

Nachhaltigkeitsindikatoren zur Bewertung von (regenerativen) Energiesystemen

Tobias J. Petrovic

Ruhr-Universität Bochum, Lehrstuhl für Energiesysteme und Energiewirtschaft

Tel.: 0234 3225984

Email: petrovic@lee.ruhr-uni-bochum.de

Der Energiebereich nimmt innerhalb des Nachhaltigkeitskonzepts eine Schlüsselrolle ein. Aus diesem Grund sind insbesondere neue Entwicklungslinien im Rahmen der energietechnischen Begleitforschung unter dem Aspekt der Nachhaltigkeit zu beurteilen. Die Bewertung erfolgt dabei über aussagekräftige, möglichst quantifizierbare Indikatoren, welche die für den Energiebereich relevanten Nachhaltigkeitsaspekte adäquat abbilden sollen.

Technische Anlagensysteme werden heute überwiegend im Rahmen von Lebenszyklusanalysen (*Life Cycle Assessments, LCA*) beurteilt. Diese fokussieren traditionell vornehmlich auf ökologische und wirtschaftliche Aspekte wie die Analyse der Umweltauswirkungen und der Ressourceneffizienz. Gesellschaftliche Aspekte werden aufgrund ihrer schwierigen Quantifizierbarkeit jedoch oftmals nur unzureichend berücksichtigt. Zudem bleibt der Bezug der LCA-Wirkungsindikatoren zum Nachhaltigkeitsleitbild teilweise unklar. Bereits existierende Systeme von Nachhaltigkeitsindikatoren, die diesem gerecht werden, zeichnen sich wiederum durch eine Vielzahl von Kennzahlen aus oder lassen keine trennscharfe Bewertung von technischen Anlagensystemen zu. Hierdurch wird die praktische Anwendbarkeit erheblich beeinträchtigt.

Um diese Schwierigkeiten zu überwinden und bestehende Lücken in Bezug auf die Abbildung der sozialen Nachhaltigkeitsdimension zu schließen, wurden Nachhaltigkeitsindikatoren zur Bewertung technischer Anlagensysteme zur Stromerzeugung erarbeitet. Dabei wurde ein Ansatz gewählt, der die klassischen Dimensionen Nachhaltiger Entwicklung - Ökologie, Gesellschaft und Ökonomie - nicht getrennt, sondern integriert betrachtet. Ausgehend vom Verständnis der Brundtland-Kommission wurde „top-down“ das Nachhaltigkeitsleitbild analysiert, interpretiert und für den Energiebereich heruntergebrochen. Parallel dazu wurden „bottom-up“ eine Vielzahl bereits existierender Indikatorsysteme gesichtet und ausgewertet sowie die vorhandenen Indikatoren anhand definierter Kriterien bewertet.

Zur Auswahl geeigneter Nachhaltigkeitsindikatoren werden die Ergebnisse der Indikatorenbewertung (Bottom-up-Ansatz) zu den im Rahmen der Leitbilddiskussion (Top-down-Ansatz) erarbeiteten Leitlinien in Bezug gesetzt. Auf diese Weise können für jede Nachhaltigkeitsleitlinie die am besten geeigneten Indikatoren identifiziert werden. Werden Nachhaltigkeitsleitlinien nicht zufrieden stellend durch die vorhandenen Indikatoren abgedeckt, so ist eine Modifikation bestehender bzw. die Erarbeitung neuer Indikatoren notwendig. Im Ergebnis konnten sieben Indikatoren bestimmt werden, die eine umfassende Nachhaltigkeitsbewertung von Energieanlagen zulassen. Während ökologische Aspekte über die Inanspruchnahme der Umweltmedien (Luft, Wasser, Fläche) berücksichtigt werden, decken Indikatoren zur Energieversorgungssicherheit und zu Beschäftigungseffekten soziale Aspekte ab. Der kumulierte Energieaufwand und die Stromgestehungskosten beschreiben als Indikatoren für Ressourceneffizienz und Wettbewerbsfähigkeit die ökonomische Nachhaltigkeitsdimension.

Die Anwendbarkeit des Indikatorensystems wird anhand von Beispielrechnungen für Windenergie- und Photovoltaikanlagen sowie für ein Erdgas-GuD-Kraftwerk als konventionelles Vergleichssystem demonstriert. In einem zweiten Schritt werden zusätzlich Backupsysteme in die Betrachtung einbezogen. Die Ergebnisanalyse zeigt, dass die betrachteten regenerativen Energiesysteme in Relation zum konventionellen Vergleichssystem auf vielen Feldern zu einer nachhaltigen Entwicklung beitragen können. Die Stärken und Schwächen der Techniken in Bezug auf einzelne Indikatoren verdeutlichen jedoch, dass eine diversifizierte Struktur im Sinne eines ausgewogenen Technikmixes bei der Stromerzeugung angestrebt werden sollte, um einseitig negative Entwicklungen zu verhindern.

Das Indikatorensystem ist prinzipiell auf alle technischen Entwicklungslinien anwendbar und lässt damit relative Vergleiche konventioneller und innovativer Techniken zu. Die Konzentration auf sieben hoch aggregierte Indikatoren wird den Anforderungen der Praxis gerecht.

Nachhaltigkeitsindikatoren zur Bewertung von (regenerativen) Energiesystemen

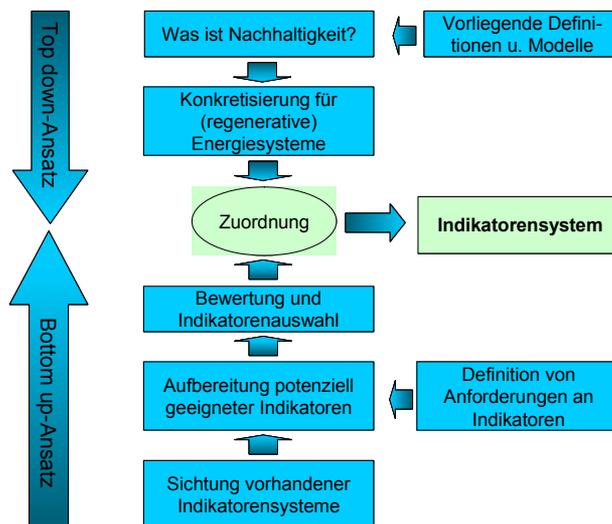
Dipl. Umweltwiss. T. J. Petrovic
petrovic@lee.rub.de

- 
- Motivation**
 - Was bedeutet Nachhaltigkeit im Energiebereich?**
 - Nachhaltigkeitsindikatoren**
 - Bewertung von Energiesystemen**
 - Fazit**

- Entscheidungshilfe bei Investitionsplanung
- Technikfolgenabschätzung
- Zukunftsplanung (Szenarien)
- Prüfung der Erfüllung politischer Vorgaben
- System-Benchmarking
- Identifizierung von Forschungsschwerpunkten



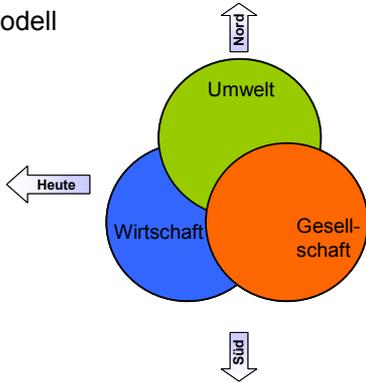
Projekt
„Nachhaltigkeit am
Beispiel regenerativer
Energiesysteme“



“Sustainable Development is development that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs”

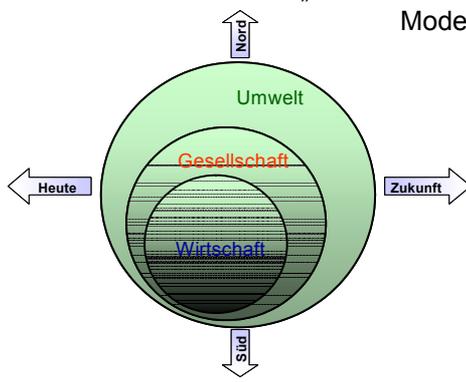
Quelle: UN 1987, S. 54 („Brundtland-Bericht“)

„Drei-Dimensionen“-
Modell



Quelle: nach SIA 2000, verändert

„Russian-Doll“-
Modell



Quelle: nach Levett 1999, verändert

Nachhaltigkeitsleitbild und -modelle



Nachhaltigkeitsaspekte des Energiebereichs, geeignete Indikatoren

Versorgungssicherheit

- angebotsseitiger, technische und wirtschaftlicher Aspekte
- Aggregation über Konzentrationsmaß (Herfindahl-Index)

Kumulierter Energieaufwand

- nach VDI-Richtlinie 4600
- nachhaltige / nicht-nachhaltige Energieaufwendungen

Stromgestehungskosten

- nach VDI-Richtlinie 2067, Blatt 1 (annuitätisch)
- Diskontrate 5%

Beschäftigungseffekte

- durch Zubau von Energieanlagen (brutto)
- Szenarienvergleich (Bilanzierungssoftware MAREsforte)

Luft-Beanspruchung

- Luftvolumen zur Verdünnung gasförmiger Emissionen
- Bezug auf Grenzwerte nach TA-Luft

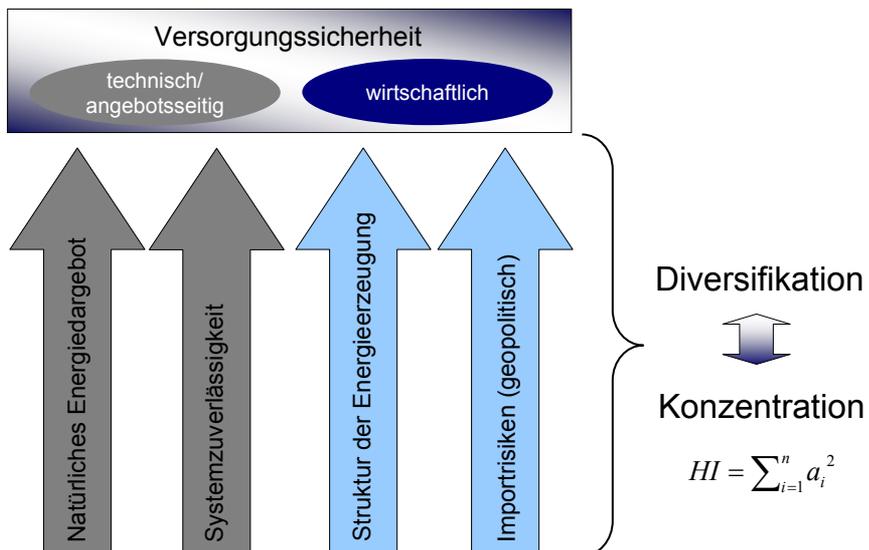
Wasser-Beanspruchung

- Wasservolumen zur Verdünnung wässriger Emissionen
- Bezug auf Grenzwerte nach Trinkwasserverordnung (TVO)

Flächen-Beanspruchung

- direkte Flächeninanspruchnahmen durch Anlage + Infrastruktur
- Berücksichtigung visueller Beeinträchtigungen (Ausgleichsfläche)

Überblick



Nachhaltigkeitsindikator Versorgungssicherheit

Referenzszenario

Investitionen in Kraftwerkspark



Betriebsaufwendungen (Wartung/Instandhaltung, etc.)



Energieträgerimporte (→ Kapitalabfluss!)



Zubauszenario (= Referenzszenario + Zubau)

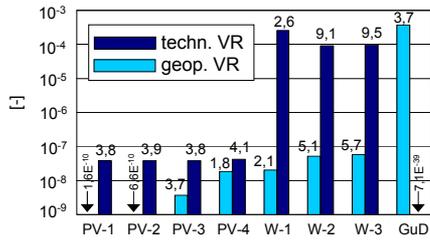
$$\text{Szenariovergleich: } \Delta B = \frac{B_{\text{Zubau}} - B_{\text{Referenz}}}{W_{\text{el}(\text{netto})}} \left[\frac{AP}{GWh} \right]$$

Nachhaltigkeitsindikator Beschäftigungseffekte

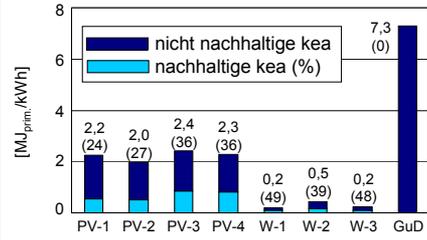
Beschreibung	Photovoltaiksysteme		Windkraftanlagen		GuD-KW
	PV-1, PV-2 Dachanlagen	PV-3, PV-4 Kraftwerke	WEA-1 onshore	WEA-2, WEA-3 offshore	GuD
Leistung [MW _(p)]	0,005 0,020	0,1 0,5	1,5	1,5 5,0	353
Nutzungsdauer [a]	20 / (40)	20 / (40)	20 / (40)	20 / (40)	30 / (40)
Wirkungsgrad [%]	14,0 / 13,2	14,0 / 13,2	-	-	58,0
Einstrahlung [W/m ²]	1.000	1.000	-	-	-
Windgeschw. [m/s]	-	-	5,5	9,0	-
Vollastbenutzungsstunden p. a. [h]	850	850	2.200	4.000 4.200	7.000
Investitionskosten (IVK) [€/kW]	6.660 6.390	5.130 5.110	1.250	1.530 1.700	1.330
Jährl. Betriebskostenanteil [% IVK]	0,55	0,50	6,0	8,0	3,3

Referenzsysteme

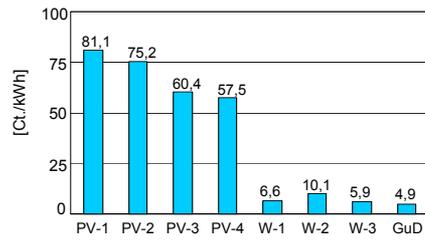
Versorgungsrisiko (VR)



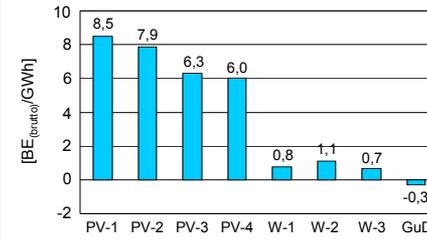
Spez. kum. Energieaufwendungen (kea)



Spez. Stromgestehungskosten

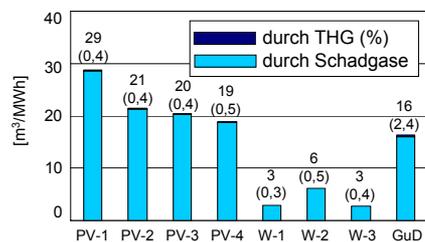


Spez. Brutto-Beschäftigungseffekte

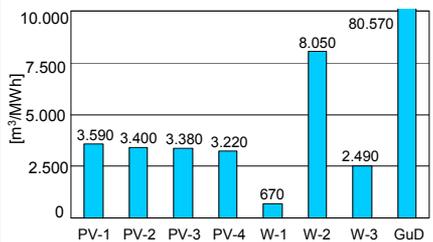


Nachhaltigkeitsindikatoren: Ergebnisse (1)

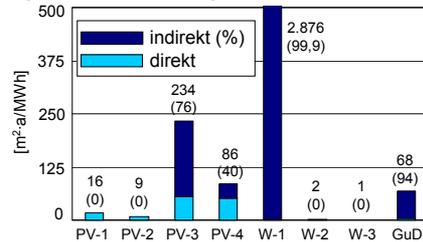
Spez. Luftinanspruchnahme



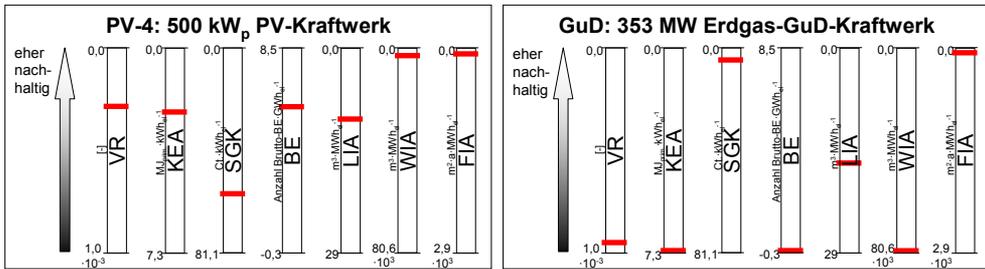
Spez. Wasserinanspruchnahme



Spez. Flächeninanspruchnahme



Nachhaltigkeitsindikatoren: Ergebnisse (2)



KEA: Spez. kumulierter Energieaufwand
 BE: Spez. Beschäftigungseffekte (brutto)
 SGK: Spez. Stromgestehungskosten
 VR: Versorgungsrisiko

LIA: Spez. Luftinanspruchnahme
 WIA: Spez. Wasserinanspruchnahme
 FIA: Spez. Flächeninanspruchnahme

Nachhaltigkeitsindikatoren: Systemvergleich

- Entwicklung eines transparenten Verfahrens zur Indikatorenauswahl.
- Lücken bzgl. der Abbildung der sozialen u. ökonomischen Nachhaltigkeitsdimension konnten geschlossen werden.
- Praktikabilität aufgrund geringer Indikatorenzahl.
- Regenerative Energiesysteme (Wind, PV) können auf vielen Feldern zu einer nachhaltigen Entwicklung des Energiebereichs beitragen.
- Stärken und Schwächen verdeutlichen, dass eine diversifizierte Struktur bei der Energieumwandlung angestrebt werden sollte.