międzyzdroje und Międzywodzie (3525) deutlich geringer.

Innerhalb der Stadt wird der Busverkehr von dem Verkehrsverband der Stadt Świnoujście bedient. Die Buslinie 10 verbindet Międzyzdroje und Świnoujście. In der Stadt gibt es 14 Bushaltestellen, die von der Buslinie 10 angefahren werden. Der Bus verkehrt von Montag bis Samstag, sonntags finden keine Kurse statt. Die regionalen Verbindungen zwischen den einzelnen Gemeinden werden von PKS Kamień Pomorski bedient und bieten Verbindungen nach Świnoujście und Kamień Pomorski. Die Beförderungsgesellschaft „EMILBUS“ bedient regionale Strecken u. a. nach Świnoujście, Szczecin und Kamień Pomorski sowie eine kommunale Verbindung mit den Dörfern Lubin, Wapnica und Wicko. Im zuletzt genannten Gebiet startet ab Juni 2022 das Pilotprojekt „Bus auf Bestellung“, dessen Ziel darin besteht, dem Ausschluss von Personen, die kein Auto besitzen in der Zeit, wenn keine Linienbusse verkehren, innerhalb der Gemeinde, einschließlich samstags und sonntags entgegen zu wirken. Die Anordnung der Bushaltestellen in Międzyzdroje ist in der Abbildung 2 zu entnehmen.

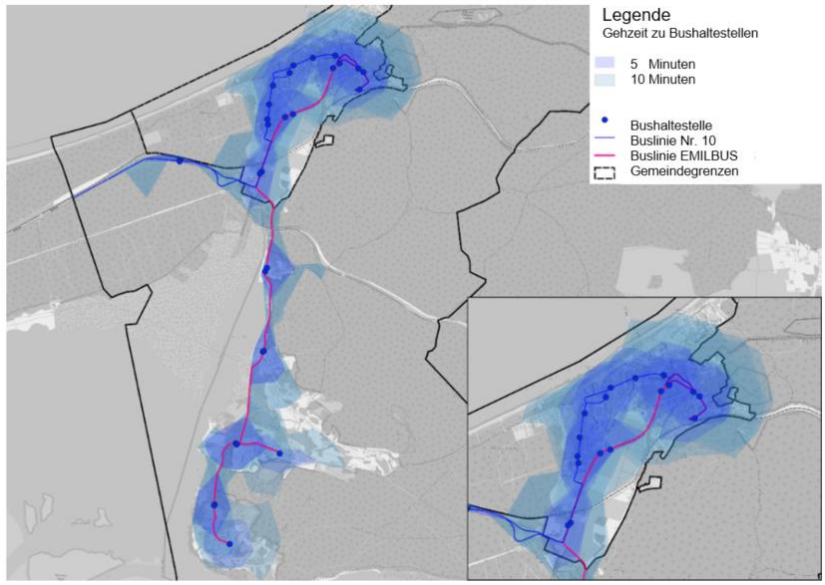


Abb. 2. Busverkehr in Międzyzdroje, eigene Bearbeitung

In Międzyzdroje gibt es zwei Bahnhaltestellen: Międzyzdroje und Lubiewo. Der Bahnhof Międzyzdroje liegt in unmittelbarer Nähe der Stadtmitte, umfasst insgesamt vier Gleise. Hier halten alle Personenzüge an. Mit IC- und TLK-Zügen kann man problemlos die Großstädte, wie Krakow, Lublin, Przemyśl, Suwałki, Świnoujście und Warszawa erreichen. Die Verbindungen sind an allen Wochentagen verfügbar. Die Regionalbahnverbindungen werden durch die Bahngesellschaft Polregio bedient, die Verbindungen nach Szczecin und Świnoujście betreibt. Den Angaben der Eisenbahnbehörde für das Jahr 2020 zufolge, wurde der Bahnhof von 700 bis 999 Fahrgästen pro Tag genutzt. Die Bahnhaltestelle Lubiewo liegt im südwestlichen Teil der Stadt, direkt an der Straße DK3. Der Bahnhof wird ausschließlich durch einige Polregio-Züge nach Szczecin und Świnoujście angefahren. Den Angaben der Eisenbahnbehörde für das Jahr 2020 zufolge, wurde der Bahnhof von 0 bis 9 Fahrgästen pro Tag genutzt. Die Anordnung der Bahnhaltestellen in Międzyzdroje ist in der Abbildung 3 zu entnehmen.

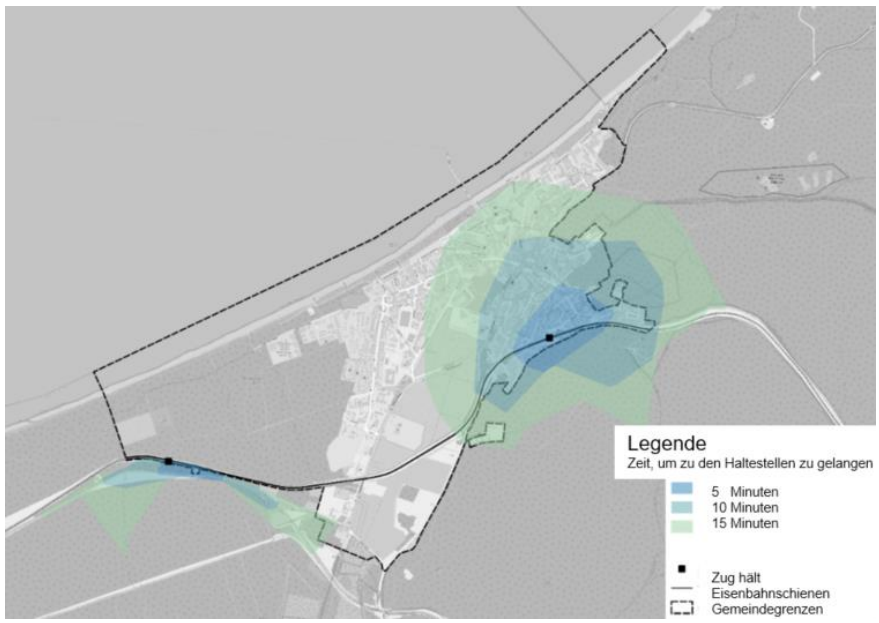


Abb. 3. Bahnhaltestellen (Personenverkehr) in Międzyzdroje, eigene Bearbeitung

Im westlichen Teil von Międzyzdroje werden viele Hotelanlagen gebaut und geplant. Auf der Höhe der Anlage Aquamarina Onyx liegt die Bahnstrecke nur 500 m weit entfernt. Die tatsächliche Entfernung zur nächstliegenden Bahnhaltestelle beträgt jedoch rund 3 km, also mehr als 40 Minuten Fußweg. Zu viel also, dass die Hotelgäste mit der Bahn anreisen können oder wollen. Das Potenzial der Bahnlinie Międzyzdroje bleibt also weitgehend ungenutzt.

Außerdem wird die Stadt von Taxi-Betreibern bedient. Die größten sind Super Taxi Międzyzdroje, Euro Taxi Międzyzdroje, Zamów Tanio Taxi Międzyzdroje und Taxi Międzyzdroje Plus Taxi.

Parkplatzlage in Międzyzdroje

Die gebührenpflichtige Parkzone ist in zwei Unterzonen unterteilt: I und II. In der 1. gebührenpflichtigen Parkzone variieren die Parkgebühren je nach der touristischen Saison. Die Stadt plant, die gebührenpflichtige Parkzone auf weitere Straßen auszuweiten. Neben der gebührenpflichtigen Parkzone gibt es in Międzyzdroje auch eine Reihe weiterer Parkplätze, hauptsächlich im Privateigentum. Die Fläche der Stellplätze beträgt insgesamt 34.456,82 m². Bei der Annahme, dass ein Parkplatz eine Fläche von 47,5 m² aufweist (unter Berücksichtigung der gesamten Zufahrtsinfrastruktur), können auf den hiesigen Parkplätzen 725 Fahrzeuge abgestellt werden.

Angesichts der fehlenden groß angelegten Studien zu Parkplätzen, sind hier Schätzungen notwendig, die auf anderen Quellen basieren. Eine der Herangehensweise für die Schätzung solcher Größen ist der Wasserverbrauch durch die Bevölkerung vor Ort. Dieser Verbrauch in Międzyzdroje ist stark mit dem Fremdenverkehr in bestimmten Monaten der Saison verbunden. 2019 gab es im Landkreis Kamień Pomorski insgesamt 1.827.211 Übernachtungen, davon 440.899 (24 %) für ausländische Touristen. 2020 ist die Zahl aufgrund der COVID-19-Pandemie zurückgegangen. Die meisten Touristen, die im Landkreis Kaminski übernachtet haben, waren in Międzyzdroje einquartiert. Aufgrund der fehlenden direkten Anbindung von Międzyzdroje nach Deutschland müssen viele Touristen ihre eigenen Verkehrsmittel benutzen. Nach Angaben des Statistikamtes aus der Zeit vor der Pandemie gab es in Międzyzdroje im Juli und August rund 300.000 Gäste (nur in Unterkünften mit mehr als 10 Betten, so dass kleinere Ferienwohnungen gar nicht mitgezählt werden). Anhand der Daten zum Wasserverbrauch, Verkehrserhebungen und Flächennutzungsplänen kann davon ausgegangen werden, dass das Verkehrsaufkommen in Międzyzdroje in der Hochsaison künftig bis zu 30.000 Menschen pro Tag betragen kann.

Angenommen, dass die Anzahl von ausländischen Gästen in Międzyzdroje durchschnittlich höher ist als für den Landkreis Kamień Pomorski, kann man in den Jahren 2025–2030 damit rechnen, dass bis zu 25% der nach Międzyzdroje ankommenden Fahrzeuge Hybrid- oder Elektrofahrzeuge sind, d. h. dass sie aufgeladen werden müssen. Im Dezember 2021 machten die Plug-in-Autos einen Anteil von 36 % am deutschen Automarkt aus, bei einem durchschnittlichen Fahrzeugalter von 9,6 Jahren. Innerhalb der kommenden Dekade wird ein erheblicher Anteil der deutschen Flotte aufgeladen werden müssen. Wenn man davon ausgeht, dass jeder vierte Gast nach Międzyzdroje mit einem Auto anreist, davon ein Viertel mit einem Elektro- oder Hybridfahrzeug, dann muss die bestehende Stadtinfrastruktur so ausgebaut werden, dass rund 1900 Fahrzeuge mit einem Stecker gleichzeitig in der Perspektive der 2. Hälfte dieses Jahrzehnts bedient werden müssen.

Der Grenzwert von 15 bis 20 Elektroautos pro eine Ladestelle definiert die Höchstzahl von Fahrzeugen, die in einem bestimmten Gebiet bedient und aufgeladen werden können. Dies bedeutet, dass in Międzyzdroje bis zum Ende dieses Jahrzehnts mindestens 100 Ladestellen, sowohl Schnell- als auch Standardladestelle (AC/DC) geplant und errichtet werden müssen. Auch diese Zahl stellt keine Garantie dafür dar, dass sich keine Warteschlangen an den Ladestellen bilden werden. Bei einer sichereren Variante muss man von noch mehr Ladestellen ausgehen, insbesondere an den Parkplätzen der Beherbergungsbetriebe. Kraft des

geltenden Elektromobilitätsgesetzes kann ein erheblicher Teil dieser Ladestelle durch private Bauherren errichtet werden.

Nach gelten Empfehlungen sollen die neuen öffentlichen Parkplätze bereits jetzt so geplant werden, dass sie mindestens eine Ladestelle und Leerleitungen für Stromkabel vorsehen, so dass mindestens ein Fünftel der Parkplätze mit Ladestellen ausgerüstet werden kann. Mindestens 10% der Ladestelle sollen mit Schnellladetechnik mit einer Leistung von mehr als 50 kW versehen werden (perspektivisch sollen Anschlüsse für mindestens 250–300 kW geplant werden). Dies bedeutet, dass in Międzyzdroje mindestens 13, bevorzugt jedoch 25 Schnellladestellen geplant werden sollten. Aktuell gibt es eine solche Ladestelle in Międzyzdroje (die Tankstelle „MOYA" EV+, mit 50 kW Ladeleistung). Vier weitere Ladestationen mit Standardleistung sind ebenfalls vorhanden oder befinden sich im Bau. Im Rahmen der geplanten Errichtung eines öffentlichen Parkplatzes soll bereits 2022 eine Schnellladestelle integriert werden, die ein kommerzieller Betreiber an diesem Standort übernehmen kann. Die Anlage soll so konzipiert sein, dass bis 2030 eine Ladestelle pro fünf Abstellplätze installiert werden kann. Praktisch bedeutet das, dass eine Ladestelle mit zwei Ladeanschlüssen pro 10 Parkplätze aufgestellt werden soll. Nach aktuellen Empfehlungen werden im Rahmen der Planung einer solchen Anlage 5 Ladestationen für Elektrofahrzeuge mit Standardleistung (bis zu 22 kW) mit je zwei Anschlüssen, also insgesamt 10 Ladestellen vorgesehen.

Mobilitätsmanagement in Międzyzdroje (Misdroy)

Aufgrund der zahlreichen aktuellen Probleme, die aus den grundlegenden Verkehrsbedürfnissen der Einwohner und Touristen resultieren, ist ein umfassendes Mobilitätsmanagement erforderlich. Die Entlastung der Verkehrslage in der Stadt Międzyzdroje soll in kommenden Jahren das wichtigste Ziel sein. Darüber hinaus sind auch der Ausbau des städtischen/kommunalen ÖPNV, die Implementierung von *Smart City-Lösungen* in Bezug auf die Organisation des Straßen-, Schienen-, Fahrrad- und Fußgängerverkehrs, sowie die Zugänglichkeit der Auskunft und Daten, sowohl über stationäre, als auch mobile Kanäle von großer Bedeutung.

Die Integration des Mobilitätsmanagements bildet ein Fundament für die Umsetzung der Politik in diesem Bereich. Die Einbindung aller Beförderungsmittel ist dabei sehr wichtig. Dies kann in den meisten Fällen nicht nur auf der kommunalen Ebene sichergestellt werden. Alle Versuche der Bildung von flächendeckenden Beförderungsverbänden und der Verteilung und Übertragung der Kompetenzen im

Rahmen der zwischenkommunalen Vereinbarungen sind zu empfehlen. Beim optimalen Modell werden alle Beförderungsmittel in dem jeweiligen Gebiet einschließlich des Parkleitsysteme durch einen Träger verwaltet, wobei der Träger für folgende Entscheidungen zuständig wäre:

- die Gestaltung des Verkehrssystems – um möglichst vielen Einwohnern und Gästen den Zugang zu Beförderungsmitteln zu ermöglichen,
- die Führung von Verkehrslinien – übersichtlich, leicht zu merken und logisch,
- die Erstellung der Fahrpläne – die logisch aufeinander abgestimmt sein sollten, eine möglichst hohe Taktfrequenz sicherstellen, klar und leicht zugänglich sein sollten,
- die Anschaffung und die Zuteilung von Transportmitteln – durch den Größeneffekt nach Verschmelzung mehrerer Akteure können die Systembestandteile schneller und günstiger angekauft werden,
- die Erstellung eines einheitlichen Fahrscheintarifs – soll einfach, übersichtlich, zugänglich und akzeptabel sein, mit möglichst vielen und intuitiven Zahlungsmöglichkeiten für die Fahrscheine,
- die Anordnung der Umsteigestellen – die den Individualverkehr mit öffentlichem Verkehrsmitteln (z. B. in Form von P+R-Parkplätzen) unterschiedlicher Formen der Beförderung kombinieren lassen,
- die Festlegung der endgültigen Form der Fahrgastauskunft – sowohl der Anzeigen an den Haltestellen und im städtischen Raum, als auch der im Internet.

In Folge dieser Integration soll ein Transportsystem entstehen, das transparent, komfortabel, leicht zugänglich, sauber, zuverlässig und effizient ist und allen Einwohnern der Stadt, der Gemeinde, des Landkreises und sogar – insbesondere im Hinblick auf den Fremdenverkehr – eines noch größeren Gebietes, Beförderung ohne den eigenen Pkw ermöglicht. Międzyzdroje soll hier als ein Teil eines größeren Ballungsraumes betrachtet werden, insbesondere mit Świnoujście. In einer breiteren Perspektive sogar im Hinblick auf das ganze Land (oder sogar grenzüberschreitend), da aus dieser Richtung in der Sommersaison eine große Anzahl von Gästen hierher strömt.

Die Parkpolitik der Stadt Międzyzdroje beginnt bereits mit dem ersten Gedanken an die Gäste, die in die Stadt ankommen. Danach muss diese Politik die weiteren Schritte der Reisenden befolgen:

- Das wirksamste Instrument der Verkehrspolitik der Stadt Międzyzdroje besteht darin, die in der Stadt ankommenden Gäste davon zu überzeugen,

dass die Anreise an die Küste mit der Bahn und die anschließende Beförderung mit den öffentlichen Verkehrsmitteln vor Ort genauso attraktiv sein kann, wie die Anreise mit dem eigenen Pkw.

- Auch wenn Gäste nach Świnoujście oder Wisełka mit Auto kommen, sollen sie sich bei einem Tagesausflug nach Międzyzdroje auf die öffentlichen Verkehrsmittel verlassen und das Auto außerhalb der Stadt stehen lassen.
- Wenn ein Gast vorhat, hierher mit einem Pkw zu reisen, muss ihm eine Option gewährt bleiben, auf einer Internetseite oder in einer App überprüfen zu können, wo er hier parken kann. Das bedeutet, dass die wichtigsten Entscheidungen bereits bei auf der Stufe der Planung der Anreise nach Międzyzdroje getroffen werden müssen. Auf dieser Ebene können auch effektive Lösungen für die Parkprobleme gefunden werden.
- Eine weitere Ebene, auf der Probleme in Bezug auf das Parken gelöst werden können, betrifft die Einfahrt in die Stadt; die Autofahrer sollten nicht gezwungen werden, „blind" nach freien Parkplätzen zu suchen. Sie sollen mithilfe der Parkleitsysteme zu nummerierten und gekennzeichneten Abstellplätzen zuverlässig geleitet werden.
- Wenn auf einem Parkplatz keine freien Parkplätze mehr vorhanden sind, muss dieser Hinweis dem Fahrer vor der Einfahrt in die Stadt zugänglich gemacht werden und an der Stadtgrenze soll ein Pufferparkplatz (P+R) errichtet werden, von dem aus man weiter mit dem Bus oder mit der Bahn reisen kann. Der Hinweis, dass die Weiterfahrt und die Suche nach einem Parkplatz aufwendiger ist als die Weiterfahrt mit einem Bus oder der Bahn muss eindeutig erkennbar sein.

Die privaten Betreiber der Unterkünfte sollen eine der Nachfrage vor Ort genügenden Anzahl von Parkplätzen bereitstellen. Das öffentliche Parkplatznetz soll nur eine ergänzende Rolle spielen.

Es ist darauf hinzuweisen, dass die aktuell gültigen Vorgaben der Flächennutzungspläne in Hinblick auf die geforderte Mindestzahl der Abstellplätze nicht sicherstellen können, dass alle Einwohner und Gäste, die Międzyzdroje besuchen, bei der derzeitigen Dominanz des Autoverkehrs eine ausreichende Anzahl von Parkplätzen vorfinden werden. Dies bedeutet jedoch nicht, dass diese Vorgaben zu der Mindestzahl der Abstellplätze auf Kosten sonstiger Flächennutzung erhöht werden sollen. Wenn die Politik der Raumgestaltung jedoch auf einer Annahme basiert, dass ein Teil der ankommenden Gäste keine Parkplätze vor Ort am Ziel finden wird, dann müsste die Verkehrspolitik der Stadt diesen Umstand entsprechend berücksichtigen und die Alternativen vorschlagen und

verbessern. Bei sämtlichen Maßnahmen in Bezug auf die Parkpolitik müssen vier Grundsätze beachtet werden:

1. Die Erhöhung der Anzahl der Parkplätze führt zum größeren Verkehrsaufkommen (und umgekehrt).
2. Durch Erhöhung der Parkgebühren kann das Verkehrsaufkommen verringert werden (und umgekehrt).
3. Durch fehlende Parkplätze und einem eingeschränkten Angebot an den öffentlichen Verkehrsmitteln und sonstigen Beförderungsformen steigt der s. g. Sekundärverkehr. Das bedeutet, dass der städtische Raum nicht nur durch die durchfahrenden oder ankommenden (oder die Stadt verlassenden) Fahrzeuge belastet wird, sondern auch durch diejenigen, die auf ihrer Suche nach einem freien Abstellplatz für sich in der Stadt herumfahren.
4. Die Festlegung hoher Strafen für Verstoße gegen die Parkvorschriften (einschließlich der fehlenden Zahlung), sowie deren effektiver Vollzug sind dabei wesentlich.

An den attraktivsten Stellen in der Stadt sollen wenige Abstellplätze vorhanden sein. Dies soll eine bewusste, geplante städtebauliche und strategische Entscheidung sein, in deren Folge diese wertvolle Gebiete in der Stadtmitte für andere, stadtbildende Zwecke genutzt werden können. Die offensichtliche Folge solcher Maßnahmen soll die Verstärkung von nachhaltigeren und effektiveren Beförderungsmitteln sein.

Aufgrund des Umstands, dass einige Abschnitte des Verkehrssystems in der Gemeinde nicht ausgebaut sind, können die Probleme in Bezug auf das Verkehrsmanagement durch kostengünstige Anpassungen gelöst werden. Die einbahnige Verkehrsführung durch die meisten Straßen könnte so eine Anpassung sein, die nicht viel kostet. Auf den Abschnitten mit den niedrigsten Geschwindigkeiten (bis zu 30 km/h) sollen das versetzte Parken auf beiden Straßenseiten, sowie die schlangenartige Verkehrsführung und Beruhigung in Betracht gezogen werden. Der Verkehr soll so organisiert werden, dass die meisten Straßen einbahnig, mit markierten und ausgewiesenen Bereichen für kostenpflichtiges Parken an der Straße verlaufen sollen.

Bei der Planung und der Umsetzung von Maßnahmen in Bezug auf die Verkehrsführung soll die Verkehrssicherung besonders beachtet werden, insbesondere durch die Verringerung des vorrangigen Charakters des Autoverkehrs im Vergleich zum Fußgängerverkehr. Die Erfahrung in Międzyzdroje zeigt, dass der Radverkehr im Stadtgebiet (insbesondere in der Saison, wenn das Fußgängeraufkommen am höchsten ist) von den Kurgästen und Touristen getrennt

werden soll, z. B. durch Bau der eigenen Radwege, Einführung des Gegenverkehrs für die Radfahrer, sowie durch eindeutige Verbote fürs Befahren von Fußwegen durch die Radfahrer. Die durchdachte Verkehrsführung auf verkehrsberuhigten Straßen erhöht die Attraktivität städtischer Gebiete. So kann der Raum für die Biergärten und Ähnliches gewonnen werden und die allgemeine Sicherheit steigt. Die kommerzielle Nutzung der Straßenflächen für die Dienstleistungen und die gastronomischen Betriebe bringt mehr Einnahmen für den städtischen Haushalt als die Nutzung dieser Flächen für die Parkplätze.

Es sind solche Maßnahmen für die Verkehrsberuhigung einzusetzen, die die Lärmerzeugung nicht fördern. Eine gute Lösung sind dabei sinusförmige Schwellen, die im Gegensatz zu Bremsschwellen kein Lärm generieren und die Fahren nicht zum Umfahren motivieren. Die Änderungen der Verkehrsführung sollen jedoch vorsichtig eingeführt und mit den betroffenen Einwohnern und Interessenten im Vorfeld geklärt werden.

Um richtige Entscheidungen treffen zu können, sind folgende Untersuchungen erforderlich: Messungen des Verkehrs in der Saison und danach (mit Ermittlung der Herkunft durchs Ablesen der Kennzeichen), um die realen Fahrzeugströme zu ermitteln. Die für Międzyzdroje aktuell vorliegenden Daten sind dafür nicht ausreichend. Um die Defizite an Parkplätzen real einzuschätzen, müssen breiter angelegte Untersuchungen stattfinden, im deren Rahmen auch die Degradierung von Grünanlagen durch parkende Autos (Vorsaison, Hochsaison, außerhalb der Saison) untersucht wird, so dass die Nachfrage ermittelt wird und der Dialog mit den Einwohnern startet.

Międzyzdroje als ein Ort mit der besonderen saisonalen Ausprägung des Fremdenverkehrs über das gesamte Jahr braucht eine kohärente und nachhaltige Planung und Management des Verkehrs in der Stadt. Für die Entwicklung einer kohärenten Vision von Maßnahmen für die Stadt muss das Gebiet von Międzyzdroje in drei Zonen unterteilt werden, die ähnliche Merkmale aufweisen, d. h. das Küstengebiet, das Gebiet um den Bahnhof und das südliche Stadtgebiet.

Die Verkehrslage der Stadt kann mithilfe der *Smart City-Ansätze* verbessert werden, d. h. indem moderne Technik für die Verbesserung der Mobilitätspolitik eingesetzt wird. Die verfügbaren Maßnahmen im Bereich der intelligenten Stadtmobilität werden in einer kurz- und langfristigen Perspektive analysiert.

Unter den vorgeschlagenen *Smart City-Ansätzen* für die Stadtmobilität in Międzyzdroje in der kurzfristigen Perspektive sind zu nennen:

– die Anschaffung von emissionsarmen oder emissionsfreien Fahrzeugen für den öffentlichen Personennahverkehr der Klasse MINI,

- der Aufbau eines dynamischen Fahrgastauskunftssystems, das sowohl lokale als auch regionale Verbindungen (Międzyzdroje-Niepodległości) umfasst,
- die Beteiligung der lokalen Behörden an der Entwicklung der Elektromobilitätsangebote: Erarbeitung der Kooperationsangebote für die Errichtung der Ladestellen für Elektrofahrzeuge durch private Investoren,
- die Errichtung von Ladestellen für Elektrofahrzeuge auf eigene Hand,
- die schrittweise Einführung von Elektrofahrzeugen in die städtischen Unternehmen, in den Fuhrpark der Behörden und Stadtwerke,
- die Mitwirkung mit Privatpersonen bei der Ausarbeitung von Regeln für den Betrieb von Personenbeförderungsmitteln,
- die Änderungen der Verkehrsführung und der Investitionen auf der Grundlage eines Verkehrsmodells (infolge einer Untersuchung zur Bemessung und Auswertung des menschlichen Verkehrsverhaltens im betroffenen Gebiet),
- die Nutzung von Big Data zur Auswertung des Fremdenverkehrs und seiner Auswirkungen auf die Verkehrslage,
- die Entwicklung einer kohärenten Parkpolitik: umfassende Analyse des Ist-Zustandes und Festlegung von Empfehlungen für die Änderungen der Parkplätze in Międzyzdroje, sowie Analyse der Möglichkeit der Umgestaltung der gebührenpflichtigen Parkzone auf der Grundlage der gemessenen Auslastung der Parkplätze während der Saison,
- der Einsatz automatisierter Systeme für die Bezahlung der Parkgebühren (Kameras an Einfahrten, mobile Geräte für die automatische Überprüfung der Bezahlung anhand der Autokennzeichen),
- die Vorbereitung eines gebündelten Auskunftspakets zum Thema nachhaltige Mobilität in Międzyzdroje für die Gäste der Hotels und Unterkünfte (zum Verteilen und Teilen),
- die Einführung der Besucherkarte, die zu Nachlässen berechtigt (Eintrittskarten usw.) für die Sehenswürdigkeiten einschließlich der Nutzung von öffentlichen Nahverkehrsmitteln.

In der langfristigen Perspektive können unter den vorgeschlagenen *Smart City-Ansätzen* für die städtische Mobilität in Międzyzdroje folgende Elemente eingeführt werden, um die bestehenden Systeme physisch und digital zu integrieren:

- Die Mitwirkung an Prozessen im Bereich der Entwicklung eines gemeinsamen, einheitlichen und integrierten Angebots für den öffentlichen Verkehr gemeinsam mit den anderen öffentlichen und privaten Akteuren auf der ganzen Insel Wollin und Świnoujście – oder noch breiter ausgelegt, für die gesamte Subregion der Woiwodschaft und der grenzüberschreitenden

Zusammenarbeit. Die Aufnahme der Maßnahmen in Bezug auf die Entwicklung eines einheitlichen und benutzerfreundlichen Tarifs für die Einwohner und die Besucher für die Bahn-, Buslinien und sonstige Mobilitätsdienstleistungen auf dem Gebiet sowie durch Mitwirkung der privaten Träger.

– Die Aufnahme der Maßnahmen in Bezug auf die Vereinheitlichung der Zahlungsmittel und -arten für das Parken, sowie Einführung digitaler Zahlungsarten, z. B. durch die Nutzung derselben Schnittstelle und Guthabens für die Bezahlung der Fahrkarten für die Bahn, öffentliche Verkehrsmittel, öffentliche Fahrräder oder Carsharing-Dienste im Sinne der Mobilitätsdienstleistung (MaaS).

Literaturverzeichnis

1. Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów – Europejska strategia na rzecz mobilności niskoemisyjnej. COM(2016) final. Bruksela, 2016.
2. Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów – Strategia na rzecz zrównoważonej i inteligentnej mobilności – europejski transport na drodze ku przyszłości. COM(2020) 789 final. Bruksela, 2020.
3. Krajowa Polityka Miejska 2023. Warszawa, 2015. https://www.pte.pl/pliki/2/21/KrajowaPolitykaMiejska.pdf (19.07.2022).
4. Litman T., 2017, Parking Solution, Victoria Transport Policy Institute, www.vtpi.org.
5. Centrum Analiz Klimatyczno-Energetycznych, Ścieżki redukcji emisji CO_2 w sektorze transportu w Polsce w kontekście „Europejskiego Zielonego Ładu", 2020.
6. Parkingi a transport zbiorowy w miastach, Zespół Doradców Gospodarczych TOR Sp. z o.o. Raport przygotowany we wrześniu–październiku 2017 r. przez Zespół Doradców Gospodarczych TOR Sp. z o.o. i Polską Organizację Branży Parkingowej, zaprezentowany podczas Kongresu Transportu Publicznego 2017 (12–13 października 2017 r.).
7. Ustawa z dnia 11 stycznia 2018 r. o elektromobilności i paliwach alternatywnych. Dz.U.2022.1083.1260.
8. https://www.ubb-online.com/regionalbus/fahrplaene/ (19.07.2022).

Reduktion der Abgasemissionen durch Verbrennungsfahrzeuge in touristischen Orten am Beispiel der Stadt Międzyzdroje – Planungskonzept für die Pufferparkplätze

Andrzej Najda, Michał Mielnicki, Wojciech Sobolewski, Piotr Wiśniewski, Patryk Dominiak, Anita Białczak, Karolina Kurtz-Orecka[1]

Najda Consulting sp. z o.o.; [1] *Westpommersche Technologische Universität Szczecin*

Einleitung

Międzyzdroje ist eine Kleinstadt mit einer Einwohnerzahl von höchstens 6 Tsd. Personen. Ähnlich wie andere Seebäder auf den Inseln Usedom und Wollin zeichnet sich die Stadt durch einen intensiven Fremdenverkehr aus, insbesondere im Sommer, was regelmäßig zur Überlastung des städtischen Verkehrssystems führt. Die große Anzahl der Besucher (in der Stadt übernachten mehr als 100 Tsd. Gäste in der Saison) führt zur Erhöhung der Zahl der Verkehrsteilnehmer/-innen, die Straßen nutzen und nach Parkplätzen suchen. Die Stadt Międzyzdroje liegt zwischen einem Streifen der Küstendünen einerseits und den Hügeln von Pasmo Wolinskie andererseits, an deren Hängen eine Bahnstrecke Świnoujście–Szczecin verläuft. Das städtebauliche und räumliche Stadtbild entstand am Ende des 19. und am Anfang des 20. Jh. Es wurde nicht für eine überdurchschnittliche Verkehrsbelastung ausgelegt. Das Stadtbild zeichnet sich durch enge Straßen mit wenigen Parkplätzen aus, insbesondere in Stadtteilen direkt an der Küste und am Strand, wo das Verkehrsaufkommen und der Besucherandrang besonders intensiv sind.

Um die Attraktivität von Międzyzdroje als eines Touristenmagnets mit Vorzügen in Bezug auf die Natur und die Umwelt beizubehalten, müssen angepasste Vorbeugungsmaßnahmen ergriffen werden, die die räumlichen Einschränkungen berücksichtigen und die Emissionen von Abgasen und die Luftverschmutzung beschränken werden. Das Ziel dieser Maßnahmen soll in erster Reihe in der Reduktion des Verkehrsaufkommens im städtischen Raum, insbesondere im nördlichen Teil der Stadt direkt an der Küste bestehen. Andererseits muss die Stadt ausreichende Anzahl von Parkplätzen und entsprechend angepasste öffentliche Nahverkehrsmittel bieten, so dass die Besucher dazu motiviert werden, ihre privaten Pkws auf Parkplätzen abzustellen, die außerhalb der eng verstandenen Stadtmitte liegen und dazu, den städtischen Raum mit den öffentlichen Verkehrsmitteln oder auch zu Fuß zu erkunden.

Als Antwort auf diese Herausforderungen wurde ein Konzept der Energiewende in der Gemeinde durch das Stadtamt Międzyzdroje erarbeitet. Ein Teil dieses, sich den Fragen der Beförderung widmenden Konzeptes, ist die geplante Errichtung eines Pufferparkplatzes für die Stadt Międzyzdroje. Mit dem Bau eines Pufferparkplatzes soll man den Besuchern ermöglichen, nach der Ankunft in die Stadt ihre Pkws auf einem im Vorstadtgebiet gelegenen Parkplatz abzustellen und den Zielort mit den öffentlichen Verkehrsmitteln, mit dem Fahrrad oder zu Fuß zu erreichen. Mit dem Bau des Pufferparkplatzes soll das Verkehrsaufkommen in der Stadtmitte, sowie in den anderen Stadtteilen mit hoher Verkehrsdichte (also im Küstenstreifen) verringert, die Verfügbarkeit von freien Parkplätzen für die Einwohner und deren Bedürfnisse verbessert, sowie die Abgasemissionen durch die Verbrennungsfahrzeuge in der Stadtmitte reduziert werden.

Konzept für den Bau eines Pufferparkplatzes für die Gemeinde Międzyzdroje – Stufe 1

Der Pufferparkplatz soll in Międzyzdroje [1] auf Grundstücken im südwestlichen Teil der Stadt an der Straße ul. Adama Wodziczki gebaut werden (s. Abb. 1, die mit den Buchstaben A bis C markierten Gebiete), sowie auf einem Grundstück zwischen den Straßen ul. Polna und ul. Nowomyśliwska (Abb. 1, Gebiet D). Die Gesamtfläche der Gebiete A bis D beträgt 20,5 Tsd. m^2.

Durch den geplanten Pufferparkplatz soll die bestehende Parkinfrastruktur in der Stadt entlastet werden, neue Baugebiete erschlossen und der Fuß- und Radverkehr in der Struktur des städtischen Verkehrssystem gefördert werden. Dadurch sollen sich die Qualität des öffentlichen Raums direkt an der Küste oder am Strand, sowie die Sicherheit von Fußgängern und Radfahrern verbessern.

Die Zugänglichkeit für die Fußgänger, sowie die Gehzeiten von dem geplanten Umsteigeknoten zu den wichtigsten Zielen der Stadt Międzyzdroje sind in graphischer Form der Abb. 2 zu entnehmen. Neben den erschließenden Fußgänger- und Radwegen wird der Pufferparkplatz durch weitere Verkehrsmittel angefahren und bedient, wie u. a. Busse, Elektrofahrzeuge (Typ Melex), die die Parkenden in die Stadt bringen sollen, sowie auch durch Linienbusse des städtischen Verkehrsverbunds, darunter durch die Bushaltestelle an der Straße ul. Nowomyśliwska.

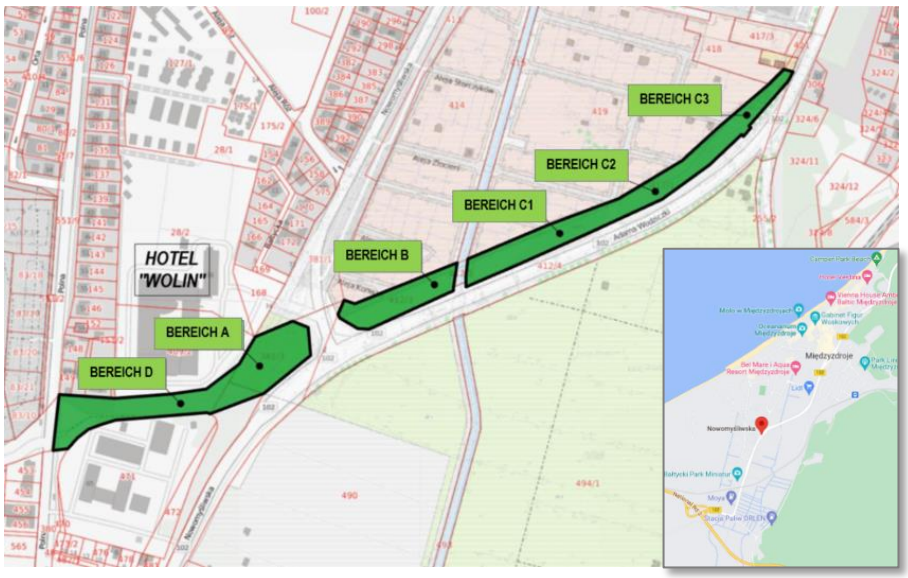


Abb. 1. Lage der Gebiete mit Bestimmung als zukünftiger Pufferparkplatz in Międzyzdroje [1]

Abb. 2. Gehzeiten zu den wichtigsten Zielen der Stadt [1]

Auf den mit A bis C markierten Gebieten gelten die Auflagen des lokalen Bebauungsplans für die Stadt Międzyzdroje [2]. Das Gebiet D ist durch den geltenden Bebauungsplan nicht abgedeckt. Seine Bestimmung wird im Flächennutzungsplan der Gemeinde Międzyzdroje vorgegeben [3]. Die Aufstellung in der Tabelle 1 mit der aktuellen Beschreibung der Nutzungsbestimmungen für die Gebiete A bis D zeigt, dass nur das Gebiet D aktuell durch die lokalen Auflagen als eine Parkplatzfläche ausgewiesen wurde. Wenn des Konzept der Errichtung eines solaren Pufferparkplatzes in Międzyzdroje umgesetzt werden soll, müssen zuerst in Bezug auf die Gebiete A bis C der geltende Bebauungsplan aktualisiert werden und eine Entscheidung über die Bebauungs- und Bewirtschaftungsbedingungen für das mit D markierte Gebiet eingeholt werden. Die Abb. 3 bis 6 zeigen die konzipierte Lage des Pufferparkplatzes, die Abb. 7 bis 14 ausgewählte Visualisierungen.

Tab. 1. Aktuell gültige Nutzungsbestimmungen für die für den Pufferparkplatz ausgewählten Flächen [2, 3]

Bestimmung	Gebiete			
	A	B	C	D
Grünanlagen und Parks	×	×	×	–
Erholung	–	×	×	–
Interne Straßen	–	×	×	–
Fußwege	–	×	–	–
Kleingewerbe	–	–	×	–
Technische Erschließung – Kanalisation	–	–	×	–
Technische Erschließung – Stromversorgung	–	–	×	–
Erschließung – Parkplätze, Straßen	–	–	–	×

Abb. 3. Ein Abschnitt aus dem Bewirtschaftungsplan für den Pufferparkplatz – Gebiet D und ein Teil des Gebiets A [1]

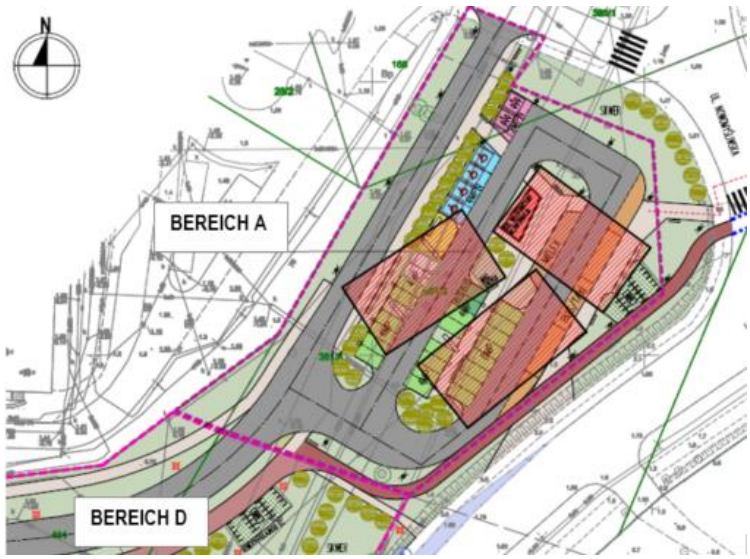


Abb. 4. Ein Abschnitt aus dem Bebauungsplan A [1]

Abb. 5. Ein Abschnitt aus dem Bewirtschaftungsplan für den Pufferparkplatz – Gebiet B und ein Teil des Gebiets C1 [1]

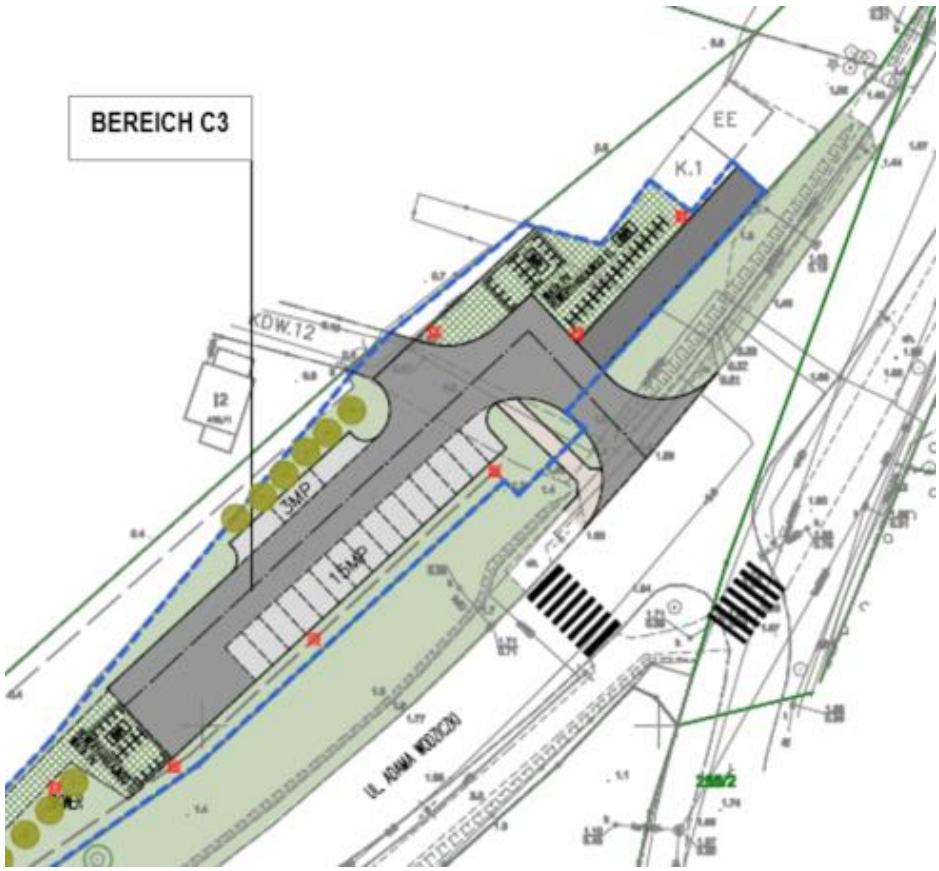


Abb. 6. Ein Abschnitt aus dem Bewirtschaftungsplan für den Pufferparkplatz – Gebiet C3 [1]

Die wichtigsten Bestandteile der Infrastruktur, die neben den Abstellplätzen auch weitere Elemente umfasst, wurde für das Gebiet A vorgesehen. Dieses Gebiet soll sich von den übrigen (B, C und D) dadurch unterscheiden, dass hier drei Solar-Überdachungen, leicht zueinander gedreht, aufgestellt werden (s. Abb. 3 und 10). Diese sollen auf einer mittig gelegenen Verkehrsinsel aufgebaut werden, um die die weiteren Rangierstraßen und Wege in Form einer geschlossenen Schleife geführt werden (s. Abb. 3). Auf der Insel werden Parkplätze, Stadtmöbel, sowie technische und Sanitäreinrichtungen aufgebaut. Auf dem Gebiet A soll sich auch eine Busbucht für die Linienbusse, sowie eine Verbindungstraße zum Gebiet D befinden. Im Zuge des geplanten Abschnitts wird eine Ausfahrt zum geplanten Pufferparkplatz als eine Verbindung mit der Straße ul. Polna geplant (s. Abb. 4).

Auf dem Gebiet A werden außerdem Info- und Bildungsstände in Form von interaktiven Displays aufgestellt, die laufende Angaben zur Anzahl der verfügbaren

Parkplätze, zur Anzahl der unbelegten Ladestellen für die Elektroautos, zur Vermeidung der Kohlendioxidemissionen in die Luft in Folge der nachhaltigen Gestaltung der Technik am Parkplatz, sowie weitere Informationen und Präsentationen mit Bildungscharakter anzeigen, die das Bewusstsein stärken und das Wissen über die Energiewende vertiefen sollen.

Auf den restlichen Gebieten sind Rangierstraßen vorgesehen, die parallel zur Straße ul. A. Wodziczki (B, C1, C2, C3) mit Abstellplätzen an deren beiden Seiten in rechtswinkliger (B, C1, C2 – Abb. 5) und rechtswinkliger und paralleler Anordnung (C2 – Abb. 6) verlaufen sollen. Auf den mit B und C1 markierten Gebieten ist der Bau von Parküberdachungen in rechtswinkliger Anordnung zur Achse der Innenstraße vorgesehen (s. Abb. 5, 9, 12, 13). Die Parkplätze B und C1 werden mit einem Fußweg und einer Brücke über den Wasserlauf erschlossen (s. Abb. 5). Die Abbildungen 7–13 zeigen Visualisierungen des vorgeschlagenen Solarparkplatzes. Die Abbildungen 7–13 zeigen Visualisierungen des vorgeschlagenen Solarparkplatzes.

Das Konzept für die Errichtung eines Pufferparkplatzes sieht insgesamt 233 Stellplätze vor. Die Beschaffenheit der geplanten Stellplätze ist in Tabelle 2 aufgeführt. Die geplante Infrastruktur des Parkplatzes umfasst 20 Standard- und 2 Schnellladeplätze zum Aufladen der Batterien von Elektroautos.

Tab. 2. Stellplätze auf den Gebieten, die zum Bau eines Pufferparkplatzes in Międzyzdroje vorgesehen sind [1]

Gebiet	Anzahl der Stellplätze					
		Elektrofahrzeuge				
	Pkws insgesamt	mit Anschluss für die Standardladung	mit Anschluss für die Schnellladung	BUS 16 bis 20 Personen (Länge 10 m)	Elektrofahrzeuge Typ Melex	Fahrräder
A	30	20	2	3	3	30
B	46	0	0	0	0	20
C1	71	0	0	0	3	0
C2	31	0	0	0	0	0
C3	18	0	0	0	0	60
D	37	0	0	0	6	40
Insgesamt	233	20	2	3	12	150

Abb. 7. Gebiete D und A – Visualisierung, Luftbild [1]

Abb. 8. Gebiet A – Visualisierung der Straße ul. Nowomyśliwska in Richtung der Straße ul. A. Wodziczki [1]

Um den Betrieb des Parkplatzes möglichst nachhaltig zu gestalten, insbesondere in Hinblick auf den Stromverbrauch zum Aufladen von elektrisch angetriebenen Fahrzeugen sind die Überdachungen mit aktiver Eindeckung aus Photovoltaikanlagen vorgesehen, was sich in der Bezeichnung des Parkplatzes widerspiegeln soll: „Solar Parking“. Die geplante Gesamtfläche der Photovoltaikanlagen auf den Überdachungen soll rund 2,53 Tsd. m^2 betragen und nach den ersten Schätzungen je nach der Art der verlegten Photovoltaikplatten Erzeugung von rund 700 MWh Strom jährlich erlauben. Der so gewonnene Strom soll in erster Reihe sowohl zum Aufladen von Elektrofahrzeugen, als auch zur Versorgung der eigenen Parkplatzinfrastruktur, wie Beleuchtung, Technik oder Bewachung dienen.

Abb. 9. Gebiet A – Visualisierung von der Seite des Hotels Wollin [1]

Abb. 10. Gebiet A – Visualisierung von der Seite der Straße ul. A. Wodziczki [1]

Abb. 11. Gebiet A – Visualisierung von der Seite der Straße ul. A. Wodziczki [1]

Abb. 12. Gebiete B, C1 und C2 – Visualisierung, Luftbild [1]

Um einen flexiblen und ununterbrochenen Betrieb des Solarparkplatzes sicherzustellen, werden auf dem Gebiet des Parkplatzes entsprechende Energiespeicher aufgebaut, die zur Speicherung der Stromüberschüsse, sowie zur Sicherstellung der erforderlichen Ladeleistung dienen sollen. Laut der Planung soll jeder Energiespeicher Kapazität von 90 kWh und Leistung von 60 kW sicherstellen.

Aufgrund der lokal herrschenden klimatischen Bedingungen, die sich durch Mangel an Sonnenstrahlung in den winterlichen Monaten, insbesondere im Dezember und Januar, auszeichnen, soll auch ein Anschluss an das elektrische Versorgungsnetz mit der Leistung von 40 kW geplant werden. Durch diese Lösung soll die Mindestleistung zum Aufladen der Energiespeicher, sowie ein Verbundbetrieb bei günstigen Bedingungen mit der Leistung bis zu 100 kW sichergestellt werden.

Das Parkplatzgelände wird nach Einbruch der Dämmerung mithilfe von LED-Laternen mit externen Leuchtmitteln mit der Farbtemperatur von 5000–7000 K beleuchtet. Auf dem Gebiet A werden auch hybride Solar-Windlampen, ausgestattet mit Akkus, Windturbinen und Photovoltaik geplant.

Der Pufferparkplatz wird mit öffentlich zugänglichen Sanitäranlagen ausgestattet. Die Energie für den Betrieb dieser Einrichtung soll zum möglichst hohen Anteil von den Photovoltaikanlagen auf den Überdachungen (Versorgung mit Strom), sowie von Solar-Kollektoren (für Warmwasser) gewonnen werden. Für die Spülung der Toiletten wird Regenwasser aus den Regenwassertanks genutzt. Das gesamte System soll intelligent gesteuert und verwaltet werden.

Abb. 13. Gebiete C1 und C2 – Visualisierung von der Seite der Straße ul. A. Wodziczki [1]

Abb. 14. Gebiete A und B – Visualisierung, Luftbild [1]

Wasser für die Toilettenspülung (Niederschlag- und Tauwasser), sowie Wasser zur Versorgung der Grünanlagen soll durch ein Entwässerungssystem der befestigten Flächen auf dem Pufferparkplatz aufgefangen und in speziell dafür vorgesehenen Tanks aus Beton gesammelt werden. Das so gesammelte Niederschlag- und Tauwasser wird vor der Einleitung in die Wasserversorgung gereinigt, indem die ölhaltigen Verschmutzungen ausgefiltert werden. Das Layout der Niederschlag- und Tauwassersysteme ist der Abb. 15 zu entnehmen.

Aufgrund der Tatsache, dass das aufgefangene Regenwasser in den Wassertanks wegen der Gefahr der Fäulnis nicht länger als 21 Tage lang vorgehalten werden soll und der Tatsache, dass längere niederschlagsfreie Perioden möglich sind, muss eine Option für den Anschluss des Systems an die städtische Wasserversorgung sichergestellt werden.

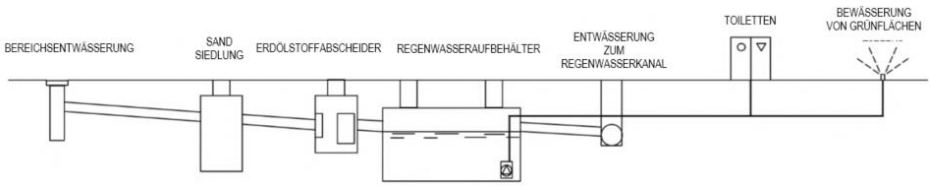


Abb. 15. Layout der Niederschlag- und Tauwassersysteme auf dem Pufferparkplatz [1]

Die Bewässerung der Grünflächen des Pufferparkplatzes soll vollständig automatisch erfolgen, der Zustand des Bodens und seine Trockenheit sollen mittels Sensoren überwacht werden, die auf dem Parkplatzgelände verteilt werden.

Das Konzept für den Bau eines Pufferparkplatzes für die Stadt Międzyzdroje sieht auch vor, dass die Gebiete A, B, C3 und D mit Elementen der Fahrradinfrastruktur ausgestattet werden (s. Tab. 1). An den markierten Stellen werden Fahrrad- und Rollerständer, sowie SB-Servicestellen geplant, die den Betrieb der geplanten Infrastruktur erleichtern und verbessern sollen.

Das Gelände des Pufferparkplatzes werden über die bestehenden Radwege erschlossen. Auch der Ausbau von Fuß- und gemischten Fuß-/Radwegen wird geplant. Diese sollen über einen bereits bestehenden Radweg in der Stadt Międzyzdroje über die Straße ul. Polna an den Radweg Euro Velo 10 angeschlossen werden. Der Radweg R 10 Velo Balctica mit einer Gesamtlänge von 540 km beginnt in Świnoujście und führt entlang der südlichen Ostseeküste bis nach Elbląg (s. Abb. 16) [4].

Abb. 16. Der Verlauf des Radweges R 10 auf den Inseln Usedom und Wollin mit Darstellung dessen Höhenprofils auf der gesamten Strecke [2]; im Streckenprofil ist der äußerste östliche Abschlusspunkt des MoRE-Gebiets eingezeichnet

Zusammenfassung

Das hiermit vorgestellte Konzept für den Bau eines Solarparkplatzes in Międzyzdroje, das den touristischen Individualverkehr unter Verwendung von Pkws von der Innenstadt verbannen soll, gehört zur 1. Stufe des Energiewendekonzepts zur Verringerung der Luftverschmutzung durch den Straßenverkehr. Die geplanten 233 Parkplätze werden nicht ausreichen, den gesamten Bedarf eines Ortes an Parkplatzinfrastruktur zu decken, weil die Zahl der potenziellen Nutzer im städtischen Raum im Verhältnis zur Einwohner in der Hochsaison um etwa 1700 % ansteigt. Das Energiewendekonzept der Gemeinde im Verkehrsbereich sieht deswegen den weiteren Ausbau der Parkinfrastruktur vor. Die Abbildung 16 zeigt die potenziellen Ausbaurichtungen der Pufferparkplätze in Międzyzdroje.

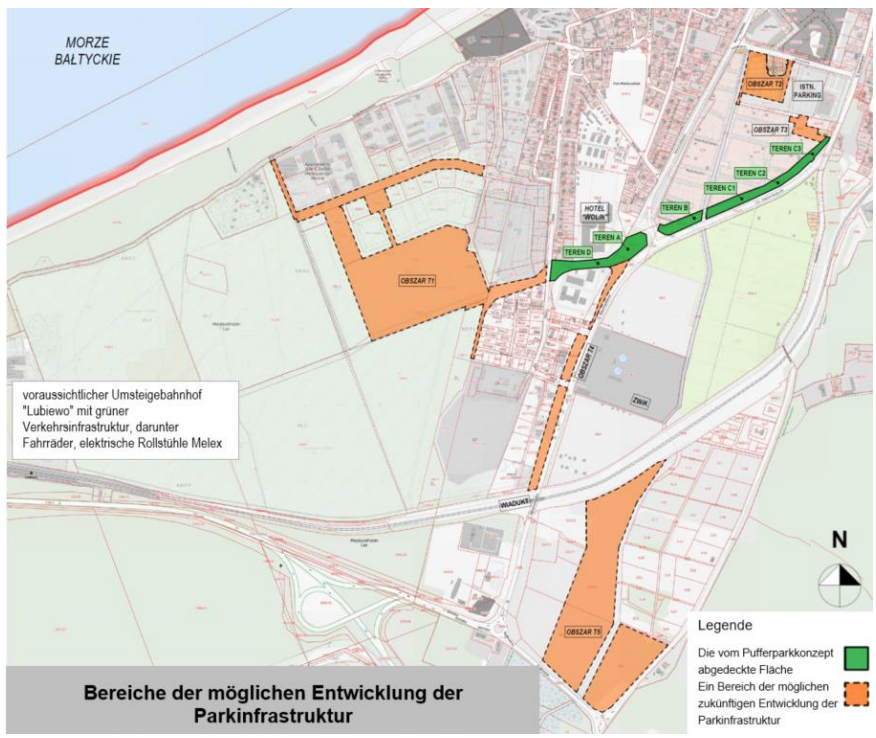


Abb. 17. Lage der potenziellen Gebiete für den Ausbau der Pufferparkplätze und deren Infrastruktur in Międzyzdroje [1]

Literaturverzeichnis

1. Koncepcja transformacji energetycznej w zakresie ograniczenia emisji zanieczyszczeń przez pojazdy spalinowe w miejscowościach turystycznych na przykładzie miasta Międzyzdroje – Koncepcja budowy parkingu buforowego. Najda Consulting, Szczecin 2022.
2. Uchwała 5 Nr XLVIII/481/14 Rady Miejskiej w Międzyzdrojach z dnia 28 stycznia 2014 r. w sprawie zmiany miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego miasta Międzyzdroje na terenie ograniczonym ul. Komunalną, ul. Nowomyśliwską, ul. Wodziczki, ciekiem wodnym „Stary Zdrój", torami kolejowymi i ul. Niepodległości. Dziennik Urzędowy Województwa Zachodniopomorskiego z dnia 5 marca 2014 r., poz. 1004.
3. Studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego gminy Międzyzdroje. Uchwała nr XLV/482/18 Rady Miejskiej w Międzyzdrojach z dnia 14 czerwca 2018 r.
4. https://velomapa.pl/szlaki/velo-baltica-eurovelo-10-13-r10 (dostęp 22.07.2022).

Elektromobilität auf den Inseln Usedom und Wollin

Norbert Lech, Piotr Nikończuk
Westpommersche Technische Universität Stettin

Standort der Ladestationen auf den Inseln Usedom und Wollin

Auf den Inseln Usedom und Wollin gibt es insgesamt 27 Ladestationen für Elektrofahrzeuge, davon 18 auf der deutschen Seite und neun auf der polnischen Seite. Auf polnischer Seite gibt es 2 Schnellladestationen, je eine in Swinemünde und Międzyzdroje. Die Verteilung der Stationen ist in Abbildung 1 dargestellt.

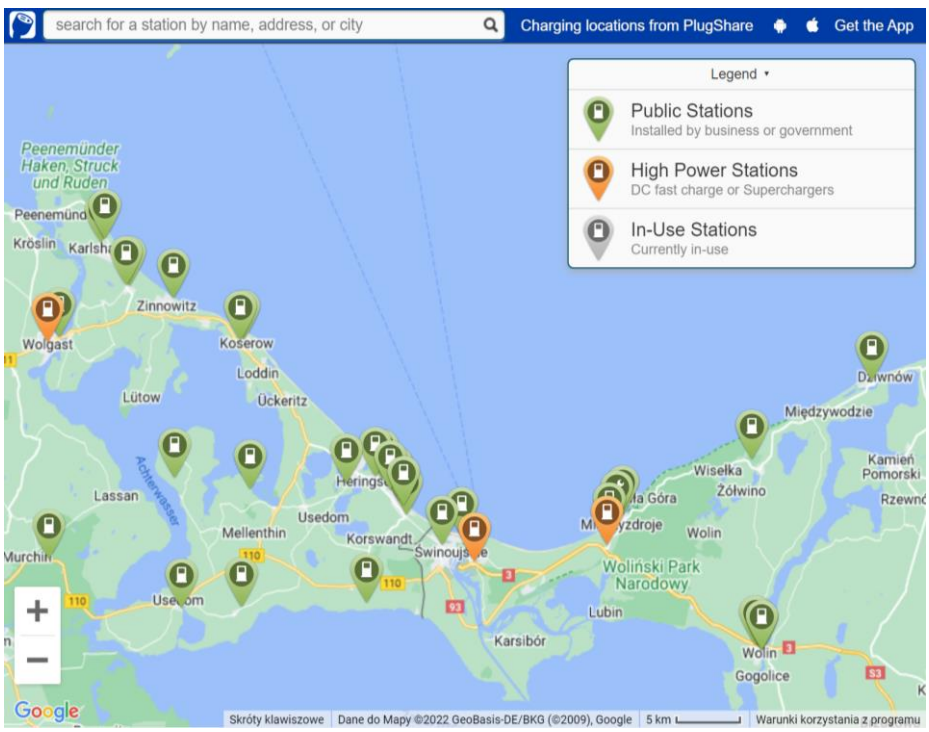


Abb. 1. Verteilung der Ladestationen auf den Inseln Wollin und Usedom [1]

Darüber hinaus gibt es weitere Ladestationen in unmittelbarer Nähe der Inseln: 7 auf deutscher Seite, darunter 3 Schnellladestationen, und 1 auf polnischer Seite, in Dziwnów. Insgesamt gibt es 35 Ladestationen für Elektrofahrzeuge auf den Inseln und in der näheren Umgebung.

Auch die Reichweite von Elektrofahrzeugen ist ein wichtiger Faktor bei der Analyse der Verfügbarkeit von Elektromobilität. Bei PKW liegt die Katalogreichweite mit einer geladenen Batterie im Durchschnitt bei 300–400 km, während die tatsächliche Reichweite deutlich geringer ist [2].

Die Beförderung von Gütern mit Elektrofahrzeugen wird im Vergleich zur Personenbeförderung wesentlich schwieriger. Der Volkswagen e-Crafter zum Beispiel hat eine Reichweite von knapp über 100 km [3]. Diese Einschränkung macht eine umsichtige Planung der Warenverteilung erforderlich, bei der die Lage der Ladestationen auf und in der Nähe der Inseln Usedom und Wollin berücksichtigt werden muss.

Analyse der Faktoren, die die Reichweite von Elektrofahrzeugen beeinflussen

Die Reichweite ist einer der wichtigsten Aspekte, die bei der Planung des Einsatzes eines Elektrofahrzeugs berücksichtigt werden sollten. Im Vergleich zu konventionell angetriebenen Fahrzeugen haben Elektroautos eine geringere Reichweite. Mit einem vollen Kraftstofftank und einem ausgedehnten Tankstellennetz kann in der Regel eine längere Strecke zurückgelegt werden als mit einer voll aufgeladenen Batterie eines Elektrofahrzeugs.

Schlüsselfaktoren, die die Batteriekapazität eines Elektrofahrzeugs beeinflussen

Die Faktoren, die die Reichweite eines Elektrofahrzeugs beeinflussen, sind vielfältig. Dies ist zum Teil auf die direkten Auswirkungen auf die Fahrzeugbatterie und ihre Lebensdauer zurückzuführen, was wiederum die Reichweite des Fahrzeugs beeinträchtigt. Neben den Merkmalen des Energiespeichers selbst müssen jedoch auch Fragen im Zusammenhang mit dem Standort der Ladestationen entlang der Strecke des Fahrzeugs, ihrer Kompatibilität mit dem Fahrzeug und der Geschwindigkeit, mit der die Autobatterie geladen wird, berücksichtigt werden. Faktoren, die den Weg, den ein Nutzer eines Elektrofahrzeugs einschlagen kann, maßgeblich beeinflussen, sind:

- Zustand der Batterie,
- Verkehrsaufkommen,
- topographische Bedingungen der Straße,
- Verteilung und Verfügbarkeit von Ladestationen,
- technische Parameter des Fahrzeugs,
- Betriebsweise des Fahrzeugs,
- Wetterbedingungen.

Die Degradation von Batterien ist ein natürlicher Prozess, der die Menge an Energie, die eine Batterie speichern kann, oder die Menge an Energie, die sie liefern kann, dauerhaft verringert. Batterien in Elektrofahrzeugen können in der Regel mehr Strom liefern, als die Komponenten des Antriebsstrangs benötigen. Infolgedessen ist ein Leistungsverlust bei Elektrofahrzeugen selten zu beobachten, und nur der Verlust der Fähigkeit der Batterie, Energie zu speichern, ist de facto von Bedeutung. Der Zustand der Batterie wird mit der Abkürzung SoH (*State of Health*) bezeichnet, was übersetzt so viel bedeutet wie „Gesundheitszustand der Batterie". Batterien beginnen ihre technische Lebensdauer bei 100 % SoH und bauen mit der Zeit ab. Beispielsweise würde eine 60-kWh-Batterie mit 90 % SoH effektiv wie eine 54-kWh-Batterie arbeiten [2]. Abbildung 2 zeigt die Beziehung zwischen der durchschnittlichen Degradationsrate der Batterie und der Zeit.

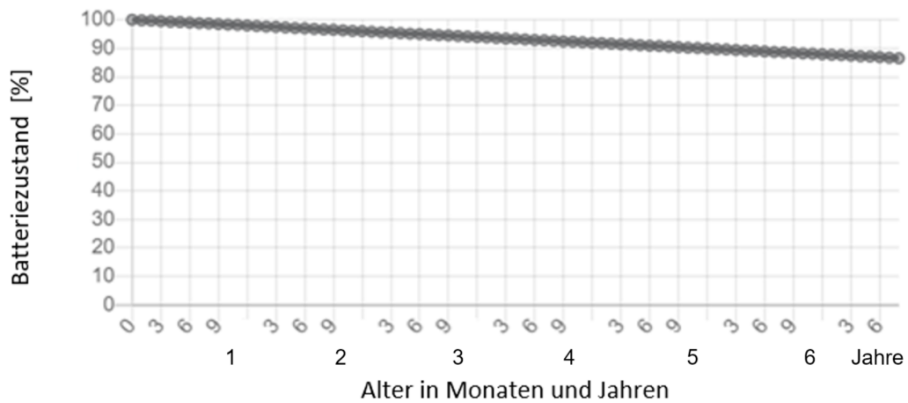


Abb. 2. Diagramm, das die durchschnittliche Batterieabnutzung im Laufe der Zeit zeigt

Zu den Faktoren, die zur Verschlechterung der Batterieleistung beitragen, gehören:

- Zeit,
- hohe Temperaturen,
- Betrieb mit hohem und niedrigem Batteriestand,
- hoher elektrischer Strom,
- Nutzung (Ladezyklen).

Batterien für Elektrofahrzeuge sind Teile, die empfindlich auf Temperaturschwankungen reagieren. Eine zu hohe oder zu niedrige Temperatur kann den Degradationsprozess oder den aktuellen Kapazitätszustand der Batterie erheblich beeinflussen (Abb. 3).

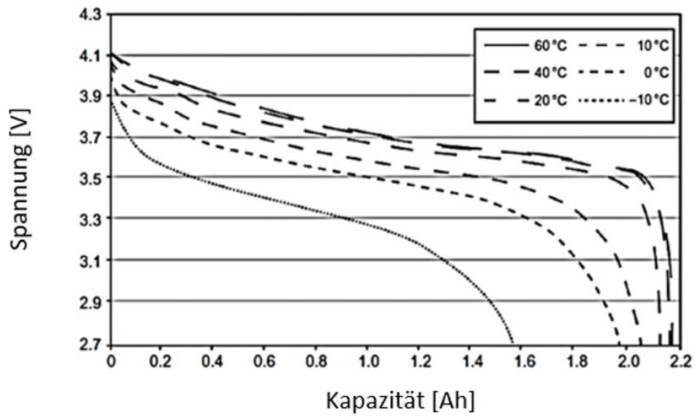


Abb. 3. Einfluss der Temperatur auf die Abnahme der Batteriekapazität [4].

Die Temperatur der Batterie sollte innerhalb bestimmter Grenzen kontrolliert werden, um thermische Probleme zu vermeiden und die Leistung des Energiespeichers zu verbessern. Der Betriebstemperaturbereich, insbesondere seine gleichmäßige Verteilung, wirkt sich auf die Batterieleistung und die Lebensdauer der Batterie aus, so dass ein Batterie-Temperaturmanagementsystem eine wesentliche Komponente eines Batteriesystems ist.

Die Verkehrsdichte auf den Straßen ist einer der Faktoren, die bei der Planung einer Route für Elektrofahrzeuge zu berücksichtigen sind. Es ist wichtig, das Auftreten von Staus auf der Strecke zu berücksichtigen, da die Reichweite des Fahrzeugs bei einem bestimmten Ladezustand der Batterie möglicherweise abnimmt. Das Fahren im Stau ist mit ständigen Geschwindigkeitsänderungen verbunden (häufiges Abbremsen und Beschleunigen), was wiederum zu einem höheren Stromverbrauch führt. Kommt es zu einem Stau, kann es sein, dass die weiterführende Route aufgrund der dann geringeren Reichweite geändert werden muss. In Extremsituationen kann der Energieverbrauch durch Abschalten der Heiz- und Kühlsysteme minimiert werden. Dies ist jedoch eine suboptimale Lösung, da die Umgebungstemperatur einen erheblichen Einfluss auf die Bedingungen im Inneren des Fahrzeugs hat, wenn ein solches System abgeschaltet ist.

Auch die topografischen Gegebenheiten der Strecke haben einen erheblichen Einfluss auf den Verbrauch der Batterie, die das Fahrzeug antreibt. Zu den Parametern, die Veränderungen in der Topografie eines Standorts beschreiben, gehören [5]:

- durchschnittliche Neigung,
- Gesamtaufstieg oder -abstieg in Metern.

Im Allgemeinen gilt: Je größer die Höhenunterschiede, desto höher der Energieverbrauch zugunsten der potenziellen Energie des Fahrzeugs [5]. Es ist jedoch zu bedenken, dass einige Elektrofahrzeuge mit Energierückgewinnungssystemen ausgestattet sind, so dass ein Teil der Energie, die beim Befahren einer Straße mit großem Gefälle oder beim Bremsen während der Fahrt verloren geht, zurückgewonnen werden kann.

Der Standort von Ladestationen ist ein weiterer Faktor, der sich während der Fahrt nicht direkt auf das Fahrzeug auswirkt, aber für die Festlegung der Route eines Elektrofahrzeugs entscheidend ist. Wenn die geplante Route eine größere Entfernung als die Reichweite des Fahrzeugs erfordert, sollte ein Halt an einer Ladestation eingeplant werden. Es ist wichtig, den Typ der Ladestation (Schnell- oder Langsamladung) zu überprüfen und festzustellen, ob sie mit dem zu fahrenden Fahrzeug kompatibel ist.

Sowohl die Parameter des Fahrzeugs (Motorleistung, Gewicht des Fahrzeugs) als auch seine Ausstattung (Innenraum- und Kühlsysteme, Navigationssysteme, Radio und Soundsystem) und die Nutzlast (Fahrgäste einschließlich Gepäck) beeinflussen die Batterie. Es ist offensichtlich, dass Autos, die mehr Leistung und Gewicht benötigen, mehr Energie verbrauchen als Autos mit niedrigeren Werten für die genannten Parameter.

Auch die Art und Weise, wie das Fahrzeug betrieben wird, beschrieben durch den so genannten Fahrstil, beeinflusst den Energieverbrauch während der Fahrt. Das Fahrverhalten eines Fahrers kann auf eine Reihe von Merkmalen zurückgeführt werden, die ihn beschreiben, wie Alter, Geschlecht oder Fahrpraxis. Je aggressiver der Fahrstil, desto größer sind die Schwankungen bei der Beschleunigung und Verzögerung und der Durchschnittsgeschwindigkeit. Ein solches Verhalten führt zu einem erhöhten Energieverbrauch im Straßenverkehr [6].

Von den oben genannten Faktoren wurden einige für eine detaillierte Analyse im weiteren Verlauf des Dokuments ausgewählt. Zu den analysierten Faktoren gehörten: Temperatur, Anordnung der Ladestation, Fahrzeugparameter und Fahrzeugbetrieb.

Einfluss von Wetterbedingungen auf die Reichweite eines Elektrofahrzeugs

Die atmosphärischen Bedingungen gehören zu den wichtigen Faktoren, die den Weg von Elektrofahrzeugen beeinflussen. Neben den direkten Auswirkungen von Temperatur und Luftfeuchtigkeit auf den Ladezustand und den Grad der Degradation der Batterie (was Schwankungen in der Reichweite des Fahrzeugs mit sich bringt), machen extrem hohe oder niedrige Temperaturen

bestimmte zusätzliche fahrzeugtechnische Systeme wie Heizung oder Kühlung, die für das richtige Mikroklima im Fahrzeuginnenraum sorgen, überflüssig.

Eine Studie der Royal Society of Chemistry [7] aus dem Jahr 2016 hat die Bedeutung der Auswirkungen hoher Luftfeuchtigkeit auf die Selbstentladung von Lithium-Ionen-Batterien (der Typ von Batterien, der in Elektrofahrzeugen verwendet wird) nachgewiesen. Der Test wurde sowohl mit Batterien mit ausreichendem Schutz vor Feuchtigkeit in der Umgebungsluft als auch mit Batterien ohne Feuchtigkeitsschutz durchgeführt. Die Versuchsdauer betrug 30 Tage, und die klimatischen Bedingungen, unter denen der Versuch durchgeführt wurde, wurden durch eine Umgebungstemperatur von 25°C und eine relative Luftfeuchtigkeit von 90% geprägt. Die Veränderungen der Batterieeigenschaften durch den Betrieb unter den angegebenen Bedingungen sind in den Abbildungen 4–7 dargestellt.

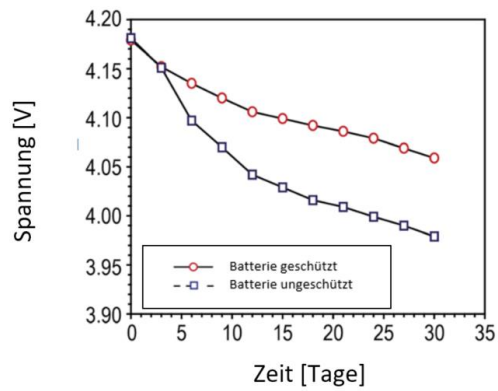


Abb. 4. Spannungsschwankungen im offenen Stromkreis bei vollständig geladenen Lithium-Ionen-Batterien [7]

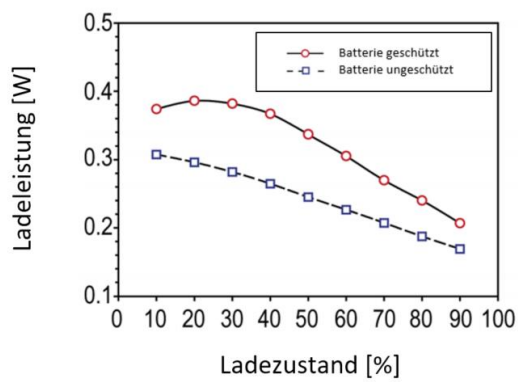


Abb. 5. Elektrochemische Eigenschaften von Batterien – Impulsleistungsfähigkeit von Lithium-Ionen-Batterien [7]

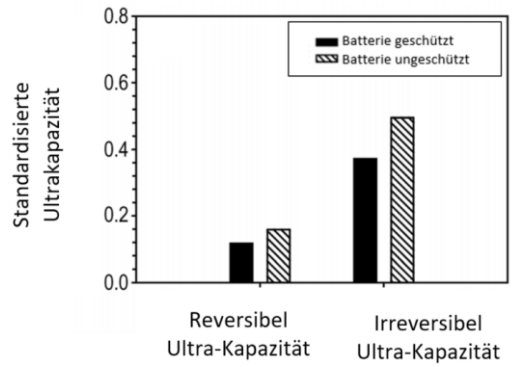


Abb. 6. Normalisierter, reversibler und irreversibler Kapazitätsverlust bei Lithium-Ionen-Batterien nach Lagerung im vollgeladenen Zustand [7]

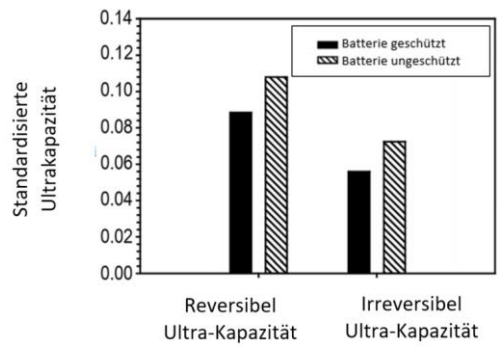


Abb. 7. Normalisierter, reversibler und irreversibler Kapazitätsverlust für Lithium-Ionen-Batterien nach der Lagerung [7]

Durch den Vergleich der Selbstentladungseigenschaften von Lithium-Ionen-Batterien wurde bestätigt, dass die Feuchtigkeit, der die Batterie während der Lagerung ausgesetzt ist, einen großen Einfluss auf die Selbstentladungseigenschaften hat. Durch die Verwendung eines Batterieschutzes wird die Entladung dieses Batterietyps wirksam verlangsamt. Gleichzeitig ist zu beachten, dass der (in erster Linie irreversible) Kapazitätsverlust bei voll geladenen Batterien viel größer ist. Das bedeutet, dass die optimale Nutzung der Batterien nicht darin besteht, sie bis zur vollen Kapazität aufzuladen. Aus der präsentierten Studie [7] kann gefolgert werden, dass der Fahrer eines Elektrofahrzeugs, das in einem Klima mit hoher relativer Luftfeuchtigkeit betrieben wird, größeren Verlusten an Batteriekapazität und folglich einer geringeren potenziellen Fahrzeugreichweite sowie größeren Einschränkungen bei der Routenplanung des Elektrofahrzeugs ausgesetzt ist.

Einfluss der Temperatur auf die Lebensdauer der Batterie

Die Temperatur der Batterie ist ein wichtiger Faktor, der ihre Lebensdauer bestimmt und die Abnutzung beeinflusst. Extreme Temperaturen – extrem hoch oder extrem niedrig – wirken sich negativ auf die Batterie aus, verschlechtern ihre anfängliche Leistung und tragen somit zu einer Verringerung der Reichweite des Elektrofahrzeugs bei. Elektrofahrzeuge sind mit Systemen ausgestattet, die die Batterietemperatur aktiv steuern [4].

Längerer Aufenthalt bei niedrigen Temperaturen beeinträchtigt die Batterieleistung und die Reichweite des Fahrzeugs [8], wie Tests mit mehreren Elektroauto-Modellen unter winterlichen Bedingungen auf norwegischen Straßen gezeigt haben [9]. Wenn die Umgebungstemperatur sinkt, steigt der Innenwiderstand der Batterie. Das bedeutet, dass das Aufladen der Batterie mehr Strom erfordert, was wiederum ihre Kapazität verringert. Es ist jedoch zu beachten, dass der Kapazitätsverlust auch von der Lade- und Entladerate abhängt und dass sich niedrige Temperaturen bei Batterien, die mit unterschiedlichen Technologien hergestellt wurden, unterschiedlich auswirken. Beispielsweise kann eine Blei-Säure-Batterie bei einer Umgebungstemperatur von −17 °C während des Ladevorgangs nur die Hälfte ihrer Nennkapazität liefern.

Die Betriebstemperatur der Batterie hängt auch von ihrem Typ ab. Lithium-Ionen-Batterien können bei Temperaturen im Bereich von 0–45 °C aufgeladen und bei −20–60 °C entladen werden (beim Betrieb bei so hohen Temperaturen treten jedoch die bereits erwähnten Probleme auf). Blei-Säure-Batterien können bei einer Temperatur von −20–50 °C geladen und entladen werden. Es ist wichtig, die Ladetemperatur zu kennen, die die Batterie vertragen kann. Wenn die Batterien nicht bei der richtigen Temperatur betrieben werden, ist die Ladebereitschaft geringer, weil die Ionenverbindung langsamer ist. Das Erzwingen eines hohen Stroms kann Druck erzeugen, der auch geschlossene Batterien zur Explosion bringt [10]. Abbildung 8 zeigt die Entladespannung einer Lithium-Ionen-Zelle in verschiedenen Temperaturbereichen. Das Diagramm (Abb. 8) zeigt deutlich die abnehmende Leistung der Batterie bei abnehmender Temperatur. Wenn die Batterie extrem niedrigen Temperaturen (−20°C) ausgesetzt wird, verringert sich ihre maximale Kapazität.

Auch ein Temperaturanstieg beeinträchtigt die Lebensdauer der Batterie. Wenn die Temperatur der Batterie steigt, beschleunigen sich die chemischen Reaktionen innerhalb der Batterie. In den höheren Temperaturbereichen ist ein Anstieg der Leistung und Kapazität von Lithium-Ionen-Batterien zu verzeichnen. Eine in Scientific Reports [11] veröffentlichte Studie zeigte, dass eine Temperaturerhöhung von 25 °C auf 45 °C zu einer 20 % Steigerung der maximalen Kapazität der Batterie führte.

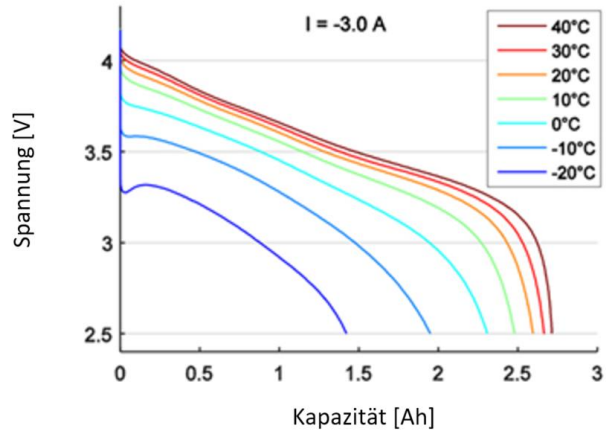


Abb. 8. Entladespannung einer 18650er Lithium-Ionen-Zelle bei 3 A und unterschiedlichen Temperaturen [10]

Diese erhöhte Effizienz hat jedoch auch den Nebeneffekt, dass sich die Lebensdauer der Batterie mit der Zeit verkürzt. In der gleichen Studie wurde festgestellt, dass sich die Lebensdauer der Batterie wesentlich stärker verschlechtert, wenn die Batterie bei einer höheren Temperatur geladen wird. Dieser Prozess wurde in zwei Temperaturbereichen von 45 °C (Bedingungen, die erhöhter Temperatur entsprechen) bzw. 25 °C (normale Bedingungen) getestet. Unter normalen Bedingungen (Temperatur 25 °C sank die Leistung der Batterie während der ersten 200 Entlade-/Ladezyklen nur um 3,3 %. Unter erhöhten Temperaturbedingungen (45 °C) sank die Batterieleistung bei der gleichen Anzahl von Zyklen um 6,7 %, was zu einer mehr als doppelt so starken Verschlechterung führte. Wenn man davon ausgeht, dass bei höheren Temperaturen eine stärkere Degradation der Batterie eintritt, muss man sich darüber im Klaren sein, dass sich die Lebensdauer der Batterie durch die ständige Exposition gegenüber extremen Temperaturen erheblich verkürzen kann (Abb. 9). Obwohl Hitzeeinwirkung die Kapazität der Batterie vorübergehend erhöht, kann die dadurch verursachte Beeinträchtigung des Lebenszyklus zu langfristigen Problemen und weitaus schwerwiegenderen Auswirkungen führen, weshalb eine längere Hitzeeinwirkung vermieden werden sollte.

Bei der Berücksichtigung aller Faktoren, die mit den Auswirkungen der Temperatur auf die Lebensdauer der Batterie zusammenhängen, muss bedacht werden, dass zusätzlich zu den Witterungsbedingungen die Temperatur der Batterie während des Betriebs des Fahrzeugs ansteigt und das Fahrzeug mit zusätzlichen Heiz- und Kühlsystemen ausgestattet ist. Bei der Planung einer Route mit einem

Elektrofahrzeug ist es daher notwendig, die Bedingungen, unter denen das Fahrzeug unterwegs sein wird, zu berücksichtigen und sich entsprechend vorzubereiten, d. h. gegebenenfalls die Heiz- oder Kühlsysteme zu aktivieren, bevor das Fahrzeug mit extremen Wetterbedingungen konfrontiert wird. Es ist auch zu bedenken, dass der Einsatz bestimmter Systeme mit einem hohen Batterieverbrauch verbunden ist, und der mögliche Verlust der Reichweite ist entsprechend zu berücksichtigen.

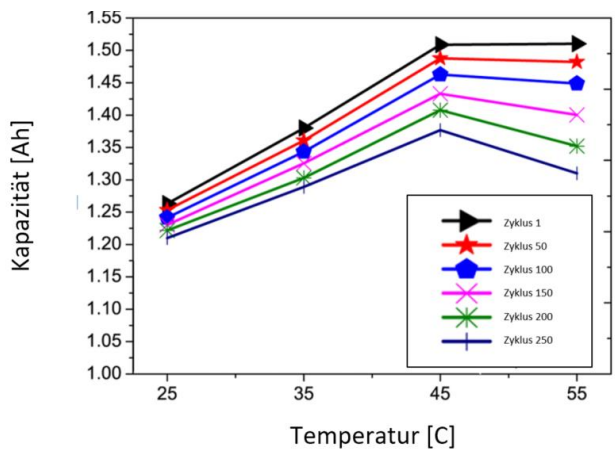


Abb. 9. Maximale Ladekapazität je nach Zyklus und Temperatur [11]

Einfluss der Fahrzeugparameter und der Betriebsart auf die Reichweite

Neben den oben beschriebenen Faktoren gibt es zahlreiche weitere Faktoren, die sich auf die Reichweite eines Fahrzeugs auswirken. Diese lassen sich in technische Faktoren, Fahrzeugparameter und die Art und Weise, wie das Fahrzeug betrieben wird, unterteilen. Bei letzterem spielen der Fahrer und die Art und Weise, wie er das Fahrzeug nutzt, eine große Rolle. Die Prüfergebnisse über den Einfluss der Geschwindigkeit auf die Energieeffizienz beim Betrieb vorgestellt [12].

Das Batteriesystem ist eine der wichtigsten Komponenten eines Elektrofahrzeugs und seine Technologie hat einen großen Einfluss auf den Energieverbrauch. Zu den damit zusammenhängenden Konstruktionsfaktoren gehören der Batterietyp, die Anzahl der Zellen, der Stapel und das Projekt des Batteriemanagementsystems (BMS). Diese Faktoren bestimmen auch die Batteriekapazität, den Energieverbrauch und das Gewicht. Darüber hinaus altert die Batterie durch die Ladezyklen, was durch den so genannten State of Health (SoH) gemessen wird. Die Geschwindigkeit der Batterieregeneration hat Auswirkungen auf den Gesamtenergiever

brauch. Die Geschwindigkeit der Batterieregeneration hat Auswirkungen auf den Gesamtenergieverbrauch. Aufgrund der Beschaffenheit des Antriebsaggregats (keine Verbrennungsmotoren) ist eine PTC-Heizung (mit positivem Temperaturkoeffizient) oder eine Wärmepumpe zur Wärmeerzeugung erforderlich, die im Prinzip mehr Energie benötigt als eine Klimaanlage. Der tatsächliche Energieverbrauch hängt jedoch nach wie vor stark vom lokalen Klima und dem Verhalten der Autofahrer ab. Zu den anderen Zusatzsystemen gehören unter anderem die Fahrzeugbeleuchtung, das Radio, das Navigationssystem und die optionale Sitzheizung sowie andere Einrichtungen, die dem Fahrkomfort dienen und nicht mit dem Antriebssystem des Fahrzeugs zusammenhängen. Diese Geräte werden von einer 12-Volt-Batterie gespeist, die an die Antriebsbatterie angeschlossen ist. Der Gesamteinfluss der Hilfssysteme auf den Energieverbrauch beim Fahren ist jedoch gering.

Weitere fahrzeugbezogene Komponenten sind der Antriebsstrang und die Motoreffizienz. Dazu gehören auch das Gewicht, die Größe und der Luftwiderstandsbeiwert des Fahrzeugs sowie der Rollwiderstand, der auf die Konstruktion und den Druck der Reifen zurückzuführen ist [5].

Der durchschnittliche Stromverbrauch bei konstanter Geschwindigkeit des Elektrofahrzeugs ist in Abbildung 10 und der Energieverbrauch bei konstanter Geschwindigkeit des Fahrzeugs in Abbildung 11 dargestellt.

Die Abbildungen 10 und 11 zeigen, dass der Stromverbrauch und damit der Energieverbrauch mit der Fahrzeuggeschwindigkeit deutlich ansteigt. Es ist daher wichtig, die Geschwindigkeit zu berücksichtigen, mit der das Elektrofahrzeug unterwegs ist, da diese einen erheblichen Einfluss auf die Strecke haben kann, die mit einem bestimmten Ladezustand der Batterie zurückgelegt werden kann.

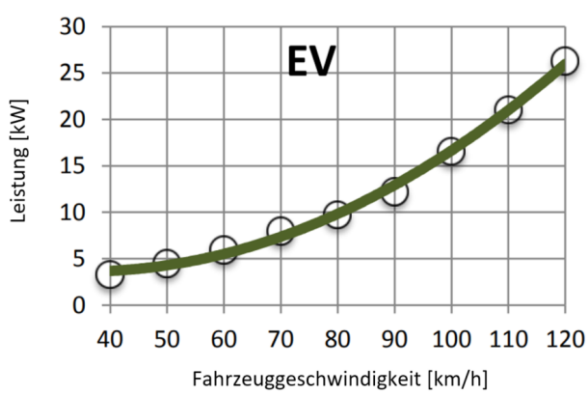


Abb. 10. Durchschnittlicher Stromverbrauch bei konstanter Geschwindigkeit des Elektrofahrzeugs [8]

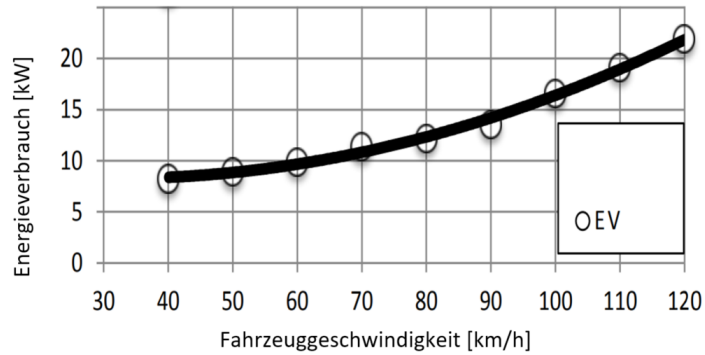


Abb. 11. Energieverbrauch eines Elektrofahrzeugs bei konstanter Geschwindigkeit [13]

Die so genannte Aggressivität des Fahrers, die sich in der Fahrweise niederschlägt, beeinflusst den Batterieverbrauch erheblich. Unter Aggressivität versteht man eine angemessene Kombination der folgenden Faktoren:

- durchschnittliche Geschwindigkeit,
- Beschleunigung,
- Anzahl der Stopps und Startphasen,
- Dauer der Stopp-Phase.

Die Studie [14] beschreibt Methoden zur Messung des Aggressionsfaktors des Fahrers und dessen Einfluss auf die Betriebsbedingungen eines Elektrofahrzeugs. In der Studie wurde eine Methode zur Analyse der Auswirkungen der durchschnittlichen positiven Beschleunigung auf den Energieverbrauch eines Elektrofahrzeugs verwendet. Diese Analyse wurde durch den Einsatz der analytischen Korrelation erleichtert. Auf der Grundlage der Korrelation wurden Änderungen der durchschnittlichen positiven Beschleunigung vorgenommen, um die Auswirkungen von drei Arten von Fahrern zu bewerten, die wie folgt charakterisiert wurden: „typische“, „sparsame“ und „aggressive“ Fahrer. Abbildung 12 zeigt die Ergebnisse, die mit einer durchschnittlichen positiven Beschleunigung von 0,38 m/s² – repräsentativ für einen „sparsamen“ Fahrer – bis 1,03 m/s², die den Fahrstil eines „aggressiven“ Fahrers beschreibt, erzielt wurden.

Die Ergebnisse wurden aus den Mindest- und Höchstwerten der gesamten Fahrzyklusdatenbank ermittelt. Wie aus Abbildung 12 hervorgeht, hat die Veränderung des Energieverbrauchs aufgrund der Aggressivität des Fahrers einen erheblichen Einfluss auf den Endenergieverbrauch des Fahrzeugs. Vergleicht man die Ergebnisse eines „sparsamen“ Fahrers mit denen eines „aggressiven“ Fahrers, so kann der Unterschied zwischen den beiden von etwa 40 % bei niedriger Geschwindigkeit bis zu 10 % bei hoher Geschwindigkeit reichen. So lässt

sich erkennen, wie wichtig der Fahrstil des Fahrers ist und wie sehr eine wirtschaftliche Fahrweise den Unterschied ausmachen kann [14].

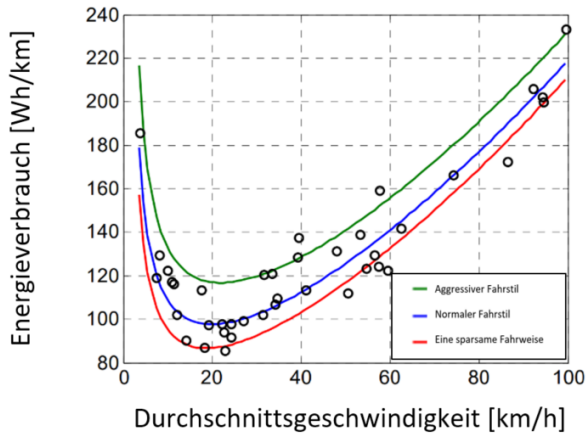


Abb. 12. Einfluss des Fahrstils des Fahrers auf den Energieverbrauch des Fahrzeugs [14]

Neben dem Fahrstil des Fahrers kann auch der Einfluss des Komfortbedürfnisses auf die Nutzung von Zusatzsystemen wie Klimaanlage oder Heizung unterschieden werden. Weitere Faktoren sind die körperliche Verfassung des Fahrers und die psychologische Reichweitenangst [15], die definiert ist als die Befürchtung, dass die Reichweite eines Fahrzeugs nicht ausreicht, um das Ziel zu erreichen, was zu der Befürchtung führt, dass der Fahrer und/oder Beifahrer im Fahrzeug stecken bleibt.

Zusammenfassung

Wie bereits in der Einleitung erwähnt, stellt die Elektromobilität der Lieferfahrzeuge eine große Herausforderung dar. Die Katalogreichweite eines Lieferwagens kann etwas mehr als 100 km betragen. Unter Berücksichtigung der oben beschriebenen Parameter, die sich auf die tatsächliche Reichweite von Elektrofahrzeugen auswirken, kann davon ausgegangen werden, dass sich die Reichweite eines elektrischen Lieferfahrzeugs bei ungünstigen Witterungs- und Straßenverhältnissen und einer gemäßigten Fahrweise um bis zu 50 km verringert. Als Beispiel wurden die Fahrzeugroute von Wollin nach Międzywodzie und die Rückfahrt abgebildet. Es war geplant, die wichtigsten Orte zu besuchen, an denen diverse touristische Aktivitäten ausgeübt werden. Abbildung 13 zeigt die besagte Route.

Die geplante Strecke beträgt 50,6 km. Diese Entfernung liegt an der Grenze der Reichweite des Fahrzeugs bei ungünstigen Wetter- und Straßenverhältnissen. Auf der geplanten Strecke gibt es außer in Wollin, dem Start- und Endpunkt der Reise, keine Ladestation für Fahrzeuge. Bei der Planung längerer Fahrten, insbesondere mit einem Elektrotransporter auf Inseln, muss die Reichweite des Fahrzeugs mit Bedacht abgeschätzt [16] und die Fahrt geplant werden [17].

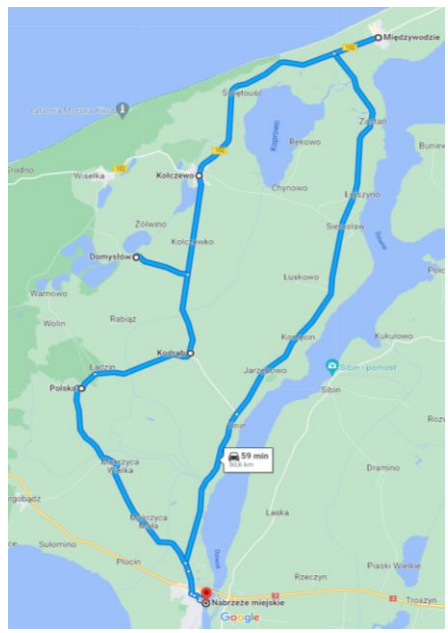


Abb. 13. Geplante Route für ein elektrisches Lieferfahrzeug

Vor dem Hintergrund der skizzierten Faktoren wird ein Ausbau der Ladestationsinfrastruktur auf den Inseln Usedom und Wollin als sinnvoll erachtet. Bei der Planung des Standorts und der Anzahl der Ladestationen ist es sicherlich hilfreich, die geringe Reichweite von Liefer-Elektrofahrzeugen und das lokale Verkehrsaufkommen im Bereich der Inseln zu berücksichtigen [18].

Literaturverzeichnis

1. https://elektrowoz.pl/ladowarki/ (1.07.2022).
2. https://motoryzacja.interia.pl/raporty/raport-samochody-elektryczne/samochody-elektryczne/news-samochody-elektryczne-nie-radza-sobie-zima-oto-jak-bardzo-sp,nId,5907260 (1.07.2022).
3. Volkswagen e-Crafter – dostawczak na prąd, czyli niszowa propozycja, https://www.auto-swiat.pl/testy/testy-nowych-samochodow/volkswagen-e-crafter-dostawczak-na-prad-czyli-niszowa-propozycja-or-test/3bkh5h (1.07.2022).

4. Wichramaratne L.H., Battery thermal management system, University of Wolverhampton, Wolverhampton 2017.
5. Li W., Stanula P., Egede P., Kara S., Herrmann C., Determining the main factors influencing the energy consumption of electric vehicles in the usage phase, „Procedia CIRP", 2016, 48, 352–357.
6. Younes Z., Boudet L., Suard F., Gerard M., Rioux R., Analysis of the main factors influencing the energy consumption of electric vehicles, Electric Machines & Drives Conference (IEMDC), IEEE International, 2013, 247–253.
7. Byun S., Park J., Appiah W.A., Ryou M., Lee Y.M., The effects of humidity on the self-discharge properties of $Li(Ni_1/_3Co_1/_3Mn_1/_3)O_2$/graphite and $LiCoO_2$/graphite lithium-ion batteries during storage, „RSC Advances", 2017, 18, 10915–10921. DOI: 10.1039/C6RA28516C.
8. Steinstraeter M., Heinrich T., Lienkamp M., Effect of low temperature on electric vehicle range, „World Electric Vehicle Journal", 2021, 12, 115. DOI: 10.3390/wevj12030115.
9. 20 popular EVs tested in Norwegian winter conditions NAF, https://www.naf.no/elbil/aktuelt/elbiltest/ev-winter-range-test-2020/ (1.07.2022).
10. https://www.cedgreentech.com/article/how-does-temperature-affect-battery-performance (27.05.2021).
11. Leng F., Tan C., Pecht M., Effect of temperature on the aging rate of li ion battery operating above room temperature, „Scientific Report", 2015, 5, 12967.
12. Konzept A., Reick B., Kaufmann A., Hermanutz R., Stetter R., Battery electric vehicle efficiency test for various velocities, „Vehicles", 2022, 4, 60–73. DOI: 10.3390/vehicles4010004.
13. Martins J., Brito F.P., Pedrosa D., Monteiro V., Afonso J.L., Real-life comparison between diesel and electric car energy consumption, Nova Science Publishers, New Yotk 2013.
14. Badin F., Le Berr F., Briki H., Dabadie J.C., Petit M., Magand S., Condemine E., Evaluation of EVs energy consumption influencing factors, driving conditions, auxiliaries use, driver's aggressiveness, „World Electric Vehicle Journal", 2013, 6, 112–123.
15. Franke T., Neumann I., Buehler F., Cocron P., Krems J.F., Experiencing range in an electric vehicle: Understanding psychological barriers, „Applied Psychology", 2012, 61, 368–391.
16. Dollinger M., Fischerauer G., Model-based range prediction for electric cars and trucks under real-world conditions, „Energies", 2021, 14, 5804. DOI: 10.3390/en14185804.
17. Książek A., Richter M., Metodyka optymalizacji nawigowania pojazdów elektrycznych, „Przegląd Komunikacyjny", 2014, 2, 16–20.
18. Jahn R.M., Syré A., Grahle A., Schlenther T., Göhlich D., Methodology for determining charging strategies for urban private vehicles based on traffic simulation results, „Procedia Computer Science", 2020, 170, 751–756. DOI: 10.1016/j.procs.2020.03.160.

Konzept zur Erhöhung der energetischen Autarkie der Inseln Usedom und Wollin

Grzegorz Krzos, Sławomir Rybarczyk
Wirtschaftsuniversität Wrocław

Einleitung

Die zweite Hälfte des Jahres 2021 und das laufende Jahr 2022 können als eine globale Energiekrise des 21. Jahrhunderts betrachtet werden, die eine neue Ära beschleunigter Energiewende in Europa und in anderen Weltteilen eingeleitet hat. Politik, Unternehmen, Wissenschaftler, Kommunalbehörden, Regierungen zahl-reicher Länder und die Organe der Europäische Union arbeiten daran, die Folgen der Energiekrise auf unterschiedliche Art und Weise zu verringern und neue tech-nologische Ansätze zu finden, die stabile und vorhersehbare Energiekosten in Zu-kunft sicherstellen können. Vergleichbare Prozesse laufen selbstverständlich auch in Polen ab, wo der größte Anteil im Energiemix weiterhin aus Kohle erzeugt wird. Die Tatsache, dass keine groß- oder kleinformatigen AKWs in Polen betrieben werden und die seit Jahren vom Gesetzgeber und den Oligopolen der Stromer-zeuger, die sich im Staatsbesitz befinden, durchgesetzte Politik, die den Ausbau der Nutzung von erneuerbaren Energien und den Ausbau der Verteilnetze eher erschwert, haben dazu geführt, dass die Entwicklung der energetischen Autarkie und der Elektromobilität in Polen auf jeder geografischen Ebene hinterherhinkt, d. h. die Ebenen der Ein- und Mehrfamilienhäuser, Siedlungen, Unternehmen, Orte, Gemeinden, Kreise, Woiwodschaften und das gesamte Land. Der aktuelle Anteil der erneuerbaren Energien am Energiemix liegt bei etwa 12 % auf der Landesebe-ne. Zu strategischen Errungenschaften und positiven Seiten der Politik der Verbes-serung der Energiesicherheit gehört auf jeden Fall die Fertigstellung und die Inbe-triebnahme von zwei Großinvestitionen, nämlich eines LNG-Terminals und der Baltic Pipe, sowie der s. g. energetischen Brücken, die das polnische Energiesystem mit Systemen anderer Länder verbinden. Die Arbeiten in Bezug auf die Entwick-lung von Offshore-Windparks, die bereits seit einem Jahr Strom und Wasserstoff als einen Energieträger, der unter anderem in Kavernen in Pommern gespeichert werden soll, erzeugen sollen, sind stark verzögert. Vor diesem Hintergrund möch-te ich das Hauptziel dieses Abschnitts definieren, d. h. die Vorstellung eines Kon-zeptes zur Verbesserung der energetischen Autarkie der Beteiligten auf Grundlage einer Fallstudie im

Rahmen des Projekts MoRE (Modellregion für erneuerbare Energien der Inseln Usedom und Wollin), das im Rahmen des Interreg VA-Programms Mecklenburg-Vorpommern/Brandenburg/Polen, Achse IV – grenz-überschreitende Zusammenarbeit, realisiert wird. Die Forschungsmethodik in diesem Kapitel ruht auf einer kritischen Auswertung von Literatur- und Internet-Quellen, Auseinandersetzung mit den Unterlagen zum MoRE-Projekt, sowie auf Beobachtungen und Interviews mit den am Projekt MoRE beteiligten Akteuren.

Annahmen für das Projekt MoRE

Die wichtigste Aufgabe des Projekts MoRE umfasst die Untersuchungen von Potenzialen und Möglichkeiten zur Nutzung erneuerbarer Energiequellen mit einem besonderen Schwerpunkt auf dem grenzüberschreitenden Gebiet der Inseln Usedom und Wollin.

Im Rahmen dieser Fallstudie für die Inseln Usedom und Wollin wird ein optimaler Energiemix für die Umsetzung des Projekts MoRE vorgeschlagen und die wichtigsten Vorgaben für den Aufbau einer Modellregion für die Nutzung erneuerbarer Energien im Zusammenhang mit der Saisonalität in Bezug auf den Fremdenverkehr, die Energieeffizienz und die energetische Autarkie, die Reduktion der CO_2-Emissionen und der klimatischen Neutralität vorgestellt. Die somit erstellte Modellstudie kann als ein „Roadmap" für die zukünftigen Bestimmungen der planerischen und strategischen Unterlagen der jeweiligen Projektpartner hinzugezogen werden, die dem Ziel der Umsetzung der Idee einer energetisch autarken Modellregion gewidmet sind.

Die entscheidende Begründung für das Konzept der Autarkie war die professionelle Vorbereitung der Beteiligten, vor allem der Kommunalbehörden der Inseln Usedom und Wollin, auf den laufenden Wandel des Energiesektors in Polen und der Europäischen Union, sowie auf den globalen Klimawandel. Der Wandel in diesem Sektor ist bereits formal eingetreten und hat reale Folgen für die Wirtschaft, die Gesellschaft und das Klima. Die einschlägigen rechtlichen Bestimmungen, die offiziellen Auftritte der Politikvertreter auf der EU-Ebene, sowie die sie ergänzenden wissenschaftlichen Studien weisen eindeutig auf einen Trend zur Dezentralisierung der energetischen und der klimatischen Politik auf der lokalen Ebene (Kommunalbehörden, Unternehmen und Einwohner) hin. Eine angemessene Vorbereitung soll zum Pflichtprogramm für die lokalen und staatlichen Behörden werden, um die folgenden Ziele zu erreichen:

– Einschränkung der negativen klimatischen Folgen der Versorgungspolitik, die auf der Verbrennung von Stein- und Braunkohle basiert (dynamischer

Klimawandel durch übermäßige Treibhausgasemissionen, insbesondere CO_2),

- Einschränkung der negativen gesundheitlichen Folgen der Versorgungspolitik, die auf der Verbrennung von Stein- und Braunkohle basiert (häufigere Atemwegserkrankungen und hohe Anzahl von Todesfällen aufgrund übermäßiger Feinstaubemissionen, die den Smog verursachen),
- Steigerung der Attraktivität der Gemeinde für ihre Einwohner, Besucher und Unternehmen,
- Einschränkung der negativen wirtschaftlichen Folgen der Versorgungspolitik, die auf der Verbrennung von Stein- und Braunkohle basiert (Anstieg der Strom- und Wärmepreise).

Diese Ziele sollen durch folgende Maßnahmen umgesetzt werden:

- lokale Erzeugung von Strom und Wärme aus erneuerbaren Energiequellen, sowohl durch die öffentlichen Träger, kommunalen Unternehmen, privaten Unternehmen, öffentlich-privaten Partnerschaften (ÖPP), die Nichtregierungsorganisationen und die Einwohner,
- Reduktion der Gas- und Feinstaubemissionen in die Luft,
- Verringerung der Anzahl der Erkrankungen und der Todesfälle aufgrund von Krankheiten, die durch Luftverschmutzung hervorrufen werden,
- Förderung und Unterstützung der Entwicklung lokaler dedizierter Wirtschaftsinitiativen, wie Energiecluster, Energiegenossenschaften und Bürgerenergieerzeugung,
- Förderung und Unterstützung der Entwicklung lokaler sozialer Initiativen, die die nachhaltige Entwicklung der Inseln Usedom und Wollin unterstützen und fördern,
- Optimierung von Kosten in Bezug auf die Strom- und Wärmeversorgung,
- Optimierung von Kosten in Bezug auf die Instandhaltung und den Ausbau der energetischen Infrastruktur,
- Gestaltung einer kommunalen Entwicklungsstrategie auf der Grundlage der entwickelten Modellansätze, die der Verbesserung der Wahrnehmung der Inselgebiete in Bezug auf den Fremdenverkehr und Umweltschutz dienen,
- Unabhängigkeit von sprunghaften Strompreisschwankungen.

Durch die Annahme solcher Ziele und Maßnahmen und ihre Wahrnehmung als gesellschaftlich und wirtschaftlich relevant, wird ein Entwicklungsmodell der Inseln Usedom und Wollin impliziert, das sich an der Vision einer nachhaltigen

Region orientiert (s. Abb. 1), die unterschiedliche Wechselbeziehungen zwischen den Beteiligten umfasst und die Erzielung der oben genannten energetischen, wirtschaftlichen und gesundheitlichen Ziele gewährleistet. Ihre Integration wird die Lebensqualität der Einwohner und der Besucher der Region, die sich hier vor allem erholen und kurieren möchten, verbessern.

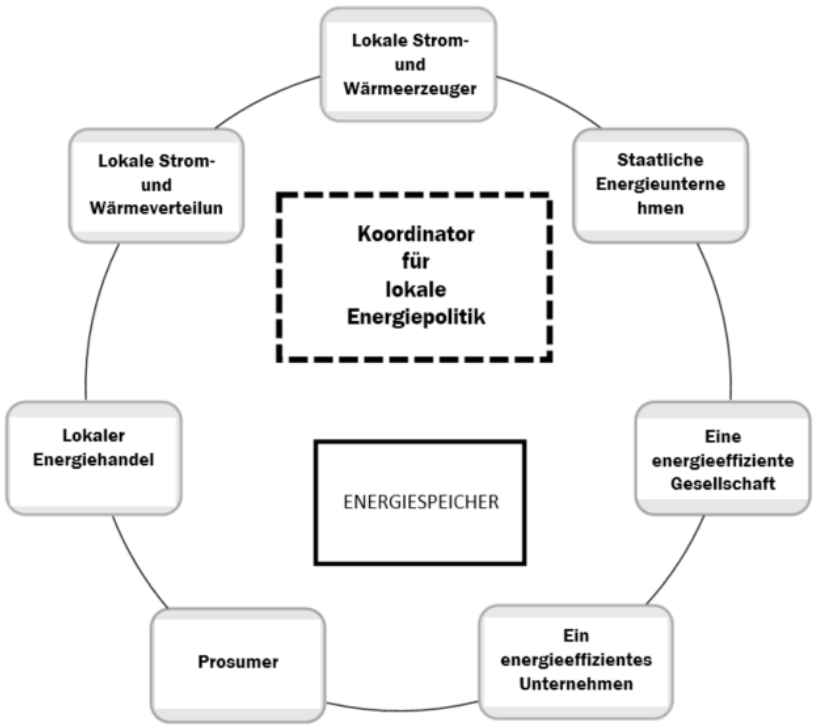


Abb. 1. Wechselbeziehungen im Rahmen der kommunalen Energieversorgung auf den Inseln Usedom und Wollin

Die Verfasser vertreten aufgrund der Erfahrungen bestehender und funktionierender, energetisch autarker Regionen oder solcher Regionen, die Autarkie erst anstreben, die Auffassung, dass die regionale Energiewende auf kommunaler Energieerzeugung basieren soll, gefolgt von staatlicher und privater Erzeugung.

Der Aufbau der oben dargestellten kommunalen Wechselbeziehungen soll zunächst in der Einrichtung einer koordinierenden Einheit (kurz: LKPE) bestehen, die eine Energiepolitik fördern und implementieren soll, die auf lokal verfügbaren

Energieressourcen ruht, wie Sonne, Wind, Wasserstoff, Biogas, Biomasse, kommunale und industrielle Abfälle, Erdgas sowie Strom- und Wärmespeicherung. Die effiziente Koordinierung durch LKPE soll zu Investitionen in Form von Photovoltaikanlagen, Wind- und Gasturbinen, hocheffizienter Kraft-Wärme-Kopplung, kommunalen Biogasanlagen, umweltfreundlichen kommunalen Müllverbrennungsanlagen, eigenen Verteilungssystemen, Energiespeichern, fortschrittlichen, IT-gestützten Energiemanagementsystemen und anderen effizienten, ökologisch nachhaltigen Technologien führen, die von öffentlichen und privaten Trägern oder in Form von Partnerschaften finanziert werden.

Eine nachhaltige Energiepolitik gilt für drei Bereiche der Kommunalenergetik: Erzeugung, Verteilung und Verbrauch von Strom und Fernwärme, sowie Umweltschutz. Schulungen und Weiterbildung von allen Beteiligten gehören sicherlich zu wichtigen Bestandteilen der effizienten Nutzung von Energieressourcen, einschließlich Strom. Die Maßnahmen zur kontinuierlichen Verbesserung der Energieeffizienz von Unternehmen, öffentlichen Trägern und Haushalten sollen ein Fundament der nachhaltigen Energiepolitik darstellen, zu deren Bestandteilen auch dieses Dokument gehört.

Alle oben beschriebenen Maßnahmen können als Bestandteile des aktuellen Trends zur Umstellung der zentraler Energieversorgung auf der Grundlage der Verbrennung von nicht erneuerbaren, fossilen Brennstoffen auf die dezentrale Erzeugung auf der Grundlage erneuerbarer Energiequellen verstanden werden. Dies ist ein unvermeidlicher und unumkehrbarer Trend. Die dezentrale, auf erneuerbaren Energiequellen basierende Energieerzeugung ist im Gegensatz zur zentralen Energieerzeugung flexibler und skalierbar, d. h. sie kann unmittelbar auf den aktuellen Energiebedarf der lokalen Verbraucher reagieren. So kann der Energiebedarf gedeckt und zugleich die Umwelt, d. h. die unmittelbare Umgebung, in der die Einwohner und die zahlreichen Besucher der Region leben, geschützt werden. Die immer steigende Anzahl der alternativen Energiequellen in Verbindung mit dem technischen und technologischen Fortschritt tragen dazu bei, dass die Stromerzeugung durch die erneuerbaren Energiequellen auch kostenmäßig immer günstiger werden.

All die genannten Prämissen spiegeln sich in den strategischen Entscheidungen der EU wider, die die Mitfinanzierung für die kommenden Jahre nur für die Projekte sicherstellt, die die oben genannten Ziele des Paradigmenwechsels und des Klimaschutzes verfolgen. Die Verstärkung der Dynamik negativer Klima- und Umweltveränderungen führt dazu, dass die ursprünglichen Vorgaben aus dem Klima- und Energiepaket, also 3 × 20 (20 Prozent weniger Treibhausgasemissionen, 20 Prozent

Anteil der erneuerbaren Energiequellen an der Gesamterzeugung, 20 Prozent Steigerung der Energieeffizienz) im Rahmen des Pakets *Fit for 55* deutlich verschärft wurden. Das Maßnahmenpaket sieht jetzt vor, dass die Treibhausgasemissionen bereits 2030 um 55 % gegenüber 1990 reduziert und die gesamte EU 2050 klimaneutral werden sollen.

Das im Rahmen des Projekts MoRE vorgestellte Konzept definiert kurz- und langfristige Ziele, sowie die Wege zu deren Umsetzung. Das Konzept ist ein übergeordnetes Planungsinstrument und sein Schwerpunkt liegt nicht auf dem operativen Betrieb.

Für die Energiewende in die Richtung der vollständigen energetischen Autarkie ist neben der Modernisierung der technischen Infrastruktur auch die Akzeptanz durch die lokalen Einwohner unabdingbar. Dies ist eine notwendige, aber nicht hinreichende Bedingung für die Umsetzung der in dieser Studie festgelegten Maßnahmen. Auch eine „mentale Wende" der lokalen Gemeinschaften ist unumgänglich, die verstehen und auch (was am wichtigsten ist) akzeptieren müssen, dass die heutigen Generationen nicht auf Kosten künftiger Generationen leben dürfen, indem sie die nicht erneuerbaren Ressourcen auf räuberische Art und Weise verbrauchen und die Umwelt (oft irreversibel) zerstören. Ohne die Akzeptanz der lokalen Gemeinschaften hat eine effektive und nachhaltige Energiewende keine Chancen.

Die Rolle der lokalen Kommunalbehörden, die das Leben der lokalen Gemeinschaften in vielen Bereichen lenken, ist dabei von entscheidender Bedeutung. Ihre Rolle dabei ist wichtig und umfasst initiierende, bildende und koordinierende Aufgaben auf unterschiedlichen Ebenen, die darauf abzielen, die lokalen Gemeinschaften davon zu überzeugen, dass das vorgegebene Ziel, nämlich die Energieautarkie mithilfe der erneuerbaren Energiequellen, in einer fernen, aber realen Zukunft konkrete Vorteile bringen wird. Diese Vorteile sind:

1. Verbesserung der Lebensqualität durch erhebliche Reduktion von Staub-, Schadstoff- und Treibhausgasemissionen.
2. Verbesserung des Lebenskomforts durch Unabhängigkeit von unvorhersehbaren Preisschwankungen der Energieträger.
3. Stabilisierung und Überwachung der Energiepreise auf den Inseln Wollin und Usedom, sobald der angestrebte Energiemix erzielt wurde.

Um die nachhaltige Entwicklung auf den Inseln Usedom und Wollin auf der Grundlage der energetischen Autarkie umzusetzen, ist es notwendig, die erneuerbaren Energiequellen in den kommenden Jahren systematisch und kontinuierlich auszubauen. Das ist der effektivste Weg, die CO_2- und Feinstaubemissionen in die

Luft zu reduzieren, die für die Smogbildung verantwortlich sind Die erneuerbaren Energiequellen müssen jedoch rational, auf Grundlage einer wirtschaftlichen Kalkulation errichtet und betrieben werden. Der Ausbau der erneuerbaren Energiequellen darf nicht zu Kosten oder zu Lasten der Endverbraucher erfolgen und auf keinen Fall zur Erhöhung der Strompreise führen. Im Gegenteil: Man soll erwarten, dass die Preise nach einem Zeitraum der Amortisierung von Investitionskosten (im Energiesektor in der Regel 10–15 Jahre Laufzeit) dauerhaft gesenkt werden und stabil niedrig bleiben können.

MoRE auf den Inseln Usedom und Wollin – Benchmarking mit dem Projekt BIG HIT

Ein gutes Beispiel für eine bestehende Infrastruktur dieser Art ist das Projekt BIG HIT [2]. Das Projekt wird auf zwei schottischen Inseln Eday und Shapinsay realisiert, wo Strom mithilfe von Windkraftanlagen und eines Wasserkraftwerks auf Basis von Gezeiten- und Wellenkraft erzeugt wird. Der so erzeugte Strom wird von Elektrolyseuren in Wasserstoff umgewandelt. Dieses Gas dient als Energieträger, der später wieder in die Wärmeleistung und in den Strom für die Verbraucher im Hafen von Kirkwall umgewandelt werden kann, sowie als Kraftstoff für die emissionsfreien Wasserstofffahrzeuge in Kirkwall dient (s. Abb. 2).

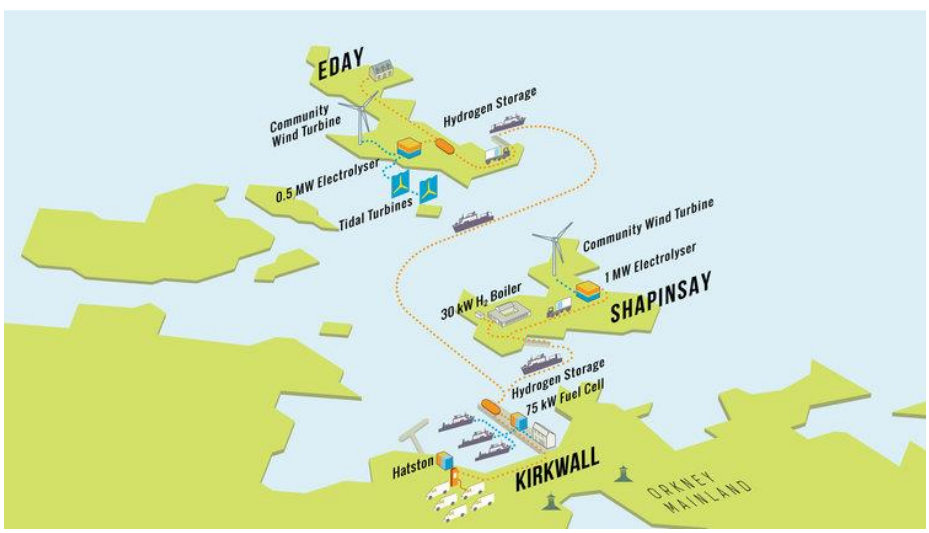


Abb. 2. Visualisierung der Annahmen des Projekts BIG HIT [2]

Die Sonnenenergie oder die Gezeiten-/Wellenkraft (zumindest aus Sicht der Menschheit) sind eigentlich unerschöpflich. Sie erlauben der lokalen Gemeinschaft

eine völlig autarke Existenz ohne den Anschluss an die Stromübertragung. Notwendig ist lediglich eine Skalierung, z. B. der Anzahl der Windkraftanlagen. Aus diesem Grund wird dieses Konzept als „Energieinsel" bezeichnet.

Aufgrund vom Benchmarking des BIG HIT-Projekts mit dem MoRE-Projekt auf den Inseln Usedom und Wollin konnte das polnische Konzept, dessen Fundament die Hybridisierung technologischer Lösungen und die komplexen Ansätze unter Berücksichtigung der lokalen ökologischen, energetischen, rechtlichen und sozialen Bedingungen bilden, präziser aufgestellt werden. Aufgrund dieser Annahmen fokussiert sich das Konzept auf die Entwicklung folgender fünf Bereiche: Verbesserung der Energieeffizienz im Bauwesen, in der Industrie und im Verkehr, lokale Energieerzeugung und -speicherung, Energieverteilung und -verwaltung, Elektromobilität und die hocheffiziente Kraft-Wärme-Kopplung. Jeder der oben aufgeführten Bereiche ist in Abb. 3 in Form eines Diagramms dargestellt.

Die Empfehlungen für die Umsetzung der Energiewende auf den Inseln Usedom und Wollin sehen eher eine evolutionäre als eine revolutionäre Entwicklung vor. Diese wird in die drei in der Studie dargestellten Stufen unterteilt. Infolge der erfolgreich umgesetzten Energiewende auf den Inseln werden ihre messbaren Folgen sichtbar:

- Reduktion von Emissionen von CO_2, Staub, SOx, NO_x, Dioxinen und anderen Schadstoffen in die Luft, die zur erheblichen Verbesserung der Lebensqualität führen wird,
- Vermeidung der Strompreisschwankungen und deren bessere Überwachung und Lenkung, sobald der vorgegebene Energiemix und die Erzeugung aus eigenen Quellen erreicht wurden,
- Verbesserung der energetischen Unabhängigkeit der Inseln, wobei man darunter die Beständigkeit gegenüber Krisen und Notfällen im nationalen Stromnetz verstehen kann, sowie die Erhöhung der Sicherheit der Energieversorgung auf dem Gebiet der beiden Inseln,
- die Inseln sollen als menschen- und umweltfreundlich angesehen werden, was zu ihrer Entwicklung beitragen wird,
- Integration der lokalen Gemeinschaften durch deren Beteiligung an der Energiewende,
- Stärkung der Beziehungen zum deutschen Partner nach dem Motto, dass die gemeinsamen Interessen am stärksten und dauerhaften miteinander verbinden.

Die Abb. 4 zeigt die dargestellten Stufen der Energiewende auf den Inseln Usedom und Wollin.

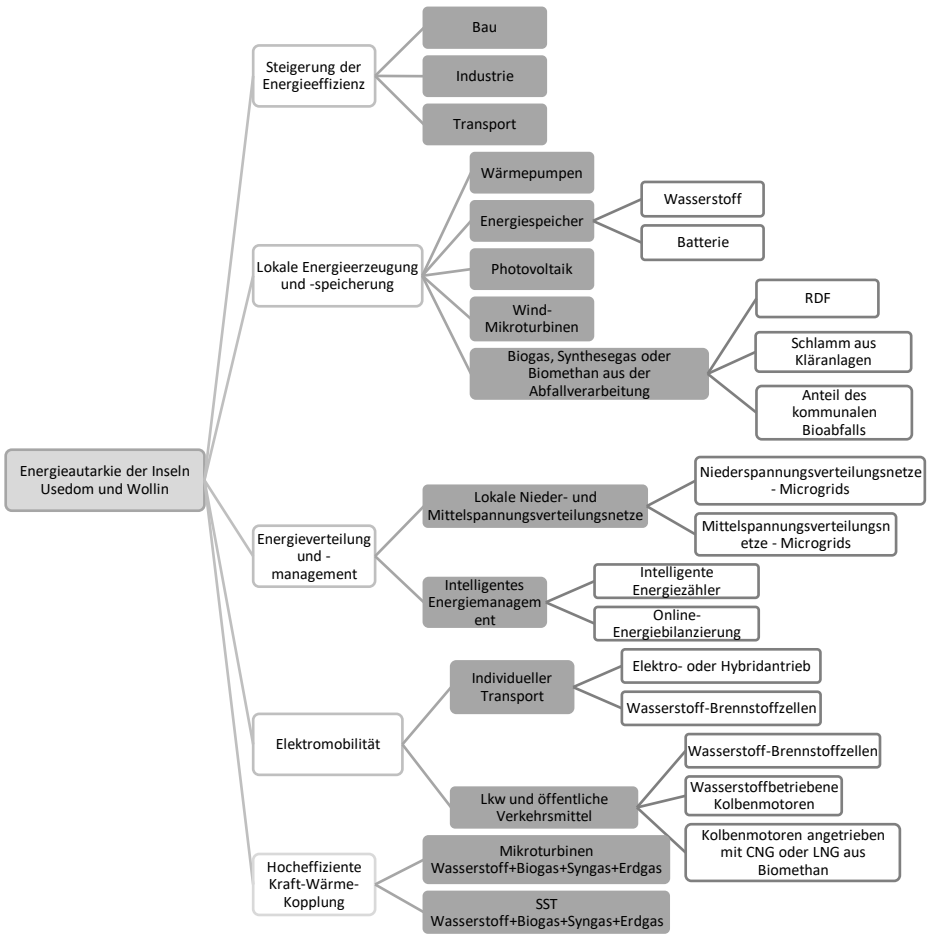


Abb. 3. Die Hauptbestandteile der Energiewende im Gebiet MoRE [1]

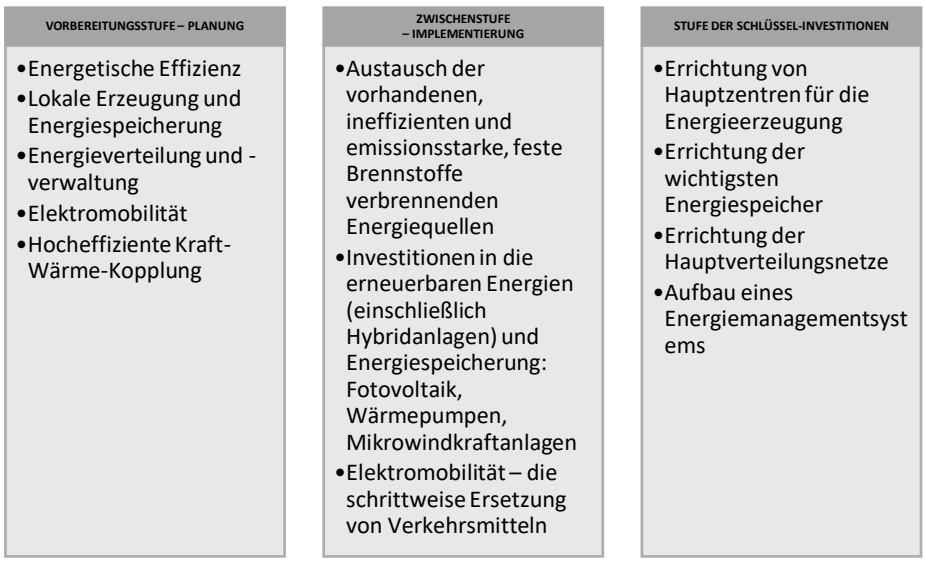


Abb. 4. Stufen der Energiewende auf den Inseln Usedom und Wollin [1]

Zusammenfassung

Die Energiewende soll als eine evolutionäre Umwandlung der kommunalen Energiewirtschaft erfolgen, wobei die lokalen Kommunalbehörden und konkret eine bereits existierende oder für diesen Zweck gegründete Handelsgesellschaft in deren Namen die führende Rolle übernimmt. Eine unabdingbare Voraussetzung für die erfolgreiche Umsetzung der Energiewende ist die Akzeptanz der lokalen Bevölkerung. Auch das Lernen von Erfahrungen anderer spielt dabei eine wichtige Rolle. Das in dieser Unterlage genannte Beispiel aus Schottland oder die benachbarte Insel Bornholm sind nicht die einzigen Beispiele, wo die Autarkie bereits sehr weit fortgeschritten ist. Es ist schwer zu bewerten, ob das Risiko, die fremden Fehler zu begehen, wahrscheinlich ist. Trotzdem können dadurch Kosten gespart und der für die Implementierung der Änderungen notwendige Zeitaufwand reduziert werden.

Auch die Inbetriebnahme des ersten autarken Versorgungsnetzes in Polen soll unbedingt genutzt werden. Die Erfahrungen in Bezug auf den Aufbau und die Instandhaltung der energetischen Autarkie in den s.g. Mikronetzen, wie z. B. der Anlage von Tauron Polska Energia in der Stadt Bytom, werden einen sehr wichtigen Beitrag für die Vorbereitungsstufe leisten.

Aufgrund der Vielschichtigkeit der Energiewende, also der Steigerung der energetischen Autarkie der Inseln Usedom und Wollin, soll dieser Prozess mithilfe einer, der Komplexität des Projekts entsprechenden Methodik gelenkt werden, z. B. Prince2 oder gleichwertig.

Entscheidend für eine erfolgreiche Projektumsetzung ist die genaue Definition des Projektziels (und der erwarteten Ergebnisse), der damit verbundenen Einschränkungen und der eventuellen Risiken. Alle diese Aufgaben sollen vor der Implementierung in der Vorbereitungsstufe gemäß dem unten beigefügten Diagramm durchgeführt werden (s. Abb. 5).

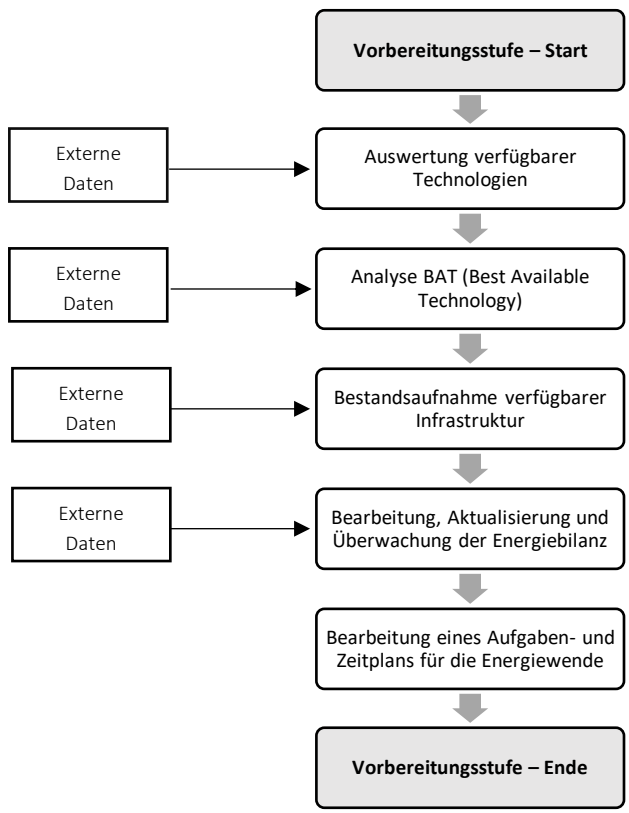


Abb. 5. Diagramm zur Umsetzung der Vorbereitungsstufe, eigene Bearbeitung

Zusammenfassend können die Verfasser dieser Unterlagen feststellen, dass die ersten Planungsschritte von den lokalen Entscheidungsträgern bereits unternommen wurden; gute Beispiele gibt es bereits in Europa, die makroökonomische Lage zwingt gerade dazu, solche ehrgeizigen Projekte in Angriff zu nehmen. Wir hoffen, dass die Finanzierungsmittel für die Teilprojekte, die sich

aus dem MoRE-Projekt ergeben, in die Programmunterlagen der EU-Fonds für die Woiwodschaft Westpommern, in den Wiederaufbaufonds oder in andere Programme zur Unterstützung der Energiewende und erneuerbarer Energien aufgenommen werden.

Literaturverzeichnis

1. Krzos G., Koncepcja podnoszenia samowystarczalności energetycznej wysp Uznam i Wolin, Szczecin 2022.
2. BIG HIT, About the project (n.d.), https://www.bighit.eu/about (Zugang vom: 10.07.2022).

TEIL IV

Beispiele für gute Praxis bei der Nutzung erneuerbarer Energiequellen

Wärmepumpen in der Praxis

Wojciech Tuchowski, Diana Pietryga
Westpommersche Technologische Universität Szczecin

Beispiele für die Nutzung von Wasserwärmepumpen weltweit

In Polen werden die Wasserwärmepumpen von allen, auf dem Markt erhältlichen Bauarten dieser Geräte am seltensten installiert, obwohl diese Bauart die höchste energetische Effizienz erzielen kann. Meistens sind dafür die unklare Gesetzgebung und die administrativen Hürden verantwortlich. In Europa und in einigen anderen Ländern der Welt, wie z.B. in den USA, China, Japan wird die Entwicklung dieser Technologie im Vergleich mit sonstigen Wärmequellen stärker gefördert. Die Wärmeleistung einzelner bereits im Betrieb stehenden Anlagen überschreitet schon Dutzende Megawatt Leistung.

In Mannheim (Deutschland) hat der Energieversorger MVV mit der Errichtung einer großen Wasserwärmepumpenanlage begonnen. Die zur Speisung des Verdampfers benötigte Wärme soll aus dem Fluss Rhein kommen. Die Anlage soll die Hochtemperaturwärme an rund 3500 Haushalte liefern und ihre Kapazität soll rund 20 MW erreichen. Die für die Versorgung der gesamten Anlage notwendige Stromleistung wird auf 7 MW geschätzt. Den durchgeführten Untersuchungen zufolge beträgt die durchschnittliche Wassertemperatur im Rhein im Sommer 25 °C und im Winter ca. 5 °C [1]. Die Firma MVV hat sich nicht ausführlich zur Problemstellung geäußert, wie sie gegen die Vereisung der unteren Wärmequelle im Winter vorgehen möchte. Seit einigen Jahren gibt es bereits technische Lösungen und Ansätze, die dieses Problem eher marginal erscheinen lassen [2].

Ein kommunaler Träger und ein Fernwärmelieferant aus Dänemark hingegeben haben bereits verkündet, dass sie in der Gemeinde Esbjerg – DIN Forsyning in die Dekarbonisierung der Fernwärmetechnik investieren möchten. Das Unternehmen wird die größte Wasserwärmepumpe weltweit bauen, die Wasser als die untere Wärmequelle nutzen wird. Die Wärmeleistung dieser Anlage wird für rund 50 MW geschätzt. Der schweizerische Hersteller MAN Energy Solution AG wird die Technologie und die Technik für dieses Vorhaben liefern. Die Anlage wird auf dem Gebiet des Hafens Esbjerg installiert. Zur Erreichung der Sollleistung muss ein Volumenstrom an der unteren Wärmequelle von 40 m^3/s sichergestellt

werden. Das wird auch die größte Wärmepumpe weltweit sein, die mit einem Kältemittel natürlicher Herkunft, nämlich R 744 (Kohlendioxid) betrieben wird. Von der Perspektive der Nachhaltigkeit ist es auch sehr wichtig, dass die gesamte Anlage mit Strom versorgt wird, der durch Offshore-Windparks [3] erzeugt wird.

Ein weiteres Beispiel für den immer gängigeren Trend zur Nutzung von Abwasser oder Ostseegewässern als Wärmespeicher ist eine in Helsinki, im Stadtteil Sörnäinen (neben dem Park Katri Vala) bereits errichtete Anlage. Es handelt sich in diesem Fall um die weltweit größte Wärmepumpe zur Erzeugung der Wärme und der Kälte. Diese wurde 2006 in Betrieb genommen und erreicht die Wärmeleistung von 126 MW und die Kälteleistung von 80 MW. Diese Wärmepumpe nutzt behandeltes Abwasser als die untere Wärmequelle, und im Sommer Meereswasser zur Erzeugung der Kälteleistung (Wärmeabwurf). Der Betrieb der Anlage wird ständig überwacht, um die optimale Effizienz der Wärme- und Kälteerzeugung zu gewährleisten. Nach den vorliegenden Daten, beträgt ihre COP-Kennzahl *(Coefficient of Performance*) für die gleichzeitige Erzeugung der Wärme und Kälte beinah 5,0. Die gesamte Anlage umfasst zurzeit sechs Wärmepumpen, die zum Betrieb synthetische Kältemittel nutzen (fünf davon verwenden das Kältemittel R 134a). 2017 erzeugte die Anlage 570 GWh Wärmeleistung, was 8 % des Wärmebedarfs der Stadt entsprach. 2021 wurde eine weitere, sechste Wärmepumpe in Betrieb genommen, wodurch die Kapazität der Anlage um rund 30% im Vergleich zu 2017 stieg [4]. In der Abb. 1 ist der Maschinenraum mit der installierten Wärmepumpe [5] und in der Abb. 2 ist eine schematische Darstellung der gesamten Anlage mit der oberen und unteren Wärmequelle zu sehen.

Hier kann noch ein Vorhaben aus Finnland genannt werden, nämlich eine Wärmepumpe, die in der Stadt Turku – Kakola installiert wurde. In diesem Fall handelt es sich um eine Anlage zur Erzeugung von Wärme und Kälte, die 100% mit behandeltem Abwasser betrieben wird. Den Studien [6] zufolge bewegt sich die Temperatur von behandeltem Abwasser im Bereich zwischen 10 bis 18 °C. Durch die Kläranlage werden rund 100 Tsd. m^3 Abwasser pro Tag behandelt. Prinzipiell ist das eine unerschöpfliche Wärmequelle für den Betrieb der Wärmepumpe. Die Wärmeleistung dieser Anlage beträgt rund 21 MW und die Kälteleistung rund 14,5 MW. Unter Strich deckt die Anlage den Bedarf der Stadt Turku nach Wärme zu 8% und nach Kälte zu mehr als 90%. Die installierten Kompressoren verbrauchen dabei ca. 5,6 MW Strom. Sowohl die in Helsinki, als auch in Turku betriebene Anlage ist imstande Warmwasser für Heizzwecke, dessen Temperatur sogar 90 °C betragen kann [6] bereitzustellen.

Die Firma AWEB Supply (Los Angeles, USA) zeigt in Ihrem Portfolio einige interessante Projekte mit Wärmepumpen, die mit innovativen Plattenwärmetauschern der Baureihen Slim Jim und Geo Lake Plate ausgestattet sind (s. Abb. 3).

Abb. 1. Wasserwärmepumpe in Katri Vala, Finnland [4]

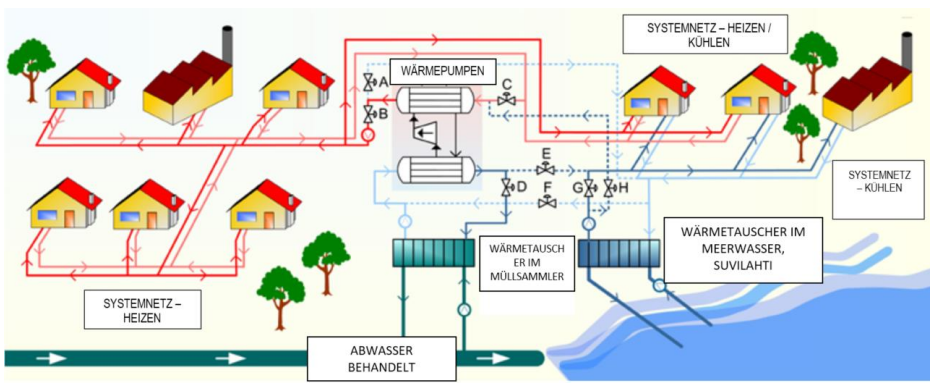


Abb. 2. Schematische Darstellung der Wasserwärmepumpenanlage in Katri Vala, Finnland [5]

Slim Jim Geo Lake Plate

Abb. 3. Plattenwärmetauscher von AWEB Supply [7]

Die Firma hat u. a. [7]:

- eine Wärmepumpe am internationalen Flughafen Nashville (USA) installiert, mit 11 Einheiten, die aus mehreren Dutzend Austauschern des Bautyps Slim Jim bestehen,
- eine Wärmepumpenanlage im Krankenhaus Kings Mill, Nottinghamshire, Großbritannien mit Wärmeleistung von 5,4 MW und Kälteleistung von 5,0 MW; in diesem Fall wird die Wärme und Kälte dem See Kings Mill Reservoir entnommen; der jährliche Betrieb dieser Anlage spart etwa 2 078 Tonnen Kohle und damit etwa 126.500,00 GBP.

Die Abb. 4 und 5 zeigen die Wärmeaustauscher des Bautyps Slim Jim in Fort Knox, Kentucky (USA) und in einem Jachthafen am Lake Michigan (USA).

Der Betrieb von Wasserwärmepumpen, insbesondere in Perioden mit niedrigeren Wassertemperaturen, bringt die Gefahr der Vereisung der Oberflächen am Wärmetauscher mit sich (der Verdampfer oder der in Wasser eingetauchten Zwischenwärmetauscher). Es ist ein wesentliches Problem, was die Sicherstellung des kontinuierlichen Betriebs der Anlage angeht. Die Eisschicht verhält sich als Dämmung und reduziert die Kennzahl der Energieeffizienz (COP) der Wärmepumpe. Jie Yu, Huan Zhang und Shijun You [8] veröffentlichten eine Studie über die Folgen der Vereisung der Oberflächen am Wärmeaustauscher auf die über den Zwischenkreis aufgenommene Wärmemenge. Im Artikel [8] findet man ein mathematisches Modell, das den Wärmedurchlass des Wärmeaustauschers sowohl bei sauberen, als auch bei vereisten Oberflächen beschreibt. Die Wärme wird der Pumpe über einen Zwischenkreis zugeführt, der u.a. Glykol-Pumpen, Messtechnik des Zwischenkreises, sowie einen Wärmeaustauscher CHE (*casted heat exchange*) in Form von gewickelten PE-Leitungen, die im Meereswasser eingetaucht sind, umfasst. Im Innern des Austauschers fließt eine 10-prozentige

Lösung von Ethylglykol. Im Rahmen der Untersuchung wurde der Betrieb der Anlage bei niedrigen Außentemperaturen, die zur Vereisung der Oberfläche am Wärmeaustauscher führen, mit einem nicht vereisten Wärmeaustauscher, der in gleichen Bedingungen betrieben wurde, verglichen. Die Verfasser konnten nachweisen, dass die sich auf der Oberfläche des Wärmeaustauschers bildende Eisschicht den Durchlasswiderstand erheblich erhöht und damit die Aufnahme der Wärme beeinträchtigt.

Durch die Beschleunigung des Glykol-Durchflusses, sowie die Vergrößerung der Wärmeübertragungsfläche im Zwischenkreis (ein längerer Wärmeaustauscher) kann die Wärmeleistung der Anlage wesentlich erhöht werden. Die Verfasser [8] haben jedoch keine Ergebnisse der Untersuchung der Energieeffizienz-Kennzahl (COP) vorgestellt und den Einfluss der Vereisung darauf nicht untersucht. Sie haben auch keine Angaben zur Dicke der Eisschicht bei der Untersuchung der Wärmeleistung gemacht. Die durchgeführten Untersuchungen zeigen jedoch, dass das Problem der Vereisung von Oberflächen des Wärmeaustauschers für den Betrieb der Anlage relevant ist. Dies kann zweifelsohne eine gewisse Hürde bei der weiteren Entwicklung dieser Technologie und deren Anwendungsbereiche darstellen.

Abb. 4. Wärmeaustauscher Bautyp Slim Jim in Fort Knox, Kentucky [7]

Abb. 5. Wärmeaustauscher Bautyp Slim Jim in einem Jachthafen am Lake Michigan [7]

Wärmepumpen enthalten die s. g. F-Gase (fluorierte Treibhausgase). Diese Stoffe sind für den Treibhauseffekt mitverantwortlich. Die Technik selbst gilt als eindeutig umweltfreundlich und basiert auf erneuerbaren Energiequellen. Das Kältemittel jedoch (insbesondere synthetische Kältemittel), das die Energie in Form der Wärme von der unteren zur oberen Quelle überträgt, weist zahlreiche, für die Umwelt negative Eigenschaften auf. Nach der Ratifizierung des Kyoto-Protokolls zum schrittweisen Verzicht auf die F-Gase, werden die Kältemittel mit einem hohen GWP-Wert *(Global Warming Potential*) allmählich aus dem Umlauf gezogen. Zurzeit werden Kältemittel mit einem niedrigen GWP-Wert, wie R 718 (Wasser), R 1234ze(Z), R 600, R 600a, R 1233zd(E) für den Einsatz in Hochtemperatur-Wärmepumpen untersucht und implementiert.

Hongzhi Yan, Di Wu, Junyu Liang, Bin Hu und R.Z. Wang [9] haben die aktuell gängigen Kältemittel mit einem niedrigen GWP-Wert für Heizzwecke mittels Wärmepumpen untersucht. Die Temperatur von Heizwasser soll deren Annahme zufolge zwischen 60 und 80 °C betragen. Aufgrund des COP-Wertes für die energetische Effizienz der Anlage, ihrer volumetrischen Wärmekapazität, der Druckunterschiede und des Überhitzungsgrads, haben die Verfasser das Mittel R 1234ze(E) gewählt, das verhältnismäßig bessere Eigenschaften aufweist als andere typische Kältemittel mit einem niedrigen GWP-Wert. Auch andere synthetische Kältemittel, wie: R 1224yd(Z), R 1234yf, R 1234ze(E), R 1234ze(Z) und R 1336mzz(Z) wurden darüber hinaus näher untersucht. Die Systemkapazität wurde für unterschiedliche Temperaturen der Wärmequelle

und des Heißwassers am Austritt untersucht. Die Ergebnisse der Modellsimulation, sowie experimenteller Untersuchungen zeigen, dass das Mittel R 1234ze(E) für einen breiten Temperaturbereich verwendet werden kann (die Ausgangstemperatur des Heizwassers kann 85 °C erreichen). Zu den wichtigsten Erkenntnissen zählen die Verfasser der Studie [9] u.a. die Schlussfolgerungen bezüglich der Temperatur von Heizwasser. Diese Größe ist für die Leistungsfähigkeit der Anlage von entscheidender Bedeutung. Wenn diese von 60 °C auf 80 °C steigt, sinkt der COP-Wert jeweils um 28,3%, 28,7% und 30,2%, und die Heizleistung sinkt um 21,7%, 20,2% und 24,7% für die Verdampfungstemperaturen von jeweils 5, 15 und 25 °C.

Mit der zukünftigen Entwicklung der Wasserwärmepumpen als Wärmequelle beschäftigt man sich in England seit 2014. Im Auftrag der Behörde für Energie und Klimawandel (*Department of Energy & Climate Change*) wurde eine Studie durchgeführt, in der das energetische Potenzial von englischen Binnengewässern untersucht wurde. Anhand des Berichts [10] wurde eine Karte mit Flüssen in England erstellt, die zeigt, wo die Wasserwärmepumpen für Heiz- und Kühlzwecke vorzugsweise installiert werden können. Die Verfasser untersuchten mehr als 40 Flussgebiete direkt an großen Städten Englands. Die Untersuchungen umfassten die Messungen der Wassertemperatur, der Strömung der Flüsse, sowie die Festlegung der Schutzperioden für Lachs- und Karpfenfische. Auf dieser Grundlage konnte man den geschätzten Ertrag an der Wärmeleistung, die von den Flüssen potenziell gewonnen wird, ermitteln (s. Abb. 6).

Auf der Karte sind auch Gebiete markiert, deren Wärmebedarf hoch ist und die an Flüssen liegen, die eine ausreichend starke Strömung und ausreichend hohe Wassertemperatur haben (rot markiert). Die Studie ist ergebnisoffen und widmet sich vor allem an die lokalen Behörden, Gemeinschaften und die privaten Bauträger.

Die Studie basiert auf einigen Einschränkungen, die mit Einwirkung der Technik auf die Umwelt sowie mit der Entfernung der Wärmeverbraucher vom Fluss (1 km) einhergehen und wodurch die Grenzwerte des technologischen Potenzials definiert werden. Den (zum Zeitpunkt der Berichtserstellung) geltenden EU-Richtlinien für die Nutzung der Oberflächengewässer für energetische Zwecke zufolge, darf die Temperatur des Umgebungswassers an der unteren Wärmequelle höchstens um 2 °C gesenkt, wenn das Wasser zu Heizzwecken verwendet wird und um höchsten 2 °C erhöht werden, wenn das Wasser zu Kühlzwecken verwendet wird (Wärmeabwurf im Sommer). Größere Temperaturschwankungen könnten die Biotope für Lachs- und Karpfenfische stark beeinträchtigen.

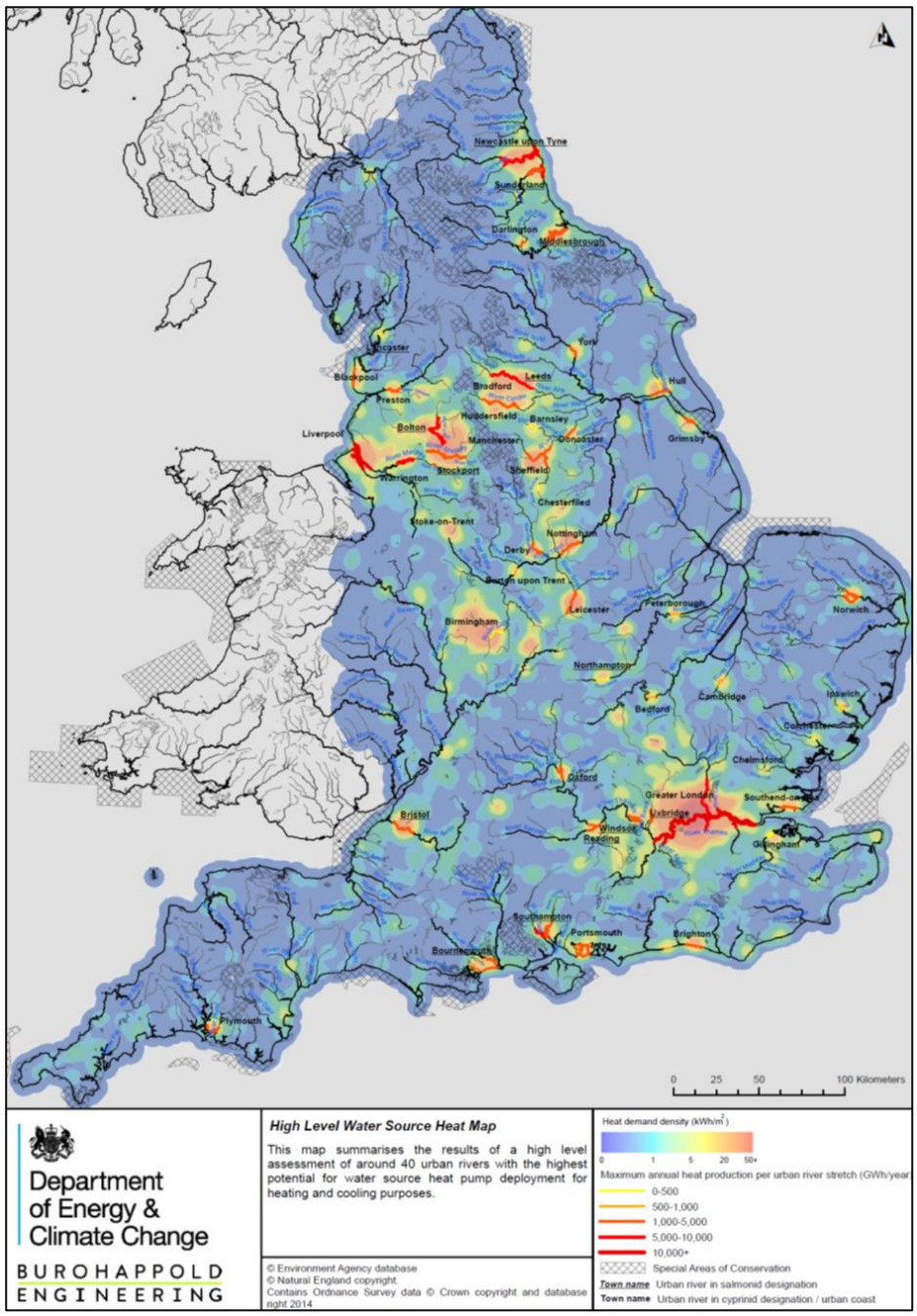


Abb. 6. Ergebnisse der Messung von Wassertemperatur an ca. 40 städtischen Flüssen in England mit dem höchsten Einsatzpotenzial für die Wasserwärmepumpen für Heiz- und Kühlzwecke [10]

Die Installation von Wasserwärmepumpen ist nur in Gebieten vorgesehen, wo der Wärmebedarf 5 bis 10 kWh/m^2 übersteigt.

Diese Karte wurde erstellt, um bewusst zu machen, dass die vorhandenen Potenziale der Umwelt nicht ausreichend wahrgenommen werden, sowie zwecks Förderung der Interesse an den Wasserwärmepumpen als Teil laufender Projekte in Bezug auf die nachhaltige Energiewirtschaft.

Zusammenfassung

Die verfügbaren Literaturquellen beschreiben zahlreiche interessante und innovative Forschungsprojekte im Bereich der Wasserwärmepumpen. In diesem Abschnitt konnten wir nur einen kleinen Bruchteil davon kurz präsentieren und ansprechen, um die Entwicklungstrend der Branche in den letzten Jahren weltweit ins Auge zu fassen. China, England, Deutschland und die skandinavischen Länder fördern und investieren in die Wasserwärmepumpen und verweisen auf eine Reihe von Vorzügen und das hohe Energiepotenzial, das diese Technik bietet. In Polen werden die auf Wärmepumpen basierten Heizsysteme derzeit nicht wirksam genug gefördert. Die Technik und der Preis stellen immer noch eine Hürde für die lokalen Entscheidungsträger und die privaten Haushalte dar. Es fehlt an Bestimmungen zu Möglichkeiten des Einsatzes von Wärmepumpen an Stellen, wo es energetisch begründet wäre. Vielleicht wären für diesen Zweck auch ähnliche Daten hilfreich, die in England durch die dortige Behörde für Energie und Klimawandel erhoben wurden.

Die gesetzlichen Bestimmungen der Europäischen Union zwingen aktuell zur Suche nach neuen, umwelterträglicheren Kältemitteln, deren energetische Beschaffenheit trotzdem ausreichend wäre [6].

Nach der Analyse der verfügbaren Literaturquellen können sowohl einige Beispiele für den Einsatz der bewährten Technologien, als auch für die innovativen Forschungsprojekte in diesem Bereich genannt werden. Aufgrund der immer intensiveren klimatischen Veränderungen und der sich verändernden Geopolitik wurden die Entwicklung und die Implementierung der umweltfreundlichen, auf Wärmepumpen basierten Lösungen stark gefördert. Auch die Ziele der Dekarbonisierung und der klimatischen Neutralität werden in Zukunft dazu führen, dass das Volumen an großformatigen Wasserwärmepumpen, die in Betrieb genommen werden, steigen wird.

Literaturverzeichnis

1. https://swiatoze.pl/wielka-rzeczna-pompa-ciepla-w-niemczech-woda-z-renu-do-starczy ogrzewanie-do-3500-domow/ (Zugang am: 08.04.2022).
2. Tuchowski W., Zakrzewski B., Praca wodnej pompy ciepła w warunkach konwekcji wymuszonej, „Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja", 2017, 7, 296–300.
3. https://www.cire.pl/artykuly/serwis-informacyjny-cire-24/179649-duza-pompa-ciepla-zasilana-woda-morska-zastapi-elektrownie-weglowa-w-danii (Zugang am: 08.04.2022).
4. https://knowledge-hub.circle-lab.com/article/10079?n=The-largest-heat-pump-plant-in-the-world-to-produce-heat-and-cooling] (Zugang am: 08.04.2022).
5. https://www.friotherm.com (Zugang am: 08.04.2022).
6. The wastewater utilization in Kakola heat pump plant – The International District Energy Climate Awards, https://www.districtenergyaward.org/wp-content/uploads/2012/10/New_scheme_Finland_Turku.pdf (Zugang am: 08.04.2022).
7. https://awebgeo.com/product-overview/slim-jim-geo-lake-plate-heat-exchanger/ (Zugang am: 08.04.2022).
8. Yu J., Zhang H., You S., Heat transfer analysis and experimental verification of casted heat exchanger in non-icing and icing conditions in winter, „Renewable Energy", 2012, 41, 39–43.
9. Yan H., Wu D., Liang J., Hu B., Wang R.Z., Selection and validation on low-GWP refrigerants for a water-source, „Applied Thermal Engineering", 2021, 193, 116938
10. https://www.gov.uk/government/organisations/department-of-energy-climate-change (Zugang am: 08.04.2022).

Aufstellung guter Praktiken in Bezug auf die Implementierung erneuerbarer Energiequellen

Wojciech Zbaraszewski
Westpommersche Technologische Universität Szczecin

Einleitung

Das Projekt MoRE knüpft an die bereits im polnisch-deutschen Grenzraum ergriffenen Maßnahmen der Energiewende an. Ein Beispiel für eine erfolgreiche polnisch-deutsche Zusammenarbeit im Bereich der Umstellung auf die erneuerbaren Energiequellen ist eine Veröffentlichung über die gute Praxis in Bezug auf die konfliktfreie Entwicklung erneuerbarer Energiequellen in Polen und Deutschland [1].

Beispiele guter Praktiken in Bezug auf die Implementierung erneuerbarer Energiequellen in Deutschland

Die Beteiligung der Öffentlichkeit an der Energieversorgung in Deutschland weist eine lange Tradition auf. Bereits am Ende des 19. Jh. entstehen im ländlichen Raum Genossenschaften, die Strom erzeugen oder die Verteilungsnetze bauen und betreiben. Diese Entwicklung kam dadurch zustande, dass die großen Stromversorger in der Regel keine wirtschaftliche Begründung für den Ausbau der Stromnetze in schwach besiedelten, fernab von industriellen Zentren liegenden Regionen gesehen haben. Dies würde sich wegen des niedrigen Stromverbrauchs und der hohen Kosten für die Aufstellung technischer Infrastruktur nicht lohnen. Vor diesem Hintergrund entsteht und entwickelt sich erfolgreich das Konzept der Beteiligung der lokalen Gemeinschaft in Form der Beteiligung der Einwohner an Energiegenossenschaften [2], die auch als Bürgerenergiegenossenschaften bezeichnet werden. Im Fall der Energiegenossenschaften bedeutet jedoch die gesellschaftliche Beteiligung viel mehr als nur die Beteiligung der Öffentlichkeit an Entscheidungsverfahren oder einfach an der Bildung der öffentlichen Meinung. Dieser Ansatz bildet eine Grundlage für die Entwicklung dezentraler Strukturen, die den demokratischen, sozialen und ökologischen Werten entsprechen. Die Bürgerenergie ist in der Region, in der Gemeinde, der jeweiligen Stadt und im Landkreis verankert. So entsteht eine gemeinsame Identität und Akzeptanz. Bei den Ansätzen dieser Art wird sehr oft die Schaffung von Mehrwert in der Region betont. Sie zeichnen sich dadurch aus, dass das öffentliche Interesse bereits bei der Entscheidungsfindung berücksichtigt wird.

Die Rendite ist vor diesem Hintergrund also kein einziges Kriterium, das die potenziellen Investoren berücksichtigen müssen [3]. Eine Energiegenossenschaft weist auch weitere Vorteile auf:

- Zu ihren Mitgliedern zählen Privatpersonen, Landwirte oder Unternehmer (ausschließlich Großbetriebe), die ihre Finanzmittel in die Projekte im Bereich der erneuerbaren Energiegewinnung investieren.
- Die Beteiligung erfolgt in Form eigener Kapitaleinlage, wodurch das Vorhaben kontrolliert wird und das Stimmrecht besteht.
- Den Privatpersonen stehen mindestens 50 % der Stimmrechte zu.
- Die Mitglieder der Genossenschaft kommen oder leben auf einem bestimmten geografisch Gebiet, das in der Regel begrenzt ist.

Das Konzept der gesellschaftlichen Beteiligung und Mitwirkung gehört zu den tragenden Säulen der Energiewende in Deutschland, was durch Daten belegt wird. Dabei ist jedoch anzumerken, dass das sehr günstige und stabile Fördersystem in Form von garantierten Tarifen zur Entwicklung der Energiegenossenschaften in Deutschland wesentlich beigetragen hat. Die garantierten Tarife erhöhen die Sicherheit der Investitionen. Relativ hohe Strompreise für die Endverbraucher, die bei Stromabnahme aus dem Netz anfallen, bilden einen weiteren wesentlichen Anreiz für deutsche Bürger, den Strom für den Eigenbedarf lokal und in eigener Regie zu erzeugen. Die Beteiligung an den Energiegenossenschaften wird auch steuerlich begünstigt. Wenn der Jahresertrag der Genossenschaft ausschließlich durch Geschäfte unter den Beteiligten generiert und auch unter denen verteilt wird, fällt keine Besteuerungsgrundlage an. In der Folge wurden in den letzten 10 Jahren 835 Energiegenossenschaften in Deutschland gegründet, die insgesamt 200 Tsd. Mitglieder zählen und rund 1200 Arbeitsplätze schaffen [4]. Zum Vergleich: Dier erste Energiegenossenschaft in Polen wurde in das vom Landeszentrum der Landwirtschaftsförderung im Mai 2021 [5] kraft des Gesetzes von 2019 über die erneuerbaren Energiequellen [6] eingetragen.

Ein weiteres, interessantes Beispiel aus Deutschland, das auf einer lokalen (regionalen) Gemeinschaft basiert, das im Sektor der erneuerbaren Energien implementiert wurde, ist das Konzept eines so genannten Bioenergiedorfs.

Die Bedeutung dieser Bezeichnung (Bioenergiedorf) hat auch evolviert. Die erste Definition entstand 2005 im Rahmen des Pilotprojekts für Gründung des ersten, nach diesem Konzept funktionierenden Dorfs in Deutschland: Jühnde bei Göttingen [7, 8]. Zu diesem Zeitpunkt bedeutete diese Bezeichnung vor allem einen Ort, der den größten Anteil seines Bedarfs nach Strom und

Heizleistung in eigener Regie aus der von der nächsten Umgebung stammenden Biomasse deckt [9]. In einem Dorf, die diesen Siegel bekommt:

- soll mindestens genauso viel Strom von der regionalen Biomasse erzeugt werden, wie der Bedarf des Ortes beträgt,
- mindestens die Hälfte des Bedarfs nach der Wärmeleistung aus der Biomasse gedeckt werden muss, um eine hohe Leistungseffizienz sicherzustellen, ist die Kraft-Wärme-Kopplung notwendig,
- mehr als 50% der Heizungsanlage soll im Eigentum der Wärmeverbraucher und der Landwirte stehen, wenn möglich sollen alle Beteiligten Anteile an der Bioenergieerzeugung haben,
- die Biomasse darf nicht aus Maismonokulturen oder gentechnisch veränderten Pflanzen stammen [7].

Die Grundlagen für dieses Konzept der lokal stattfindenden Entwicklung gehen auf den deutschen Sozialreformer und Gründer einer der ersten Darlehens- und Spargenossenschaften in Europa – Friedrich Wilhelm Raiffeisen zurück. Da auch heute in Deutschland gut bekannte Motto „*Das Geld des Dorfes dem Dorfe*“ betont, dass man vor allem auf den eigenen Stärken bauen, die eigenen regionalen Wirtschaftskreisläufe schaffen, Kapitalabfluss aus der Region beschränken und die Arbeitsplätze vor Ort schaffen soll [10]. Wie bereits vor vielen Jahren, sind auch heute viele lokale Gemeinschaften mit wirtschaftlichen Problemen konfrontiert; überschuldete Haushalte erwirtschaften immer weniger Einkommen und müssen gleichzeitig immer steigende Lebenshaltungskosten tragen, was zur Entvölkerung führen kann [11].

Folgende Argumente sprechen für die Umsetzung des Bioenergiedorfkonzepts:

- die Energieerzeugung ist klimaneutral,
- die Mittel für Anschaffung von Heizöl und Gas bleiben vor Ort,
- die Energiepreise bleiben stabiler,
- die ländlichen Gebiete werden dadurch gestärkt,
- lokale Arbeitsplätze werden geschaffen,
- die energetische Autarkie des Dorfes wird mithilfe der dezentralen Energieerzeugung verbessert und die Unabhängigkeit von den globalen Preisschwankungen wird erreicht.

Es werden auch Argumente genannt, dass dieses Konzept zur Verbesserung der Wahrnehmung des ländlichen Raums führen kann, der als innovativ und modern gelten soll. Darüber hinaus können diese Dörfer ihre intelligenten Lösungen weiter verkaufen, was als Nebeneffekt zur Entwicklung von Bioenergietourismus

führen kann, weil solche Dörfer nicht nur neugierige Besucher aus den anderen Regionen des Landes, sondern auch aus dem Ausland anziehen (z.B. Feldheim, Jühnde). Es gibt Hinweise dafür, dass die Investitionen dieser Art die Landflucht junger Menschen in die Städte entschleunigen und die Integration der lokalen Gemeinschaft durch die Identifikation mit dem Projekt stärken können [11, 12].

Das Biodorf-Konzept wird seit vielen Jahren von der *Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.* (FNR) entwickelt und implementiert, die die lokalen Gemeinschaften auf allen Entwicklungsstufen aktiv unterstützt [13]. Auf der Grundlage dieses Konzepts werden aktuell (Stand: Juni 2021) in ganz Deutschland 170 Dörfer als Bioenergiedörfer betrieben, weitere 42 unterlaufen gerade der Umwandlung in diese Richtung (Abb. 1). Die Internetseite von FNR e.V. bietet einen guten Überblick über die in den einzelnen Dörfern angewandten technischen Lösungen an [14].

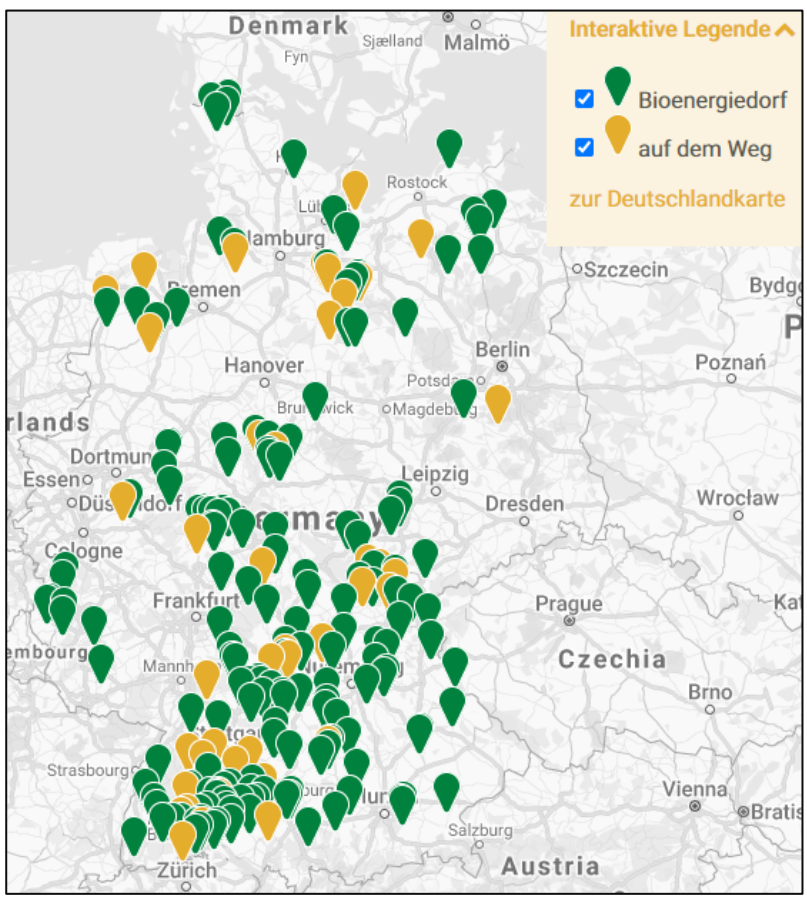


Abb. 1. Biodörfer in Deutschland und Orte, die zu Biodörfern umgebaut werden [12]

Die Internetseite von FNR e.V. ist auch aus einem anderen Grund ein gutes Beispiel. Sie bezieht sich häufig auf das Argument des wirtschaftlichen Mehrwerts, das für die Energiewende und die Umstellung auf erneuerbare Energiequellen spricht. Mit einem auf der Seite veröffentlichten Rechners kann sich der für die Region erwirtschaftete Mehrwert infolge der Umsetzung des Bioenergiedorf-Konzepts besser einschätzen lassen [15].

Das erste Bioenergiedorf in Deutschland war das Dorf Jühnde im Landkreis Göttingen im Bundesland Niedersachsen. Im Rahmen des Programms für den Ersatz aller fossilen Brennstoffe durch die Biomasse wurde 2006 im Dorf eine Biogasanlage gebaut, die Wärme und Strom aus Gülle und Silage erzeugt. Um den hohen Wärmebedarf im Winter zu decken, wurde eine weitere ergänzende, mit Holzhackschnitzel beheizte Kesselanlage installiert. Das Dorf wird nicht nur von Landwirten und kommunalen Vertretern aus ganz Deutschland gerne besucht, sondern auch von Delegationen aus anderen Ländern [16].

Ein erweitertes Konzept eines energetisch autarken Dorfes wurde in Feldheim, einem Ort etwa 90 km südlich von Berlin implementiert. Dieses kleine Dorf mit rund 130 Einwohnern war bereits zu DDR-Zeiten eins der ärmsten Dörfer Brandenburgs. Aktuell gilt es als ein Modelldorf, in dem erneuerbare Energiequellen im Rahmen der Umsetzung deutscher Zukunftsvision eingesetzt werden. Der Ort Feldheim ist seit 2010 energetisch autark, und seit 2015 wird hier Europas größtes Speichersystem mit einer Ausgangsleistung von 10 MW und Kapazität von 10 MWh betrieben [17]. In Feldheim wurde nicht nur die notwendige technische Infrastruktur aufgebaut (55 Windkraftanlagen, ca. 9850 Photovoltaikmodule, s. Abb. 2).

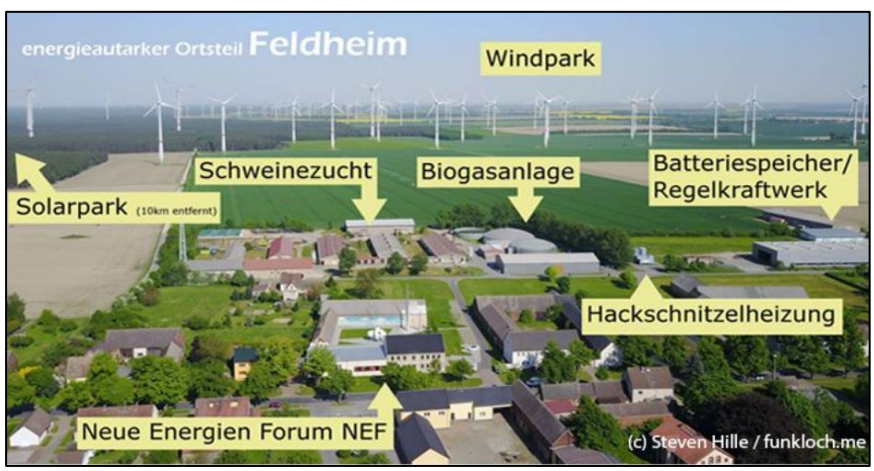


Abb. 2. Energetisch autarkes Dorf Feldheim [20]

Hier wird auch ein Umweltinstitut betrieben. Die Internetseite des Dorfes wird laufend aktualisiert und der Ort bietet auch Tourismusangebote in Bezug auf die Nutzung erneuerbarer Energiequellen. Das Dorf wird pro Jahr durch rund 3000 Gäste besucht, die sich für die Implementierung der Energiewendekonzepte interessieren [18, 19].

Datenbanken und Projekte als Beispiele der gute Praktik im Bereich erneuerbarer Energiequellen außerhalb von Deutschland

Da das Projekt MoRE ein Forschungsprogramm für zwei baltische Inseln, d.h. den Inseln Usedom und Wollin umfasst, sowie wegen der Komplexität und Vielschichtigkeit der Problematik der guten Praktiken im Bereich erneuerbarer Energien werden im Folgenden ausgewählte Initiativen und Projekte vorgestellt, die auch auf Inseln realisiert werden.

An dieser Stelle soll die Initiative *Smart Islands Initiative* besonders hervorgehoben werden, die nach Auffassung deren Träger (kommunale Behörden und die Inselbewohner) einerseits das Potenzial der Inseln als spezifischer Versuchsgebiete für technologische, gesellschaftliche, ökologische, wirtschaftliche und politische Innovationen fördern und andererseits die Lebensqualität auf den Inseln verbessern soll. Mit dieser Initiative wird das Konzept einer „intelligenten Insel" gefördert, also einer Insel, auf der definierte Anpassungs- und Adaptationsmaßnahmen ergriffen werden, um sich vor den die Folgen des Klimawandels zu schützen, indem eine nachhaltige lokale wirtschaftliche Entwicklung und eine hohe Lebensqualität der lokalen Einwohner sichergestellt werden, und auf der intelligente und integrierte Lösungen für die Instandhaltung der Infrastruktur, den Schutz der natürlichen Ressourcen und der Umwelt mit Unterstützung durch Informations- und Kommunikationstechnologien implementiert werden, wobei gleichzeitig die Nutzung innovativer und inklusiver Management- und Finanzierungssysteme gefördert wird [21].

An diesem Projekt nehmen Gemeinschaften aus unterschiedlichen Ländern aktiv teil, was diese Initiative positiv von anderen unterscheidet (s. Abb. 3).

Eine der tragenden Säulen der oben genannten Initiative ist eine Plattform für den Erfahrungsaustausch zwischen den Vertretern aus den Ländern, die sich auf die Inselthematik spezialisieren, die als *Smart Islands Forum* angeboten wird. Das Ziel dieser Initiative besteht in der Vertretung gemeinsamer Interessen der Inselgemeinschaften innerhalb der EU-Strukturen. Im Rahmen des Projekts werden auch die Erfahrungen von Inselbewohnern aus der gesamten EU aufgezeichnet und dokumentiert, die als Inspiration für andere dienen können.

Die Aufzeichnungen umfassen auch die interaktiven Initiativen unter Beteiligung der Zivilgesellschaft in Bereichen des gemeinschaftlichen Lebens, wie: Informations- und Kommunikationstechnologie, Energieversorgung, Verkehr, Umwelt, Fremdenverkehr, wirtschaftliche Entwicklung, Forschung, Management und soziale Innovation [22].

Abb. 3. Mitglieder der *Smart Islands Initiative* [20]

Ein weiteres interessantes Pilotprojekt *Clean Energy for EU Islands* startete 2018. Mit diesem Projekt werden die EU-Einwohner bei ihren Bemühungen im Bereich der Umstellung auf die nachhaltigen Energiequellen und Reduzierung des Energieverbrauchs unterstützt. Zur Pilotphase wurden 52 Inseln angemeldet, die sich zur aktiven Dekarbonisierung verpflichtet hatten [23]. Im Rahmen des Projekts wurde ein Handbuch zum Thema Umstellung zur nachhaltigen Energieversorgung veröffentlicht [24]. Diese Bearbeitung gilt als eine strategische Planungsunterlage, die (wie ihre Verfasser betonen) „von der lokalen Gemeinschaft für die lokale Gemeinschaft entwickelt wurde“ [23]. Im Rahmen der Veröffentlichung werden die Fragen aus der Perspektive verschiedener Interessengruppen auf den Inseln erörtert, was dabei hilft, die technischen und

finanziellen Hürden, aber auch Einschränkungen, die aus der Gesellschaft, deren Geschichte und Kultur resultieren können, zu überwinden. Auf der Internetseite dieses Projekts finden sich aktuelle und umfassende Pläne zur Energiewende für 19 Inseln, darunter für gut bekannte Inseln, wie Ibiza (Spanien), Brač (Kroatien), La Palma (Spanien), Îles du Ponant (Frankreich) [23].

Auf der Internetseite des Projekts können auch Informationen zu Finanzierungsquellen für die nachhaltigen Energieprojekte eingesehen werden. Hier werden Fragen in Bezug auf die europäischen Finanzierungsprogramme (Horizont 2020, JPI Urban Europe, LIFE, Interreg), die europäischen Struktur- und Investitionsfonds (Europäischer Sozialfonds, Europäischer Fonds für die Entwicklung des ländlichen Raums, Kohäsionsfonds), sowie innovative alternative Finanzierungsansätze, wie Crowdfunding und Energiegenossenschaften näher erörtert. Das Projekt [23] führt auch Personen und Körperschaften zusammen, die die Inselgemeinschaften bei der Umstellung auf die nachhaltige Energieversorgung unterstützen, und bietet ihnen fachliche Beratung zu den technischen, finanziellen und sozialen Fragen solcher Umwandlung. Die Internetseite dieses Projekts umfasst mehrere Links zu vergangenen Webinaren zu den relevanten Themen, wie u.a.: Einbeziehung der lokalen Gemeinschaft in die Energiewende, nachhaltiger Verkehr, Energiespeicherung, Geschäftsmodelle, Energieeffizienz im Bauwesen und in der Installationstechnik.

Im Rahmen des Projekts wurde ein Tool (auf Grundlage eines Kalkulationsbogens) zur Bewertung der Realisierungstiefe der Energiewende entwickelt und bereitgestellt. Mit Hilfe dieses Tools können die Stärken und Schwächen der Umstellungsprozesse ermittelt und die Prioritäten für die nächsten Stufen festgelegt werden. Hier werden die vorgeschlagenen Unterstützungskategorien angedeutet, um die erkannten Bedürfnisse zu stillen.

Die auf der Seite www.euislands.eu veröffentlichten Beiträge umfassen auch aktuelle Infos zu Veranstaltungen in Form von Workshops, Ausstellungen und Konferenzen [24].

Ein weiterer interessanter Ansatz ist die 2008 gegründete Online-Bibliothek, die sich mit Fragen der Energiewende beschäftigt und deren Bestände stets größer werden. Die Bibliothek wurde kraft einer Vereinbarung der Bürgermeister (*Covenant of Mayors*) gegründet, die rund 10 Tsd. lokale und regionale Behörden und Regierungen aus 61 Ländern weltweit unter einem Dach vereint, die sich für Klima- und Energieziele einsetzen. Diese Datenbank umfasst Inspirationen, beginnend mit der Einbeziehung der Beteiligten bis zu Beispielen der technischen Projektdurchführung, darunter Beispiele für mehr als 6000 gute Praktiken [25].

Eine weitere, gut ausgebaute Datenbank mit guten Praktiken zum Thema der Implementierung und Förderung von nachhaltigen Energielösungen für die Inseleinwohner wird auch durch das Departement für Energie der Vereinigten Staaten von Amerika im Rahmen der Initiative *Energy Transitions* angeboten [26]. Die dort verfügbaren Ressourcen und Tools fokussieren sich insbesondere auf die Frage der Verringerung des ökonomischen Risikos und auf der Verbesserung des Schutzes vor klimatischen Katastrophen, wie Tornados und Hurrikans, die für die karibischen und pazifischen Inseln typisch sind, sowie auf die Implementierung von Lösungen zur Förderung der Umstellung zur nachhaltigen Energieversorgung. Ähnlich wie in Deutschland, wo der erste Ort (Jühnde), in dem die Idee eines Biodorfes implementiert wurde im Rahmen eines Wettbewerbs gewählt wurde, auch hier sind bestimmte Gemeinschaften nominiert, die Maßnahmen in Bezug auf die Energiewende ergreifen werden [27].

Das Amerikanische Büro für Energieeffizienz und erneuerbare Energien (*Office of Energy Efficiency & Renewable Energy*) veröffentlicht auf seiner Internetseite sehr umfassende Ressourcen zu Fragen, wie [28]:

1. Programme und Initiativen, darunter:

– Programm zur Förderung der Energieeffizienz der Bausubstanz *(Better Buildings Neighbourhood Program*), mit dem die im Rahmen eines Wettbewerbs gewählten lokalen Behörden bei der Entwicklung von Programmen zur Verbesserung der Energieeffizienz der Bausubstanz unterstützt werden [29],
– Forschungsprogramm zum Thema Bauwesen *(Building America*), das auf innovative und energieeffiziente Planung der Wohnhäuser abzielt [30],
– Forschungsprogramm zum Thema Windkraftanlagen, insbesondere zum Thema der Verbreitung bewährter Fakten zur Nutzung der Windenergie [31].

2. Datenbanken und Tools zu den erneuerbaren Energiequellen, die u.a. umfassen:

– Datenbank zu alternativen Brennstoffen, Tankstellen, Kraftstoffpreisen, einschließlich Vorschriften und Begünstigungen [32],
– Daten zur Energieversorgung, einschließlich Auswertungen, Rankings und Zusammenfassungen nach Bundesstaaten *(US Energy Information Administration*, EIA) [33],
– der US-Energieatlas als eine umfassende Quelle mit Daten und interaktiven Karten zur Energieinfrastruktur und zu den Ressourcen in den Vereinigten Staaten, einschließlich Karten zur Feststellung potenzieller Gefahren für die Energieinfrastruktur durch größere Naturkatastrophen [34].

3. Beispiele für Lösungen und Strategien, technische Abhilfen:

– ein umfassendes Archiv mit etwa 1000 Beispielen, Anträgen, Fachwissen von Fachleuten und Programmadministratoren im Bereich der Planung, des Betriebs und der energetischen Bewertung von Wohngebäuden *(The Better Buildings Residential Program Solution Center*) [35],
– Ressourcen für Bundesstaaten und Gemeinschaften zur Senkung der Kosten für die Energieversorgung für einkommensschwache Familien, insbesondere für ältere und behinderte Personen [36],
– Netzwerk Clean-Cities, das Maßnahmen im Bereich der alternativen Kraftstoffe und der neuen Verkehrstechnologien ergreift; im Rahmen des Netzwerks funktioniert ein Tigerteam, das die Interessierten, OEM-Hersteller und Lieferanten in Bezug auf die Überwindung der Hindernisse bei Einführung alternativer Kraftstoffe und fortschrittlicher Fahrzeuge berät und dabei hilft, fundierte Entscheidungen zur Senkung des Kraftstoffverbrauchs zu treffen [37],
– regionale Windkraftressourcenzentren, die Daten und Lösungen anbieten, die dem lokalen Bedarf angepasst sind, um den Gemeinschaften zu helfen, die Vorteile und die Kosten der Windkraft zu ermitteln. Im Rahmen dieser Initiative werden u.a. Windkraftkarten für die jeweils geplante Höhe der Windkraftanlagen [38], Modelle zur Einschätzung der wirtschaftlichen Folgen (Beschäftigungszahlen und Einfluss auf die wirtschaftliche Entwicklung) der Errichtung und des Betriebs eines Windparks [39] angeboten; dazu wird ebenfalls eine weitere Datenbank mit den lokal geltenden Auflagen und Vorschriften, d.h. Bundes-, Staates- und Kommunalgesetze, die zahlreiche Bereiche der Windenergiebranche regeln und abdecken, bereitgestellt [40],
– Datenbank mit finanziellen Anreizen und Auflagen nach geografischer Verteilung, die die erneuerbaren Energiequellen und die Energieeffizienz in der USA fördern mit Angaben zu verfügbaren Fördermitteln auf der Bundes-, Staats- und Lokalebene; zu einem der Tools gehört die Möglichkeit, die Anreize und Förderprogramme nach Art des Projekts auszusuchen (z.B. steuerliche Nachlässe für Körperschaften) sowie nach Energiequellen (z.B. Biomasse) [41].

Zusammenfassung

In diesem Abschnitt hat der Verfasser auf Grundlage der umfangreichen Literaturquellen zum Thema einige Beispiele der guten Praktiken im Bereich der

erneuerbaren Energiequellen kurz vorgestellt. Aufgrund der Beschaffenheit des Projekts MoRE fokussierte sich unsere Auswertung insbesondere auf Lösungen, die in Deutschland implementiert wurden und die für die Inselgebiete von Relevanz sein könnten. Trotz der Tatsache, dass diese kurze Übersicht nur einige wenige Beispiele guter Praktiken aufführt, ist sie ausreichend, um darzustellen, wie unterschiedlich die Thematik der erneuerbaren Energiequellen weltweit angegangen wird und wie wichtig dabei die Diversifizierung der Energiequellen im breiteren Kontext ist. Die auf konventionellen, fossilen Brennstoffen basierende polnische Energiewirtschaft wird langfristig nicht in der Lage sein, den Energiebedarf zu decken. Aus diesem Grund ist die Suche nach innovativen Lösungen zur Deckung des Energiebedarfs notwendig. Dabei ist die Untersuchung und nähere Betrachtung der bereits bestehenden und bewährten Lösungen weltweit sehr hilfreich. Die Implementierung der weltweit bereits eingeführten und bewährten Lösungen im deutsch-polnischen Grenzgebiet unter Berücksichtigung der dort herrschenden Lokalbedingungen ist nicht zu unterschätzen.

Literaturverzeichnis

1. Podręcznik Dobrych Praktyk Bezkonfliktowego Rozwoju Energetyki Odnawialnej w Polsce i Niemczech, https://www.dreberis.com/pl/projekty/2012-podrecznik-dobrych-praktyk-bezkonfliktowego-rozwoju-energetyki-odnawialnej-w-polsce-i (30.06.2021).
2. Yildiz Ö., Financing renewable energy infrastructures via financial citizen participation – the case of Germany, „Renew. Energy", 2014, 68, 677–685. DOI: 10.1016/j.renene.2014.02.038.
3. Holstenkamp L., Degenhart H., Bürgerbeteiligungsmodelle Für Erneuerbare Energien – Eine Begriffsbestimmung Aus Finanzwirtschaftlicher Perspektive, https://mpra.ub.uni-muenchen.de/81263/ (27.06.2021).
4. Bundesgeschäftsstelle Energiegenossenschaften – DGRV, https://www.dgrv.de/bundesgeschaftsstelle-energiegenossenschaften/ (20.05.2021).
5. Wykaz Spółdzielni Energetycznych – Krajowy Ośrodek Wsparcia Rolnictwa, https://www.kowr.gov.pl/odnawialne-zrodla-energii/spoldzielnie-energetyczne/zatwierdzenie-w-wykazie-spoldzielni-energetycznych/wykaz-spoldzielni-energetycznych (27.06.2021).
6. Ustawa z Dnia 20 Lutego 2015 r. o odnawialnych źródłach energii, http://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=wdu20150000478 (27.06.2021).
7. Ibeg – Startseite, http://www.bioenergiedorf.info/index.php?id=startseite (30.06.2021).
8. Wüste A., Schmuck P., Bioenergy villages and regions in Germany: An interview study with initiators of communal bioenergy projects on the success factors for

restructuring the energy supply of the community, „Sustainability", 2012, 4, 244–256. DOI: 10.3390/su4020244.
9. Ruppert H., Eigner-Thiel S., Girschner W., Karpenstein-Machan M., Roland F., Ruwisch V., Sauer B., Schmuck P., Wege zum Bioenergiedorf. Leitfaden für eine eigenständige Wärme- und Stromversorgung auf Basis von Biomasse im ländlichen Raum, Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe, Gülzow 2010.
10. Paul N., Das Geld des Dorfes dem Dorfe – Bioenergiedörfer leben Energieautarkie, https://www.fnr.de/fileadmin/news_import/MV_Bioenergiedoerfer.pdf (26.06.2021).
11. Zbaraszewski W., Pieńkowski D., Biowioska – niemiecka koncepcja wsi bioenergetycznej, „Optimum. Studia Ekonomiczne", 2018, 4(88), 99–113.
12. Heck P., Reis A., Böhmer J., Huwig P., Meisberger J., Menze S., Wagener F., Wangert S., Bioenergiedörfer (weiter) entwickeln – ein Leitfaden für den Weg zum Bioenergiedorf. [Im:] Lehre Und Forschung 2013, Hochschule Trier, Trier 2014, 146–151.
13. FNR – Wege Zum Bioenergiedorf, https://bioenergiedorf.fnr.de/karten/bioenergiekommunen/ (30.06.2021).
14. FNR – Bioenergiedörfer: Liste, https://bioenergiedorf.fnr.de/index.php?id=2116 (30.06.2021).
15. FNR – Bioenergiedörfer: Wertschöpfungsrechner, https://bioenergiedorf.fnr.de/wege-zum-bioenergiedorf/regionale-wertschoepfung/wertschoepfungsrechner (30.06.2021).
16. Weltweites Vorbild Bioenergiedorf, https://www.goettinger-tageblatt.de/Thema/Specials/333-Dinge/Weltweites-Vorbild-Bioenergiedorf (26.06.2021).
17. In Feldheim steht die größte Batterie Europas, https://www.energiezukunft.eu/umweltschutz/in-feldheim-steht-die-groesste-batterie-europas/ (30.06.2021).
18. Neue Energien Forum Feldheim – Erleben Sie die Energiewende!, https://nef-feldheim.info/ (30.06.2021).
19. Energieautarkie – das Beispiel Feldheim, https://kommunalwiki.boell.de/index.php/Energieautarkie_-_das_Beispiel_Feldheim (30.06.2021).
20. Energieautarkes Dorf Feldheim. Zukunftskommunen.
21. Smart Islands Initiative, https://www.smartislandsinitiative.eu/en/index.php (28.06.2021).
22. TEN Section Report on the "Smart Islands" Project, https://www.eesc.europa.eu/en/our-work/publications-other-work/publications/ten-section-report-smart-islands-project (28.06.2021).
23. Clean Energy for EU Islands Secretariat, https://euislands.eu/ (28.06.2021).
24. Clercq S.D., Proka A., Jensen J., Carrero M.M., Brües J., Staines, S. Islands transition handbook. How to develop your island's clean energy transition agenda, Clean Energy for EU Islands Secretariat, Brussels 2020.
25. Covenant of Mayors, https://www.covenantofmayors.eu (28.06.2021).
26. Energy Transitions Initiative, https://www.energy.gov/eere/energy-transitions-initiative (29.06.2021).

27. Energy transitions initiative partnership project – who we are, https://www.energy.gov/eere/energy-transitions-initiative-partnership-project-who-we-are (29.06.2021).
28. States and local communities, https://www.energy.gov/eere/services/states-and-local-communities (29.06.2021).
29. Better buildings neighborhood program, https://www.energy.gov/eere/better-buildings-neighborhood-program/better-buildings-neighborhood-program (29.06.2021).
30. Building America, https://www.energy.gov/eere/buildings/building-america (29.06.2021).
31. U.S. Energy Atlas, https://atlas.eia.gov/ (29.06.2021).
32. Alternative Fuels Data Center: State information, https://afdc.energy.gov/states/ (29.06.2021).
33. WINDExchange, https://windexchange.energy.gov/ (29.06.2021).
34. United States – U.S. Energy Information Administration (EIA), https://www.eia.gov/state/ (29.06.2021).
35. Residential Program Solution Center, https://rpsc.energy.gov/ (29.06.2021).
36. NASCSP, https://nascsp.org/ (29.06.2021).
37. Clean cities coalition network: Technical assistance, https://cleancities.energy.gov/technical-assistance/ (29.06.2021).
38. WINDExchange: Wind energy maps and data, https://windexchange.energy.gov/maps-data (29.06.2021).
39. WINDExchange: Jobs and economic development impact models, https://windexchange.energy.gov/projects/jedi (29.06.2021).
40. WINDExchange: Wind energy policies and incentives, https://windexchange.energy.gov/policies-incentives (29.06.2021).
41. Database of State Incentives for Renewables & Efficiency®, http://18.215.172.82/ (29.06.2021).

Verfasser

Jakub Balik
Absolvent der Fakultät für Geographie und Regionalstudien der Universität Warszawa. Junior-Analystin bei ZDG TOR, mit Schwerpunkt auf demografischen, sozialen und wirtschaftlichen Studien. Mitverfasser von strategischen Unterlagen (Elektromobilitätsstrategie, Smart City, Verkehrsanalysen). Interessiert an der Thematik der Stadtentwicklung, insbesondere *Urban Sprawl* und an der sozioökonomischen Geographie.

Anita Białczak
Architektin, mit Schwerpunkt Landschaftsarchitektur.

Alicja Biranowska-Kurtz
Doktorin der technischen Wissenschaften, Diplom-Restauratorin, Denkmalkundlerin, pensionierte Historikerin für Städtebau. Absolventin der Fakultät für Bildende Künste an der Nikolaus-Kopernikus-Universität Toruń, Fachrichtung Restauration und Denkmalkunde. Sie promovierte an der Fakultät für Architektur der Technischen Universität Warschau. Akademische Lehrkraft an der Fakultät für Architektur und Städtebau der Technischen Universität Szczecin, der Universität Szczecin und der Hochschule für Wirtschaft und Tourismus Szczecin. Langjährige Forscherin von Städten und Gebieten im Nordwesten Polens, der historischen Krajna, dem Lebuser Land und einiger Gebiete Großpolens. Verfasserin zahlreicher wissenschaftlicher Studien.

Małgorzata Blaszke
Wissenschaftliche Mitarbeiterin am Lehrstuhl für Immobilienwirtschaft an der Wirtschaftsfakultät der Westpommerschen Technischen Universität Szczecin. Wissenschaftliche Sekretärin der Arbeitsgruppe Recht und Städtebau am Ausschuss für Raumplanung der Polnischen Akademie der Wissenschaften. Verfasserin zahlreicher wissenschaftlicher Publikatio-nen, darunter auch anerkannte Publikati-onen im Ausland (u.a. über die erneuer-baren Energiequellen). An zahlreichen nationalen Forschungsprojekten beteiligt.

Bartosz Bogusławski
Absolvent der Westpommerschen Technischen Universität Szczecin (Ingenieurstudium) und der Technischen Universität Warszawa (Masterstudium). Mitverfasser und praktischer Berater bei zahlreichen Projekten im Bereich der Planung von Wasser-, Abwasser- und Kläranlagen. Er befasst sich wissenschaftlich mit biochemischen Abläufen in Abwassersystemen und der Planung von Abwasseranlagen. Mitverfasser mehrerer wissenschaftlicher Veröffentlichungen.

Paweł Burandt
Doktor der Agrarwissenschaften im Bereich der Umweltgestaltung und Umweltschutzes (2015, Ermland-Masuren-Universität Olsztyn). Seine wissenschaftlichen Interessen widmen sich den natürlichen und anthropogenen Faktoren, die den quantitativen und qualitativen

Zustand der aquatischen Umwelt beeinflussen. Der Schwerpunkt seiner Forschung liegt auf Flusstälern. Wegen seines intensiven Engagements für den Umweltschutz gehören die Waldmoorgebiete zu einem der Schwerpunkte seiner wissenschaftlichen Arbeit. Beruflich im Bereich der Hydrometrie, der hydrologischen Vermessung und geografischer Informationssysteme (GIS) tätig. Verfasser von 30 wissenschaftlichen Veröffentlichungen, inklusive 13 zusammen mit IF, sowie von zahlreichen wissenschaftlichen Gutachten. Mitverfasser eines Patents. Mitglied bei der Polnischen Gesellschaft für ökologisches Engineering und der Polnischen Magnesiologischen Gesellschaft.

Mateusz Cieślik

Diplom-Ingenieur für Landschaftsarchitektur, angestellt bei Studio DL sp. z o.o.

Marcin Ciupak

Doktor-Ingenieur, angestellt bei Studio DL sp. z o.o.

Patryk Dominiak

Planer, Elektrofachmann.

Dominika Dudek

Absolventin der Fachrichtung chemische Technologie an der Westpommerschen Technischen Universität Szczecin. Technische Angestellte am Lehrstuhl für Umwelttechnik, Fakultät für Bau- und Umwelttechnik, ZUT, Szczecin.

Tomasz Furmańczyk

Mit Hochschulabschlüssen in Raumplanung, Wirtschaftslehre und Landschaftsarchitektur. Derzeit Doktorand am Institut für Sozial- und Wirtschaftsgeographie und Raumplanung an der Universität Szczecin und Mitarbeiter des Regionalen Büros für räumliche Planung der Woiwodschaft Westpommern in Szczecin. Mitglied von Arbeitsgruppen an internationalen Projekten im Bereich der regionalen Planung und Planungsstudien auf lokaler und überlokaler Ebene.

Roman Gawarkiewicz

Doktor habil. der Geisteswissenschaften für Linguistik, Professor an der Universität Szczecin. Forschungs- und Lehrbeauftragter am Institut für Linguistik der Universität Szczecin. Akademische Lehrkraft für Wirtschaftslinguistik – Übersetzer für Russisch-Polnisch-Deutsch. Mitglied der Wissenschaftlichen Gesellschaft Szczecin. Forschungsschwerpunkte: Psycho- und Ethnolinguistik; Kulturdialog im Kontext ethnischer und kultureller Identität; kulturelle und soziale Ausprägung der polnisch-deutsch-russischen interkulturellen Kommunikation; polnisches, deutsches und russisches sprachlich-kulturelles Bewusstsein; nationale Auto- und Heterostereotypen; sprachliche Stereotypen im polnischen, deutschen und russischen Weltbild. Mitverfasser der Studie: *Polnisches Assoziationswörterbuch mit Anhang* (2008).

Katarzyna Glińska-Lewczuk

Professorin für Agrarwissenschaften (2018). Doktor habil. mit Schwerpunkt auf Gestaltung und Schutz der Umwelt, Fachgebiet: Hydrologie, Wasser in der Landschaft (2010, Ermland-Masuren-Universität Olsztyn). Sie beschäftigt sich mit Fragen der Wasserwirtschaft in Nordostpolen. Der Schwerpunkt ihrer Forschung betrifft die Rolle der hydrologischen Faktoren bei der

Gestaltung aquatischer Ökosysteme in Seengebieten. In den Jahren 2004 bis 2015 führte sie ein Forschungsprogramm im Bereich der komplexen Bewertung des ökologischen Zustands der Altflüsse im Hinblick auf die anthropogene Bedrohungen. Autorin und Mitautorin von mehr als 300 wissenschaftlichen Veröffentlichungen und zahlreichen wissenschaftlichen Dossiers, Projekten und Gutachten. Miteigentümerin von vier Patenten. Leiterin von internationalen (EU FP7) und nationalen (MNISW, NCN) Forschungsprojekten. Mitglied wissenschaftlicher Ausschüsse bei 3 Fachzeitschriften. Mehrmals für wissenschaftliche Leistungen ausgezeichnet.

Anna Głowacka

Absolventin der Akademie für Landwirtschaft Szczecin, Fakultät für Umweltmanagement und Landwirtschaft (1996). Doktor der technischen Wissenschaften in Landwirtschaft (2000, Landwirtschaftliche Hochschule Szczecin). Doktor habil. der technischen Wissenschaften im Bereich der Umweltgestaltung und des Umweltschutzes (2010, Ermland-Masuren-Universität Olsztyn). Mit folgenden Schwerpunkten der Forschung: technologische Prozesse für die Abwasserbehandlung, Bewertung der physikalisch-chemischen, biologischen und morphologischen Zusammensetzung von kommunalen und industriellen Abfällen; Bewertung und Erforschung der physikalisch-chemischen und biologischen Zusammensetzung von kommunalem und industriellem Klärschlamm; Verwendung von Abfällen zu Rekultivierungs- und Düngezwecken sowie Gewinnung von Rohstoffen und Energie aus Abfällen. Autorin und Mitautorin von mehr als 120 wissenschaftlichen Veröffentlichungen, 2 Patenten, 3 Patentanmeldungen, 4 Büchern von nationaler Bedeutung und Autorin und Mitautorin von technologischen Lösungen: Kompostierung von Industrie- und Siedlungsabfällen und kommunalem Klärschlamm, Vergärung von Industrie- und Siedlungsabfällen und kommunalem Klärschlamm, thermische Entsorgung von Siedlungs-, Industrie- und Sonderabfällen, Gewinnung von Energie und Rohstoffen aus Abfällen. Wiederholt ausgezeichnet vom Rektor der ZUT für wissenschaftliche Leistung. Mit der regionalen Auszeichnung „der Grüne Phoenix“ (2021) ausgezeichnet.

Bartosz Jarecki

Mitglied im Team der Wirtschaftsberater der GmbH TOR sp. z o.o, Warszawa.

Leszek Jastrzębski

Architekt, Absolvent der Technischen Universität Szczecin (1992), Stadtplaner, Regionalist. Autor und Mitautor von mehreren Projekten zum Thema räumliche Planung. Seit Beginn seiner beruflichen Laufbahn mit der Regionalen Raumplanungsbehörde für die Woiwodschaft Westpommern in Szczecin (RBGPWZ) verbunden. In den Jahren 2007 bis 2009 und erneut seit Juni 2016 leitet er ein Büro, das aktiv an der Entwicklung, Förderung und Umsetzung zahlreicher Konzepte und Projekte beteiligt ist, darunter auch an solchen mit überregionalem und grenzüberschreitendem Charakter. Einberufen in das Beraterteam für die Reform der Raumplanung am Ministerium für Entwicklung (2020).

Bartłomiej Kasiuk

Absolvent der Fakultät für Management, Informatik und Finanzen an der Wirt-

schaftsuniversität Wrocław. Fachmann bei ZDG TOR für thematische Bereiche, wie Elektromobilität, öffentlicher Verkehr und Datenanalyse. Mitverfasser zahlreicher Strategieunterlagen (Elektromobilität, Mobilitätspläne, Verkehrspläne) und Studien zum Einsatz von emissionsfreien Bussen. Interessiert an den Themen im Bereich der breit ausgelegten nachhaltigen Mobilität, Elektromobilität, Technologie und künstlicher Intelligenz.

Grzegorz Krzos

Doktor habil. für Management- und Qualitätswissenschaften, Professor an der Wirtschaftsuniversität Wrocław, Leiter des Lehrstuhls TOiZ, wissenschaftlicher Berater des KMU-Ombudsmannes, Experte für Geschäftsmanagement, Management innovativer Projekte, einschließlich Projekte im Bereich der erneuerbaren Energiequellen, sowie der Energieautarkie auf der Ebene von Unternehmen, Städten und Gemeinden. Berater im Bereich der EU-Fördermittel.

Marek Kurnatowski

Absolvent der Fakultät für Geodäsie und Kartografie an der Technischen Universität Warszawa (2005) und des Aufbaustudiums zum Thema Immobilienmanagement an der Westpommerschen Technischen Universität Szczecin (2008). Doktorand an der Fakultät für Bauwesen und Umweltengineering, ZUT. Mit beruflicher Zulassung für Geodäsie und Kartographie im Bereich der geodätischen Vermessung, Realisierung und Bestandsaufnahme (2010). Autor von Veröffentlichungen zum Thema GIS und Geodäsie, die zu Schwerpunkten seiner wissenschaftlichen Arbeit gehören. Mit langjähriger Berufserfahrung im Bereich der geodätischen Betreuung von Infrastrukturprojekten und der Erstellung von kartografischen Studien.

Karolina Kurtz-Orecka

Absolventin der Fakultät Bauwesen (1999), Architektur und Städtebau (2001) an der Technischen Universität Szczecin, des Aufbaustudiums im Bereich des energiesparenden Bauens und der energetischen Bewertung von Gebäuden (Technische Universität Poznań, 2009). Mit dem wissenschaftlichen Stipendium „Bleibt mit uns“ der Stiftung der Wochenzeitung POLITYKA (2003) ausgezeichnet, Doktor für technische Wissenschaften (Technische Universität Szczecin, 2005). 2005 hat sie ihr Forschungsgebiet im Bereich des Holzbaus um die Wärme- und Feuchteschutztechnik, sowie Energieeffizienz von Gebäuden und deren technischer Ausstattung erweitert. Als aktive Energiegutachterin arbeitet sie mit der Wirtschaft eng zusammen. Sie hat energetische Prüfungen an Gebäuden mit einer Gesamtnutzfläche von mehr als 1,160 Millionen m^2 durchgeführt. Sie ist Autorin und Mitautorin von wissenschaftlichen Beiträgen, Artikeln und Monographien zum Thema Bauphysik und Energieeffizienz in Gebäuden. 2022 wurde sie mit der Auszeichnung „Der Grüne Phoenix“ ausgezeichnet. Sie arbeitet an der Westpommerschen Technischen Universität Szczecin und hat auch an der Universität Zielona Góra, der Agraruniversität Warszawa und der Hochschule für Arbeitsschutzmanagement Katowice mitgearbeitet.

Grażyna Kwaśniewska

Absolventin der Chemischen Fachschule Szczecin. Eine langjährige Mitarbeiterin

des Lehrstuhls für Umwelttechnik an der Westpommerschen Technischen Universität Szczecin. Sie beschäftigt sich hauptsächlich mit Fragen der Wasser- und Abwassertechnologie und der Abfallwirtschaft.

Norbert Lech

Absolvent der Fakultät Transportwesen (2020) an der Maritimen Akademie Szczecin und der Fachrichtung Transportwesen an der Westpommerschen Technischen Universität Szczecin (2022). Magister Ingenieur für Landes- und Verkehrsengineering. Zu seinen Forschungsschwerpunkten gehören die Elektromobilität und insbesondere die Fragen in Bezug auf die Optimierung der Nutzung von Elektrofahrzeugen. Mitautor von Veröffentlichungen zum Thema Verkehr und Elektromobilität.

Aleksandra Łacwik

Absolventin der Fakultät Management und Dienstleistungswirtschaft an der Universität Szczecin (2002) und des Postgraduiertenstudiums „Immobilienbewertung" (2013, an der Westpommerschen Technischen Universität Szczecin). In den Jahren 2002 bis 2003 Dozentin an der Fakultät Wirtschaftswissenschaften der Agrarhochschule Szczecin. Zu ihren wissenschaftlichen Schwerpunkten gehört Forschung zum Markt touristischer Dienstleistungen, insbesondere Marketing von touristischen Dienstleistungen, vor allem bei der Entwicklung eines lokalen Tourismusprodukts. Autorin zahlreicher Konferenzpublikationen. Praktisch ist sie seit 10 Jahren an der Gestaltung des Images und der Werbeaktionen von Unternehmen aus der Tourismusbranche in der Woiwodschaft Westpommern beteiligt. Sie hat auch Analysen und Forschung im Zusammenhang mit der Marketinggestaltung im Bereich des Luftverkehrs geführt.

Jacek Mazur

Absolvent der Fakultät Technologie und Chemie-Engineering an der Technischen Universität Szczecin (1986). Doktor für technische Wissenschaften (1999, Technische Universität Szczecin). Koordinator und Mitwirkender bei internationalen Projekten im Bereich Umweltschutz, Wasser- und Abwasserwirtschaft und Bildung. Zu seinen Forschungsschwerpunkten gehören die Fragen auf die Wasser- und Abwassertechnologie, sowie der Umweltschutz. Neben seiner wissenschaftlichen Tätigkeit arbeitet er auch mit der Wirtschaft zusammen. Autor und Mitautor zahlreicher wissenschaftlicher Veröffentlichungen zum Thema Technologie, Wasser- und Abwasserwirtschaft und Umweltschutz.

Michał Mielnicki

Architekt mit mehr als 10 Jahren Berufserfahrung in der Planung, im Projektmanagement und der Leitung von unterschiedlichen Bauarbeiten und Infrastrukturinvestitionen im Sektor der erneuerbaren Energien in Polen und im EU-Ausland (Irland und Zypern), sowie im Nahen Osten (Katar). Mit uneingeschränkter baulicher Berufsbefähigung für Architektur und architektonische Planung. Mitglied der regionalen Architektenkammer Westpommern.

Maciej Mysona

Projektmanager im Bereich der strategischen Stadtentwicklung und Verkehr im Team der Wirtschaftsberater von TOR.

Absolvent der Fakultät Transport, Management und Produktionsengineering an der Technischen Universität Wrocław und Straßenverkehrsengineering an der Technischen Universität Krakow. Mitautor von zahlreichen strategischen und planerischen Studien zum öffentlichen Verkehr, Elektromobilität, Mobilität und intelligenten Städten. Im Rahmen seiner Tätigkeit fordert er verbindliche, langfristige Strategien und Pläne für die lokalen und kommunalen Organe und Behörden.

Andrzej Najda

Fachmann mit über 17 Jahren praktischer Erfahrung bei der Beantragung externer Projektfinanzierung und Management von Investitionsprojekten. Er hat mehr als 300 EU- und nationale Projekte mit einem Gesamtwert von mehr als 1 Milliarde PLN geleitet. Er hat den Einsatz von Teams bei 129 EU-Projekten für den KMU-Sektor und 128 EU-Projekten für die lokalen und kommunalen Behörden geleitet, die erfolgreich finanziert wurden.

Piotr Nikończuk

Absolvent der Fakultät Meerestechnik an der Technischen Universität Szczecin. Doktor der Fachrichtung Maschinenbau und Betrieb (2008, Fakultät für Meerestechnik und Transport, Technische Universität Szczecin). Doktor habil. für mechanisches Engineering (2019, Fakultät für Mechanik, Technische Universität Koszalin). Er befasst sich mit der energetischer Effizienz von technologischen Prozessen, insbesondere mit der Wärmerückgewinnung in den Lackierkabinen. Autor und Mitautor von mehr als 70 wissenschaftlichen Veröffentlichungen, mehr als 10 Studien für die Wirtschaft und 6 Implementierungen. Mitautor von 3 Patenten und des implementierten Know-Hows. Darüber hinaus beschäftigt er sich mit der künstlichen Intelligenz, insbesondere in Bezug auf die Optimierung der Prozess- und Transporteffizienz.

Maciej Nowak

Doktor habil., Professor bei ZUT. Rechtsberater, Vorsitzender des Lehrstuhls für Immobilienwirtschaft an der Wirtschaftsfakultät der Westpommerschen Technischen Universität Szczecin. Mitglied des Präsidiums des Ausschusses für Raumplanung der Polnischen Akademie der Wissenschaften (KPZK PAN). Vorsitzender der Arbeitsgruppe Recht und Städtebau bei KPZK PAN. Autor zahlreicher wissenschaftlicher Veröffentlichungen, darunter wissenschaftlicher Redaktor von mehr als 20 Monographien und dutzenden Studien zur Raumplanung. Er leitet die Forschungskooperationen mit Kollegen und Kolleginnen aus mehr als 30 Ländern, darunter: Portugal, Italien, Kanada, Israel, das Vereinigte Königreich, Australien, Ghana, China, Nigeria, Ungarn, die Tschechische Republik und die Slowakei.

Tomasz Olechwir

Absolvent der Fachrichtung Meeresgeographie (1996) an der Universität Szczecin. Doktor der Erdwissenschaften, Fachrichtung Geografie (2007, Universität Stettin). Er absolvierte den Aufbaustudiengang „F&E-Projektmanager“ (2013, Bankhochschule Poznań). Fachmann im Bereich der tourismusbezogenen Bildungsprojekte (z.B. Gutes Klima für das Meer, Haltestelle Bałtyk, *Generation Balt*). Leiter der Meeresstation der Universität Szczecin in Międzyzdroje (seit 2012).

Jakub Piecuch

Mitglied im Team der Wirtschaftsberater der GmbH TOR sp. z o.o, Warszawa.

Diana Pietryga

Absolventin der Studiengänge Sicherheitstechnik (2020) und Transport (2021) an der Westpommerschen Technischen Hochschule Szczecin sowie eines Postgraduiertenstudiums zum Thema „Arbeitssicherheit und Arbeitsschutz“ (ZUT, 2021). Sie ist als staatlich anerkannte Gutachterin für F-Gase im Bereich der Installation, Wartung und Instandhaltung von Klimaanlagen und Wärmepumpen, die fluorierte Treibhausgase enthalten, eintragen (2022). Als interne Auditorin für die Norm ISO 45001 zertifiziert. Zu ihren wichtigsten Forschungsschwerpunkten gehören: Beförderung von Gefahrgütern, einschließlich Kältemitteln.

Magdalena Pożarowszczyk

Doktor Ingenieurin für Landschaftsarchitektur, angestellt bei Studio DL sp. z o.o.

Jacek Przepiórski

Absolvent der Fakultät für Technologie und Chemie-Engineering an der Technischen Universität Szczecin in der Fachrichtung Chemie (1986). Doktor für technische Wissenschaften (Gunma-Universität Japan, 1998). In den Jahren 1998–2000 nahm er an den Postdoktorand-Studien bei New Energy and Industrial Technology Development Organization, NEDO (Japan) und dem National Institute of Advanced Industrial Science and Techno- logy AIST (Japan) teil. Doktor habil. für technische Wissenschaften im Bereich der chemischen Technologie (Technische Universität Szczecin, 2008). Professor für technische Wissenschaften (2015). Ausgezeichnet mit dem vorpommerschen Nobelpreis für technische Wissenschaften (2013). Als den Schwerpunkt seiner wissenschaftlichen Arbeit nennt er Gasreinigungsstoffe und Gasreinigungsprozesse. Neben seiner wissenschaftlichen Tätigkeit arbeitet er auch intensiv mit der Industrie zusammen. Autor und Mitautor von mehr als 60 wissenschaftlichen Veröffentlichungen und zahlreichen Patenten, Studien für die Industrie und andere. Seit 2016 Prorektor für wissenschaftliche Angelegenheit bei ZUT.

Aleksandra Pych

Studentin im dritten Jahr an der Fakultät Logistik an der Westpommerschen Technischen Universität Szczecin. Seit 2020 erhält sie ein Stipendium des Rektors von ZUT und nimmt an der ZUT-Adlerschule teil, die im Rahmen des vom Europäischen Sozialfonds mitfinanzierten operationellen Programms Wissenschaft Bildung und Entwicklung in Zusammenarbeit mit dem Ministerium für Bildung und Wissenschaft realisiert wird. Mitautorin von 3 wissenschaftlichen Veröffentlichungen zum Thema Energieeffizienz, an der Feldforschung im Rahmen des MoRE-Projekts beteiligt. Zu Schwerpunkten ihrer wissenschaftlichen Arbeit gehören Themen in Bezug auf die Logistik in der Medizin.

Piotr Ratajkiewicz

Lichtplaner, Architekt für Nachtszenen, Projektmanager. Doktorand an der Fakultät Architektur der Technischen Universität Poznań. Absolvent der Fakultät Elektrotechnik an der Technischen Universität Poznań und der Wirtschaftsuniversität

Poznań. Mitglied der polnischen Gesellschaft der Stadtplaner TUP. Mit mehreren Jahren praktischer Erfahrung bei großen Beleuchtungskonzernen und bei Leitung komplexer Beleuchtungsprojekte in Bereichen Industrie, HoReCa, Einzelhandel und Stadtverschönerung. Mit Schwerpunkt Gestaltung der Stadträume. Im Rahmen seiner wissenschaftlichen Forschungsarbeit untersucht er die quantitativen und qualitativen Faktoren der Beleuchtung, sucht nach Faustregeln für gute Beleuchtung der öffentlichen Räume. Angestellt bei Studio DL sp. z o.o.

Krzysztof Ruciński

Absolvent der Fakultät für Wirtschaft und Soziologie der Universität Łódź und der Wirtschafshochschule Warszawa. Fachmann bei ZDG TOR im Bereich des strategischen Managements in der Kommunalverwaltung und der neuen Mobilität. Mitverfasser zahlreicher strategischer Bearbeitungen (Elektromobilitätsstrategie oder Smart City, Mobilitätspläne) und Branchenberichte aus dem Zwischenbereich Raumwirtschaft und Verkehr. Mit Interesse an den Themen nachhaltiger Mobilität und Stadtplanung.

Sławomir Rybarczyk

Fachmann im Gebiet erneuerbarer Energien, lizenzierter Energieauditor, Projektmanager in der Industrie im Bereich der erneuerbaren Energien, erfahrener Fachmann für Bau von Biogasanlagen, Photovoltaikanlagen und Energiespeichern.

Konrad Rychlik

Magister-Ingenieur, angestellt bei Studio DL sp. z o.o.

Cyprian Seul

Absolvent der Fakultät Geografie (1982) und des Postgraduiertenstudiums Geologie (2010) an der Adam-Mickiewicz-Universität Poznań. Doktor der Erdwissenschaften im Fachbereich Geographie (1998, Maria-Curie-Skłodowska-Universität Lublin). Mit anerkannter Befähigung als Geologe vom Umweltministerium im Bereich der Ingenieurgeologie (seit 2012). Zu seinem wissenschaftlichen Schwerpunkt gehören die Untersuchungen von Lößsedimenten in Polen und der Ukraine. In den 80er und 90er Jahren des 20 Jh. war er an der Forschung der Bodenmechanik und Sedimentologie in der Küstenzone der südlichen Ostsee beteiligt. In den Jahren 2011 bis 2012 nahm er an Polarexpeditionen in Spitzbergen teil. In den Jahren 2014 bis 2021 forschte er am pelagischen Ton aus Pazifik. Autor und Mitautor von mehr als 150 wissenschaftlichen Veröffentlichungen und Mitautor zahlreicher geologischer, ingenieurtechnischer und geotechnischer Bearbeitungen. Er war an Bauarbeiten von Gaspipelines in den Woiwodschaften Westpommern und Lebus beteiligt. Für seinen Beitrag zur Geologie mit der silbernen Auszeichnung „Pommerscher Greif“ (2012) und dem Ehrentitel „Für die polnische Geologie verdient“ (2021) ausgezeichnet.

Andrzej Skwierawski

Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl Wasserwirtschaft und Klimatologie an der Fakultät für Land- und Forstwirtschaft, Ermland-Masuren-Universität Olsztyn. Im Rahmen seiner wissenschaftlichen Arbeit befasst er sich mit der Rolle, der Entwicklung und der anthropogenen Umwandlung aquatischer Ökosysteme in

verschiedenen Landschaftstypen. Zu seinen Forschungsschwerpunkten zählen: Bewertung der wiederhergestellten Seen-Ökosysteme nach langer Trockenlegung, Degradationsprozesse von seichten Seen und kleinen Gewässern sowie der Materiekreislauf, insbesondere von biogenen Stoffen, in Einzugsgebieten mit unterschiedlicher Nutzung. Autor von 68 Veröffentlichungen und wissenschaftlichen Bekanntmachungen. Mit mehr als 20 Jahre Erfahrung als Lehrkraft.

Wojciech Sobolewski

Planer, Fachmann für Straßenbau.

Agata Stolarska

Absolventin der Fakultät Bau- und Ingenieurstrukturen an der Technischen Universität Szczecin (2002), des Aufbaustudiums „Immobilienbewertung“ (2002) und „Energieeffizientes und passives Bauen, energetische Bewertung von Gebäuden“ (2010, Technische Universität Poznań). Doktor für technische Bauwissenschaften (2002). Seit 2003 in Forschung und Lehre tätig. Zu Schwerpunkten ihrer Forschung zählen: Untersuchung der Wärme- und Feuchtigkeitsparameter von Baumaterialien sowie Analysen und Simulationen der energetischen Bilanzierung von Gebäuden, Modellierung von Wärmebrücken und Thermomodernisierung. Betreuerin von mehr als 100 Ingenieur- und Masterarbeiten und Autorin (Mitautorin) von mehr als 50 wissenschaftlichen Veröffentlichungen.

Jarosław Strzałkowski

Absolvent der Westpommerschen Technologischen Universität Szczecin (2012). Doktor der technischen Wissenschaften (2019, ZUT Szczecin). Als staatlich anerkannter Bauleiter im Fachbereich Konstruktion und Bauarbeiten ohne Einschränkungen, sowie als Gutachter für die Energieausweisen für Gebäude eingetragen. Wissenschaftlicher Mitarbeiter an der KFBiMB, Fakultät für Bauwesen und Umwelttechnik ZUT. Zu den Schwerpunkten seiner Forschungsarbeit gehören die Untersuchungen von thermischen und Festigkeitsparameter von zementhaltigen Verbundwerkstoffen, die mit unterschiedlichen Zusätzen und Additiven modifiziert werden. Autor und Mitautor von mehr als 40 wissenschaftlichen Veröffentlichungen und zahlreichen technischen Beiträgen. Mit dem Preis des Ministers für Entwicklung und Technologie für die beste Dissertation (2022) ausgezeichnet.

Justyna Strzyżewska

Architektin, Stadtplanerin und Regionalistin. Absolventin der Fakultät Architektur und Stadtbau an der Technischen Universität Szczecin. Sie absolvierte den Kurs *Public Management and Urban Governance in transitional countries* (2004, IHS Rotterdam). Seit 2005 bei der Regionalen Raumplanungsbehörde für die Woiwodschaft Westpommern in Szczecin (RBGPWZ) angestellt. Seit 2007 Mitglied der Gesellschaft Polnischer Stadtplaner in Szczecin. Bei RBGPWZ ist sie als leitende Planerin für die Regionalplanung tätig und betreut die internationalen Projekte mit besonderem Schwerpunkt auf den grenzüberschreitenden Fragen der Metropolregion Szczecin durch.

Beata Tryba

Absolventin der Technischen Universität Szczecin, Fakultät für Technologie und

Chemieengineering (1997) und des Postgraduiertenstudiums an der Fakultät für Mechanik und Mechatronik „Manager und Auditor des Qualitätsmanagementsystems“ (2018). Doktor für technische Wissenschaften im Bereich der chemischen Technologie (2001, Technische Universität Szczecin). Doktor habil. der technischen Wissenschaften (2009, Westpommersche Technische Universität, Szczecin). Professorin (2016, Westpommersche Technologische Universität Szczecin). Ausgezeichnet mit dem vorpommerschen Nobelpreis für die Grundlagenforschung (2005). Zu ihren wichtigsten Forschungsschwerpunkten zählen: Forschung zur Reinigung gasförmiger Schadstoffe durch Adsorption und photokatalytische Verfahren sowie Entfernung organischer Schadstoffe aus Wasser und Abwasser. In den Jahren 2002 bis 2005 absolvierte sie ein Postdoktorandenstipendium in Japan an zwei Standorten: Aichi Institute of Technology und Oita University. Leiterin und Koordinatorin mehrerer Forschungsprojekte im Bereich der Anwendung grüner Technologien bei der Wasser- und Luftbehandlung. Autorin und Mitautorin von 75 wissenschaftlichen Veröffentlichungen in Zeitschriften aus der s.g. Philadelphia-Liste, sowie mehrerer Patente.

Wojciech Tuchowski

Absolvent der Fakultät Meerestechnik (2007) an der Technischen Universität Szczecin und des Aufbaustudiums „Psychologisch-pädagogische und didaktische Vorbereitung für den Lehrerberuf“ (2021). Doktor für technische Wissenschaften (2009, Westpommersche Technische Universität, Szczecin). Er ist als staatlich anerkannter Gutachter für F-Gase im Bereich der Installation, Wartung und Instandhaltung von Klimaanlagen und Wärmepumpen, die fluorierte Treibhausgase enthalten, eintragen (2015). Zu seinen wichtigsten Forschungsschwerpunkten zählen: Verbesserung der Energieeffizienz von Wärmepumpen und Kühlanlagen. Darüber hinaus beschäftigt er sich mit der Erforschung der Klima- und Lüftungstechnik und arbeitet an der Entwicklung von industriellen Fernwärmesystemen, die hauptsächlich auf Wasserwärmepumpen basieren. In den Jahren 2011 bis 2015 war er an der Auslegung und Prüfung einer Wasserwärmepumpe beteiligt, die die Erstarrungswärme von Wasser nutzt (diese Forschung wurde im Rahmen des Forschungsprojekts N523 7474 40 finanziert). Gutachter beim NCBiR und beim Prüfungsamt Gdańsk für den Beruf Kälte- und Klimatechnikers. Autor und Mitautor von mehr als 30 wissenschaftlichen Veröffentlichungen und Mitautor von 4 Patenten und 3 Patentanmeldungen. Er erstellt Energieaudits für Unternehmen. Berufsschullehrer für die Fachrichtung Kälte- und Klimatechniker. Für seine Dissertation über die Erforschung der Effizienz von Wärmepumpen mit dem 1. Preis des Oberbürgermeisters der Stadt Szczecin für die beste Dissertation im Bereich moderne Technologie und Innovation 2015 ausgezeichnet. Gewinner des Wettbewerbs der Stiftung für Klimaschutz PROZON für sein Projekt *Demonstrationsgerät für Hochschulen* (2017/2018).

Agnieszka Wawiórko

Angestellt bei Studio DL sp. z o.o.

Piotr Wiśniewski

Planer, Fachmann für Sanitär.

Laura Wojnicz

Studentin im dritten Jahr des Bachelorstudiums an der Fakultät Logistik an der Westpommerschen Technischen Universität Szczecin. Seit 2020 erhält sie ein Stipendium der ZUT-Adlerschule, die im Rahmen des vom Europäischen Sozialfonds mitfinanzierten operationellen Programms Wissenschaft Bildung und Entwicklung in Zusammenarbeit mit dem Ministerium für Bildung und Wissenschaft realisiert wird. Gewinnerin des 3. Platzes im internationalen Wettbewerb *Black Sea Science 2022* für die Mitarbeit an einer wissenschaftlichen Arbeit im Bereich Energie und Energieeffizienz mit dem Titel *Energieeffizienz bei Beförderung von Kühlcontainern auf Containerschiffen*. Zu den Schwerpunkten ihrer Forschungsarbeit zählen moderne technologische Lösungen in der Logistik und erneuerbare Energiequellen. Mitautorin von vier wissenschaftlichen Veröffentlichungen. Ihre Hobbys sind Kosmetologie und der Zucht von Haustieren.

Wojciech Zbaraszewski

Wirtschaftswissenschaftler, Assistenzprofessor am Lehrstuhl für Systemanalyse und Marketing der Westpommerschen Technischen Universität Szczecin. Die Schwerpunkte seiner interdisziplinären Forschung umfassen Fragen der sozioökonomischen Entwicklung. Autor und Redaktor zahlreicher Bücher und Artikeln zum Konzept der nachhaltigen Entwicklung und des Tourismus in Schutzgebieten.

Maria Zych-Lewandowska

Mitglied im Team der Wirtschaftsberater der GmbH TOR sp. z o.o, Warszawa.

Tabellenverzeichnis

Energiewende – Europäische rechtliche Rahmenbedingungen

Tab. 1. EU-Luftqualitätsstandards im Vergleich zu den WHO-Leitlinien 47

Energiewende im deutschen Recht

Tab. 1. Ziele im Klimakonzept von Mecklenburg-Vorpommern 64

Thermische Qualität von bestehenden Gebäuden auf Usedom und Wollin – Wärmebilduntersuchungen

Tab. 1. Inseln Usedom und Wollin, Beschreibung der für die Feldstudien ausgewählten Standorte 118

Zeitliche und räumliche Veränderungen der CO_2 – und CH_4-Konzentrationen in der Atmosphäre auf den Inseln Usedom und Wollin

Tab. 1. Zusammenfassung der durchschnittlichen CO_2- und CH_4-Gaskonzentrationen in der Luft während der verschiedenen Jahreszeiten im Messzeitraum 2021 157

Tab. 2. Konzentrationen von CO_2 und CH_4 in der Luft auf dem Gelände der untersuchten Einrichtungen 168

Zeitliche und räumliche Variabilität der atmosphärischen Konzentrationen von PM2,5- und PM10-Partikeln auf den Inseln Usedom und Wollin

Tab. 1. Räumliches und zeitliches Ausmaß der Verschmutzungsausbreitung 177

Nutzungspotential von Oberflächengewässern für Heiz- und Kühlzwecke auf den Inseln Usedom und Wollin

Tab. 1. Bestehende Oberflächengewässer auf der Insel Usedom 214

Tab. 2. Bestehende Oberflächengewässer auf der Insel Karsibór (Kaseburg) 214

Tab. 3. Bestehende Oberflächengewässer auf der Insel Wollin 215

Tab. 4. Beständigkeit von Edelstahl (Stahlgüte 1.4401) und Kupfer gegen die Inhaltsstoffe/Eigenschaften von Wasser 218

Tab. 5. Einfluss der physikalisch-chemischen Eigenschaften von Wasser auf die Korrosivität von Edelstahl und Kupfer 219

Tab. 6. Ergebnisse der Wasser- und Lufttemperaturmessungen an den Probeentnahmestellen – in der Warmsaison 226

Tab. 7. Ergebnisse der Feldstudien zum Sauerstoffgehalt, pH-Wert und Leitfähigkeit der Oberflächengewässer – Sommerzeit 228

Tab. 8. Ergebnisse der Laboruntersuchungen der entnommenen Oberflächengewässerproben – Sommerzeit 230

Tab. 9. Ermittelte Werte ausgewählter Parameter der entnommenen Wasserproben – Sommerzeit 232

Tab. 10. Ergebnisse der Wasser- und Lufttemperaturmessungen an den Probeentnahmestellen – Wintersaison 237

Tab. 11. Ergebnisse der Feldstudien zum Sauerstoffgehalt, pH-Wert und Leitfähigkeit der Oberflächengewässer – Wintersaison 239

Tab. 12. Ergebnisse der Laboruntersuchungen der entnommenen Oberflächengewässerproben – Wintersaison 241

Tab. 13. Ermittelte Werte ausgewählter Parameter der entnommenen Wasserproben – Wintrsaison 243

Swinemünde – Beleuchtungs-Masterplan

Tab. 1. Angenommene Hierarchie und Beleuchtungsregeln – durchschnittliche Leuchtdichte der Objekte 261

Tab. 2. Angenommene Hierarchie und Beleuchtungsregeln – Kontrast 261

Tab. 3. Quellen der Straßenbeleuchtung in Swinemünde – Schätzung des Energieeinsparpotenzials für die Stadtbeleuchtung durch Modernisierung der verwendeten Lichtquellen 264

Reduktion der Abgasemissionen durch Verbrennungsfahrzeuge in touristischen Orten am Beispiel der Stadt Międzyzdroje – Planungskonzept für die Pufferparkplätze

Tab. 1. Aktuell gültige Nutzungsbestimmungen für die für den Pufferparkplatz ausgewählten Flächen 291

Tab. 2. Stellplätze auf den Gebieten, die zum Bau eines Pufferparkplatzes in Międzyzdroje vorgesehen sind 294

Abbildungsverzeichnis

Vorwort

Abb. 1. Administrative Aufteilung der Inseln im MoRE-Gebiet, bearbeitet von: RBGPWZ 8

Energiewende im deutschen Recht

Abb. 1. Anteil der erneuerbaren Energien am Endenergieverbrauch in Deutschland – Vergleich des festgelegten deutschen Ziels mit den Zielen für den Ausbau der erneuerbaren Energien gemäß der EU-Richtlinie 2009/28/EG 57

Abb. 2. Entwicklung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien in Deutschland 57

Abb. 3. Bruttostromerzeugung in Deutschland 58

Abb. 4. Entwicklung und Zielpfad zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen in Deutschland 61

Abb. 5. Antworten der deutschen Befragten auf eine Umfrage zu den größten Problemen bei der Umsetzung der Energiewende in der Zukunft 62

Luftreinhalteprogramm mit einem kurzfristigen Aktionsplan für die westpommersche Zone Energiewende im polnischen Recht

Abb. 1. Kernannahmen der *polnischen Energiepolitik bis 2040* 71

Geologischer und hydrogeologischer Aufbau der Inseln Usedom und Wollin

Abb. 1. Geologische Karte der Inseln Usedom und Wollin 106

Abb. 2. Geologische Karte der Inseln Usedom und Wollin ohne die quartären Ablagerungen 107

Abb. 3. Die Inseln Usedom und Wollin – Temperaturverteilung in der Teufe von 2000 m 112

Abb. 4. Die Inseln Usedom und Wollin – Temperaturverteilung in der Teufe von 3000 m 112

Thermische Qualität von bestehenden Gebäuden auf Usedom und Wollin – Wärmebilduntersuchungen

Abb. 1. Inseln Usedom und Wollin, detaillierte Lage der Wärmebildmessungen 119

Abb. 2. Chynowo (PL), Thermogramm 1 120

Abb. 3. Chynowo (PL), Thermogramm 2 120

Abb. 4. Chynowo (PL), Thermogramm 3 121

Abb. 5. Chynowo (PL), Thermogramm 4 121

Abb. 6. Chynowo (PL), Thermogramm 5 121

Abb. 7. Domysłów (PL), Thermogramm 1 122

Abb. 8. Domysłów (PL), Thermogramm 2 122

Abb. 9. Domysłów (PL), Thermogramm 3 122

Abb. 10. Domysłów (PL), Thermogramm 4 123

Abb. 11. Domysłów (PL), Thermogramm 5 123

Abb. 12. Warnowo und Ładzin (PL), Thermogramm 1 124

Abb. 13. Warnowo und Ładzin (PL), Thermogramm 2 124

Abb. 14. Warnowo und Ładzin (PL), Thermogramm 3 125

Abb. 15. Warnowo und Ładzin (PL), Thermogramm 4 125

Abb. 16. Warnowo und Ładzin (PL), Thermogramm 5 125

Abb. 17. Kodrąb (PL), Thermogramm 1 126

Abb. 18. Kodrąb (PL), Thermogramm 2 126

Abb. 19. Kodrąb (PL), Thermogramm 3 127

Abb. 20. Kodrąb (PL), Thermogramm 4 127

Abb. 21. Kodrąb (PL), Thermogramm 5 127

Abb. 22. Wollin (PL), Thermogramm 1 128

Abb. 23. Wollin (PL), Thermogramm 2 128

Abb. 24. Wollin (PL), Thermogramm 3 129

Abb. 25. Wollin (PL), Thermogramm 4 129

Abb. 26. Wollin (PL), Thermogramm 5 129

Abb. 27. Międzyzdroje (PL), Thermogramm 1 130

Abb. 28. Międzyzdroje (PL), Thermogramm 2 130

Abb. 29. Międzyzdroje (PL), Thermogramm 3 131
Abb. 30. Międzyzdroje (PL), Thermogramm 4 131
Abb. 31. Międzyzdroje (PL), Thermogramm 5 131
Abb. 32. Swinemünde (PL), Thermogramm 1 132
Abb. 33. Swinemünde (PL), Thermogramm 2 132
Abb. 34. Swinemünde (PL), Thermogramm 3 133
Abb. 35. Swinemünde (PL), Thermogramm 4 133
Abb. 36. Swinemünde (PL), Thermogramm 5 133
Abb. 37. Mölschow (DE), Thermogramm 1 134
Abb. 38. Mölschow (DE), Thermogramm 2 134
Abb. 39. Mölschow (DE), Thermogramm 3 134
Abb. 40. Mölschow (DE), Thermogramm 4 135
Abb. 41. Mölschow (DE), Thermogramm 5 135
Abb. 42. Mellenthin (DE), Thermogramm 1 136
Abb. 43. Mellenthin (DE), Thermogramm 2 136
Abb. 44. Mellenthin (DE), Thermogramm 3 136
Abb. 45. Mellenthin (DE), Thermogramm 4 137
Abb. 46. Mellenthin (DE), Thermogramm 5 137
Abb. 47. Usedom (DE), Thermogramm 1 138
Abb. 48. Usedom (DE), Thermogramm 2 138
Abb. 49. Usedom (DE), Thermogramm 3 138
Abb. 50. Usedom (DE), Thermogramm 4 139
Abb. 51. Usedom (DE), Thermogramm 5 139
Abb. 52. Reetzow (DE), Thermogramm 1 140
Abb. 53. Reetzow (DE), Thermogramm 2 140
Abb. 54. Reetzow (DE), Thermogramm 3 141
Abb. 55. Reetzow (DE), Thermogramm 4 141

Abb. 56. Reetzow (DE), Thermogramm 5 141

Abb. 57. Ulrichshorst (DE), Thermogramm 1 142

Abb. 58. Ulrichshorst (DE), Thermogramm 2 142

Abb. 59. Ulrichshorst (DE), Thermogramm 3 142

Abb. 60. Ulrichshorst (DE), Thermogramm 4 143

Abb. 61. Heringsdorf und Ahlbeck (DE), Thermogramm 1 143

Abb. 62. Heringsdorf und Ahlbeck (DE), Thermogramm 2 144

Abb. 63. Heringsdorf und Ahlbeck (DE), Thermogramm 3 144

Abb. 64. Heringsdorf und Ahlbeck (DE), Thermogramm 4 144

Abb. 65. Heringsdorf und Ahlbeck (DE), Thermogramm 5 145

Abb. 66. Heringsdorf und Ahlbeck (DE), Thermogramm 6 145

Zeitliche und räumliche Veränderungen der CO_2 – und CH_4-Konzentrationen in der Atmosphäre auf den Inseln Usedom und Wollin

Abb. 1. GasScouter G4301 – Mobiles Gaskonzentrationsmessgerät – Gerät zur Messung von Konzentrationen und Emissionen der Treibhausgase CO_2, CH_4 152

Abb. 2. Messroute (rote Linie) auf der Insel Wollin und Usedom während der saisonalen mobilen Messungen im Jahr 2021 153

Abb. 3. Vergleich der mittleren CO_2-Konzentrationen zwischen den Inseln Wollin und Usedom in Abhängigkeit von der Jahres- und Tageszeit und statistische Signifikanz der Unterschiede: * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$ 158

Abb. 4. Kohlendioxid-Konzentration in der Luft: 159

Abb. 5. Vergleich der mittleren CH_4-Konzentrationen zwischen den Inseln Wollin und Usedom nach Jahres- und Tageszeit 160

Abb. 6. Veränderungen der durchschnittlichen CO_2-Konzentration in der Luft in Abhängigkeit von der Tageszeit in vier charakteristischen Jahreszeiten: a) Frühling, b) Sommer 161

Abb. 6. Veränderungen der durchschnittlichen CO_2-Konzentration in der Luft in Abhängigkeit von der Tageszeit in vier charakteristischen Jahreszeiten: c) Herbst, d) Winter 162

Abb. 7. Veränderungen der durchschnittlichen CO_2-Konzentration in der Luft in Abhängigkeit von der Tageszeit in vier charakteristischen Jahreszeiten: a) Frühling, b) Sommer 163

Abb. 7. Veränderungen der durchschnittlichen CO_2-Konzentration in der Luft in Abhängigkeit von der Tageszeit in vier charakteristischen Jahreszeiten: c) Herbst, d) Winter 164

Abb. 8. Anteil der Landnutzungskategorien nach *Corine Land Cover* auf den Inseln Usedom und Wollin 166

Abb. 9. Veränderung der CH_4-Konzentration in der Luft auf dem Gelände der Kläranlage Międzywodzie entlang der Messstrecke vor dem Hintergrund eines Satellitenbildes (Google Earth Pro) 169

Zeitliche und räumliche Variabilität der atmosphärischen Konzentrationen von PM2,5- und PM10-Partikeln auf den Inseln Usedom und Wollin

Abb. 1. Jährliche Durchschnittskonzentrationen von BaP, NO_2, PM2,5 und PM10 in den Jahren 2019 und 2020 an den Messstationen, die dem MoRE-Gebiet am nächsten liegen 171

Abb. 2. PM2,5- und PM10-Feinstaubmessgerät 172

Abb. 3. Forschungsdiagrammnetz auf den Inseln Usedom und Wollin 173

Abb. 4. Voronoi-Diagramme 175

Abb. 5. Kombinierte Schicht aus Voronoi-Diagrammen und 1 × 1 km Feldnetz 175

Abb. 6. Beispiel für die Variation der Indikatorwerte in einem 1 × 1 km großen Quadratgitter 176

Abb. 7. Änderungen der momentanen PM2,5-Konzentrationen in der Luft in Abhängigkeit von der Tageszeit in vier verschiedenen Jahreszeiten: a) Frühling, b) Sommer 180

Abb. 7. Änderungen der momentanen PM2,5-Konzentrationen in der Luft in Abhängigkeit von der Tageszeit in vier verschiedenen Jahreszeiten: c) Herbst, d) Winter 181

Abb. 8. Änderungen der momentanen PM10-Konzentrationen in der Luft in Abhängigkeit von der Tageszeit in vier verschiede-nen Jahreszeiten: a) Frühling, b) Sommer 182

Abb. 8. Änderungen der momentanen PM10-Konzentrationen in der Luft in Abhängigkeit von der Tageszeit in vier verschiede-nen Jahreszeiten: c) Herbst, d) Winter 183

Abb. 9. Insel Usedom – PM2,5- und PM10-Konzentrationen auf der Strecke Peenemünde-Usedom, Frühjahr – tägliche Messung (2021) 185

Abb. 10. Insel Usedom – PM2,5- und PM10-Konzentrationen auf der Strecke Peenemünde-Usedom, Sommer – tägliche Messung (2021) 186

Abb. 11. Insel Usedom – PM2,5- und PM10-Konzentrationen auf der Strecke Peenemünde-Usedom, Herbst – tägliche Messung (2021) 186

Abb. 12. Insel Usedom – PM2,5- und PM10-Konzentrationen auf der Strecke Peenemünde-Usedom, Winter – tägliche Messung (2021) 187

Abb. 13. Insel Usedom – PM2,5- und PM10-Konzentrationen auf der Strecke Peenemünde-Usedom, Frühjahr – nächtliche Messung (2021) 187

Abb. 14. Insel Usedom – PM2,5- und PM10-Konzentrationen auf der Strecke Peenemünde-Usedom, Sommer – nächtliche Messung (2021) 188

Abb. 15. Insel Usedom – PM2,5- und PM10-Konzentrationen auf der Strecke Peenemünde-Usedom, Winter – nächtliche Messung (2021) 188

Abb. 16. Insel Wollin – PM2,5- und PM10-Konzentrationen auf der Strecke Swinemünde-Dziwnów, Frühjahr – tägliche Messung (2021) 189

Abb. 17. Insel Wollin – PM2,5- und PM10-Konzentrationen auf der Strecke Swinemünde-Dziwnów, Sommer – tägliche Messung (2021) 189

Abb. 18. Insel Wollin – PM2,5- und PM10-Konzentrationen auf der Strecke Swinemünde-Dziwnów, Herbst – tägliche Messung (2021) 190

Abb. 19. Insel Wollin – PM2,5- und PM10-Konzentrationen auf der Strecke Swinemünde-Dziwnów, Winter – tägliche Messung (2021) 190

Abb. 20. Insel Wollin – PM2,5- und PM10-Konzentrationen auf der Strecke Swinemünde-Dziwnów, Frühjahr – nächtliche Messung (2021) 191

Abb. 21. Insel Wollin – PM2,5- und PM10-Konzentrationen auf der Strecke Swinemünde-Dziwnów, Sommer – nächtliche Messung (2021) 191

Abb. 22. Insel Wollin – PM2,5- und PM10-Konzentrationen auf der Strecke Swinemünde-Dziwnów, Winter – nächtliche Messung (2021) 192

Physikalisch-chemische Beschaffenheit der Oberflächengewässer der Inseln Wollin und Usedom

Abb. 1. Anordnung der Messstellen auf den Inseln Wollin und Usedom, die zum Programm der physikalischen und chemischen Untersuchungen gehören 197

Abb. 2. Ausgewählte Forschungsstellen auf der Insel Wollin 199

Abb. 3. Ausgewählte Forschungsstellen auf der Insel Usedom 200

Abb. 4. Die wichtigsten physikalisch-chemischen Indikatoren von Gewässern der Inseln Wollin und Usedom: Durchschnittswerte aus saisonalen Messungen 2021 206

Abb. 5. Sauerstoffgehalt und weitere Indikatoren für die Gewässer der Inseln Wollin und Usedom: Durchschnittswerte aus saisonalen Messungen 2021 207

Abb. 6. Die Konzentration von organischem Kohlenstoff und Stickstoff und Phosphor in den Gewässern der Inseln Wollin und Usedom: Durchschnittswerte aus den saisonalen Messungen 2021. 210

Nutzungspotential von Oberflächengewässern für Heiz- und Kühlzwecke auf den Inseln Usedom und Wollin

Abb. 1. Vereinfachte Darstellung der Bilanz eines Wasserbeckens und die untersuchten Wärmerückgewinnungsmethoden aus dem Wasser, bearbeitet von: W. Tuchowski 217

Abb. 2. Inseln Usedom und Wollin, Standorte der Feldstudien und Entnahmestellen der Wasserproben 220

Abb. 3. Standorte der Feldstudien: 1 – Karsibór (PL), Strand 220

Abb. 4. Standorte der Feldstudien: 2 – Karsibór (PL), Stara Świna 220

Abb. 5. Standorte der Feldstudien: 3 – Karsibór (PL), U-Boothafen 220

Abb. 6. Standorte der Feldstudien: 4 – Bossin (DE) 220

Abb. 7. Standorte der Feldstudien: 5 – Wilhelmshof (DE) 221

Abb. 8. Standorte der Feldstudien: 6 – Usedom (DE) 221

Abb. 9. Standorte der Feldstudien: 7 – Karnin (DE) 221

Abb. 10. Standorte der Feldstudien: 8 – Rankwitz (DE) 221

Abb. 11. Standorte der Feldstudien: 9 – Wolgast (DE) 221

Abb. 12. Standorte der Feldstudien: 10 – Peenemünde (DE) 221

Abb. 13. Standorte der Feldstudien: 11 – Karlshagen, Strand (DE) 222

Abb. 14. Standorte der Feldstudien: 12 – Alhbeck, Strand (DE) 222

Abb. 15. Standorte der Feldstudien: 13 – Sułomino (PL) 222

Abb. 16. Standorte der Feldstudien: 14 – Wapnica (PL) 222

Abb. 17. Standorte der Feldstudien: 15 – Świnoujście, Stadtfähre (PL) 222

Abb. 18. Standorte der Feldstudien: 16 – Międzyzdroje, US-Meeresstation (PL) 222

Abb. 19. Standorte der Feldstudien: 17 – Kołczewo, Kołczewo-See (PL) 223

Abb. 20. Standorte der Feldstudien: 18 – Chynowo, Koprowo-See (PL) 223

Abb. 21. Standorte der Feldstudien: 19 – Sierosław (PL) 223

Abb. 22. Standorte der Feldstudien: 20 – Międzywodzie, Strand (PL) 223

Abb. 23. Standorte der Feldstudien: 21 – Międzywodzie, Haff (PL) 223

Abb. 24. Standorte der Feldstudien: 22 – Dziwnów (PL) 223

Abb. 25. Standorte der Feldstudien: 23 – Unin (PL) 224

Abb. 26. Standorte der Feldstudien: 24 – Wollin, Strand (PL) 224

Abb. 27. Standorte der Feldstudien: 25 – Wollin, Anlegestelle (PL) 224

Abb. 28. Standorte der Feldstudien: 224

26 – Koserow, Strand (DE) 224

Abb. 29. Gehalt an Chloridionen in den untersuchten Wasserproben – Warmsaison 227

Abb. 30. Trübung der untersuchten Wasserproben [NTU] – Warmsaison 227

Abb. 31. Zusammenhang zwischen der Konzentration von Chloriden und der Leitfähigkeit von untersuchten Wasserproben – Warmsaison 234

Abb. 32. Kalk-Kohlensäure-Gleichgewichtsdiagramm untersuchter Wasserproben – Warmsaison 234

Abb. 33. Langelier-Sättigungsindex (LSI) untersuchter Wasserproben – Warmsaison 235

Abb. 34. Gehalt an Chloridionen in den untersuchten Wasserproben – Wintersaison 238

Abb. 35. Trübung der untersuchten Wasserproben [NTU] – Wintersaison 238

Abb. 36. Zusammenhang zwischen der Konzentration von Chloriden und der Leitfähigkeit von untersuchten Wasserproben – Wintersaison 245

Abb. 37. Kalk-Kohlensäure-Gleichgewichtsdiagramm untersuchter Wasserproben – Wintersaison 245

Abb. 38. Langelier-Sättigungsindex (LSI) untersuchter Wasserproben – Wintersaison 246

Abb. 39. Temperatur und Korrosivität von Oberflächengewässern in der Sommersaison 248

Abb. 40. Temperatur und Korrosivität von Oberflächenwassern in der Wintersaison 248

Swinemünde – Beleuchtungs-Masterplan

Abb. 1. Analyse des Stadtplans von Swinemünde samt Markierung der für die nächtliche Wahrnehmung der Stadt wichtigen Räume 254

Abb. 2. Verbesserung der Wahrnehmung wichtiger Objekte durch den Einsatz von geeigneten Lichtspielen [2] 255

Abb. 3. Konzept für die Zuordnung der Farbtemperatur von Nutzlichtquellen zu ausgewählten Bereichen der Stadt [2] 256

Abb. 4. Konzeptannahmen für die Beleuchtung ausgewählter Stadträume 257

Abb. 5. Beleuchtungskonzepte für ausgewählte Räume auf dem Stadtplan 258

Abb. 6. Freiheitsplatz – Aufwertung der den Platz umgebenden Gebäude 259

Abb. 7. Konzept für die Beleuchtung des Stadtraums von Swinemünde – Freiheitsplatz 260

Abb. 8. Farbtemperaturkarte der Objekte – Freiheitsplatz 260

Abb. 9. Visualisierung der Beleuchtung des Freiheitsplatzes 260

Konzept für die Energiewende im Bereich der Einschränkung von Abgasemissionen durch die Verbrennungsfahrzeuge am Beispiel der Stadt Międzyzdroje (Misdroy)

Abb. 1. Beispiele für die Lösung der Probleme mit Parkplätzen, auf Grundlage von 270

Abb. 2. Busverkehr in Międzyzdroje, eigene Bearbeitung 278

Abb. 3. Bahnhaltestellen (Personenverkehr) in Międzyzdroje, eigene Bearbeitung 279

Reduktion der Abgasemissionen durch Verbrennungsfahrzeuge in touristischen Orten am Beispiel der Stadt Międzyzdroje – Planungskonzept für die Pufferparkplätze

Abb. 1. Lage der Gebiete mit Bestimmung als zukünftiger Pufferparkplatz in Międzyzdroje 290

Abb. 2. Gehzeiten zu den wichtigsten Zielen der Stadt..... 290

Abb. 3. Ein Abschnitt aus dem Bewirtschaftungsplan für den Pufferparkplatz – Gebiet D und ein Teil des Gebiets A 291

Abb. 4. Ein Abschnitt aus dem Bebauungsplan A 292

Abb. 5. Ein Abschnitt aus dem Bewirtschaftungsplan für den Pufferparkplatz – Gebiet B und ein Teil des Gebiets C1 292

Abb. 6. Ein Abschnitt aus dem Bewirtschaftungsplan für den Pufferparkplatz – Gebiet C3 .. 293

Abb. 7. Gebiete D und A – Visualisierung, Luftbild 295

Abb. 8. Gebiet A – Visualisierung der Straße ul. Nowomyśliwska in Richtung der Straße ul. A. Wodziczki 295

Abb. 9. Gebiet A – Visualisierung von der Seite des Hotels Wollin..... 296

Abb. 10. Gebiet A – Visualisierung von der Seite der Straße ul. A. Wodziczki 296

Abb. 11. Gebiet A – Visualisierung von der Seite der Straße ul. A. Wodziczki 296

Abb. 12. Gebiete B, C1 und C2 – Visualisierung, Luftbild..... 297

Abb. 13. Gebiete C1 und C2 – Visualisierung von der Seite der Straße ul. A. Wodziczki..... 298

Abb. 14. Gebiete A und B – Visualisierung, Luftbild 298

Abb. 15. Layout der Niederschlag- und Tauwassersysteme auf dem Pufferparkplatz 299

Abb. 16. Der Verlauf des Radweges R 10 auf den Inseln Usedom und Wollin mit Darstellung dessen Höhenprofils auf der gesamten Strecke 299

Abb. 17. Lage der potenziellen Gebiete für den Ausbau der Pufferparkplätze und deren Infrastruktur in Międzyzdroje 300

Elektromobilität auf den Inseln Usedom und Wollin

Abb. 1. Verteilung der Ladestationen auf den Inseln Wollin und Usedom 302

Abb. 2. Diagramm, das die durchschnittliche Batterieabnutzung im Laufe der Zeit zeigt 304

Abb. 3. Einfluss der Temperatur auf die Abnahme der Batteriekapazität. 305

Abb. 4. Spannungsschwankungen im offenen Stromkreis bei vollständig geladenen Lithium-Ionen-Batterien 307

Abb. 5. Elektrochemische Eigenschaften von Batterien – Impulsleistungsfähigkeit von Lithium-Ionen-Batterien [7] 307

Abb. 6. Normalisierter, reversibler und irreversibler Kapazitätsverlust bei Lithium-Ionen-Batterien nach Lagerung im vollgeladenen Zustand..... 308

Abb. 7. Normalisierter, reversibler und irreversibler Kapazitätsverlust für Lithium-Ionen-Batterien nach der Lagerung..... 308

Abb. 8. Entladespannung einer 18650er Lithium-Ionen-Zelle bei 3 A und unterschiedlichen Temperaturen 310

Abb. 9. Maximale Ladekapazität je nach Zyklus und Temperatur 311

Abb. 10. Durchschnittlicher Stromverbrauch bei konstanter Geschwindigkeit des Elektrofahrzeugs [8]..... 312

Abb. 11. Energieverbrauch eines Elektrofahrzeugs bei konstanter Geschwindigkeit 313

Abb. 12. Einfluss des Fahrstils des Fahrers auf den Energieverbrauch des Fahrzeugs 314

Abb. 13. Geplante Route für ein elektrisches Lieferfahrzeug 315

Konzept zur Erhöhung der energetischen Autarkie der Inseln Usedom und Wollin

Abb. 1. Wechselbeziehungen im Rahmen der kommunalen Energieversorgung auf den Inseln Usedom und Wollin 320

Abb. 2. Visualisierung der Annahmen des Projekts BIG HIT..... 323

Abb. 3. Die Hauptbestandteile der Energiewende im Gebiet MoRE 325

Abb. 4. Stufen der Energiewende auf den Inseln Usedom und Wollin 326

Abb. 5. Diagramm zur Umsetzung der Vorbereitungsstufe, eigene Bearbeitung 327

Wärmepumpen in der Praxis

Abb. 1. Wasserwärmepumpe in Katri Vala, Finnland 333

Abb. 2. Schematische Darstellung der Wasserwärmepumpenanlage in Katri Vala, Finnland..... 333

Abb. 3. Plattenwärmetauscher von AWEB Supply..... 334

Abb. 4. Wärmeaustauscher Bautyp Slim Jim in Fort Knox, Kentucky 335

Abb. 5. Wärmeaustauscher Bautyp Slim Jim in einem Jachthafen am Lake Michigan..... 336

Abb. 6. Ergebnisse der Messung von Wassertemperatur an ca. 40 städtischen Flüssen in England mit dem höchsten Einsatzpotenzial für die Wasserwärmepumpen für Heiz- und Kühlzwecke..... 338

Aufstellung guter Praktiken in Bezug auf die Implementierung erneuerbarer Energiequellen

Abb. 1. Biodörfer in Deutschland und Orte, die zu Biodörfern umgebaut werden .. 344

Abb. 2. Energetisch autarkes Dorf Feldheim..... 345

Abb. 3. Mitglieder der *Smart Islands Initiative* 347

Das Projekt INT190 MoRE – Modellregion der Erneuerbaren Energien der Inseln Usedom und Wollin wurde im Zeitraum von 2020 bis 2022 von einem Konsortium mit den folgenden Beteiligten durchgeführt: Regionales Büro für Raumplanung der Woiwodschaft Westpommern (Leadpartner), Westpommersche Technische Universität, Gemeinde Misdroy, Gemeinde Swinemünde und Ministerium für Energie, Infrastruktur und Digitalisierung Mecklenburg-Vorpommern.

Das Ziel des MoRE-Projekts umfasst die Intensivierung von Maßnahmen in Bezug auf die Energiewende und energetische Neutralität im deutschpolnischen Grenzraum (Inseln Usedom und Wollin) im gemeinsamen EU-Zeitrahmen 2050. Mithilfe des Projekts sollen die vorhandenen Potenziale, Beschränkungen und die Optionen zur Verbesserung der Energieeffizienz auf den Inseln Usedom und Wollin, sowie der geplante Verzicht auf die konventionellen Energieträger im Energiemix infolge des Einsatzes von erneuerbaren und ökologisch nachhaltigen alternativen Energiequellen untersucht werden. Die Ergebnisse der durch die Projektpartner durchgeführten Forschungsarbeiten wurden in Form der vorliegenden Monographie zusammengefasst.

ISBN 978-83-7663-350-3