

Markteinschätzung Kleinwindkraftanlagen – Nische mit Wachstumspotenzialen

Eine Marktsondierung im Rahmen des Projekts
„transform_EMN“

Jürgen Dispan
IMU Institut GmbH



ISSN 1611-8391
ISBN 978-3-934859-69-2

Markteinschätzung Kleinwindkraftanlagen

Nische mit Wachstumspotenzialen

Informationsdienst des IMU Instituts – Heft 1/2025

im Rahmen des Projekts transform_EMN

gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz

Bearbeitung: Dr. Jürgen Dispan
jdispan@imu-institut.de

Herausgeber: IMU Institut GmbH
Hasenbergstraße 49
D-70176 Stuttgart
Tel.: 0711 / 23 70 5-0
Fax: 0711 / 23 70 5-11
Email: imu-stuttgart@imu-institut.de



Inhalt

1.	EINLEITUNG	1
2.	KLEINWINDKRAFTANLAGEN IM ÜBERBLICK	3
3.	MARKTVOLUMEN	9
3.1	Größe des Kleinwindkraft-Marktes in Deutschland	9
3.2	Kleinwindkraft-Markt in ausgewählten Ländern Europas	10
3.3	Globale Märkte und Blick auf die USA	12
3.4	Marktvolumen in Deutschland und Europa	14
4.	MARKTPOTENZIALE	17
4.1	Herausforderungen für eine stärkere Markterschließung	17
4.2	Potenziale durch eine höhere Marktdynamik	20
5.	UNTERNEHMENSLANDSCHAFT UND WETTBEWERB IN DER KLEINWINDKRAFTBRANCHE	23
6.	ZUSAMMENFASSUNG	27
7.	LITERATURVERZEICHNIS	29

Abbildungen

Abb. 1: Leistungskategorien nach Anwendungsgebieten für KWKA	3
Abb. 2: Small and distributed wind turbine dimensions and rated power outputs as a function of various applications	4
Abb. 3: Komponenten einer horizontalachsigen Windkraftanlage	5
Abb. 4: Autarkiegrade mit Photovoltaik, Kleinwind und Speicher (Hybridlösung)	7
Abb. 5: Kleinwindkraft-Kapazität (in MW) in ausgewählten Ländern (Top-6)	11
Abb. 6: Prognose für den Verkauf von Kleinwindkraftanlagen nach Weltregionen aus dem Jahr 2020 (mit Forecast bis 2025)	12
Abb. 7: Markt für Kleinwindkraftanlagen in den USA	13

1. Einleitung

Die Markteinschätzung Kleinwindkraftanlagen (KWKA) hat zum Ziel, das Marktvolumen dieser Erneuerbare-Energien-Technologie zu analysieren, ihre Marktpotenziale vorausschauend zu betrachten sowie die Unternehmenslandschaft und Wettbewerbssituation in dieser Branche darzustellen. Basis für die Informationsgewinnung und die Erkenntnisse sind zum einen Interviews mit 14 Expert:innen aus der Kleinwindkraftbranche und deren Umfeld¹ sowie die Auswertung von Literatur und Dokumenten zum Kleinwindkraftmarkt. Die folgenden Hauptkapitel zeigen, warum bei der Kleinwindkraft im Resümee von einem Nischenmarkt mit Wachstumspotenzialen gesprochen wird.

Hintergrund: Automobilzulieferer unter Druck ...

Die Markteinschätzung KWKA geht auf Initiativen von Betriebsräten aus der Automobilzulieferindustrie und der IG Metall zurück, die sich bei konkreten betrieblichen Problemen bzw. einem angekündigten Stellenabbau auf die Suche nach neuen Produktfeldern gemacht haben. Auf der Suche nach solchen neuen Feldern – abseits der klassischen Geschäftsfelder rund um das Automobil und den konventionellen Antriebsstrang – wurden Erneuerbare-Energien-Technologien und hier speziell die Kleinwindkraft ins Visier genommen. Die vorliegende Markteinschätzung KWKA ist im Rahmen des vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz geförderten Großprojekts transform_EMN entstanden:

„Rund 100.000 Beschäftigte sind in der Metropolregion Nürnberg für Zulieferunternehmen der Fahrzeugindustrie tätig. Durch die Mobilitätswende hin zu alternativen Antrieben steht die Branche vor großen Herausforderungen in der Transformation. Das vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz geförderte Großprojekt transform_EMN unterstützt daher betroffene kleine und mittelständische Unternehmen in der Metropolregion Nürnberg mit Angeboten zur Vernetzung und zum Technologietransfer, mit individuellen Qualifizierungsmaßnahmen sowie Impulsen zur Erschließung zusätzlicher Geschäftsfelder.“ (www.transform-emn.de/projekt/)

¹ Die Statements der im Rahmen der Marktstudie befragten Expert:innen werden im Text zum Teil wörtlich zitiert, um die Ergebnisse prägnant und authentisch darzustellen. Häufig stehen sie exemplarisch für die Meinung mehrerer befragter Expert:innen. In der vorliegenden Studie verwendete Zitate aus Expert:inneninterviews sind durch die Angabe „Exp.“ kenntlich gemacht. Da den Expert:innen die Anonymisierung ihrer Aussagen zugesagt wurde, erfolgt keine genauere Zuordnung der Zitate.

Die Automobilindustrie und insbesondere die Zulieferer geraten zunehmend unter Druck, wie nicht zuletzt die zahlreichen Ankündigungen von Stellenstreichungen an deutschen Automobilstandorten zeigen (www.automobilwoche.de). Über die aktuelle Situation der deutschen Automobilhersteller und -zulieferer zeigten sich auch die Sachverständigen im Wirtschaftsausschuss des Deutschen Bundestags besorgt (Deutscher Bundestag 2024).

Auch in der Europäischen Metropolregion Nürnberg korrelieren Wirtschafts- und Innovationskraft sowie Arbeitsmarktlage und Wohlstand mit den Erfolgen der Automobilwirtschaft und des Maschinenbaus. Mit Sorge stellen sich deshalb viele Menschen die Frage, ob die Unternehmen der Automobilwirtschaft und speziell die Zulieferer vorbereitet sind auf den größten Umbruch in der Geschichte der Automobilwirtschaft – einer grundlegenden Transformation, die mit den Begriffen Elektrifizierung, Digitalisierung und Globalisierung auf den Punkt gebracht werden kann. Zum einen stellt die doppelte Transformation aus Digitalisierung und Dekarbonisierung (Elektromobilität) die Automobilwirtschaft vor gewaltige Herausforderungen. Wenn die Zukunft im Software-definierten Elektrofahrzeug liegt, müssen sich die Automobilzulieferer auf einen massiven Wandel einstellen. Zum anderen ist die doppelte Internationalisierung (marktgetriebenes local-for-local in den Weltregionen und kostengetriebene innereuropäische Verlagerung in sogenannte Best-Cost-Countries) ein bestimmender Faktor, der trotz Deglobalisierungstrends fortbesteht (vgl. Dispan, Frieske 2021; Dispan et al. 2023: 88ff).

Die regionalen Akteure sind sich weitgehend einig, dass der wirtschaftliche Erfolg der Metropolregion eng mit einer erfolgreichen Transformation der Schlüsselindustrien, aber auch mit der Nutzung von Diversifikationspotenzialen in Zukunftstechnologien, innovativen Lösungen sowie der Weiterentwicklung der wissensintensiven Dienstleistungen und umfassenden Weiterbildungsaktivitäten verknüpft ist.

... und auf der Suche nach neuen Geschäftsfeldern

Diversifizierung als Suche nach neuen Produktfeldern und neuen Geschäftsmodellen ist ein wichtiges Element der Transformationsstrategie in der Metropolregion Nürnberg. Das Projekt transform_EMN setzt beispielsweise Impulse für Automobilzulieferer zur Geschäftsfelderweiterung in der Medizintechnik, für die im Medical Valley zahlreiche Anknüpfungspunkte bestehen (www.transform-emn.de/services/neue-geschaeftsfelder/). Auch im vorliegenden Papier geht es um Diversifikationspotenziale, hier im Bereich der Erneuerbaren Energien bei der Kleinwindkraft. Als Basis für Diversifizierungsansätze werden im Folgenden die Volumina und die Potenziale des Marktes für Kleinwindkraftanlagen und ihre Komponenten ermittelt und dargestellt.

2. Kleinwindkraftanlagen im Überblick

Kleinwindkraftanlagen (KWKA) sind in Abgrenzung zu großen Windkraftanlagen² wie folgt definiert (vgl. Bundesverband WindEnergie 2011; C.A.R.M.E.N. 2023): KWKA haben bis zu 250 kW Nennleistung, ihre maximale Gesamthöhe liegt bei 50 Metern, die Rotorfläche ist kleiner 200 Quadratmeter, was einem Rotordurchmesser von kleiner 16 Metern entspricht. Bisherige Definitionen nennen einen Leistungsbereich bis 100 kW. Mittlerweile sind nach Aussage befragter Expert:innen aber auch innovative Anlagen für windstarke Standorte mit bis zu 250 kW mit einer Maximalhöhe von 50 m am Markt, „die vor allem für Unternehmen und Landwirtschaftsbetriebe in den besten Windgebieten eine Option darstellen“ (Exp.). Die Abgrenzung von KWKA erfolgt demnach durch Größe und Leistung. In Bezug auf die technischen Komponenten unterscheiden sich KWKA im Grundsatz „nicht wesentlich von großen Anlagen“ (C.A.R.M.E.N. 2023: 19).

Abb. 1: Leistungskategorien nach Anwendungsgebieten für KWKA

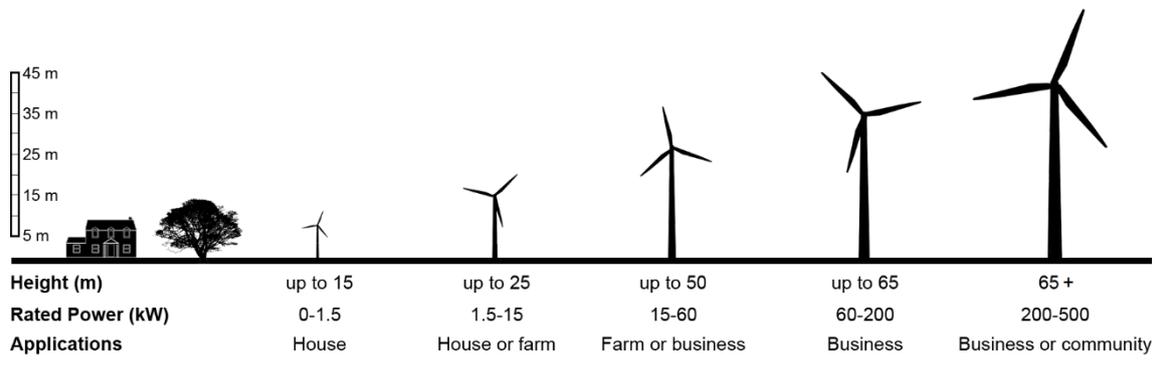
Einsatzgebiet der KWKA	Spannung	Nennleistung	Bezeichnung
Batteriegestütztes Inselsystem	12/24/48 V DC	bis 1,5 kW	Leistungsklasse 1 Mikrowindkraftanlagen
Netzgekoppeltes System (Wohngebäude)	230 V AC		
Gebäudeintegriert oder freie Aufstellung	230 V AC	1,5 bis 5 kW	
Gewerbegebiete, Landwirtschaft	400 V AC	5 bis 30 kW	Leistungsklasse 2 Miniwindkraftanlagen
Gewerbegebiete, Landwirtschaft	400 V / 20 kV AC	30 bis 250 kW	Leistungsklasse 3 Mittelwindkraftanlagen

Quelle: Bundesverband WindEnergie 2011; Team für Technik 2022: 1; C.A.R.M.E.N. 2023: 19.
Aktualisierung IMU Institut bei Leistungsklasse 3 (... bis 250 kW statt bis 100 kW)

² Der „große Bruder“ steht im Zentrum der Branchenanalyse Windindustrie der Hans-Böckler-Stiftung (Ludwig et al. 2023), mit einer ausführlichen Betrachtung der Perspektiven der „großen“ Windkraft „vor dem Hintergrund von Globalisierung, Energiewende und Digitalisierung“. Auf die Lage und die Potenziale von KWKA wird in dieser Branchenanalyse nicht eingegangen.

Es werden verschiedene Leistungsklassen von Kleinwindkraftanlagen von Mikro- über Mini- bis zu Mittelwindkraftanlagen unterschieden (Abbildung 1). Die Maximalhöhe von 50 m für KWKA ergibt sich vor allem aufgrund der Regulation in Deutschland. Anlagen bis zu einer Gesamthöhe von 50 m unterliegen nach deutschem Planungsrecht „nur“ einem Baugenehmigungsverfahren bzw. sind je nach Länderrecht bis zu 10 oder 15 m verfahrensfrei oder genehmigungsfrei (C.A.R.M.E.N. 2023: 33-39; Jüttemann 2023: 42-50). Das kann aber – laut befragten Expert:innen – in der Praxis leider nicht mit unkomplizierten, schnellen Planungsverfahren gleichgesetzt werden. Für Anlagen oberhalb der KWKA mit einer Gesamthöhe ab 50 m ist in Deutschland eine – deutlich aufwendigere – immissionsschutzrechtliche Genehmigung erforderlich. Im internationalen Raum gibt es andere Abgrenzungen der Kleinwindkraft nach Höhe und Leistung (Abbildung 2).

Abb. 2: Small and distributed wind turbine dimensions and rated power outputs as a function of various applications



Quelle: Bianchini et al. 2022: 2005

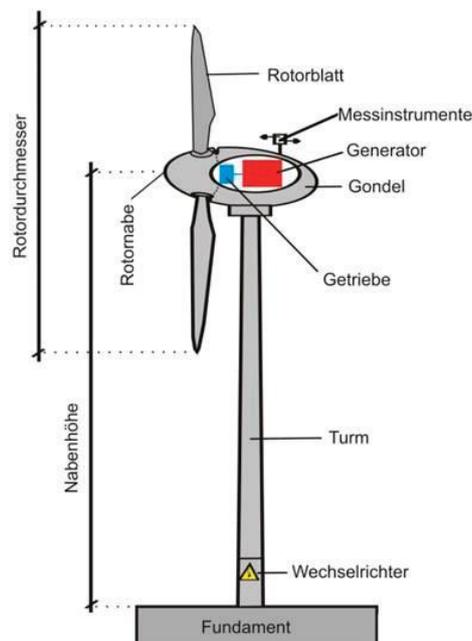
Bei KWKA wird unterschieden zwischen netzgekoppelten Systemen (On-Grid) und Inselanlagen, die oft batteriegestützt sind (Off-Grid). Die Mikroanlagen bis 1,5 kW Nennleistung werden vorwiegend als Batterielader betrieben, sind also nicht mit dem öffentlichen Stromnetz verbunden (Gehling 2019: 7). Je größer die Anlagenleistung, desto eher ist die Anlage tatsächlich netzgekoppelt und damit im Marktstammdatenregister der Bundesnetzagentur erfasst. In der vorliegenden Marktstudie liegt der Fokus bei den Kleinwindkraftanlagen ab 1,5 kW.

Die Bauform ist ein weiteres Unterscheidungskriterium von KWKA. Zwei Typen sind gebräuchlich: Rotoren mit horizontal liegender und Rotoren mit vertikal stehender Achse. „Bei Großwindenergieanlagen haben sich inzwischen dreiblättrige Horizontalachser als Standardbauform auf dem Markt durchgesetzt, bei Kleinwindenergieanlagen dagegen ist die Auswahl vielfältiger“ (C.A.R.M.E.N. 2023: 20). Die vertikale Bauform

ist vor allem bei den kleineren KWKA anzutreffen, sie hat aber einen niedrigeren Wirkungsgrad als Nachteil. Für die technischen Details und zahlreiche Vor- und Nachteile beider Bauformen sei auf einschlägige Studien zur Kleinwindkraft verwiesen (Jüttemann 2020: 75-85; Jüttemann 2023: 69-80; C.A.R.M.E.N. 2023: 20-22). Laut den Studien ist die horizontale Bauform wirtschaftlich überlegen, weshalb sie auch den Markt ab der Leistungsklasse 1,5 kW dominiert. Dies zeigt auch die aktuelle Auswertung des Marktstammdatenregisters (vgl. Fachagentur Wind und Solar 2024). Demnach sind Stand 26.11.204 nur 3 von bisher 87 im Jahr 2024 registrierten KWKA Vertikalläufer, die restlichen 84 sind Horizontalläufer. Ein ähnliches, wenn auch nicht ganz so deutliches Bild zeigte sich auch in den Jahren zuvor.

Kleinwindkraftanlagen sind „wie ihre großen Brüder“ (Exp.) aus verschiedenen Komponenten zusammengesetzt (Abbildung 3). Sie bestehen aus Rotorblättern, einer Rotornabe, einem Generator, dem je nach Bauart ein Getriebe vorgeschaltet ist, Messinstrumenten (die mit Generator und Getriebe in einer Gondel platziert sind) einem Um- bzw. Wechselrichter sowie einem Turm und einem Fundament (siehe ausführlich zum Stand der Technik und den technischen Bestandteilen: Team für Technik 2022; Jüttemann 2023; C.A.R.M.E.N. 2023).

Abb. 3: Komponenten einer horizontalachsigen Windkraftanlage



Quelle: C.A.R.M.E.N. 2023: 23

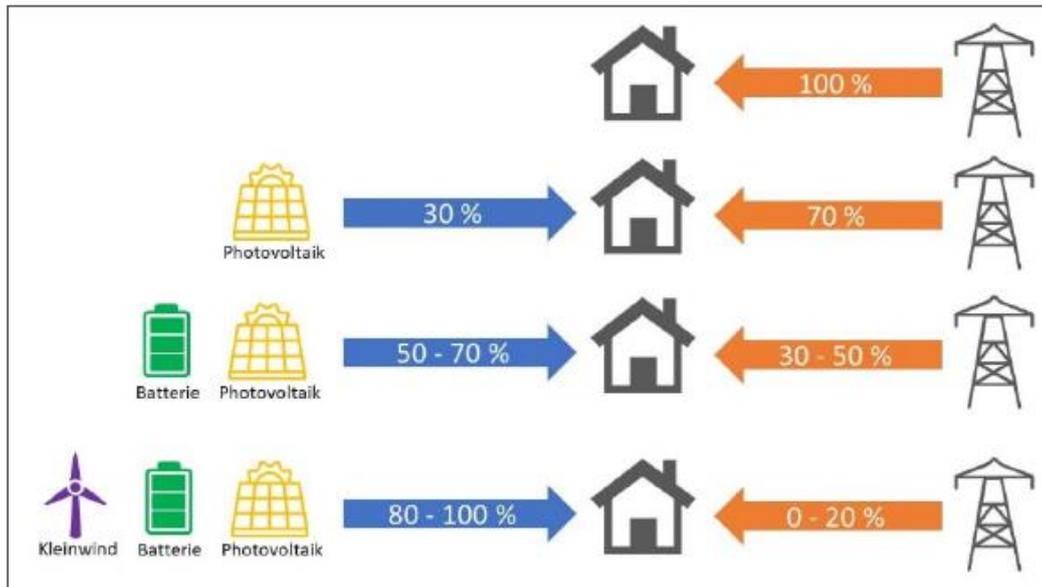
Welche Faktoren bestimmen den Markterfolg von Kleinwindkraftanlagen? Die Motive für die Anschaffung einer KWKA sind sehr vielfältig. Dazu gehören Klima- und Umweltschutz, Energieautarkie und Unabhängigkeit von Stromversorgern, Image und Spaß an Technik sowie – nicht zuletzt – Sparziele bei den Stromkosten und Rendite (vgl. Jüttemann 2023: 21). Für den letztgenannten Punkt ist eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung erforderlich, wie sie in verschiedenen Studien detailliert und auf Fallbeispiele bezogen durchgeführt wurde (C.A.R.M.E.N. 2023; Jüttemann 2023; Kragl 2024; Team für Technik 2022).

Wichtige Einflussfaktoren auf die Erträge von KWKA sind ein ausreichendes Windaufkommen, eine standortgerechte Anlage mit einem auf den Standort abgestimmten Leistungsverhalten und damit eine effiziente und hohe Stromproduktion auf der einen Seite. Auf der anderen Seite ist der Gegenwert des produzierten Windstroms sehr stark von einem hohen Eigenverbrauch abhängig. Je höher der Anteil des Stromeigenverbrauchs, desto wirtschaftlicher lässt sich eine KWKA betreiben und desto schneller amortisiert sie sich. Jedoch liegt die Amortisationsdauer unter den gegebenen Rahmenbedingungen und bei ausreichender Windgeschwindigkeit in der Regel bei (deutlich) mehr als zehn Jahren, bei den Fallbeispielen aus der Praxis meist bei 15 bis 20 Jahren.

„Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung zeigt, dass ein wirtschaftlicher Betrieb von Kleinwindenergieanlagen von den Faktoren Energieertrag, Strombezugskosten und Eigenverbrauchsquote abhängt. Bei hohen vermiedenen Stromkosten (hohe Eigenverbrauchsquote von 100 % und hoher Strompreis von 28 ct/kWh), ist ab einer jährlichen Produktion von 8.500 kWh/a eine Amortisation von 17,5 Jahren möglich.“ (Team für Technik 2022: 79)

Kleinwindkraftanlagen können auch jenseits der reinen Wirtschaftlichkeitsbetrachtung ein wichtiger Baustein für die Versorgung mit erneuerbarer Energie sein. Ihr Erzeugungsprofil ergänzt sich im Tagesprofil und vor allem im Jahresprofil sehr gut mit den deutlich weiter verbreiteten Photovoltaikanlagen. So können in der Hybridlösung in Kombination mit einem Stromspeicher Synergien für eine höhere Energieautarkie entstehen (Abbildung 4).

Abb. 4: Autarkiegrade mit Photovoltaik, Kleinwind und Speicher (Hybridlösung)



Quelle: Jüttemann 2020: 167

Die Vorteile der Kleinwindkraft kommen dann besonders zum Zuge, wenn KWKA in Kombination mit Photovoltaik-Anlagen und Stromspeichern betrieben werden. In solchen Hybridlösungen liegt die Zukunft der Kleinwindkraft, wie mehrere befragte Expert:innen hervorhoben. Die strategische Rolle der Kleinwindkraft in den mittleren Breiten, also in unserer Klimaregion, liegt in der Ergänzung der Photovoltaik in der sonnen schwachen Jahreszeit. In den windstarken Zeiten Herbst und Winter sind KWKA die zweite Energiequelle für den Stromspeicher, damit dieser auch gut geladen wird, wenn die Sonne nicht scheint. Damit werden die Synergieeffekte zwischen Photovoltaik und Kleinwindenergie in Kombination mit einem Stromspeicher genutzt. Solche Verbundlösungen zur Erhöhung der Selbstversorgung und Netzunabhängigkeit werden als eine der interessantesten Marktchancen im Bereich der Kleinwindkraft gesehen.

Aus Markt- bzw. Herstellersicht eröffnen Verbund- oder Hybridlösungen vor allem für Systemanbieter große Chancen. Die Zukunft für Anbieter auf diesem Markt – sowohl für bestehende Unternehmen wie auch für Startups und Quereinsteiger – liegt im Gesamtsystem aus Photovoltaik, KWKA und Stromspeicher und der Gesamtlösung als Full Service vom kompletten Planungs- und Genehmigungsverfahren bis hin zur Wartung. „Die Hersteller wären gut beraten, alles aus einer Hand anzubieten“ (Exp.).

Bei stark schwankenden Strompreisen an der Börse wird künftig auch die monetäre Wertigkeit des Stroms immer wichtiger; sie könnte der Kleinwindkraft „in die Karten spielen“ (Exp.). Abhängig von den Einspeiseprofilen ist die Wertigkeit des Stroms

unterschiedlich. Strom aus Kleinwindkraft wird im Vergleich zur Photovoltaik häufig dann produziert, wenn die Wertigkeit höher ist, beispielsweise in der kalten Jahreszeit bei geringer Sonneneinstrahlung. Da flexible Stromtarife eine immer größere Bedeutung bekommen, könnte die relativ hohe Wertigkeit von Kleinwindstrom die Marktdurchdringung von KWKA beschleunigen.

Auch Energy Sharing als gemeinschaftliche Erzeugung und Verbrauch von Ökostrom könnte für die Kleinwindkraft ab einer bestimmten Anlagengröße einen Push bringen. Für Energy Sharing sollten in der Ampelkoalition die gesetzlichen Grundlagen geschaffen werden. Ob Energy Sharing tatsächlich zur Umsetzung kommt, bleibt abzuwarten. Es ist nicht sicher, ob die vom Bundeskabinett am 13.11.2024 beschlossene Novelle zum Energiewirtschaftsrecht (EnWG) Anfang 2025 noch vom Bundestag und Bundesrat verabschiedet wird. Nichtsdestotrotz kann durchaus erwartet werden, dass die Zeichen für Energy Sharing in der nächsten Legislaturperiode nicht schlecht stehen (Exp.).

Ein weiterer wichtiger Erfolgsfaktor, auf den in den Kapiteln 4 und 5 eingegangen wird, liegt in der Nutzung von Skaleneffekten durch Standardisierung und Serienfertigung bei den Komponenten für KWKA oder gar durch Plattformstrategien. Der Teufelskreislauf aus geringem Marktvolumen wegen hoher Anschaffungskosten und mangelnden Skaleneffekten wegen niedrigem Marktvolumen kennzeichnet die Kleinwindbranche. Marktanreizprogramme und/oder der Einstieg von Investoren bzw. neuen Marktakteuren aus Industrie oder Energiewirtschaft könnten zur Auflösung des Henne-Ei-Problems beitragen.

3. Marktvolumen

3.1 Größe des Kleinwindkraft-Marktes in Deutschland

Die Größe des Kleinwindkraft-Marktes bzw. das Marktvolumen wird im Folgenden für Deutschland, für weitere ausgewählte Länder Europas wie auch global betrachtet. Zur Marktgröße der Kleinwindkraft in Deutschland gibt es unterschiedliche Angaben. Für die Anzahl installierter Kleinwindkraftanlagen (KWKA) geht die Spanne von knapp 1.000 bis gut 20.000. Eine genaue Angabe kann auf Basis der verfügbaren Statistiken nicht gemacht werden.

Im Marktstammdatenregister, das alle netzeinspeisenden Anlagen („On-Grid“) erfasst, sind 957 Kleinwindenergieanlagen (bis 50m Gesamthöhe) erfasst (Stand 26.11.2024).³ Im Jahr 2023 kamen laut Marktstammdatenregister 76 neue Anlagen hinzu, 2024 dann weitere 87 bis zum 26. November. Laut der Einschätzung befragter Expert:innen deckt das Marktstammdatenregister im Bereich oberhalb der Mikrowindanlagen mindestens die Hälfte bis zum Großteil der Anlagen ab.

Von insgesamt mehr als 20.000 Kleinwindanlagen geht eine vom ZSW in Auftrag gegebene Kurzstudie aus (Gehling 2019). Demnach gab es im Jahr 2018 eine Gesamtzahl von 20.000 Kleinwindanlagen in Deutschland (On-Grid und Off-Grid). Davon gehörten aber 16.000 zu den Mikrowindanlagen mit einer Nennleistung von unter 1,5 kW. Immerhin 4.000 Klein- und Mittelanlagen mit einer Leistung zwischen 1,5 und 75 kW waren in Deutschland zu diesem Zeitpunkt laut dieser Studie installiert. Heute dürften es bei einem durchschnittlichen jährlichen Zuwachs von ca. 100 in den letzten Jahren rund 4.500 Windkraftanlagen in diesem Leistungsbereich sein.

Die installierte Kleinwindleistung liegt 2024 laut Marktstammdatenregister bei gut 10,4 MW (bei 957 KWKA) und als Hochrechnung der ZSW-Studie bei rund 45 MW (On-Grid und Off-Grid, inklusive Mikrowindanlagen). Zum Vergleich: nach Angaben des Bundesverbands WindEnergie liegt der Gesamtbestand in Deutschland bei 28.611 Onshore-Windkraftanlagen mit einer Gesamtleistung von 61.917 MW (Stand 30.06.2024). Die Kleinwindkraft liegt also im Vergleich zu den großen Onshore-Windkraftanlagen mit

³ Nicht berücksichtigt sind hier die knapp 300 vor dem Jahr 2000 in Betrieb gegangenen Windkraftanlagen in der Leistungsklasse 100 bis 500 kW, weil sie dem damaligen Stand der Technik entsprechend nicht als Kleinanlagen anzusprechen sind.

einer Nennleistung von bis zu über 6 MW im Promillebereich und fällt damit bisher kaum ins Gewicht.

Der Markt für KWKA in Deutschland ist ein kleiner, überschaubarer Markt – alles in allem ein Nischenmarkt, der aber mittelfristig durchaus Wachstumspotenziale aufweist. Auf die Marktpotenziale wird im nächsten Hauptkapitel eingegangen. Zunächst wird hier aber ein Blick auf die auch für KWKA-Hersteller aus Deutschland interessanten Märkte im deutschsprachigen Ausland und in Europa insgesamt geworfen.

3.2 Kleinwindkraft-Markt in ausgewählten Ländern Europas

Auch in der DACH-Region insgesamt ist die Kleinwindkraft noch nicht über den Status eines Nischenmarkts hinausgewachsen. In der Schweiz steckt der Markt für Kleinwindkraft „noch in den Kinderschuhen“, so ein Vorstand des Verband Kleinwind Schweiz im Experteninterview. Ein Hemmnis sind die baurechtlichen Grundlagen, die in jedem der 26 Kantone anders geregelt und gehandhabt werden. Je nach Kanton stoßen Kleinwindkraftanlagen oft auf Gegenwehr seitens der Genehmigungsbehörden und die Verfahren gestalten sich sehr zäh und langwierig. „Innerhalb von Bauzonen gelten die Richtlinien und Verfahren der Gemeinde, außerhalb ist das kantonale Verfahren zu beschreiten. Solche Verfahren sind aber noch ungewohnt, es gibt allerlei offene Fragen zu klären. Je nach Größe und Befestigungsart sind die Anforderungen unterschiedlich oder gar nicht geregelt“ (www.pro-wind-zh.ch/kleinwindkraft).

In Österreich steckt die Kleinwindkraft-Wirtschaft laut Interessengemeinschaft Windkraft „in der Anfangsphase“ (www.kleinwindkraft.at). Die Branche ist „noch sehr heterogen und statistisch schwierig zu erfassen“ (Haumer et al. 2024: 22). In Österreich ist die Kleinwindkraft „noch wenig verbreitet“, wie im Kleinwindreport Österreich 2022 ermittelt wurde (Hirschl et al. 2022). Laut Kleinwindreport waren in Österreich 2022 „insgesamt 429 Kleinwindenergieanlagen (KWEA) mit einer Gesamtleistung von ca. 290 kW in Betrieb, davon 188 KWEA mit einer Nennleistung bis 1 kW (43,8 %) sowie 223 KWEA mit einer Nennleistung zwischen 1 und 10 kW (52,0 %). Nur 18 KWEA wiesen eine Nennleistung > 10 kW auf (4,2 %). In Bezug auf die installierte Leistung entfallen 66,0 % auf KWEA mit einer Nennleistung zwischen 1 kW und 10 kW, 25,9 % auf Anlagen mit einer Nennleistung > 10 kW und lediglich 8,1 % auf KWEA ≤ 1 kW“ (Haumer et al. 2024: 22).

In Europa gibt es drei Länder mit einer deutlich höheren installierten Kleinwindkraft-Kapazität als Deutschland: Dänemark, Italien und das Vereinigte Königreich. In diesen Ländern haben vor allem die staatliche Förderung und die Erleichterung bei

Genehmigungen für eine deutliche Belebung des Marktes gesorgt. In Dänemark wurde die Kleinwindkraft bereits in den 2000er Jahren gefördert, unter anderem durch gesetzliche Rahmenbedingungen wie die Einführung des Net Metering, also dem Rückwärtslaufen von Stromzählern bzw. der indirekten Vergütung des eingespeisten Stroms zum Preis des Haushaltsstroms. Einen weiteren Push gab es 2015 durch die Einführung einer Einspeisevergütung in Höhe von 33 Cent/kWh, durch die die Anzahl der installierten KWKA in nur einem Jahr auf 1.000 Anlagen verdoppelt wurde. Durch solche Maßnahmen ist die Kleinwindkraftbranche in Dänemark zu einem relevanten Industriezweig geworden. Nachdem die Förderung in Dänemark wieder zurückgedreht wurde, flachte der dänische Inlandsmarkt jedoch schnell wieder ab.

Abb. 5: Kleinwindkraft-Kapazität (in MW) in ausgewählten Ländern (Top-6)

	2014-2020	2021	2022	2023	Kumuliert	Jahre
China	268,79	33,38	60,32	86,51	790,83	2007-2023
Dänemark	50,10	0,04	0,17	0,31	611,41	1977-2023
Italien	163,14	3,21	7,76	2,19	202,97	bis 2023
USA	16,52	1,82	2,30	2,31	159,08	2003-2023
UK	49,22	*	*	*	141,51	bis 2019
Deutschland	5,00	2,50	1,50	2,50	42,25	bis 2023
Summe 16 Länder	554,25	41,27	72,24	93,90	1.996,87	wie oben definiert

Quelle: Pacific Northwest National Laboratory 2024: 13 (Auszug)

Auch in anderen Ländern, wie beispielsweise Großbritannien und Italien, haben Einspeisevergütungen für Strom aus Kleinwindkraftanlagen für eine deutliche Belebung des Marktes gesorgt. In Großbritannien wurde im Jahr 2007 begonnen, den Ausbau der Kleinwindenergie stark zu fördern, indem eine hohe staatlich festgelegte Einspeisevergütung für zertifizierte Anlagen eingeführt wurde. Der Zubau von KWKA stieg bis 2012 auf „beachtliche 2.189 installierte Anlagen“ an (Gehling 2019: 24). Ein massiver Einschnitt mit einem Rückgang auf 417 neu errichtete Anlagen erfolgte 2013, nachdem die Einspeisevergütung radikal gekürzt wurde.

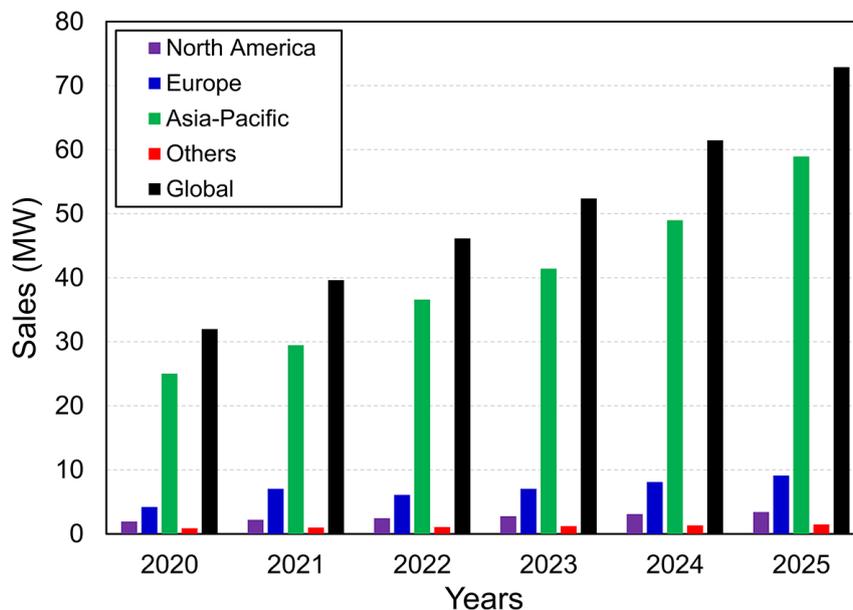
Ähnlich die Lage wenige Jahre später in Italien: „In the case of Italy, in particular, the significant increase in installations seen around 2016-2017 was due to a special program of incentives for turbines under 60 kW“ (Bianchini et al. 2022: 2005). Diese Maßnahmen waren jedoch oft nicht nachhaltig angelegt und nach dem Auslaufen der Förderung oder der Einspeisevergütung gab es dann teilweise starke Markteinbrüche bei der

Kleinwindkraft (feed-in-tariff policy changes, vgl. Bianchini et al. 2022: 2005-2006). Einspeisevergütungen bei Kleinwind und „auch andere Fördermaßnahmen wie z.B. Zuschüsse für den Anlagenkauf wurden in Deutschland nie nennenswert implementiert“ (Gehling 2019: 8).

3.3 Globale Märkte und Blick auf die USA

Global gesehen gibt es laut dem „Distributed Wind Market Report 2024“ eine Kleinwindkapazität von rund 2.000 MW aus mehr als einer Million Windturbinen. Für 2023 standen nur für sechs Länder Daten zur Verfügung: In diesen konnte ein Zuwachs der Kleinwindkapazität von rund 94 MW dokumentiert werden, davon 92 Prozent allein in China. In den letzten Jahren ist in China ein überaus starkes Wachstum zu verzeichnen, das auch auf nationale Programme zur Förderung der (Klein-)Windkraft im ländlichen Raum beruht. Die 2023 installierten 86,5 MW bedeuten einen Zuwachs von 43 Prozent gegenüber der 2022 installierten Kleinwindkapazität (Pacific Northwest National Laboratory 2024: 12).

Abb. 6: Prognose für den Verkauf von Kleinwindkraftanlagen nach Weltregionen aus dem Jahr 2020 (mit Forecast bis 2025)

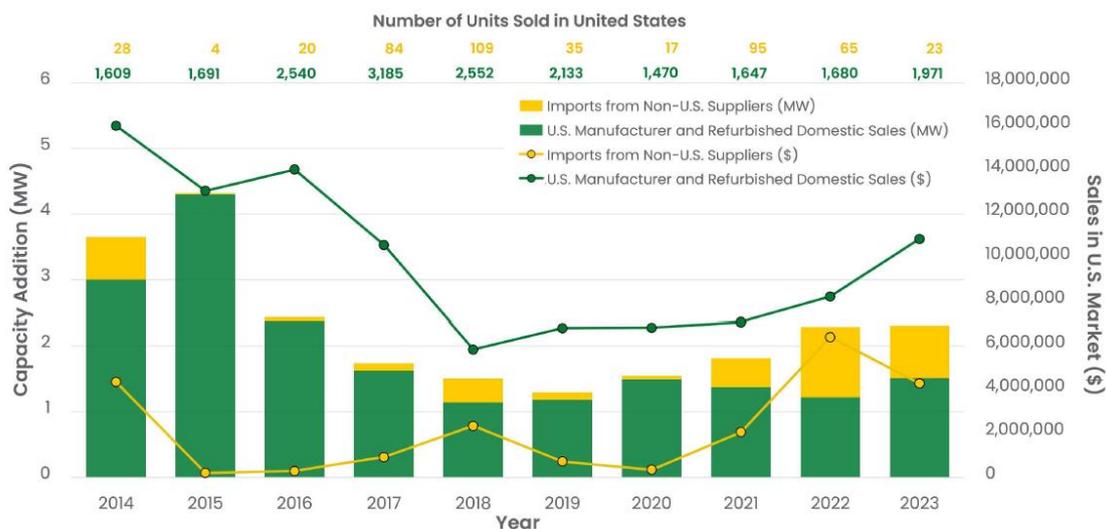


Quelle: Bianchini et al. 2022: 2006

Seit dem Jahr 2020 gibt es eine deutlich steigende Dynamik bei der globalen Kleinwindkraft. Im Jahr 2020 lag die neu installierte Kapazität von KWKA bei gut 30 MW, davon rund 25 MW in der Region Asien-Pazifik. Im globalen Markt wurde 2020 ein Umsatz von rund 70 Mio. Euro erzielt. Eine Prognose aus dem Jahr 2020 sah bei den neu installierten KWKA-Kapazitäten ein Wachstum um fast 150 Prozent bis 2025. Beim Umsatz wurde ein Wachstum auf 165 Mio. Euro im Jahr 2025 prognostiziert. Vor allem für den asiatisch-pazifischen Markt wurde ein Wachstum in hohem Tempo vorhergesagt (Bianchini et al. 2022: 2006). In der Realität wurde die Prognose aus dem Jahr 2020 bereits 2023 mit einer neu installierten Leistung von 94 MW deutlich übertroffen, und als Haupttreiber dieser Entwicklung ist der chinesische Markt hervorzuheben.

Einige der im Rahmen dieser Kurzstudie befragten Expert:innen gingen explizit auf den Kleinwindmarkt in den USA ein, weil dort seit einigen Jahren eine Marktdynamik entsteht, von der vor allem die US-Hersteller und KWKA-Hersteller mit einem Standort in den USA profitieren. Diese aktuelle Entwicklung kommt in den Zahlen bis 2023 nur ansatzweise zum Ausdruck und nach dem Wahlsieg von Donald Trump könnte sich die positive Lage der Kleinwindkraft bereits wieder drehen. Im Jahr 2023 wurden in den USA 1.994 KWKA mit einer Gesamtleistung von 2,3 MW und Investitionskosten von 15,2 Mio. Dollar installiert. Im „Distributed Wind Market Report 2014“ wurden acht Hersteller von KWKA, davon sechs aus den USA, erfasst. Bei allen gab es 2023 ein Wachstum und bis heute sind die Auftragsbücher voll, wie einige befragte Expert:innen betonten.

Abb. 7: Markt für Kleinwindkraftanlagen in den USA



Quelle: Pacific Northwest National Laboratory 2024: 12

Als Gründe für den erstarkenden KWKA-Markt in den USA werden erweiterte Fördermaßnahmen und Steuererleichterungen im Rahmen des Inflation Reduction Acts (IRA) und der RAISE-Initiative (Agricultural Income & Savings from Renewable Energy) genannt. Beispielsweise sollen als Initialzündung 400 Farmer unterstützt werden, KWKA zu installieren und entsprechende Geschäftsmodelle zu entwickeln. Folge dieser Incentives ist laut Distributed Wind Market Report 2014: „small wind turbine manufacturers are expecting higher sales in 2024“ (Pacific Northwest National Laboratory 2024: 11) – und auf dieses Wachstum reagieren die Hersteller auch mit dem Aufbau von Produktionskapazitäten in den USA.

Einer der US-Hersteller, die von der Förderung von Entwicklung und Markteinführung von Kleinwindanlagen profitiert haben, ist Bergey Wind Power (Oklahoma), nach eigenen Angaben einer der weltweit führenden Anbieter von Kleinwindanlagen im Bereich 1 bis 15 kW mit mehr als 10.000 installierten Anlagen in den letzten 47 Jahren. „Federal Policy is very important“ (Michael Soriano, Vertriebsleiter Bergey, beim WWEA-Webinar „Small Wind in Practice“ am 29.10.2024). Zum Vergleich: der deutsche Hersteller Braun Windturbinen hat in 27 Jahren weltweit über 5.300 KWKA ausgeliefert (Jüttemann 2023: 120), davon rund 1.000 in Deutschland. In der Leistungsklasse 2,5 bis 12 kW ist Braun nach eigenen Angaben Marktführer in Deutschland und Europa.

3.4 Marktvolumen in Deutschland und Europa

Für die Ermittlung des monetären Marktvolumens müssen die Kosten für Kleinwindkraftanlagen veranschlagt werden. Zu den Kosten und der Kostenstruktur von KWKA liegen verschiedene Angaben vor. Vor fünf Jahren wurde von „Gesamtkosten für eine schlüsselfertige Kleinwindkraftanlage inklusive Montage, aller Systemkomponenten, Fundament und Mast zwischen 4.000 und 10.000 Euro pro Kilowatt installierter Leistung“ ausgegangen, im Durchschnitt lagen die Kosten bei 5.000 Euro je kW. „Eine Kleinwindanlage mit 5 kW Leistung würde im Schnitt 25.000 Euro kosten“ (Jüttemann 2020: 115).

Im aktuellen Kleinwind-Marktreport wird von durchschnittlich 6.000 bis 7.000 Euro pro kW Leistung ausgegangen, die Spanne wird erweitert auf bis zu 12.000 Euro (Jüttemann 2023: 52). Eine Ende 2023 veröffentlichte Studie aus Bayern beziffert die spezifischen Investitionskosten für eine schlüsselfertige Anlage mit 6.000 Euro/kW (C.A.R.M.E.N. 2023: 45). Zum Vergleich: in den USA liegen die durchschnittlichen Kosten für eine KWKA bei 7.370 Dollar/kW (Pacific Northwest National Laboratory 2024: 10). Im Folgenden wird

für das Jahr 2025 mit Durchschnittskosten für schlüsselfertige Kleinwindkraftanlagen von 7.000 Euro/kW kalkuliert.

Mittels einer Modellrechnung lässt sich das Marktvolumen für KWKA in Euro ermitteln. Aktuell lassen sich die durchschnittlichen Kosten einer KWKA mit rund 7.000 Euro je Kilowatt installierter Leistung beziffern. Diese Kosten umfassen Komponenten wie Windgenerator, Wechselrichter/Laderegler, Mast sowie Planung, Genehmigung, Fundamenterstellung und Installation; es sind also die durchschnittlichen Kosten für eine „schlüsselfertige“ Anlage im Jahr 2025. Für eine Grobkalkulation des Marktwerts wird entsprechend für eine „reine“ KWKA – also ohne Planung, Genehmigung, Fundament, Installation – von durchschnittlichen Kosten um 4.500 Euro je kW Leistung ausgegangen.

In Deutschland kann unter den derzeitigen Rahmenbedingungen von einem jährlichen Zuwachs von rund 120 KWKA ausgegangen werden. Bei einer durchschnittlichen Nennleistung von 10 kW liegt der jährliche Zubau der installierten KWKA-Leistung bei 1.200 kW. Das monetäre Marktvolumen liegt damit für die „reine“ KWKA (inklusive Komponenten) bei 5,4 Mio. Euro jährlich, für die „schlüsselfertige“ Anlage bei 8,4 Mio. Euro.⁴ Dies ist eine Momentaufnahme für den Inlandsmarkt 2025. Sollte es einen Schub für die Markterschließung geben, wie er im Kapitel zu den Marktpotenzialen dargestellt ist, ist von einem deutlich höheren monetären Marktvolumen auszugehen.

In Europa wird in der Modellrechnung von einem jährlichen Zubau von rund 10.000 kW ausgegangen. Bei Investitionskosten von 7.000 Euro/kW installierter Leistung liegt das monetäre Marktvolumen in Europa damit bei 70 Mio. Euro für schlüsselfertige Kleinwindkraftanlagen. Für „reine“ KWKA, also im Wesentlichen für die Komponenten, liegt das europäische Marktvolumen 2025 bei 45 Mio. Euro.

⁴ Bei einem Zuwachs von 2.500 kW in Deutschland, wie er für 2023 in einer globalen Marktstudie ermittelt wurde (Pacific Northwest National Laboratory 2024: 13), läge das Marktvolumen bei 11,25 bzw. 17,5 Mio. Euro.

4. Marktpotenziale

4.1 Herausforderungen für eine stärkere Markterschließung

Der Blick auf das Marktvolumen und das Marktwachstum der letzten Jahre zeigt, dass Kleinwindkraft bisher ein insgesamt kleiner, überschaubarer Markt ist. Eine Nische, die jedoch durchaus über Wachstumspotenziale verfügt, sofern branchenspezifische Hemmnisse überwunden und die Herausforderungen angegangen werden. Wachstumspotenziale für die Kleinwindbranche in Deutschland gibt es sowohl am Inlandsmarkt wie auch für den Export in Europa und darüber hinaus.

Die Energiewende mit der Dekarbonisierung des Energiesystems durch Strom aus erneuerbaren Energien für eine klimaneutrale Energiewirtschaft ist ein klares Ziel der deutschen, der europäischen und in weiten Teilen auch der internationalen Politik. Die EU hat sich den Übergang zu einer klimaneutralen Wirtschaft mit Netto-Null-Treibhausgasemissionen bis 2050 zum Ziel gesetzt, Deutschland bis 2045 und Bundesländer wie Bayern und Baden-Württemberg bis 2040. Für die Zielerreichung ist die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien ein wichtiger Baustein. Vor allem Photovoltaik und „große Windkraft“ (Offshore und Onshore) werden hierfür massiv ausgebaut.

Kleinwindkraft spielt hier bisher kaum eine Rolle. Was sind die Gründe hierfür, welche Hemmnisse gibt es für eine stärkere Marktdurchdringung von KWKA? Ein großer Knackpunkt ist die mangelnde Wirtschaftlichkeit von Kleinwindkraft zu den heute gegebenen Bedingungen. Heute ist ein wirtschaftlicher Betrieb von KWKA in Deutschland nur an sehr guten, windstarken Standorten zu erreichen. Diese gibt es vor allem in Küstennähe oder in besonders exponierten Mittelgebirgslagen. In großen Teilen Deutschlands sind die mittleren Windgeschwindigkeiten für einen wirtschaftlichen Betrieb unter heutigen Rahmenbedingungen zu niedrig.

„Nur an windstarken Standorten ab ca. 5 m/s mittlerer Jahreswindgeschwindigkeit kann man mit einer Kleinwindkraftanlage günstig Strom erzeugen.“ (Jüttemann 2020: 108)

Als Minimum für den wirtschaftlichen Betrieb gehen die befragten Expert:innen von einer mittleren Windgeschwindigkeit von mindestens 4 m/s aus. „Standorte mittlerer Güte“ weisen eine „Jahresdurchschnittswindgeschwindigkeit von 4 m/s bis 5 m/s in Nabenhöhe“ auf (C.A.R.M.E.N. 2023: 45). Zu beachten ist, dass „die Leistung des Windes, welche die Grundlage für die weitere Stromerzeugung mit einer Windenergieanlage darstellt, überproportional mit der Windgeschwindigkeit zunimmt“ (C.A.R.M.E.N. 2023: 12).

„Die Windgeschwindigkeit ist ein entscheidender Faktor für die Wirtschaftlichkeit von Kleinwindanlagen. Die Verdopplung der Windgeschwindigkeit führt zur Verachtfachung der Leistung!“ (Exp.)

Was kann zu einer stärkeren Markterschließung von Kleinwindkraft beitragen? Die mittlere Windgeschwindigkeit wird sich kaum durch Maßnahmen ändern lassen, wie ironischerweise angemerkt werden kann (wenn auch zu befürchten ist, dass sie sich infolge des Klimawandels – also durch unterlassene Klimaschutzmaßnahmen – mittelfristig durchaus erhöhen wird). Ein Push für die Kleinwindkraft wären die Verbesserung der Wirtschaftlichkeit und kürzere Amortisationszeiten. Die Hemmnisse für die Erreichung einer besseren Wirtschaftlichkeit liegen in erster Linie in den relativ hohen Investitionskosten für KWKA (Faktor 4+/- im Vergleich zur Photovoltaik), in den hohen Stromgestehungskosten bei KWKA und in der geringen Vergütung für den eingespeisten Strom (in Relation zu den Stromgestehungskosten).

Die hohen Investitionskosten für KWKA und damit auch vergleichsweise hohe Stromgestehungskosten sind unmittelbare Folge der hohen Kosten für die Produktion und für die benötigten Komponenten. Mit geringen Stückzahlen lassen sich keine Skaleneffekte (Economies of Scale) bei den KWKA-Komponenten erzielen. Die KWKA-Hersteller sind durchweg handwerklich geprägte Betriebe, laut befragten Expert:innen muss eher von einer Manufaktur oder einer „Garagenmontage“ als von einer modernen Fabrik mit industrieller Produktion gesprochen werden. Bei durchschnittlichen KWKA-Kosten von 7.000 Euro/kW ist der Anschaffungspreis im Vergleich zur Photovoltaik um Faktor 4+/- höher. Gute Hebel für eine Senkung der Anschaffungspreise wären aus Sicht befragter Expert:innen die Produktion höherer Stückzahlen bei den Komponenten für KWKA und eine Serienfertigung der Anlagen. Dies könne beispielsweise auch durch eine herstellerübergreifende Plattformstrategie bei den KWKA-Komponenten erreicht werden. Eine Voraussetzung liege in der Standardisierung und Modularisierung von Bauteilen wie Generatoren, Wechselrichtern und Steuerungseinheiten wie auch von Rotorblattfamilien und einfacher aufbaubaren Masten. Die Parallele zur Solarindustrie, wo die Stromgestehungskosten in den letzten zwei Jahrzehnten durch Massenproduktion massiv gesenkt werden konnten, drängt sich auf:

„As has been clearly demonstrated within the solar industry, large efficiencies and cost reductions can be gained across the small wind turbine industry by significantly increasing production. A transition to serial production, large-volume component purchasing, and advances manufacturing techniques will significantly reduce the equipment costs for small turbines while also improving product quality control.“ (Bianchini et al. 2022: 2021)

Eine höhere Wirtschaftlichkeit von KWKA durch niedrigere Stromgestehungskosten kann aber auch durch Verbesserungen von Technik, Design und Steuerung für einen höheren Wirkungsgrad erfolgen (Bianchini et al. 2022: 2018ff). Ansatzpunkte liegen in

der aerodynamischen Optimierung der Rotorblätter, in der Verbesserung der elektrischen und elektronischen Komponenten sowie in der Optimierung des Gesamtsystems.

Neben der mangelnden Wirtschaftlichkeit liegen weitere Hemmnisse für die Marktdurchdringung von KWKA in den komplizierten Planungs- und Genehmigungsprozessen in Verbindung mit geringem Wissen und beschränkter Akzeptanz seitens der Behörden.

„Neben der mangelnden Wirtschaftlichkeit bei relativ geringen Windstärken sind die Genehmigungsverfahren der zweite Knackpunkt. Sobald die Schwelle der Verfahrens- oder Genehmigungsfreistellung überschritten wird, wird es aufwendig und undurchsichtig. Oft wissen die Genehmigungsbehörden nicht, wie sie mit den Anfragen umgehen sollen und sind deshalb erstmal sehr vorsichtig und zögerlich.“ (Exp.)

„Ein realistisches Bild über Kleinwindkraft in Politik und Verwaltung ist die Voraussetzung für bessere baurechtliche Rahmenbedingungen. Die Genehmigungspraxis muss sich stärker an klimapolitischen Vorgaben orientieren.“ (Patrick Jüttemann in E&M: 4).

Als weitere Hemmnisse auf staatlicher Seite kommen die fehlende Investitionsförderung und die niedrigen Einspeisevergütungen für den aus KWKA produzierten Strom hinzu. Neben fehlenden Marktanzreizprogrammen als externem Faktor müsste auf brancheninterner Seite laut befragten Expert:innen aber auch das Image der Kleinwindkraft verbessert werden. Am Markt gibt es „erhebliche Qualitätsunterschiede. Neben den vielen Herstellern qualitativ hochwertiger und effizienter Kleinwindkraftanlagen gibt es viele Anbieter mit fragwürdiger Technik“ (Jüttemann 2022: 12). Die Qualitätsunterschiede bei KWKA sind also sehr groß und auch die Ertrags- bzw. Amortisationsversprechen seitens einzelner Hersteller sind deutlich geschönt. Nicht selten wird mit Anlagen von schlechter Qualität und falschen Angaben bei den Kunden eine hohe Erwartung an den Ertrag geweckt, „die von der Realität weit entfernt ist und auch bei besten Windverhältnissen kaum erreicht werden kann“ (Exp.). Hinweise zu seriösen Anbietern mit den „besten Kleinwindkraftanlagen in Deutschland“ gibt der Kleinwind-Marktreport (Jüttemann 2023).

4.2 Potenziale durch eine höhere Marktdynamik

Bisher sind KWKA in Deutschland und im größten Teil Europas noch eine absolute Nische bei den Erneuerbaren Energien, wie auch die meisten befragten Expert:innen bestätigten. Laut diesen gibt es aber durchaus Chancen für eine größere Marktdynamik bei der Kleinwindkraft. Auf Grundlage der im letzten Kapitel geschilderten Herausforderungen für eine stärkere Markterschließung der Kleinwindkraft sind die Hebel hierfür, auf den Punkt gebracht von einem befragten Experten:

„Was braucht es, damit die Kleinwindkraft zukünftig eine größere Rolle spielt? Da sehe ich vor allem drei Hebel: Wir brauchen geringere Anschaffungskosten und Komplettangebote für die Anlagen, wir brauchen eine höhere Einspeisungsvergütung für Kleinwindstrom und wir brauchen einfachere Genehmigungsverfahren und aufgeschlossene Genehmigungsbehörden. Dann könnte die Kleinwindkraft durchstarten und ihren Beitrag für eine klimaneutrale Stromversorgung leisten.“ (Exp.)

Ein starker Hebel liegt in der Serienproduktion von stärker standardisierten Komponenten in höheren Stückzahlen und den damit erzielten Skaleneffekten, die gegebenenfalls mit einer Plattformstrategie erreicht werden (wie von einem befragten Experten vorgeschlagen).

„Keiner der Hersteller hat den Sprung in eine wirklich kostengünstige Serienproduktion von beispielsweise mehreren Tausend pro Jahr geschafft. Deshalb sind die Preise nach wie vor hoch. ... Weltweit gibt es in den ländlichen Regionen unzählige windreiche Standorte, wo sich Kleinwind lohnt. Für landwirtschaftliche und Kleingewerbebetriebe, die im Außenbereich liegen, macht Kleinwind für die Eigenstromversorgung wirklich Sinn – vor allem in Kombination mit Photovoltaikanlagen. Und auch für die ständig wachsende Zahl von Elektrofahrzeugen bieten sich Kleinwindanlagen als Stromquellen an. Lassen Sie die Kleinwindanlagen ein Drittel preiswerter werden und setzen Sie sie in Kombination mit Solaranlagen und Speichereinheiten ein, dann sehe ich für zigtausend Kleinrotoren ein wirklich großes Potenzial.“ (Prof. Horst Crome im Interview, E&M, 15.06.2021)

Die in der Folge geringeren Anschaffungskosten für KWKA im Verbund mit technischen Verbesserungen und einem höheren Wirkungsgrad sowie mit staatlicher Investitionsförderung und höheren Einspeisevergütungen würden die Wirtschaftlichkeit von KWKA massiv erhöhen. Für eine höhere Marktdynamik müsste neben dem Faktor Wirtschaftlichkeit auch der Faktor Genehmigung durch einfachere Verfahren und aufgeschlossener (weil aufgeklärte und informierte) Behörden sowie der Faktor Angebotsqualität durch ein Qualitätssiegel für KWKA und dem Schutz vor falschen Versprechungen verbessert werden. Dann könnte aus der „Nische mit Wachstumspotenzialen“ tatsächlich ein größerer Markt für Kleinwindkraftanlagen in Deutschland mit Exportchancen ins europäische Ausland und darüber hinaus werden.

Voraussetzung für eine stärkere Markterschließung wäre also, dass die geschilderten Herausforderungen bewältigt werden und die Rahmenbedingungen positiv gestaltet werden. Bei unveränderten Rahmenbedingungen wird sich der Markt für KWKA in Deutschland „auch in Zukunft nur langsam weiterentwickeln. Den Treibern wie nationale und internationale Klimaziele, steigendes Umweltbewusstsein, Streben nach Unabhängigkeit werden immer wieder die Hindernisse wie Wirtschaftlichkeit, fehlende Förderungen, schwierige Genehmigungsverfahren, unterschiedliche Baugesetzgebung der Länder und mangelnder politischer Wille entgegenstehen“ (Gehling 2019: 35).

Potenziale für wirtschaftliche und ertragsstarke Kleinwindkraft werden insbesondere bei Anlagen mit einer Höhe ab rund 15 Metern und einer Nennleistung ab 5 Kilowatt gesehen. „Kleinere Anlagen sind heute eher ein Hobby oder eine Spielerei, da ist es kaum möglich, in die Wirtschaftlichkeit zu kommen“ (Exp.). Für solche Mini- und Mittelwindenergieanlagen in den Leistungsklassen ab 5 kW sehen mehrere befragte Expert:innen große Potenziale in den bundesweit 60.000 Gewerbegebieten und bei den 250.000 landwirtschaftlichen Betrieben, sofern diese in Lagen mit einer ausreichenden mittleren Windgeschwindigkeit ansässig sind. Weiteres Potenzial wird bspw. an Kläranlagenstandorten gesehen, für die der Bundesverband Kleinwindanlagen die Initiative „1.000 Kläranlagen mit Kleinwind“ gestartet hat.

„Es gibt noch eine Vielzahl guter Standorte, die sich für die Installation einer Kleinwindkraftanlage eignen. Alles in allem ist Optimismus angesagt: Wachstumspotenzial ist in Deutschland, Österreich und der Schweiz reichlich vorhanden. Die Nachfrage sowieso, denn viele Gebäudebesitzer wissen, dass für die maximale Autarkie nur die Windanlage im Herbst und Winter ausreichend Strom erzeugen kann.“ (Jüttemann 2020: 30)

Bereits Ende der 2000er Jahre wurden für die Kleinwindkraft große Marktpotenziale konstatiert: „Die Analysen ... zeigen: Die Installation und der Betrieb von KWKA in Deutschland können wirtschaftlich sein. Zusammen mit dem großen öffentlichen und medialen Interesse an KWKA ergibt sich ein großes Marktpotenzial“ (Bundesverband WindEnergie 2010: 14). Es wurde prognostiziert, dass der Zubau von KWKA in Deutschland in den 2010er Jahren signifikant ansteigen werde. Laut den befragten Experten stehen für die kommenden Jahre die Zeichen gut, dass das „Potenzial der Kleinwindkraft endlich zum Fliegen kommen könnte“ (Exp.) und die damals prognostizierte Entwicklung in den 2030er Jahren durch signifikante Zuwächse tatsächlich zur Realität werden.

„Mit der Energiekrise und den steigenden Strompreisen 2022 ist das Interesse an Kleinwindkraft sprunghaft angestiegen. Bei den Anfragen hatten wir locker eine Verzehnfachung. Aber bei den wenigsten kam es dann tatsächlich zur Umsetzung. Aber die Dynamik zieht an und ich sehe langfristig große Chancen.“ (Exp.)

Im Rahmen der vorliegenden Markteinschätzung kann keine quantitative Projektion oder Prognose geleistet werden und es können auch keine differenzierten Szenarien der Marktentwicklung erstellt werden. Angedeutet werden soll jedoch ein „Best-Case-Szenario“ für die 2030er Jahre: Werden die oben dargestellten Herausforderungen angegangen und die Hebel für eine höhere Marktdynamik umgesetzt, dann könnte Kleinwindkraft im nächsten Jahrzehnt – vor allem als Systemlösung mit Photovoltaik und Stromspeicherung – im Inland auf Stückzahlen von jährlich gut 1.000 KWKA kommen und unter Nutzung von Exportchancen bei Komponenten und kompletten Anlagen diese Anzahl noch deutlich erhöhen. Der jährliche Produktionswert für Hersteller von KWKA in Deutschland könnte damit in einem (vorläufigen) „Best-Case-Szenario“ für die 2030er Jahre einen Betrag in der Spanne von 50 bis 100 Mio. Euro erreichen. Neben dieser wirtschaftlichen Chance ist der Beitrag von KWKA für eine klimaneutrale Energieversorgung und den Klimaschutz nicht außer Acht zu lassen.

Alles in allem liegen die Zukunftschancen für die Kleinwindkraft vor allem bei Komplett- und Lösungsangeboten mit hohem Eigenverbrauch des erzeugten Stroms in Kombination mit Hybridanlagen aus Photovoltaik, Kleinwindkraft und Stromspeicherung. Hierbei ist auch die Verknüpfung von Mikro- und Miniwindkraftanlagen mit Wärmepumpen zu beachten. Der perfekte Partner für die Wärmepumpe als Heizungstechnik der Zukunft ist die KWKA, die vor allem im windstarken Herbst und Winter Strom erzeugt. „Der Windstrom ist dann verfügbar, wenn der Bedarf der Wärmepumpe am größten ist“ (Jüttemann 2023: 9). Weitere Potenziale werden von befragten Expert:innen bei größeren KWKA mit bis zu 250 kW für Gewerbe an windstarken Standorten gesehen.

5. Unternehmenslandschaft und Wettbewerb in der Kleinwindkraftbranche

Zum Einstieg wird ein Blick auf Unternehmen der Kleinwindkraft in der Europäischen Metropolregion Nürnberg geworfen. Durch zahlreiche Unternehmen im Bereich Elektro/Elektronik, Mess- und Regeltechnik sowie Metallverarbeitung gibt es in der Region Potenziale für die Produktion von Komponenten für KWKA. Als Hersteller am Kleinwindkraftmarkt gibt es in der Region lediglich zwei Kleinbetriebe:

- Loosen Windkraft in Freystadt (Landkreis Neumarkt in der Oberpfalz), die für Anlagen von Falcon und Tuge Planung, Verkauf, Montage und Service übernehmen, aber auch eine Eigenentwicklung einer KWKA mit 3,3 Kilowatt an den Markt bringen (Prototypen stehen bereits in Erlangen und im Donauries).
- Bach Energiesysteme in Haundorf (Landkreis Weißenburg-Gunzenhausen), die autarke Off-Grid-Systeme (die Eigenentwicklung des Hybridsystems „Multigenerator“) und Windgeneratoren mit 400/600 Watt (Markenname „Shark“) für Segelboote und Hütten anbieten (vgl. Jüttemann 2023: 183-186).
- Nicht mehr am Markt ist NeoVenti aus Diespeck (Landkreis Neustadt an der Aisch), ein 2016 gegründeter Hersteller von Windwalzen mit 1,5 kW in Kombination mit Solarmodulen, die an Dachkanten Strom erzeugen. NeoVenti ging vor einigen Jahren in Insolvenz und wurde 2022 liquidiert.

Doch nun ein Blick auf die Branche in Deutschland und darüber hinaus: Der Wettbewerb in der Kleinwindkraftbranche ist von einer Vielzahl von kleinen und mittleren Herstellern und Anbietern geprägt. Weltweit kann man von deutlich mehr als 300 Herstellern ausgehen, die „unzählige einzelne Windradtypen mit unterschiedlichen Bauformen anbieten. Dazu eine hohe Marktdynamik, neue Anbieter kommen, andere verlassen den Markt“ (Jüttemann 2023: 12). Die hohe Anzahl von Herstellern mit sehr unterschiedlichen Konzepten der Anlagentechnik „zeichnet ein Bild eines unübersichtlichen, noch nicht bereinigten Angebotsmarktes“ (Gehling 2019: 9).

Genauere Angaben zur Anzahl der KWKA-Hersteller gibt es nur für das Jahr 2012 aus einer weltweiten Marktuntersuchung des Windenergie-Weltverbands WWEA. Weltweit gab es demnach 334 Hersteller, die meisten kamen aus den USA (58), gefolgt von China (57) und auf dem dritten Rang lag Deutschland mit 27 KWKA-Herstellern (Gehling 2019). Vor allem in China dürfte sich die Zahl der Hersteller seither erhöht haben. Viele dieser chinesischen Hersteller sind bisher auf den Inlandsmarkt und Mikrowindanlagen fokussiert, bieten ihre Produkte aber auch vermehrt in Onlineshops wie Temu weltweit an. In Asien und Afrika führt kaum mehr ein Weg an chinesischen Herstellern vorbei, so

ein befragter Experte. In Deutschland sind im Leistungsbereich ab 1,5 kW bisher kaum KWKA aus China installiert worden.

Deutschland liegt auf dem dritten Rang, obwohl es „nie zu den Boom-Märkten für Kleinwindanlagen gehört hat“ (Gehling 2019: 7). Die hohe Anzahl an deutschen Herstellern ist mit auf die Exporterfolge mancher Anbieter zurückzuführen. Als exportierende Unternehmen wurden unter anderem Aircraft, Lely Aircon (heute BestWatt), Braun Windturbinen, Superwind und Heyde Windtechnik genannt. Auch heute noch zeigen Marktübersichten und die Auswertung des Marktstammdatenregisters (Fachagentur Wind und Solar 2024), dass es eine Vielzahl von Herstellern gibt, die „sich zumeist auf eine oder maximal zwei Leistungskategorien konzentrieren“ (Team für Technik 2022: 32).

Mit dem Angebotsmarkt heterogener Hersteller bei der Kleinwindkraft sind auch große Unterschiede bei der Anlagenqualität verbunden. Eine interessante Differenzierung der Anbieter von KWKA wurde in einem WWEA-Webinar Ende Oktober 2024 vorgestellt: Demnach können die Wettbewerber am Kleinwindmarkt differenziert werden in (vgl. Ogg 2024: 6):

- Hersteller mit Erfolgsbilanz und mit gut erprobten, geprüften bzw. zertifizierten Kleinwindkraftanlagen.
- Anbieter von Do-it-Yourself-Mikrowindanlagen, die teilweise mit Erfolg am Markt agieren.
- Startups im ernsthaften Erprobungs-, Prüfungs- oder Zertifizierungsprozess, die auf dem Weg zum erfolgreichen Marktteilnehmer sind.
- Startups und Anbieter von „Marketing Turbines“, auf Investorensuche mit Märchengeschichten („tell tales“) und wirtschaftlichen Vorteilen, die nur auf dem Papier stehen und der Realität nicht standhalten („theoretical gains“), häufig auch ohne echte Pilotanlagen.

Letztere wurden von einem befragten Experten als „Scharlatane, die viel versprechen und wenig halten“ (Exp.) bezeichnet. Vor allem bei Mikrowindkraftanlagen mit einer Leistung bis 1,5 kW gibt es „seit jeher Probleme mit mangelhafter Technik und unseriösen Anbietern“ (Jüttemann 2023: 12). Oftmals handelt es sich hier um Anlagen, die über Onlineshops und Plattformen wie Alibaba, Amazon, Ebay oder Temu aus der ganzen Welt bezogen werden können. Von solchen Käufen muss abgeraten werden: „Nicht nur, weil eine Montage auf dem Dach dem Haus schaden kann; sondern auch, weil die versprochenen Maximalleistungen meist nicht erreicht werden – im Binnenland schon gar nicht“ (www.tagesschau.de). Solch zweifelhafte Angebote von Mikrowindanlagen mit

mangelhafter Technik und überzogenen Ertragsversprechen gibt es nicht nur aus Fernost, sondern vereinzelt auch von Anbietern aus Europa und Deutschland.⁵

Umso wichtiger ist ein Marktreport mit einer Auswahl von erprobten KWKA in allen Leistungsklassen. Im Kleinwind-Marktreport, der 2023 in der achten Auflage erschien, werden die „besten Kleinwindkraftanlagen in Deutschland“ (Jüttemann 2023) vorgestellt und die wichtigsten seriösen Hersteller von KWKA portraitiert. Empfehlenswerte Hersteller für „erprobte Kleinwindanlagen, ... die dem Stand der Technik folgen: Kleinwindkraftanlagen mit horizontaler Rotorachse“ (Jüttemann 2020: 182) sind laut Kleinwind-Marktreport 2023 beispielsweise: Aircraft (Gödecke), BestWatt, Braun Antaris, EasyWind, Falcon 40 (Weinack), Heywind (Heyde), PSW, Solutions4Energy, Spreco Shark, Superwind, S&W, Windtechnik Nord (vgl. Jüttemann 2023).

Insgesamt ist die Kleinwindkraftbranche geprägt durch einen „sehr unübersichtlichen Markt, aufgrund der weltweit vielen Anbieter“ (Jüttemann 2023: 7). Es gibt große Unterschiede bei der Qualität der KWKA – eine wesentliche Funktion des Kleinwind-Marktreports ist deshalb, die Leser:innen über die Produktqualität und über Schlüsselfaktoren der Wirtschaftlichkeit aufzuklären, damit sie eine Fehlinvestition in fragwürdige Anlagentechnik vermeiden können.

Der Vergleich von Kleinwindkraft mit Photovoltaik ist aufschlussreich. Im Bereich Kleinwind sind die Hersteller in der Regel kleine Unternehmen, die nur eine geringe Stückzahl von KWKA jährlich produzieren und verkaufen. Die Produktion ist in erster Linie von Montage zugekaufter Komponenten geprägt, es muss eher von Manufakturen oder Garagenfertigungen als von Fabriken gesprochen werden. Bei kleinen Stückzahlen sind die Stückkosten entsprechend höher, wie in Kapitel 3.1 beschrieben können kaum Skaleneffekte genutzt werden. Dies gilt auch für die Komponenten, die in kleinen Stückzahlen und damit zu in der Regel relativ hohen Preisen zugekauft werden müssen. In der Nischenbranche Kleinwindkraft hat – im Gegensatz zur Photovoltaikbranche – noch keine Marktbereinigung stattgefunden. „Es gibt unzählige Hersteller von Kleinwindanlagen mit unterschiedlichstem Anlagendesign. Darunter einfache und nicht sturmsichere Billigware“ (Jüttemann 2020: 29). Es gibt also nicht nur sehr viele Anbieter, sondern auch erhebliche Unterschiede bei KWKA in puncto Marktreife, Qualität und Effizienz.

⁵ Interessenten für den Kauf von Mikrowindanlagen ist zu empfehlen, sich in fachbezogenen Internetforen und Bewertungsportalen umfassend zu informieren bzw. den Marktbericht von Patrick Jüttemann (2023) zu Rate zu ziehen.

In der Photovoltaikbranche hat eine solche Marktberreinigung in den ersten zwei Jahrzehnten dieses Jahrhunderts stattgefunden. In der „reifen“ Branche Photovoltaik gibt es große Anbieter von Komplettanlagen und große Produzenten von Komponenten mit Massenfertigung, günstigen Stückkosten und guter Produktqualität.

„Wer sich heute eine Photovoltaikanlage aufs Dach bauen will, der muss sich wenig Gedanken um die Qualität der Technik machen. Bei der Photovoltaik handelt es sich um eine reife Branche, in der wenige große Hersteller übrig geblieben sind. Komponenten wie Solarmodule und Wechselrichter werden in Massenfertigung hergestellt.“ (Jüttemann 2023: 12)

Vor zwanzig Jahren noch galt die Photovoltaik als teure, wenn nicht sogar teuerste Form der Stromerzeugung mittels erneuerbarer Energien. Durch starke Kostensenkungen der Anlagenkomponenten und Innovationen für eine Erhöhung des Wirkungsgrads gilt dies seit den 2010er Jahren nicht mehr. Die Stromgestehungskosten sind seither deutlich gesunken und inzwischen gilt Photovoltaik laut dem World Energy Outlook 2022 der Internationalen Energieagentur als günstigste Form der Stromerzeugung.

Eine Konsolidierung der Kleinwindkraftbranche bzw. ein Markteinstieg größerer Unternehmen könnte eine Chance für eine Kostenreduktion durch Serienfertigung und damit für den Marktdurchbruch der Kleinwindkraft sein. Als Wege wären laut befragten Expert:innen sowohl der Einstieg in das Systemgeschäft mit Komplettlösungen aus einer Hand möglich (Kombination PV, KWKA, Speicher), als auch der Einstieg in eine standardisierte Fertigung von Komponenten für die Windkraftbranche. Hier könnten spezifische Kompetenzen von Automobilzulieferern in Metall/Mechanik und in Elektro/Elektronik bzw. in mechatronischen Lösungen zum Zuge kommen. Neben der Standardisierung und Modularisierung wird von einem befragten Experten explizit eine Plattformstrategie für Windkraftanlagen gefordert – analog zu den stückzahlsteigernden und kostensenkenden Plattformstrategien der Automobilindustrie. „Da könnte schon eine Dynamik entstehen, wenn ein Industriekonzern rangeht, den Markt mit einem Komplettangebot von Planung, Bau und Service erschließt und damit höhere Stückzahlen erreicht“ (Exp.).

6. Zusammenfassung

Kleinwindkraftanlagen – ein Nischenmarkt mit Wachstumspotenzialen. So lässt sich die IMU-Markteinschätzung auf den Punkt bringen. Stand heute sind KWKA wenig verbreitet, für Deutschland ist in der Leistungsklasse ab 1,5 kW von rund 4.500 Windkraftanlagen mit einer installierten Nennleistung von insgesamt maximal 45 MW auszugehen. Bei einem jährlichen Zuwachs von rund 120 KWKA liegt das monetäre Marktvolumen für schlüsselfertige Anlagen – Stand 2025 – bei jährlich 8,4 Millionen Euro in Deutschland, in Europa liegt es bei rund 70 Millionen Euro.

Der Wettbewerb ist in der Kleinwindkraftbranche von einer Vielzahl kleiner und mittlerer Hersteller und Anbieter geprägt. In Deutschland sind dies meist kleine Unternehmen, die nur eine geringe Stückzahl von KWKA jährlich produzieren und verkaufen. Die Produktion ist in erster Linie von der Montage zugekaufter Komponenten geprägt, es muss eher von Manufakturen oder Garagenfertigungen als von Fabriken gesprochen werden.

Bisher ist der Markt rund um Kleinwindkraftanlagen klein und überschaubar. Ein Nischenmarkt, der jedoch durchaus über Wachstumspotenziale verfügt, sofern branchenspezifische Hemmnisse überwunden und die Herausforderungen angegangen werden. Wachstumspotenziale für die Kleinwindbranche in Deutschland gibt es sowohl am Inlandsmarkt wie auch für den Export in Europa und darüber hinaus.

Ein starker Push-Faktor für Kleinwindkraft liegt in der Verbesserung der Wirtschaftlichkeit von KWKA. Ein Hebel für die Senkung der Anschaffungskosten wäre beispielsweise die Produktion höherer Stückzahlen bei den Komponenten für KWKA und eine Serienfertigung der Anlagen. Dies würde eine Standardisierung und Modularisierung von Bauteilen wie Generatoren, Wechselrichtern und Steuerungseinheiten voraussetzen, ebenso wie Rotorblattfamilien und einfacher aufbaubare Masten. Die in der Folge geringeren Anschaffungskosten für KWKA im Verbund mit technischen Verbesserungen und einem höheren Wirkungsgrad sowie mit staatlicher Investitionsförderung und höheren Einspeisevergütungen würden die Wirtschaftlichkeit von KWKA massiv erhöhen.

Für eine höhere Marktdynamik müsste neben dem Faktor Wirtschaftlichkeit auch der Faktor Genehmigung durch einfachere Verfahren und aufgeschlossenerer (weil aufgeklärte und informierte) Behörden sowie der Faktor Angebotsqualität durch ein Qualitätssiegel für KWKA und dem Schutz vor falschen Versprechungen verbessert werden. Zudem könnten Komplettlösungen von der Planung bis zum Service sowie Hybridlösungen mit einem kombinierten Angebot von Kleinwindkraft, Photovoltaik und Stromspeicherung für eine zukünftig stärkere Marktdurchdringung von KWKA sorgen. Alles

zusammen genommen könnte aus der „Nische mit Wachstumspotenzialen“ tatsächlich ein größerer Markt für Kleinwindkraftanlagen in Deutschland mit Exportchancen ins europäische Ausland und darüber hinaus werden.

Potenziale für wirtschaftliche und ertragsstarke Kleinwindkraft werden insbesondere bei Anlagen mit einer Höhe ab rund 15 Metern und einer Nennleistung ab 5 Kilowatt ausgemacht. Unter der Prämisse „ausreichende mittlere Windgeschwindigkeit von mehr als 4 m/s“ sehen mehrere befragte Expert:innen große Potenziale für solche Mini- und Mittelwindenergieanlagen in den Leistungsklassen ab 5 kW in den bundesweit 60.000 Gewerbegebieten, bei den 250.000 landwirtschaftlichen Betrieben und an weiteren Infrastrukturstandorten.

In einem „Best-Case-Szenario“ für die 2030er Jahre könnte Kleinwindkraft – vor allem als Systemlösung mit Photovoltaik und Stromspeicherung – im Inland Stückzahlen von jährlich gut 1.000 KWKA erreichen und unter Nutzung von Exportchancen bei Komponenten und kompletten Anlagen diese Anzahl noch deutlich erhöhen. Der jährliche Produktionswert für Hersteller von KWKA in Deutschland könnte damit in einem (vorläufigen) „Best-Case-Szenario“ für die 2030er Jahre bei einem Betrag in der Spanne zwischen 50 bis 100 Mio. Euro liegen. Neben dieser wirtschaftlichen Chance ist der Beitrag von KWKA für eine klimaneutrale Energieversorgung und den Klimaschutz nicht außer Acht zu lassen.

7. Literaturverzeichnis

Bianchini, Alessandro; Bangga, Galih; Baring-Gould, Ian, Croce, Alessandro; Cruz, Jose et al. (2022): Current status and grand challenges for small wind turbine technology. In: *Wind Energy Science*, 7, S. 2003-2037.

Bundesverband WindEnergie (2010): *Wirtschaftlichkeit und Vergütung von Kleinwindenergieanlagen*. Berlin.

Bundesverband WindEnergie (2011): *Qualitätssicherung im Sektor der Kleinwindenergieanlagen*. Berlin.

C.A.R.M.E.N. – Centrales Agrar-Rohstoff Marketing- und Energie-Netzwerk e. V. (2023): *Kleinwindenergieanlagen. Hintergrundinformationen und Handlungsempfehlungen*. Team Energiewende Bayern. Straubing.

Deutscher Bundestag (2024): *Sachverständige blicken mit Sorge auf Lage der deutschen Autobauer. Anhörung „Unsere Automobilindustrie braucht eine Zukunft“ im Wirtschaftsausschuss am 13.11.2024*. Berlin.

Dispan, Jürgen; Frieske Benjamin (2021): *Betrieblicher Wandel bei Automobilzulieferern durch Elektromobilität. Exemplarische Analyse von Kfz-Zulieferern in Baden-Württemberg und Bayern*. Düsseldorf (= Working Paper der Hans-Böckler-Stiftung, Nr. 234/2021).

Dispan, Jürgen; Koch, Andreas; König, Tobias; Seibold, Bettina (2023): *Strukturbericht Region Stuttgart 2023. Entwicklung von Wirtschaft und Beschäftigung. Resilienz der regionalen Wirtschaft vor dem Hintergrund von Krisen und Transformation*. Stuttgart.

E-mobil BW (2023). *Strukturstudie 2023. Transformation der Automobil- und Nutzfahrzeugindustrie in Baden-Württemberg durch Elektrifizierung, Digitalisierung und Automatisierung*. Stuttgart.

Energie & Management (2020): *Kleinwind-Journal. Das Magazin für Mikro- und Medium-Windenergieanlagen*. E&M-special, 1.09.2020. Herrsching.

Fachagentur Wind und Solar (2024): *Marktstammdatenregister. Auswertungsstand 26.11.2024 (Excel-Tabelle)*. Berlin.

Gehling, Matthias (2019): *Installierte Leistung, Stromerzeugung und Marktentwicklung von Kleinwindanlagen in Deutschland*. Stuttgart.

Haumer, Alexander; Wonisch, Patrik; Jaksch-Fliegenschnee, Martin (2024): Innovative Energietechnologien in Österreich. Marktentwicklung 2023. Technologiereport Windkraft. Wien.

Hirschl, Alexander; Österreicher, Daniel; Aeikens, Elke (2022): Kleinwindreport Österreich 2022. Dezentrale Windenergie in Österreich. Wien.

Hirschl-Schmol, Alexander; Österreicher, Daniel (2023): Integration dezentraler Windkraftanlagen in ein Gesamtenergiesystem. IEA Windenergie Task 41. Wien.

Jüttemann, Patrick (2020): Kleinwindkraft für Gewerbe und Privat. Planung, Technik, Markt. Bad Honnef.

Jüttemann, Patrick (2022): Wegweiser Kleinwindkraft. Bad Honnef.

Jüttemann, Patrick (2023): Kleinwind-Marktreport. Die besten Kleinwindkraftanlagen in Deutschland. Version 8.0. Bad Honnef.

Kragl, Vera (2023): Technik und Wirtschaftlichkeit von Kleinwindanlagen (Vortragsfolien vom 28.01.2023). Straubing.

Kragl, Vera (2024): Kleinwindenergie in der Landwirtschaft (Vortragsfolien vom C.A.R.M.E.N.-Webinar am 27.11.2024). Straubing.

Ludwig, Thorsten; Timm, Stefan; Cordes, Stephan; Schwieger, Filiz (2023): Branchenanalyse Windindustrie. Perspektiven vor dem Hintergrund von Globalisierung, Energiewende und Digitalisierung. Düsseldorf (= Hans-Böckler-Stiftung, Working Paper Forschungsförderung, Nr. 273).

Ogg, Frits (2024): Small and medium wind turbines today (Vortragsfolien vom WWEA-Webinar am 29.10.2024). Nijmegen.

Pacific Northwest National Laboratory (2024): Distributed Wind Market Report. 2024 Edition. Richland.

Team für Technik (2022): Potenzialstudie Kleinwindkraftanlagen auf Münchner Gebäuden. München.

Internetquellen (letzter Abruf jeweils 17.01.2025):

Automobilwoche, Bosch bis ZF: Welche Werke schließen, wie viele Jobs in Gefahr sind:

www.automobilwoche.de/automobilzulieferer/bosch-bis-zf-welche-werke-schliessen-wie-viele-jobs-gefahr-sind

Bundesverband Kleinwindanlagen BVKW e.V., Berlin: www.bundesverband-kleinwindanlagen.de

Interessengemeinschaft Windkraft Österreich, St. Pölten: www.kleinwindkraft.at

Kleinwindkraft-Portal, Bad Honnef: www.klein-windkraftanlagen.com

Neue Geschäftsfelder, Projekt transform_EMN, Nürnberg: www.transform-emn.de/services/neue-geschaeftsfelder/

Pro Wind Zürich: www.pro-wind-zh.ch/kleinwindkraft/

Tagesschau, ein Windrad im eigenen Garten: www.tagesschau.de/wirtschaft/energie/windrad-garten-kleinwindkraft-100.html

Transformation als Chance begreifen, Projekt transform_EMN, Nürnberg: www.transform-emn.de/projekt/

Update Klima & Energie (Podcast), Kleinwind – wo liegen seine Stärken? www.podcast.de/episode/643185002/kleinwind-wo-liegen-seine-staerken-im-gespraech-mit-klaus-dieter-balke-bvkw

Verband Kleinwind, Schweizer Dachorganisation für Kleinwindanlagen, Sins: www.smallwindenergy.ch

Verbraucherzentrale Bundesverband, Berlin – „Kleinwindkraftanlagen: Das sollten Sie wissen“: www.verbraucherzentrale.de/wissen/energie/erneuerbare-energien/kleinwindkraftanlagen-das-sollten-sie-wissen-10857

