

GWS DISCUSSION PAPER 2015 / 04

Betrieb und Wartung von Anlagen zur Nutzung von erneuerbaren Energien

- Kosten und Struktur in der Literatur

Ines Thobe

Ulrike Lehr

Dietmar Edler (DIW)

Impressum

AUTOREN

Ines Thobe

Tel: +49 (541) 40933-291, Email: thobe@gws-os.com

Dr. Ulrike Lehr

Tel: +49 (541) 40933-280, Email: lehr@gws-os.com

Dr. Dietmar Edler

Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung e. V. (DIW Berlin)

Mohrenstraße 58, 10117 Berlin, Email: dedler@diw.de

TITEL

Betrieb und Wartung von Anlagen zur Nutzung von erneuerbaren Energien - Kosten und Struktur in der Literatur

VERÖFFENTLICHUNGSDATUM

© GWS mbH Osnabrück, Juli 2015

HAFTUNGSAUSSCHLUSS

Die in diesem Papier vertretenen Auffassungen liegen ausschließlich in der Verantwortung des Verfassers/der Verfasser und spiegeln nicht notwendigerweise die Meinung der GWS mbH wider.

FÖRDERHINWEIS

Die Ergebnisse wurden im Rahmen eines durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie geförderten Forschungsprojekts erarbeitet.

HERAUSGEBER DER GWS DISCUSSION PAPER SERIES

Gesellschaft für Wirtschaftliche Strukturforschung mbH

Heinrichstr. 30

49080 Osnabrück

ISSN 1867-7290

Das Discussion Paper im Überblick

1	Einleitung	1
2	Die Datenlage in den zugänglichen Quellen	2
3	Differenzierung der Betriebs- und Wartungskosten	5
4	Kostenentwicklung	7
5	Die Expertenbefragung – Aufbau und Ergebnisse	7
6	Fazit	12
	Literaturverzeichnis	14

1 EINLEITUNG

Für die Untersuchung der wirtschaftlichen Effekte des Ausbaus erneuerbarer Energien ist nicht nur eine Betrachtung der Herstellung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien relevant. Mit einem wachsenden Bestand an Anlagen gewinnen auch die Bereiche Betrieb und Wartung an Bedeutung. Somit steigt gleichsam die Relevanz, genauere Informationen über die Kosten für Betrieb und Wartung zu erhalten. Im Rahmen des Forschungsvorhabens „Beschäftigung durch erneuerbare Energien in Deutschland – Ausbau und Betrieb – heute und morgen“ werden vielfältige Aspekte der Fragestellung untersucht. Bereits seit 2004 wird im Rahmen dieser Studie und ihrer Vorläufer (vgl. Lehr et al. 2015, Lehr et al. 2011, Staiß et al. 2006) auf Basis einer umfangreichen Unternehmensbefragung bei den Herstellern von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien (im Folgenden EE-Anlagen oder EE-Technologien) eine Datenbasis erstellt, mit deren Hilfe die Kostenstruktur bei der Herstellung dieser Anlagen ermittelt werden kann. Dadurch können die relevanten Vorleistungen für die Herstellung von EE-Anlagen abgebildet werden. Nur so lassen sich Abschätzungen der gesamten Bruttobeschäftigung durch den Ausbau erneuerbarer Energien durchführen. Während diese Struktur und die Kosten des Ausbaus mittlerweile gut dokumentiert sind, wurde der Bereich Betrieb und Wartung der Anlagen bislang nicht systematisch und umfassend untersucht.

Die nachfolgenden Überlegungen sind das Ergebnis einer Literaturrecherche zur Höhe und Zusammensetzung der Kosten von Betrieb und Wartung. Sie bilden den Hintergrund einer Expertenbefragung zu Höhe und Struktur der Betriebs- und Wartungskosten, auf die am Ende des Beitrags kurz eingegangen wird. Beides fließt sowohl in die Abschätzung der Bruttobeschäftigung durch erneuerbare Energien als auch in die Berechnung der Nettowirkungen ein.

In der Literatur liegen bereits erste Schätzungen der Kosten für Betrieb und Wartung vor, diese umfassen allerdings oftmals eine weite Bandbreite. Beispielsweise führen Krüger und Bartholl aus, dass die Kosten für die Wartung eines Onshore-Windparks einen Anteil von 10% bis 15% der gesamten Stromerzeugungskosten ausmachen (vgl. ebd. 2012). Solche Angaben können als Anhaltspunkte für Abschätzungen dienen, sie erlauben jedoch keine detaillierteren Berechnungen, da insbesondere die Zusammensetzung der Kosten unbekannt bleibt. Diese ist aber für die Untersuchung der Auswirkungen auf die Wirtschaftsstruktur von großer Bedeutung.

Ein tieferer Blick in die Literatur zeigt schnell Grenzen auf. Detaillierte Daten zu Energiekennzahlen, wie der installierten Leistung von erneuerbaren Energien, sind vielfach in ausführlichen Zusammenstellungen zu finden (s. z.B. BMWI 2012, BMU 2011a, 2012 (Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik (AGEE-Stat)), Bundesnetzagentur 2012). Auch die Verbände der verschiedenen Technologien stellen spezifische Informationen, wie den Bestand an Anlagen, bereit (s. Fachverband Biogas (www.biogas.org), Bundesverband WindEnergie e.V (BWE) (www.wind-energie.de), etc.). Jedoch insbesondere im zunehmend wichtiger werdenden Bereich des Betriebs und der Wartung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien ist die Datenbasis derzeit lückenhaft. Diese Lücke ist al-

lein mit einer Literaturrecherche nicht zu schließen. Eine Literaturrecherche kann aber dazu genutzt werden, die Ergebnisse aus einer eigenen Datenerhebung – soweit möglich – abzugleichen und zu evaluieren.

Im Folgenden findet sich daher eine Zusammenstellung von Informationen über die Datenlage von Betriebs- und Wartungskosten von Anlagen zur regenerativen Energieerzeugung in zugänglichen Quellen. Abschnitt 2 stellt in der Literatur genannte Kosten für Betrieb und Wartung und die Lebensdauer nach Technologie heraus, Abschnitt 3 geht auf die Differenzierung der Betriebs- und Wartungskosten ein und Abschnitt 4 gibt schließlich einen Einblick in künftige Kostenentwicklungen. Abschnitt 5 gibt einen kurzen Überblick über den Aufbau der Experteninterviews und ihre Ergebnisse und Abschnitt 6 schließt das Paper mit einem Fazit ab.

2 DIE DATENLAGE IN DEN ZUGÄNGLICHEN QUELLEN

Im Folgenden werden veröffentlichte Informationen über die Kosten von Betrieb und Wartung für Anlagen zur Nutzung von erneuerbaren Energien zusammengeführt dargestellt. Darauf aufbauend kann schließlich eine Einordnung, bzw. ein Abgleich, sowohl der bisher verwendeten Datenbasis (vgl. Lehr et al. 2011) als auch der Erkenntnisse aus der eigenen Datenerhebung erfolgen.

Veröffentlichte Wirtschaftlichkeitsberechnungen für Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien und auch Studien über Stromgestehungskosten können Anhaltspunkte über Kosten für Betrieb und Wartung liefern. Jedoch sind hier die Informationen nicht systematisiert und verschiedene Abgrenzungen bzw. Berechnungsgrundlagen der Größen erlauben nur einen rudimentären Vergleich.

Entsprechende Kennzahlen decken vornehmlich folgende Informationen ab:

- Betriebskosten (meist als prozentualer Anteil der Investition oder bezogen auf die installierte elektrische Leistung)
- Investitionskosten (meist Neubau)
- Personalkosten
- Finanzierung (Anteile - Eigen- und Fremdkapital)
- Zinssatz

Ferner wird auch die Lebensdauer der Anlage bzw. der Anlagenteile ausgewiesen, die für die betriebswirtschaftlichen Berechnungen von großer Bedeutung ist.

Im Entwurf des EEG-Erfahrungsberichtes 2011 sind Anhaltspunkte über Kosten für Betrieb und Wartung vereinzelt vorzufinden. Einen Einblick in die Kostenstruktur gewährt hier die Darstellung der Hauptparameter für die Berechnung der Stromgestehungskosten für den Neubau und für die Modernisierung von **Wasserkraftanlagen**. Die Betriebskosten machen gemäß dieser Quelle je nach installierter Leistung 2,65% (bei 100 kW) bis 1,21% (50 MW) der Investitionen aus, die Personalkosten liegen bei 12 – 50 €/kW im Jahr. Interessant ist auch hier die zugrunde gelegte Lebensdauer, die unterteilt wird für bauliche

Anteile, die 70% der Anlage ausmachen und für maschinelle und elektrische Ausrüstung, die bei einem Anteil von 30% liegen. Für erstere wird von einer Lebensdauer von 60 Jahren, für letztere von 30 Jahren ausgegangen. Bei der Modernisierung der Anlagen werden für Betriebs- und Instandhaltungskosten 1,5 – 2,5% der Investitionssumme veranschlagt, bei einer durchschnittlichen Lebensdauer von 40 Jahren (vgl. BMU 2011b).

In ihrem Beitrag „Studie Stromgestehungskosten – Erneuerbare Energien“ legen Kost et al. die jährlichen Betriebskosten, als einen von mehreren Parametern, zu Berechnungen von Stromgestehungskosten zugrunde (vgl. ebd. 2012). Sie gehen bei kleinen und großen **Photovoltaikanlagen** von jährlichen Betriebskosten in Höhe von 30 €/kWp bei einer Betriebsdauer von 25 Jahren aus (vgl. ebd. 2012). Einen Anteil von 2% der Investitionskosten veranschlagen Peter et al. als fixe Betriebskosten sowohl für Photovoltaikdachsysteme als auch für solare Freiflächenanlagen in ihrer Studie über die Entwicklung der Kosten für die Stromproduktion durch erneuerbare Energieerzeugungstechnologien (ebd. 2013). Angesichts des in letzter Zeit zu beobachtenden starken Verfalls bei den Photovoltaikanlagenpreisen erscheint eine Kalkulation, gemessen an der elektrischen Leistung, geeigneter als an den Investitionskosten. Das folgende Rechenbeispiel veranschaulicht diese Einschätzung: Betragen die Betriebskosten für PV-Anlagen 1% der Investitionssumme jährlich (vgl. Lehr et al. 2011), so deckt sich das mit den 30 €/kWp bei Anlagenpreisen in Höhe von 3.000 €/kWp. Liegen die Preise darunter, so wie es aktuell der Fall ist (1.702 €/kWp (BSW 2012)), sind die Betriebskosten bei einem höheren Anteil der Investitionskosten anzusetzen. Für die Zukunft erscheint es daher sinnvoll, die Kosten auf die installierte Leistung zu beziehen. Allerdings unterliegen natürlich auch die Betriebskosten einer Lernkurve (vgl. Abschnitt 4), jedoch scheinen die Preise hier etwas stabiler zu sein. Betrachtet man die Überproduktionen bei Solarmodulen als einen wesentlichen Faktor bei den Preissenkungen der letzten Jahre, so wird der Unterschied zu Ausgaben für Betrieb und Wartung deutlich. Hier werden Kleinteile ausgetauscht und Wartungsarbeiten vorgenommen, aber große Skaleneffekte sind nicht zu erwarten. Sind jedoch größere Bauteile zu ersetzen, greift automatisch die Marktentwicklung für eben diese Teile – zuletzt beobachtbar auf dem Markt für Wechselrichter.

Tieferegehende Angaben zu den Betriebs- und Wartungskosten sind für diese Technologie allerdings rar, was vermutlich zum einen darin begründet liegt, dass der Wartungsaufwand insbesondere bei kleineren neuen Anlagen eher gering ist, und zum anderen die konkreten Kosten stark von den jeweiligen lokalen Erfordernissen und den vertraglichen Vereinbarungen abhängen (vgl. Dena 2012c).

Bei **Onshore-Windanlagen** haben Kost et al. Betriebskosten in Höhe von 0,015 €/kWh jährlich veranschlagt, bei **Wind Offshore** 0,03 €/kWh (vgl. ebd. 2012). Ähnlich hohe Kosten weisen auch andere Studien aus, wie etwa der Entwurf des EEG-Erfahrungsberichts 2011 (vgl. BMU 2011b, und Hobohm et al. 2013). Darüber hinaus kommen auch Krüger und Bartholl zu der Aussage, dass die Wartungskosten bei Offshore-Anlagen die im Onshore-Bereich um das zwei- bis vierfache übertreffen und beziffern diese im Onshore-Bereich mit 10-15% der gesamten Stromerzeugungskosten, bei Offshore-Anlagen werden 25% und mehr kalkuliert (vgl. Krüger, Bartholl 2012). Auch bei diesen Anlagen wird eine Lebensdauer von 20 Jahren erwartet (vgl. Dena 2012a). Eine Verlängerung der Lebensdauer um 5 Jahre bei regelmäßiger Wartung ist jedoch gemäß Hobohm et al. denkbar (ebd. 2013).

Ferner sind Wirtschaftlichkeitsberechnungen für Onshore-Windanlagen vergleichsweise einfach und häufig aufzufinden. Sie enthalten in der Regel Informationen über die Investitionskosten, Betriebskosten und die Erlöse.

In Relation zu den Investitionskosten einer Anlage gehen heutige Kalkulationen von Betriebs- und Wartungskosten von einer Höhe von 1,5% bis 2% pro Jahr aus (vgl. Dena 2012b), was sich bei einem derzeitigen Investitionsvolumen von 1.000 €/kW etwa mit der Angaben von Kost et al. deckt (s. ebd. 2012). Bei Anlagen mit einer geringeren installierten Leistung sind die Investitionskosten pro installierter Leistung mit bis zu 2.500 €/kW deutlich höher (vgl. Dena 2012b). In diesem Fall treffen die Angaben über die Betriebskosten aus dem Entwurf des Erfahrungsberichtes 2011 zum EEG zu, in dem etwas höhere jährliche Kosten pro kWh ausgewiesen werden (0,0219 €/ kWh für die ersten zehn Jahre einer Anlage und 0,0249 €/ kWh für weitere zehn Jahre) (vgl. BMU 2011b). Bei Windkraftanlagen wird in der Regel mit einer Lebensdauer von 20 Jahren gerechnet.

Auch für **Biogasanlagen** geben vor allem Wirtschaftlichkeitsberechnungen von Unternehmensberatern Informationen zur Kostenstruktur preis. In diesem Segment variieren die Größen vergleichsweise stark. Bereits die Spannweite bei den Investitionskosten beispielsweise liegt gemäß der Literatur zwischen ca. 2.000 und 6.000 €/kW. Bei einer höheren installierten Leistung lassen sich Skaleneffekte realisieren, entsprechend sind die Kosten je installierter Leistung dann geringer. Darüber hinaus werden sie vor allem vom eingesetzten Motorentyp und der Einbeziehung vorhandener Bausubstanz bestimmt (vgl. IWR o.J.). Auch die Lebensdauer ist für die einzelnen Komponenten unterschiedlich; für bauliche Teile liegen die Erwartungen bei mindestens 20 Jahren, für technische liegen sie zum Teil deutlich niedriger.

Angesichts der Vielfalt werden die Betriebskosten für Biogasanlagen in der verfügbaren Literatur relativ differenziert ausgewiesen; zugänglich sind daher auch tiefergehende Informationen zur Aufteilung der Kosten, auf die in einem folgenden Abschnitt gesondert eingegangen wird. Eine Quelle weist jährlich anfallende laufende Kosten für den Betrieb einer Biogasanlage von ca. 4,5% der Gesamtinvestitionskosten aus (vgl. Kistem o. J.).

Im Folgenden werden alle genannten Zahlen über die Kosten von Betrieb und Wartung sowie Lebensdauer der jeweiligen Technologie zur Übersicht in einer Tabelle zusammengefasst.

Tabelle 1: In der Literatur genannte Kosten für Betrieb und Wartung sowie Lebensdauer nach Technologie

Technologie	Angaben zu (jährlichen) Betriebs- und Wartungskosten	Lebensdauer der Anlage
Wasserkraft (Neubau)	1,21–2,65 % der Investitionskosten	Bauliche Anteile: 60 Jahre Maschinelle und elektrische Ausrüstung: 30 Jahre
Wasserkraft (Modernisierung)	1,5–2,5% der Investitionskosten	40 Jahre
Photovoltaik	30 €/kWp 2% der Investitionskosten	25 Jahre

Technologie	Angaben zu (jährlichen) Betriebs- und Wartungskosten	Lebensdauer der Anlage
Windkraft (Onshore)	1,5–3% der Investitionskosten 0,015 €/kWh 0,0219 €/kWh (Jahr 1-10) 0,0249 €/kWh (Jahr 11-20) 10–15% der gesamten Stromerzeugungskosten	20 Jahre
Windkraft (Offshore)	0,03 €/kWh 25% der gesamten Stromerzeugungskosten 0,0294–0,0304 €/kWh (Jahr 1-10) 0,0303–0,0368 €/kWh (Jahr 11-20) 0,032 €/kWh (2013) 0,022 €/kWh (Zukunft (2023))	20 Jahre
Biogas	4,5% der Investitionskosten	Bauliche Komponenten: mindestens 20 Jahre, technische weniger

Quellen: BMU 2011b; Kost et al. 2012; Dena 2012a, b; Krüger, Bartholl 2012; IWR Checkliste Biogas o.J.; Steiner 2009, Kistem o.J., Peter et al. 2013.

3 DIFFERENZIERUNG DER BETRIEBS- UND WARTUNGSKOSTEN

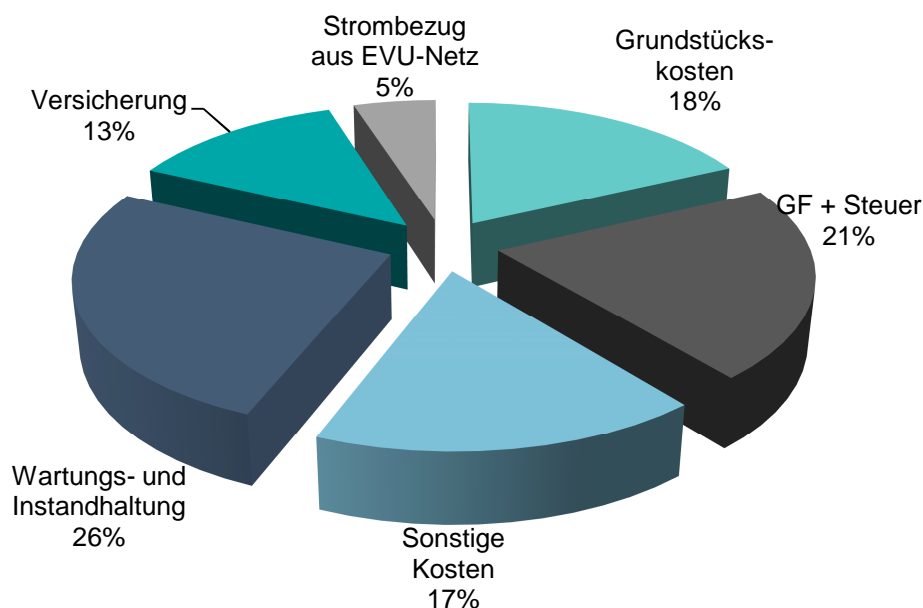
Wie die vorherigen Ausführungen zeigen, sind vereinzelt Informationen über die Höhe der Betriebs- und Wartungskosten von erneuerbaren Energietechniken aufzufinden, auch wenn die Vergleichbarkeit, wie erwähnt, eingeschränkt ist. Möchte man jedoch genaueres über die Zusammensetzung der Kosten erfahren, so sind tiefergehende Informationen in der Regel noch spärlicher vorhanden. Für einige Technologien können jedoch vereinzelt Informationen gefunden werden. Auf diese wird im Folgenden kurz eingegangen.

Bei der **Biogasherstellung** ist die Differenzierung sowohl hinsichtlich der Aufwandspeditionen als auch mit Blick auf die verschiedenen Anlagenkonzepte etwas umfangreicher, dafür ist das Bilden eines Mittelwerts umso schwieriger. Die Betriebskosten für Biogasanlagen werden entsprechend in den zugrunde liegenden Quellen relativ differenziert ausgewiesen. Ferner wird in diesem Bereich der Einfluss von verschiedenen Faktoren auf die Kosten relativ stark betont. Nicht nur der Anlagenstandort spielt eine große Rolle, viele weitere Faktoren, wie bspw. der Ablauf der biologischen Prozesse im Fermenter, aber auch die Kompetenz des Betreibers wirken auf die Kosten. Zudem gibt es eine Vielzahl von verschiedenen Biogasanlagentypen am Markt, die sich in ihrer Zusammensetzung

stark unterscheiden können. Auch die Wartungsintensitäten der Komponenten einer Biogasanlage unterscheiden sich deutlich. Das Blockheizkraftwerk (BHKW) muss zum Beispiel in der Regel bereits deutlich vor Ablauf der Förderzeit ausgetauscht werden, einige Hersteller weisen eine Nutzungsdauer von 15 Jahren aus (s. Schmitt-Enertec, o.J.). Die Wartungskosten für die BHKW-Technik liegen der Literatur gemäß bei 0,3-2,5 Cent/kWh, hinzu kommen die Wartungskosten für weitere Komponenten der Biogasanlage, also das Rührwerk etc., für die jährlich 1-3% der Investitionssumme veranschlagt werden. Außerdem liegt der Anteil der Kosten für Versicherungsleistungen bei 0,5–1% der Investitionssumme pro Jahr. Der Eigenstromverbrauch beträgt je nach Anlage, Substrat und Betreiber 3 bis 20% (vgl. Hornbacher o.J., Steiner 2009). Darüber hinaus werden Kosten für Zündöl, Wasser sowie die Ausbringung von Substraten in die Berechnung einbezogen; konkrete Angaben dazu sind aber in den vorhandenen Quellen nicht ausgewiesen. Des Weiteren variieren die Arbeitskosten bei einer Spannweite des Arbeitsaufwands von 0,5h bis 5h pro Tag (vgl. Steiner 2009).

Einen Einblick in die Kostenstruktur für den Betrieb von **Windkraftanlagen** bietet Abbildung 1, die aus einer Studie der Deutschen Windenergie-Institut GmbH aus dem Jahr 2002 stammt:

Abbildung 1: Aufteilung der Betriebskosten im Mittel der Jahre 1997-2001



Quelle: Neumann et al. 2002, S. 43. Eigene Darstellung.

Unter den Sonstigen Kosten werden Personalkosten, Beiträge für Verbände und Kammern, Rechtsberatung, Bürokosten usw. zusammengefasst. Am größten ist der Posten für Wartung und Instandhaltung, die Geschäftsführungs- und Steuerberatungskosten fallen als zweithöchste Position mit 21% ins Gewicht (vgl. Neumann et al. 2002). Angesichts der rasanten Entwicklung der Technologie kann die Verteilung der Anteile in der Kostenstruktur zum heutigen Zeitpunkt, also zehn Jahre später, schon ganz anders aussehen. Die Posten an sich dürften sich jedoch nicht wesentlich verändert haben.

4 KOSTENENTWICKLUNG

Die technologische Entwicklung hat bei den erneuerbaren Energietechniken zum Teil zu einer deutlichen Kostenreduktion geführt. Ein bekanntes Beispiel ist die Entwicklung der Preise für Photovoltaikanlagen. Deutlich wird die Entwicklung anhand sogenannter Lernkurven, bei denen meist eine Beziehung zwischen der kumulierten produzierten Menge und den Stückkosten eines Guts dargestellt wird. Wenn sich die Stückzahlen erhöhen, sinken auch die Kosten pro Stück. Solche Lernkurven sind vor allem für Neuinvestitionen in EE-Anlagen interessant sowie für die Abschätzung künftiger Investitionsvolumina. Zu dieser Art Lernkurven wurden bereits umfassende Berechnungen durchgeführt (vgl. u.a. Pieper 2003, Janzing 2010, Kost et al. 2012). Was die Kostenentwicklung speziell für den Betrieb und die Wartung von EE-Anlagen betrifft, so besteht allerdings offensichtlich noch Forschungsbedarf. Zu diesem Punkt sind lediglich vereinzelt allgemeine Aussagen zu finden. Im Wind-Service-Bereich erwarten beispielsweise einige Autoren ein hohes Kostensenkungspotenzial durch den Einsatz einer neuen Turbinentechnologie (Umstellung auf Windturbinen mit Direktantrieb) und bei Ersatzteilen und Materialkosten sowie Transport- und Logistikkosten (vgl. Krüger, Bartholl 2012).

Bekannt ist, dass die Betriebskosten mit dem Alter der Windkraftanlage zunehmen. Diese Tatsache wird beispielsweise durch die Staffelung der Berechnung der Betriebskosten im Entwurf des Erfahrungsberichtes 2011 zum EEG berücksichtigt; die jährlichen Kosten in den ersten zehn Jahren übertreffen die in der zweiten Dekade um rund 14% pro kWh (vgl. BMU 2011b). In einer weiteren Studie aus dem Jahr 2002 wurden vor allem Garantieleistungen identifiziert, die für den deutlichen Kostenzuwachs im 2. bis 4. Betriebsjahr mit Anstiegen um rund 20% verantwortlich sind. Im 5. und 6. Jahr lag die Zunahme der Kosten bei weniger als 10%.

Die Zeitabhängigkeit der Kosten sowie der Umfang des Repowerings werden in gewisser Weise Auswirkungen auf die Entwicklung der Beschäftigung im Bereich Betrieb und Wartung haben und daher auch in der Kostenbestimmung Berücksichtigung finden.

5 DIE EXPERTENBEFRAGUNG – AUFBAU UND ERGEBNISSE

Im Rahmen des Forschungsvorhabens „Beschäftigung durch den Ausbau erneuerbarer Energien in Deutschland – Ausbau und Betrieb – gestern und heute“ (Lehr et al. 2015) wurden persönliche Gespräche mit Unternehmen geführt, die Kenntnisse im Bereich Betrieb und Wartung haben. Darunter waren sowohl Hersteller, Projektierer und Betreiber als auch Wartungs- und Serviceunternehmen, denn manche Hersteller bieten Betrieb und Wartung mit ihren Anlagen an, einige Projektierer kalkulieren die Kosten hierfür ein und die Wartungsunternehmen wissen genau, was sie ihren Kunden anbieten.

Es zeigte sich generell ein heterogenes Bild an Unternehmen. Auch innerhalb der Unternehmen sind die Strukturen zum Teil stark verwoben. Nicht selten ist ein Betreiber auch gleichzeitig Projektierer oder ein Hersteller auch gleichzeitig Betreiber und Anbieter von Serviceleistungen. Eine zunehmende Relevanz von Betrieb und Wartung wird nicht nur

für die wirtschaftliche Perspektive der EE-Branche von Bedeutung sein, eine Ausweitung des Servicemarktes kann auch zu strukturellen Verschiebungen führen.

Bezüglich der Zukunftsentwicklung der Unternehmen legen diese Gespräche nahe, dass Unternehmen, die in den wartungsintensiveren Technologiefeldern (wie Biogas und Wind) tätig sind, ihren Fokus zunehmend auf Service- und Wartungsleistungen sowie auf Repowering-Maßnahmen legen. Angesichts der zumindest inländischen Marktsättigungstendenzen erscheint eine verstärkte Orientierung an diesen Bereichen als betriebswirtschaftlich sinnvolle Reaktion. Dies ist vor allem für Unternehmen, denen eine Erschließung ausländischer Märkte schwer fällt, eine Perspektive.

Als Grundlage für die Erhebung der Betriebs-, Wartungs- und Instandsetzungskosten beim Betrieb von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energie wurde ein Gesprächsleitfaden entwickelt, denn eine klare Strukturierung ist Voraussetzung für eine zielgerichtete Befragung. Gleichzeitig ermöglicht ein Leitfaden, das Gespräch offen zu gestalten und dadurch auch interessante Zusatzinformationen zu erhalten. Im Folgenden wird kurz auf die Struktur und die wesentlichen Merkmale des Gesprächsleitfadens eingegangen.

Im ersten Teil des Gesprächs werden allgemeine Angaben zum Unternehmen in Erfahrung gebracht. Es geht darum, das Unternehmen kennenzulernen, um eine Einordnung zu ermöglichen. In diesem Rahmen interessieren sowohl allgemeine Strukturmerkmale, wie Beschäftigtenzahl, Jahresumsatz und internationale Ausrichtung, als auch eine Einschätzung der Zukunftsperspektiven.

Anschließend wird auf die jeweiligen Geschäftsfelder und die Schwerpunkttechnologie eingegangen. Das Unternehmen kann in verschiedenen Feldern tätig sein. An dieser Stelle wird deutlich, wo der Unternehmensschwerpunkt liegt – beim Betrieb, der Projektierung, der Herstellung oder der Wartung und Reparatur von EE-Anlagen, bei sonstigen Dienstleistungen für die Instandhaltung und den Betrieb von EE-Anlagen oder in einem anderen Geschäftsfeld. Daraufhin wird der Technologieschwerpunkt angesprochen, insgesamt werden 14 Technologiebereiche unterschieden.

Im dritten Teil, dem Hauptteil des Leitfadens, liegt der Fokus auf den Einschätzungen der befragten Unternehmen zum Betrieb sowie zur Wartung und Instandsetzung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien. Hier interessiert die Methode, die Unternehmen für die Kalkulation der Höhe der Aufwendungen für Betrieb, Wartung und Instandsetzung verwenden. Neben der Messgröße an sich wird im Rahmen von qualitativen Zusatzinformationen gegebenenfalls auch auf weitere Einflussfaktoren eingegangen. Daraufhin erfolgt eine Abschätzung der Kostenstruktur, vertiefend werden Details der Betriebs- und Wartungskosten angesprochen. An dieser Stelle interessiert auch, welche Leistungen das Unternehmen durch eigene Mitarbeiter (eigene Wertschöpfung) erbringt und in welchem Umfang es Waren und Dienstleistungen von anderen Unternehmen und aus dem Ausland dazukaufte. Die Informationen über die Zulieferungen ermöglichen es, eine Betroffenheit anderer Branchen entlang der Wertschöpfungskette und des Auslands zu berücksichtigen.

Abschließend werden Einschätzungen über die Anzahl der benötigten Beschäftigten für die Planung und Durchführung von Projekten (einschließlich der Installation der Anlagen etc.) in Erfahrung gebracht. Vor allem Unternehmen, die als Projektierer und Hersteller

arbeiten, können darüber Auskunft erteilen.

Neben wichtigen Informationen zur Charakterisierung der Organisation und der Geschäftsfelder der befragten Unternehmen lassen sich aus den Ergebnissen wichtige Informationen über die bezogenen Vorleistungen von inländischen Zulieferern und von Vorleistungsimpporten gewinnen. Obwohl nicht alle befragten Unternehmen verwertbare oder vollständige Angaben zu ihren Vorleistungen machen konnten, brachten die Unternehmensinterviews für die „wichtigen“ Technologiebereiche (Wind Onshore, PV, Wasserkraft, Biomasse groß, Biogas) verwertbare Ergebnisse und eingeschränkt verwertbare Ergebnisse für die Bereiche Wind Offshore, Solarthermie und Biomasse klein. Für die Bereiche Wärmepumpen und Geothermie tief konnten keine verwertbaren Detailinformationen zu Vorleistungen gewonnen werden.

Die Vorleistungen konnten identifiziert werden, indem den Unternehmen in den Interviews technologiespezifisch mögliche Komponenten und Dienstleistungen genannt wurden. In Tabelle 2 sind die Komponenten und Dienstleistungen zusammengestellt, die von den Unternehmen in den Technologiefeldern Wind Onshore, PV, Wasserkraft, Biomasse groß und Biogas als bezogene Vorleistungen identifiziert wurden. Für die Mehrzahl der Items konnten auch – wenn auch jeweils nicht von allen Unternehmen - quantitative Einschätzungen abgegeben werden.

Tabelle 2: Als Vorleistungen bezogene Komponenten und Dienstleistungen im Produktionsbereich Betrieb und Wartung

Technologie	Komponenten und Dienstleistungen als Vorleistungen
Wind Onshore	Schmierstoffe, Farben Kleinteile für Reparatur und Wartung Reparatur, Regelmäßige Überprüfung Austausch Rotorblatt Austausch andere Komponenten Strom Transport- und Kranleistungen Versicherungen Pacht Verwaltung, sonstige Dienstleistungen Externe Gutachten Vermarktung
Photovoltaik	Kleinteile für Reparatur und Wartung Turnusmäßige Inspektion Strom Versicherungen Pacht Verwaltung, sonstige Dienstleistungen Externe Gutachten Vermarktung

Technologie	Komponenten und Dienstleistungen als Vorleistungen
	Modulreinigung
Wasserkraft	Kleinteile für Reparatur und Wartung Generator Turbine Turnusmäßige Inspektion Strom
Biomasse groß	Kleinteile für Reparatur und Wartung Generator Turbine Turnusmäßige Inspektion Strom Versicherungen Pacht Verwaltung, sonstige Dienstleistungen Externe Gutachten Vermarktung
Biogas	Abdeckungen Kleinteile für Reparatur und Wartung Instandsetzungen (Pumpentechnik, Materialeinbringung Rührwerkstechnik, Tragluftfolien, Abdeckungen) Strom Transport Versicherungen Pacht Verwaltung, sonstige Dienstleistungen Externe Analysen und Gutachten Labortechnik

Quelle: Unternehmensinterviews, Zusammenstellung DIW Berlin.

In den Interviews wurde im Zusammenhang mit den Fragen zu den Betriebs- und Wartungskosten oft auf die Vielfalt der Einflussgrößen hingewiesen, sodass sich viele Befragte schwer taten, eine verallgemeinerbare Aussage zu treffen. Eine separate Ausweisung der Betriebs- und der Wartungskosten ist oft schwierig, weil bei vielen Anlagentypen Wartungsverträge bestehen, die in die Berechnung der Betriebskosten einbezogen werden. Darum werden diese Begriffe oft auch unscharf verwendet. Tabelle 3 gibt einen Überblick, welche Informationen in den Unternehmensinterviews zu den erwarteten Lebensdauern der Anlagen als Kalkulationsgrundlage, zu den Leitgrößen zur Bestimmung der Aufwendungen für Betrieb und Wartung sowie zur Dimension der spezifischen Aufwendungen gegeben wurden.

Tabelle 3: Ergebnisse der Unternehmensinterviews im Hinblick auf Parameter zur Abschätzung der Höhe der Aufwendungen für Betrieb und Wartung nach Technologiebereichen

Technologie	Erwartete Lebensdauer der Anlage als Kalkulationsgrundlage (Jahre)	Genannte Leitgrößen zur Bestimmung der Aufwendungen für Betrieb und Wartung	Dimension der spezifischen Aufwendungen
Wind Onshore	20–25; teilweise etwas höher	Strommenge; (installierte Kapazität)	cent/kWh
Wind Offshore	25	Strommenge; (installierte Kapazität)	cent/kWh
Photovoltaik	20–30	installierte Kapazität KWp; Investitionssumme (kumuliert oder nach Vintage); Umsätze	€/(kWp*Jahr); % der Investitionssumme; % des Umsatzes
Solarthermie	20–25	Investitionssumme (kumuliert); (Kollektorfläche in qm)	% der Investitionssumme
Wasserkraft	40–100	Umsatz; installierte Leistung	% des Umsatzes; installierte Leistung
Biomasse groß	20	Investitionssumme (kumuliert)	% der Investitionssumme
Biomasse klein	20	Investitionssumme (kumuliert)	% der Investitionssumme
Biogas	20	Investitionssumme (kumuliert); installierte Leistung	% der Investitionssumme; €/kW
Geothermie tief	.-	.-	.-
Wärmepumpe	.-	.-	.-

.- : keine verwertbaren Ergebnisse:

Quelle: Unternehmensinterviews, Zusammenstellung DIW Berlin.

Bei den Leitgrößen wurden häufig die produzierten Strommengen, die installierte Kapazitäten oder – und dieses in der Mehrzahl der Technologiebereiche – die Investitionssumme genannt.

Um die Berechnung der Ausgaben für Betrieb und Wartung methodisch auf eine einheitliche Grundlage zu stellen, wurden in der Studie „Beschäftigung durch erneuerbare Energien in Deutschland – Ausbau und Betrieb – heute und morgen“ (Lehr et al. 2015) als Leitgröße die jährlichen Investitionssummen in den jeweiligen Bereichen herangezogen. Die spezifischen Ausgaben für Betrieb und Wartung in % der jährlichen Investitionssum-

me, die den Szenarien der genannten Studie zugrunde liegen, beruhen überwiegend auf Informationen aus den von Experten geprüften Datensätzen.

Insgesamt konnte so die Höhe der Ausgaben für Betrieb und Wartung berechnet werden. Sie beträgt im Jahr 2013 insgesamt 5,9 Mrd. Euro (5,5 Mrd. Euro in 2012). Die höchsten Ausgaben fallen im Bereich Wind Onshore (1,7 Mrd. Euro), Biogas (1,1 Mrd. Euro) und in der Photovoltaik (878 Mio. Euro) an. Danach folgen die Bereiche Biomasse groß und Wasserkraft. Zu beachten ist generell, dass in den Betriebskosten die Brennstoffkosten nicht erhalten sind (vgl. Lehr et al. 2015).

6 FAZIT

Dieser Beitrag gibt einen Überblick über den Stand des Wissens zu Betrieb und Wartung von Anlagen zur Erzeugung erneuerbarer Energien, der bislang nicht systematisch erforscht wurde; die auffindbare Datenbasis ist lückenhaft und aufgrund unterschiedlicher Berechnungsgrundlagen kaum vergleichbar.

Auffindbare Kennzahlen decken vornehmlich Informationen über die Betriebskosten, Investitionen, Personalkosten, Finanzierung und Zinsen ab. Aufwendungen für den Betrieb werden meist als prozentualer Anteil der Investitionskosten oder bezogen auf die installierte elektrische Leistung ausgewiesen. Angegeben wird auch die Lebensdauer der Anlage bzw. der Anlagenteile, da sie für die betriebswirtschaftlichen Berechnungen von großer Bedeutung ist.

Für ausgewählte Technologien wurden folgende Kosten (jährlich) für Betrieb und Wartung genannt: Wasserkraft (Neubau): 1,21–2,65% der Investitionskosten; Photovoltaik: 30 €/kWp; Windkraft Onshore: 1,5–3% der Investitionskosten; Windkraft Offshore: 0,03 €/kWh und Biogas: 4,5% der Investitionskosten.

Eine weitere Differenzierung der Kosten ist in der Literatur nur vereinzelt auffindbar, was mit Blick auf die Vielfalt der Anlagenkonzepte bei den einzelnen Technologien und äußerer Einflussfaktoren, wie etwa dem Standort, nicht verwunderlich ist. Darüber hinaus ist die Kostenentwicklung im Zeitverlauf zu betrachten, da mit zunehmendem Alter der Anlagen mit einer Kostensteigerung zu rechnen ist. Differenziertere Informationen wurden in erster Linie für die Biogasherstellung und den Betrieb von Windkraftanlagen gefunden.

Da erneuerbare Energien im Jahr 2014 erstmals die bedeutendsten Energieträger im deutschen Strommix darstellen – mit einem Anteil von 25,8% der Bruttostromerzeugung (BDEW 2014) – und ein entsprechend großer Bestand an Anlagen mit erwarteten Lebenszeiten von 20 bis 60 Jahren Service- und Wartungsarbeiten erfordert, sind Informationen hierzu unverzichtbar.

Strukturelle Veränderungen zeichnen sich bereits ab; Anlagenhersteller verlagern ihre Aktivitäten ins Ausland, das Geschäftsfeld für Service- und Wartungsdienstleistungen wird mit zunehmendem Gewicht auch für unabhängige Dienstleister interessant. Ein dadurch ausgelöster Konkurrenzkampf kann bereits im Bereich der Windkraftanlagen beobachtet werden (vgl. Köpke 2014).

Eine Erweiterung der Datenfundierung ist mit zunehmender Relevanz dieses Segments sinnvoll; nicht zuletzt, da der Betrieb von Anlagen und ihre Wartung überwiegend heimische Wertschöpfung generieren und daher auch langfristig von Bedeutung sind. Auch würde dies eine Abschätzung des Fachkräftebedarfs ermöglichen, was mit Blick auf Fachkräfteengpässe (vgl. Maier et al. 2014) zunehmend an Relevanz gewinnt.

Des Weiteren wäre es interessant, Auswirkungen steigender Kosten für Betrieb und Wartung auf die Gesamtwirtschaft zu analysieren. Neben dem Arbeitsmarkt sind verschiedene Branchen von der Entwicklung betroffen. Darüber hinaus würde eine regionale Betrachtung zeigen, ob bestimmte Regionen von Arbeitsplatz- und Wertschöpfungseffekten profitieren können.

LITERATURVERZEICHNIS

- BDEW (2014): Erneuerbare Energien zum ersten Mal wichtigster Energieträger im deutschen Strommix. Anlagen zur Presseinformation. 29.12.2014, Berlin.
- BMU (2009b): Nitsch, J., Wenzel, B.: Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau erneuerbarer Energien in Deutschland – Leitszenario 2009. Umweltpolitik, August 2009.
- BMU (2011a): Erneuerbare Energien in Zahlen – Internet-Update ausgewählter Daten. Dezember 2011.
- BMU (2011b): Entwurf – Erfahrungsbericht 2011 zum Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG-Erfahrungsbericht). Gemäß §65 EEG vorzulegen dem deutschen Bundestag durch die Bundesregierung. Stand 03.05.2011. https://www.clearingstelle-eeg.de/files/EEG_Erfahrungsbericht_2011_Entwurf.pdf (19.09.2012).
- BMU (2012): Erneuerbare Energien 2011. Daten des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit zur Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland im Jahr 2011 auf der Grundlage der Angaben der Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien- Statistik (AGEE-Stat). Vorläufige Angaben, Stand 08. März 2012.
- BMWI (2012): Zahlen und Fakten – Energiedaten – Nationale und internationale Entwicklung. Stand 19.04.2012.
<http://www.bmwi.de/DE/Themen/Energie/Energiedaten/gesamtausgabe.html> (19.09.2012).
- BSW (Bundesverband Solarwirtschaft) (2012): Stromanlagen seit 2006 rund 66% günstiger. Ergebnisse einer unabhängigen, repräsentativen Befragung von 100 Installateuren durch EUPD-Research im Auftrag des BSW-Solar. Stand 08.2012.
http://www.solarwirtschaft.de/fileadmin/media/Grafiken/pdf/BSW_Preisindex_120815.pdf (20.09.2012).
- Bundesnetzagentur (2012): EEG-Statistikbericht 2010 – Statistik zur Jahresabrechnung 2010 nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG). August 2012.
http://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/BNetzA/Sachgebiete/Energie/ErneuerbareEnergienGesetz/Statistikberichte/StatistikberichtEEG2010pdf.pdf;jsessionid=6158FCA069DBCE615B65AAAABC35CAF0?__blob=publicationFile (19.09.2012).
- Dena (2012a): Offshore - Wind. Häfen – Infrastruktur in Offshore-Windparks. Informationsportal der Deutschen Energie-Agentur dena. <http://www.offshore-wind.de/page/index.php?id=10287&0=> (17.10.2012).
- Dena (2012b): Wirtschaftlichkeit von Windenergieanlagen. Informationsportal der Deutschen Energie-Agentur dena. <http://www.thema-energie.de/energie-erzeugen/erneuerbare-energien/windenergie/grundlagen/wirtschaftlichkeit-von-windenergieanlagen.html> (19.09.2012).

- Dena (2012c): Kosten und Einnahmen einer PV-Anlage. Informationsportal der Deutschen Energie-Agentur dena. <http://www.thema-energie.de/energie-erzeugen/erneuerbare-energien/solarstrom/wirtschaftliche-aspekte/kosten-und-einnahmen-einer-pv-anlage.html?0=> (19.09.2012).
- Hobohm, J., Krampe, L., Peter, F., Gerken, A., Heinrich, P., Richter M. (2013): Kosten-senkungspotenziale der Offshore-Windenergie in Deutschland. Berlin.
- Hornbacher D. (o.J.): Betriebskosten <http://www.biogas-netzeinspeisung.at/technische-planung/biogasgestehung/betriebskosten.html>. (17.10.2012).
- IWR (Internationales Wirtschaftsforum Regenerative Energien) (o.J.): Checkliste: Planung und Leitfaden zum Bau einer Biogasanlage. <http://www.iwr.de/bio/biogas/Checkliste-Biogas-Anlage.html> (17.10.2012).
- Janzing, B. (2010): Innovationsentwicklung der erneuerbaren Energien. Renew's Spezial. Ausgabe 37/ Juli2010. Hrsg. Agentur für Erneuerbare Energien e. V. Juni 2010. http://www.unendlich-viel-energie.de/uploads/media/37_Renews_Spezial_Innovationsentwicklung_durch_EE_Juli_10.pdf (28.11.2012).
- Kisem - Kompetenz- und Innovationszentrum Solare Technologien und Energiedienstleistungen Marbach/N. e.V (ohne Jahr): Information Wirtschaftlichkeit von Biogasanlagen. http://biomasse.region-stuttgart.de/Info_Wirtschaftlichkeit.pdf (11.10.2012).
- Köpke, Ralf (2014): Ein krisensicheres Geschäft. In: Energie & Management. 1.März 2014, S.14.
- Kost, C., Schlegl, T., Thomsen, J., Nold, S., Mayer, J. (2012): Studie – Stromgestehungskosten Erneuerbare Energien. Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, Mai 2012. <http://www.ise.fraunhofer.de/de/veroeffentlichungen/veroeffentlichungen-pdf-dateien/studien-und-konzeptpapiere/studie-stromgestehungskosten-erneuerbare-energien.pdf> (19.09.2012).
- Krüger, D., Bartholl, C. (2012): Europäische Wind-Service-Studie – Woher der Wind weht. Durchgeführt von Deloitte und Taylor Wessing. August 2012, Hamburg, München.
- Lehr, U., Lutz, C., Edler, D., O'Sullivan, M., Nienhaus, K., Nitsch, J., Breitschopf, B., Bickel, P. & Ottmüller, M. (2011): Kurz- und langfristige Auswirkungen des Ausbaus der erneuerbaren Energien auf den deutschen Arbeitsmarkt, Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Osnabrück, Stuttgart, Berlin, Februar 2011.
- Lehr, U., Edler, D., O'Sullivan, M., Peter, F., Bickel, P., Ulrich, P., Lutz, C., Thobe, I., Simon, S., Naegler, T., Pfennig, U. & Sakowski, F. (2015): Beschäftigung durch erneuerbare Energien in Deutschland: Ausbau und Betrieb heute und morgen, Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie, Osnabrück, Berlin, Stuttgart, März 2015.
- Maier, T., Zika, G., Wolter, M.I., Kalinowski, M., Helmrich, R., Schandock, M., Hummel, M., Hänisch, C., Mönnig, A., Neuber-Pohl, C. & Bott, P. (2014): Engpässe im mittleren Qualifikationsbereich trotz erhöhter Zuwanderung. Aktuelle Ergebnisse der

BIBB-IAB-Qualifikations- und Berufsfeldprojektionen bis zum Jahr 2030 unter Berücksichtigung von Lohnentwicklungen und beruflicher Flexibilität. BIBB Report 23/14.

- Neumann, T., Ender, C., Molly, J.-P., Neddermann, B., Winkler, W., Strack, M. (2002): Weiterer Ausbau der Windenergienutzung im Hinblick auf den Klimaschutz – Teil 2-Endbericht. Im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. November 2002. http://www.erneuerbare-energien.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/windenergie_studie02.pdf (28.11.2012).
- Peter, F., Krampe, L., Ziegenhagen, I. (2013): Entwicklung von Stromproduktionskosten – Die Rolle von Freiflächen-Solkraftwerken in der Energiewende. Berlin.
- Pieper, F. (2003): Das Konzept der Lernkurven im Energiesektor – Beschreibung, Modellierung und Aggregation. Berlin, Mai 2003. <http://www.pik-potsdam.de/members/edenh/theses/masterpieper.pdf> (28.11.2012).
- Schmitt-Enertec (o.J.): BHKW Komponenten. http://www.schmitt-enertec.de/deutsch/bhkw/bhkw_technik.htm. (17.10.2012).
- Steiner, Benno (2009): Biogas – Chancen, Risiken und Probleme. Präsentation im Rahmen der Arbeitstagung Biogas, Landkreis Traunstein am 19.02.2009. <http://media.repro-mayr.de/42/94842.pdf>. (17.10.2012).

