Zeitschrift: Bulletin Electrosuisse
Herausgeber: Electrosuisse, Verband für Elektro-, Energie- und Informationstechnik
Band: 105 (2014)
Heft: 4

Artikel: Technologien auf dem Prüfstand
Autor: Ferraro, Francesco
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-856209

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 09.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Technologien auf dem Prüfstand

Neu entwickeltes Indikatorenset zur Bewertung der Stromproduktion anhand der Ziele der Energiestrategie 2050

Wie sind die verschiedenen Stromproduktionstechnologien im Hinblick auf die Energiewende zu bewerten? Welchen Beitrag können sie leisten? Ausgehend von diesen Fragen hat ein Forschungsteam der ZHAW ein Set von Bewertungs-Indikatoren entwickelt. Dieses stützt sich auf die in der Energiestrategie 2050 definierten Leitlinien Sicherheit, Wirtschaftlichkeit und Umweltverträglichkeit. Im Sinne einer ganzheitlichen Betrachtung wurde zudem der Aspekt der Gesellschaftsverträglichkeit hinzugefügt.

Francesco Ferraro et al.

Durch die Senkung des Energieverbrauchs und den Ausbau der Stromproduktion aus erneuerbaren Energien – sofern technisch und betrieblich möglich sowie wirtschaftlich tragbar – ist die von der Politik angestrebte Energiewende theoretisch zu meistern. [1] Offen bleibt aber, mit welchen Technologien der Wegfall der Kernkraft künftig kompensiert werden soll.

Ziel eines Forschungsprojekts am Institut für Nachhaltige Entwicklung der Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften (ZHAW) war es, ein Indikatorenset zu entwickeln, das die verschiedenen Stromproduktionstechnologien bewertet und sich an den Zielen der Energiestrategie 2050 orientiert. Das Indikatorenset ist Teil eines Bewertungsmodells, welches die Wirkungen von Einzeltechnologien zur Stromproduktion auf ökologischer, gesellschaftlicher und ökonomischer Ebene analysiert und deren Stärken und Schwächen sowie Chancen und Risiken im Rahmen der Energiewende abschätzt.

Bewertungsmassstab Energiestrategie 2050

Die Kriterien zur Bewertung der Stromproduktionstechnologien sollen den Anforderungen der Energiewende entsprechen. Zu diesem Zweck wurden die Leitlinien der Energieversorgung aus dem Entwurf des Energiegesetzes (EnG) herangezogen. Dieser basiert bereits auf der Botschaft des Bundesrats zum ersten Massnahmenpaket an das Parlament und zeigt somit ein aktuelles Bild des Prozesses «Energiewende».

Zur Energieversorgung bestehen drei Leitlinien mit den Schwerpunkten Sicherheit, Wirtschaftlichkeit und Umweltverträglichkeit. Im Art. 8 des EnG-Entwurfs [2] wird definiert, wie diese einzelnen Schwerpunkte zu verstehen sind:

- «Eine sichere Energieversorgung umfasst die jederzeitige Verfügbarkeit von ausreichend Energie, ein breit gefächertes Angebot sowie technisch sichere und leistungsfähige Versorgungs- und Speichersysteme.»
- «Eine wirtschaftliche Energieversorgung beruht auf den Marktkräften, auf der Kostenwahrheit, auf internationaler Konkurrenzfähigkeit und auf einer international koordinierten Politik im Energiebereich.»
- «Eine umweltverträgliche Energieversorgung bedeutet den schonenden Umgang mit den natürlichen Ressourcen, den Einsatz erneuerbarer Energien und die Vermeidung schädlicher oder lästiger Einwirkungen auf Mensch und Umwelt.»

Diese drei Leitlinien zur Energieversorgung dienten als Grundlage für die Indikatoren-Definition. Zu jeder Detailanforderung einer Leitlinie wurden entsprechende Indikatoren festgelegt. Damit wird gewährleistet, dass mit Hilfe des Indikatorensets die Technologien mit dem Bewertungsmassstab Energiestrategie 2050 beurteilt werden.

Entwicklung des Indikatorensets

In einer ersten Phase wurde eine Literaturrecherche durchgeführt, um bereits bestehende Indikatoren zu identifizieren. Daraus entstand eine umfassende Liste. Rechercheergebnisse mit aussagekräftigen Indikatoren stammen z.B. vom Paul Scherrer Institut [3] oder vom Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung. [4]

In einer zweiten Phase wurden die recherchierten Indikatoren den Leitlinien der Energieversorgung gegenübergestellt und falls möglich den Detailanforderungen zugeordnet. Bei diesem Vorgang mussten die meisten Indikatoren abgeändert werden. Zudem wurden

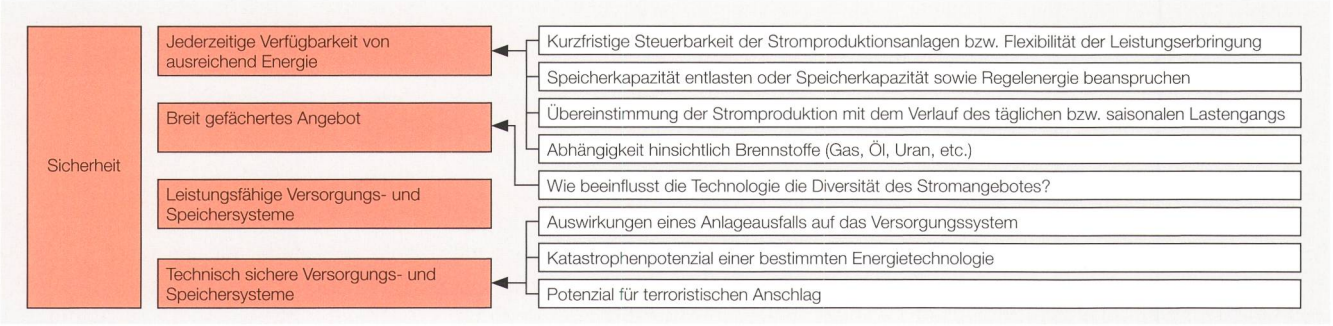


Bild 1 Indikatoren zur Leitlinie Sicherheit.

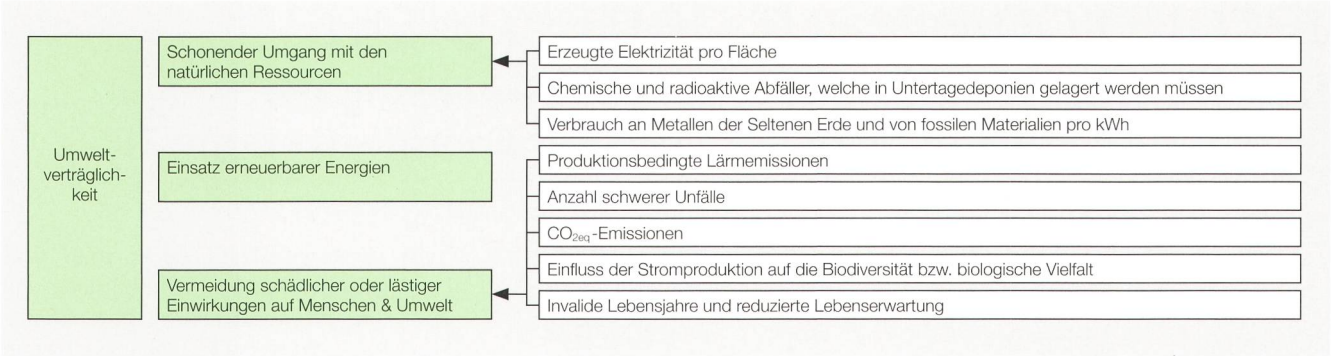


Bild 2 Indikatoren zur Leitlinie Umweltverträglichkeit.

neue Indikatoren erstellt und zugeteilt. Das umfangreiche Indikatorenset, mit teilweise redundanten Indikatoren, wurde schliesslich bereinigt und bezüglich den aufgezählten Leitlinien der Energieversorgung konkretisiert.

Das finale Indikatorenset umfasst 26 Indikatoren **(Bild 1–3)**, je acht Indikatoren zu den Leitlinien Sicherheit und Umweltverträglichkeit sowie zehn Indikatoren zur Leitlinie Wirtschaftlichkeit. Zu den zwei Detailanforderungen «leistungsfähige Versorgungs- und Speichersysteme (Sicherheit)» und «Koordination mit der internationalen Energiepolitik (Wirtschaftlichkeit)» konnten keine Indikatoren zugeteilt werden. Grund dafür ist, dass diese beiden Anforderungen das gesamte Versorgungssystem ansprechen. Daher werden sie bei der Beurteilung von Einzeltechnologien nicht berücksichtigt. Die Detailanforderung «Einsatz von erneuerbaren Energien (Umweltverträglichkeit)» wird indirekt durch Indikatoren aus anderen Anforderungspunkten abgedeckt, z.B. mit Indikatoren zu CO_2-Emissionen oder zum Verbrauch von Metallen der Seltenen Erden und von fossilen Materialien.

Auf eine Aggregation und Gewichtung der Indikatoren wurde explizit verzichtet. Je nach Anwendungsbereich des Indikatorensets lässt dies die Möglichkeit einer eigenständigen Gewichtung offen. Es ist anzunehmen, dass bei einer Anwendung in einem regionalen Kontext andere Indikatoren im Vordergrund stehen werden als im nationalen Rahmen. Zum Beispiel kann der Indikator zur inländischen Wertschöpfung in Form von Arbeitsplätzen in einer von Abwanderung betroffenen Region ausschlaggebend sein. [5] Auf nationaler Ebene ist dieser Indikator hingegen von geringerer Bedeutung. Auch sind Unterschiede zwischen Regionen zu erwarten. Umso wichtiger ist es, bei der Ermittlung der Gewichtung der verschiedenen Indikatoren verschiedene Stakeholder mit unterschiedlichen Perspektiven einzubeziehen.

Die Auswirkungen der meisten Indikatoren beschränken sich auf die nationale bzw. regionale Ebene der Schweiz. Innerhalb der Leitlinie «Umweltverträglichkeit» bestehen jedoch Indikatoren, welche die globale Auswirkung einer Stromproduktionsanlage über ihren ganzen Lebenszyklus berücksichtigen. So werden z.B. die CO_2-Emissionen einer Anlage aus dem Bereitstellen der Grundmaterialien, der Anfertigung der Einzelteile, den notwendigen Transporten, dem Aufbau und dem Betrieb sowie dem Abbau und der Entsorgung aufsummiert und ausgewertet. Diese Lebenszyklusbetrachtung wird durch die Ecoinvent-Datenbank ermöglicht, welche Lebenszyklus-Datensätze zu verschiedenen Technologien enthält (siehe Links).

Beispiel Windenergie

Das Bewertungsmodell mit dem Indikatorenset wurde beispielhaft anhand der Windenergie in der Schweiz getestet. Ausgehend vom heutigen Schweizer Stromproduktionsmix wurde die Technologie Windkraft in Bezug auf die notwendige Erweiterung des Kraftwerkparks beurteilt. Die Bewertung der Indikatoren wurde möglichst aufgrund von ermittelten Daten vorgenommen. Dies erforderte eine umfangreiche Literatur-recherche. Indikatoren, bei denen keine quantitativen Angaben vorhanden waren, wurden durch eine qualitative Einschätzung festgelegt und begründet.

Als Einblick ins Indikatorenset wird im Folgenden der Indikator zur Diversität des Stromangebots anhand der Windenergie vorgestellt. Dieser zeigt auf, ob eine Technologie zur Diversität des Stromangebots beiträgt oder diese vermindert. Er steht für die Detailforderung «breit gefächertes Angebot» der Leitlinie Sicherheit **(Bild 1)**.

Laut Stirling (2007) beruht die Diversität auf drei Säulen: der Vielseitigkeit (variety), der Ausgeglichenheit (balance) und der Disparität (disparity). [6] Diese befassen sich mit den Fragen nach:

- Vielseitigkeit – Wie viele verschiedene Stromproduktionstechnologien sind vorhanden?
- Ausgeglichenheit – Wie viel Strom wird durch die einzelnen Technologien produziert?
- Disparität – Wie verschieden sind die unterschiedlichen Technologien voneinander?

Vielseitigkeit

In der Schweiz wird bereits Windenergie produziert. Die Vielseitigkeit der verschiedenen Stromproduktionstechnologien bleibt somit bestehen. Einzig eine Erweiterung der bestehenden Windtechnologien, z.B. Marktdurchbruch von Windanlagen mit vertikalen Rotationsachsen oder Kleinwindanlagen auf Hausdächern, würde die Vielseitigkeit (auf einer tieferen Stufe) erweitern.

Ausgeglichenheit

Im Jahr 2012 produzierte die Schweiz 88 GWh Windenergie. [7] Dies entspricht in etwa 0,15 % des Elektrizitätsverbrauchs aus demselben Jahr. Der VSE schätzt das realisierbare Windenergie-Potenzial im Jahr 2035 auf 0,7 bis 1,5 TWh. [8] Bei einer optimistischen Betrachtung würde dies ca. 2,5 % des Schweizer Elektrizitätsverbrauchs aus dem Jahr 2012 ausmachen. Die Ausgeglichenheit des Stromangebots wird durch die Windenergie, wenn auch nur sehr bescheiden, erhöht.

Disparität

Die Windenergie ist die einzige Technologie, welche von den Windbedingungen abhängig ist. Bezüglich Primärenergieträger unterscheidet sie sich daher stark von den anderen Technologien

(z.B. Wasserkraft oder Erdgas). Ausserdem ist sie eine dezentrale Form der Stromerzeugung, was in der Schweizer Elektrizitätsproduktion mit den verschiedenen Kernkraftwerken und Speicherkraftwerken auch eine Bereicherung darstellt. Die Windenergie trägt somit zu einer Erhöhung der Disparität des Stromangebots bei.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Windenergie die Diversität des Stromangebots positiv beeinflusst, insbesondere die Disparität.

Das gesamte Bewertungsmodell zum Thema Windenergie umfasst neben der Bewertung mittels des Indikatorensets folgende Elemente:

- eine allgemeine Übersicht zum Thema Windenergie,
- das geschätzte Windkraftpotenzial in der Schweiz,
- wichtige Kennzahlen zur Stromerzeugung aus Windkraft in der Schweiz,
- gesellschaftliche und soziale Aspekte zum Thema Windenergie (vgl. Kapitel «Fehlende gesellschaftliche Betrachtungsweise»),
- eine SWOT-Analyse zu Windkraft (Stärken, Schwächen, Risiken und Chancen), und
- eine qualitative Einschätzung der Eignung von Windenergie als Bestandteil des zukünftigen Versorgungssystems.

Das Bewertungsmodell ist zusammengefasst in einem Factsheet und bietet somit eine ganzheitliche Bewertung zum Thema Windenergie, indem es ihre Vor- und Nachteile als Stromproduktionstechnologie der Schweiz offenbart.

Fehlende gesellschaftliche Betrachtungsweise

In den Leitlinien zur Energieversorgung fehlt ein Schwerpunkt zum Thema Gesellschaftsverträglichkeit. Technologien zur Stromproduktion beinhalten aber neben Aspekten zu Sicherheit, Wirtschaftlichkeit und Umweltverträglichkeit auch unterschiedliche gesellschaftliche Implikationen. Diese Implikationen wurden durch eine gesellschaftliche Betrachtungsweise bei der Bewertung der Technologien miteinbezogen, sie beinhaltet drei Bereiche:

- Akzeptanz und gesellschaftliches Konfliktpotenzial,
- Einflusspotenzial von politischen Entscheidungsprozessen,
- Konfliktpotenzial mit anderen Wertsystemen.

Akzeptanz und gesellschaftliches Konfliktpotenzial

Die Infrastruktur selbst oder deren kontextuelle Einbettung können die Akzeptanz beeinträchtigen und potenziell einen gesellschaftlichen Konflikt auslösen. Zu den Risiken und potenziellen Störfaktoren, die durch die Energieanlage selbst ausgelöst werden, gehören beispielsweise die Sichtbarkeit (ein Staudamm kann z.B. das Landschaftsbild negativ beeinflussen), der Betriebslärm (Windanlagen erzeugen z.B. Lärm, welcher von den Anwohnenden als störend empfunden werden kann) oder Unfallrisiken. Dem gegenüber stehen die Chancen und potenziellen Gewinne, z.B. die Entwicklung der lokalen Infrastruktur, die lokale Ausbildung von Fachkräften und die Schaffung von Arbeitsplätzen.

Hintergrundereignisse können einen Einfluss auf Risikowahrnehmung und Akzeptanz einer Technologie haben. Ein Beispiel ist die Atomenergie. Bei dieser bestehen in der Bevölkerung Assoziationen zu Unfällen in Kernkraftwerken (z.B. Tschernobyl, Fukushima). [9] Die Risikowahrnehmung von Nuklearenergie ist daher von diesen historischen Ereignissen geprägt.

Auch Regionen, welche bereits stark durch andere Infrastrukturen belastet sind (z.B. durch Fluglärm), sind manchmal nicht gewillt, eine neue Produktionsanlage mit weiteren Umwelteinflüssen aufzunehmen.

Einflusspotenzial von politischen Entscheidungsprozessen

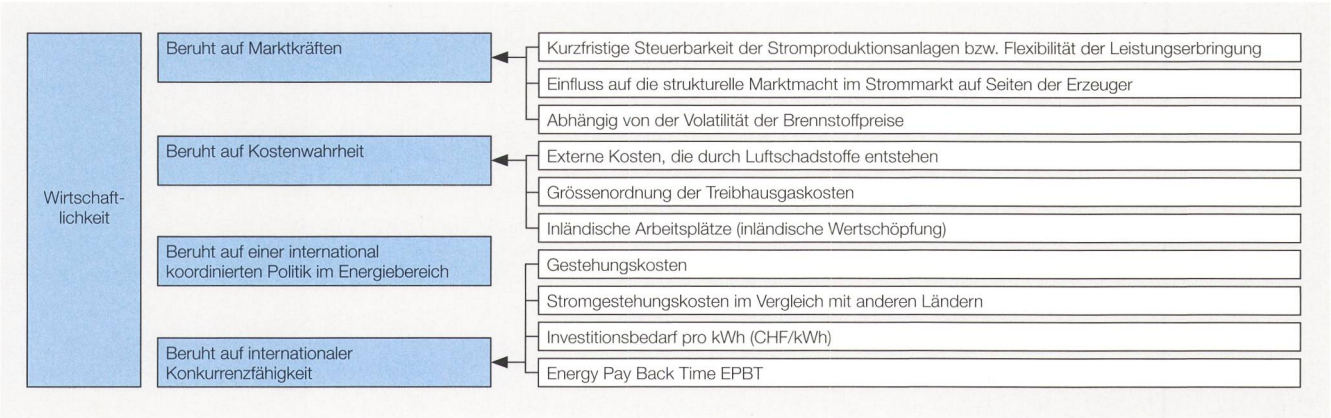
Zentral ist auch die Art und Weise, wie Standortentscheidungen für umstrittene Technologien gefällt werden. Stromproduktionsanlagen können durch politisch-rechtliche Prozesse, wie z.B. Einsprachen, verhindert oder verzögert werden. Partizipative Verfahren sind oftmals eine wichtige Bedingung – aber keinesfalls eine Garantie für die Standortfindung. Gerade bei umstrittenen Infrastrukturprojekten (z.B. geologische Tiefenlager oder Windanlagen) zeigt die Erfahrung, dass der gesellschaftliche Entscheidungsprozess für ein erfolgreiches Projekt von zentraler Bedeutung ist. [11] Betroffene Regionen wollen mitentscheiden, ob ein Projekt zu ihrem Image passt oder nicht (z.B. Tourismusregion und Windpark). [5] [10]

Konfliktpotenzial mit anderen Wertsystemen

Die sichere und wirtschaftliche Energieversorgung steht oft im Konflikt mit anderen Wertsystemen. Zum Beispiel konfligieren Fotovoltaikanlagen in authentisch belassenen Bergdörfern mit Heimatschutz und dem Wunsch nach ursprünglich belassenen Tourismusregionen.

Schlussfolgerungen und weiteres Vorgehen

Die zusätzliche Betrachtung der sozialen und gesellschaftlichen Aspekte ermöglicht eine ganzheitlichere Betrachtung der Einzeltechnologien zur Stromproduktion



Bilder: Autoren

Bild 3 Indikatoren zur Leitlinie Wirtschaftlichkeit.

duktion. Eine vierte Leitlinie mit dem Schwerpunkt Gesellschaftsverträglichkeit sollte ebenfalls in die Bewertung von Stromversorgungstechnologien einfliessen. So könnten Konfliktpotenziale und allfällige Akzeptanzprobleme antizipiert und mit partizipativen Verfahren eventuell vermieden werden. Dies ist ein wichtiger Faktor, um die bevorstehende Energiewende vorantreiben zu können.

Zukünftig werden an der ZHAW weitere Technologien zur Stromproduktion analysiert und bewertet. Die daraus resultierenden Factsheets werden auf der Website des ZHAW Instituts für Nachhaltige Entwicklung veröffentlicht (siehe Link). Die Informationen zu den einzelnen Stromproduktionstechnologien können dann als Input für die Analyse und die Weiterentwicklung des Versorgungssystems im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung auf regionaler sowie auf nationaler Ebene genutzt werden, z.B. im Rahmen der nationalen Energie-Kompetenzzentren (SCCER).

Links

- Ökobilanzierungsdatenbank: www.ecoinvent.ch.
- ZHAW Institut für Nachhaltige Entwicklung: www.ine.zhaw.ch.

Referenzen

[1] Die Bundesbehörden der Schweizerischen Eidgenossenschaft, Bundesrat verabschiedet Botschaft zur Energiestrategie 2050, www.news.admin.ch (vom 04.09.2013).
[2] Schweizerischer Bundesrat, Energiegesetz-Entwurf (EnG-Entwurf), Stand am 1. Januar 2014.
[3] Burgherr, P., Hirschberg, S., Cazzoli, E. (2008), Final report on quantification of risk indicators for sustainability assessment of future electricity supply options, New Energy Externalities Developments for Sustainability NEEDS (Deliverable n° D7.1 – RS 3b).
[4] Flues, F., Löschel, A., Pothen, F., Wölfing, N. (2012), Indikatoren für die energiepolitische Zielerreichung, Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung GmbH.
[5] Spiess, H., Lobsiger, E., Carabias, V. (2014), Energieertrag vor Landschaftsbild? – Sozioökonomische und technische Aspekte der Windenergie am Beispiel der Region Goms, Bulletin SEV/VSE 3/2014.
[6] Stirling, S. (2007), A framework for analysing diversity in science, technology and society. Journal of the Royal Society Interface 4, pp. 707–719.
[7] Suisse éole – Vereinigung zur Förderung der Windenergie in der Schweiz (Stand 10.02.2014), www.suisse-eole.ch.
[8] Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen VSE (2012), Wege in die neue Stromzukunft – Gesamtbericht.
[9] Keller, C., Visschers, V. H. M., Siegrist, M. (2012), Affective imagery and acceptance of replacing nuclear power plants, Risk Analysis, 32(3), pp. 464–477.
[10] Geissmann, M., Huber, S. (2011), Soziale Akzeptanz von Windenergie – Erfolgsfaktoren und Good-Practice-Beispiele aus einer Arbeitsgruppe der Internationalen Energieagentur IEA, VSE Bulletin 3/2011.
[11] Krütli, P., Stauffacher, M., Pedolin, D., Moser, C., Scholz, R. W. (2012), The process matters: Fairness in repository siting for nuclear waste, Social Justice Research, 25(1), pp. 79–101.

Résumé

Les technologies sur le banc d'essai

Nouvelle batterie d'indicateurs pour évaluer la production d'électricité sur la base des objectifs de la Stratégie énergétique 2050

Dans quelle mesure les technologies de production d'électricité peuvent-elles contribuer à elles seules au tournant énergétique ? Quels sont leurs avantages et leurs désavantages ? Selon quels critères faut-il les évaluer ? Pour répondre à ces questions, une équipe de chercheurs de l'Institut du développement durable de l'Université des sciences appliquées à Winterthour (ZHAW) a développé une batterie d'indicateurs d'évaluation. Elle se base sur les lignes directrices définies dans la Stratégie énergétique 2050 : sécurité, rentabilité et respect de l'environnement.

26 indicateurs ont été ainsi définis, permettant d'évaluer les diverses technologies de production d'électricité dans l'optique du tournant énergétique. Pour que la prise en considération soit globale, l'aspect « compatibilité sociale » y a été ajouté.

Ces indicateurs ont été testés pour l'énergie éolienne à titre d'exemple. Le modèle d'évaluation a fait l'objet d'une fiche d'information. A l'avenir, la ZHAW analysera et évaluera d'autres technologies de production. Les fiches d'information qui en résulteront seront publiées sur le site de l'institut. Elles peuvent être utilisées pour l'analyse et le développement du système d'approvisionnement avec une vision de développement durable, tant au niveau régional que national.

Se

Angaben zu den Autoren

Francesco Ferraro, MSc ETH Umwelt-Ing., ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am ZHAW Institut für Nachhaltige Entwicklung und arbeitet und lehrt in den Bereichen Risikomanagement und Technology Assessment sowie nachhaltige Energiesysteme.
INE-ZHAW, 8401 Winterthur
ferr@zhaw.ch

Diego Sanchez, BSc Umwelt-Ing., ist wissenschaftlicher Assistent am ZHAW Institut für Nachhaltige Entwicklung.
sanh@zhaw.ch

Evelyn Lobsiger-Kägi, Dipl. Umwelt-Natw. ETH, ist wissenschaftliche Mitarbeiterin am ZHAW Institut für Nachhaltige Entwicklung.
kaev@zhaw.ch

Corinne Moser, Dr. sc. ETH, ist wissenschaftliche Mitarbeiterin am ZHAW Institut für Nachhaltige Entwicklung.
mosc@zhaw.ch

Vicente Carabias, Dipl. Umwelt-Natw. ETH, ist Dozent mit Teamführung am ZHAW Institut für Nachhaltige Entwicklung.
cahu@zhaw.ch

Anzeige