

Vorbemerkung

Das hiermit zur Verfügung gestellte Excel-Tool zur überschlägigen Berechnung eines Ringwallaspeicher-Hybridsystems soll dazu beitragen,

- die Diskussionen zur Lösung der Speicherproblematik einer erneuerbaren Stromversorgung zu versachlichen und
- die Möglichkeiten der geotechnischen Lösung dieser Frage transparent darzustellen.

Jeder der die Bereitschaft mitbringt, sich die Zusammenhänge zu verdeutlichen, wird damit in die Lage versetzt, selbst die überschlägigen Berechnungen für ein Ringwallaspeicher-Hybridkraftwerk durchzuführen.

Meine Erwartung und Hoffnung mit der zur Verfügung Stellung dieses Tools sind, dass

- das Berechnungsschema konstruktiv diskutiert, verbessert und verfeinert wird,
- die verwendeten Kostenansätze diskutiert, verbessert und in ihrer Bandbreite mit belastbaren Fakten und Hintergrundinformationen begründet werden,
- viele möglicherweise für einen Ringwallaspeicher in Frage kommende Gebiete damit untersucht,
- beschrieben und
- in einer Liste zusammengetragen werden.

Damit soll eine Datenbank für untersuchungswürdige Ringwallaspeicherstandorte entstehen, welche

- das für derartige Speichersysteme in Deutschland und in den Nachbarländern verfügbare Potential aufzeigt und
- die Standortvorschläge in eine Reihenfolge ihrer vermuteten Wirtschaftlichkeit bringt.

Grundsätzliche Bedienungshinweise

In das Excel-System habe ich ein Makro integriert, das die Lösung der komplexen Formelzusammenhänge iterativ herbeiführt.

Damit das Makro verwendet werden kann, muss möglicherweise die Sicherheitseinstellung von Excel so verändert werden, dass **Makros zugelassen** werden.

Alle gelb unterlegten Felder sind frei zu wählende Eingaben.

Diese müssen allerdings physikalisch sinnvoll vorgenommen werden, damit plausible Ergebnisse berechnet werden können.

Durch Klick auf die oben rechts angeordnete Schaltfläche „Iteration starten“ werden dann alle sich daraus ergebenden Ergebnisse ermittelt.

Die Iteration ist dafür zuständig, die Länge des Unterbeckens so zu ermitteln, dass der Aushub für das Unterbecken und das Wallvolumen für das Oberbecken zusammenpassen.

Die Iteration muss deshalb immer dann aufgerufen werden, wenn sich an der Geometrie der Anlage etwas ändert.

Die weiter unten befindlichen Felder bezüglich Kraftwerksauslegung und Kosten können auch ohne erneuten Aufruf der Iteration modifiziert werden.

Mit dem Tool ist es leicht möglich, den Einfluss geänderter Ringwalldurchmesser, Kostenannahmen, natürlich nutzbarer Höhenunterschiede, anderer Böschungswinkel des Ringwalls, alternativer oder zusätzlicher Dichtsysteme oder anderer Auslegungsparameter einzuberechnen.

Das Tool ist bis auf die eingetragenen Texte, im Excel-Schema selbst nicht umfassend erklärt und nicht mit Zeichnungen versehen, welche die Eingabegrößen veranschaulichen.

Dazu dient diese Anleitung.

Als zeichnerische Erklärung sollte das Bild 4 auf meiner Internetseite

http://www.poppware.de/Ringwallaspeicher/Ringwall-Nutzung_naturlicher_Hohenunterschiede.htm verwendet werden.

Das Tool hat keine, für eine unkritische Nutzung geeignete Oberfläche und ist auch noch nicht umfassend erprobt.

Die Ergebnisse sind deshalb mit ingenieurtechnischem Sachverstand jeweils kritisch zu überprüfen.

Haftung, Weiterentwicklung und Weitergabe

Für die Richtigkeit der damit ermittelten Ergebnisse übernehme ich als Autor keine Verantwortung. Diese Verantwortung obliegt ausschließlich demjenigen, der das vollkommen offengelegte Tool und die damit ermittelten Ergebnisse verwendet.

Das Tool kann auch durch eigene Modifikationen erweitert oder verändert werden. Sollte dabei die Zeilenanordnung oberhalb der Zeile 59 betroffen sein, dann hat das Auswirkungen auf den Iterationsprozess und erfordert die Anpassung der damit aufgerufenen Visual-Basic Prozedur. Änderungen unterhalb von Zeile 58 betreffen nur das sichtbare Excel-Schema. Das Einfügen zusätzlicher Zeilen, um z.B. weitere Kosten zu berücksichtigen oder um Kostenpositionen weiter zu detaillieren, sollte nach der Zeile 58 ohne Rückwirkungen auf den Iterationsprozess vorgenommen werden können.

Jegliche Haftung für Schäden, die aus der Verwendung dieses Tools und der damit ermittelten Ergebnisse entstehen, wird seitens des Autors grundsätzlich abgelehnt.

Sollten in diesem Tool wider Erwarten Fehler festgestellt werden, dann bitte ich um umgehende Benachrichtigung, damit diese korrigiert werden können.

Verbesserung des Tools sollten nach Möglichkeit dem Autor zur Verfügung gestellt werden, so dass allen Nutzern ein Instrument zur Verfügung steht, mit dem vergleichbare Ergebnisse bei der Bewertung verschiedener Standortvorschläge erwartet werden können.

Eine Weitergabe des Tools sollte nur durch den Autor erfolgen. Damit wird sichergestellt, dass eventuelle zukünftige Korrekturen oder Weiterentwicklungen alle Nutzer erreichen können.

Rückkopplung von Ergebnissen

Wenn das Tool angenommen wird und zur Untersuchung konkreter Gebiete eingesetzt wird, dann bin ich an einer zurückgesandten Kopie des ausgefüllten Excel-Schemas interessiert. Diese vorgeschlagenen Standorte können dann mit den ermittelten Eckwerten in eine Datenbank aufgenommen werden, die ich in geeigneter Form auch auf meiner Internetseite einstellen kann. Damit sollte es möglich werden, einen systematischen Überblick geeigneter Ringwallaspeicher-Standorte zu bekommen.

Detaillierte Bedienungshinweise

Zeile	Hinweis
4	Wenn man z.B. mit Google-Earth eine Landschaft analysiert, dann kann das System so konfiguriert werden, dass am unteren Bildschirmrand eine Höhenangabe für die aktuelle Mausposition angezeigt wird. Höhenunterschiede in einer Landschaft können damit gut identifiziert und analysiert werden. Findet man damit Bereiche, wo für einen Ringwallaspeicher geeignet erscheinende Gebiete auf unterschiedlichen Höhenniveaus angetroffen werden, dann kann für das höhere Niveau zunächst ermittelt werden, wie groß der maximale Durchmesser eines Ringwallaspeichers möglichst konfliktarm gewählt und untergebracht werden kann.
5	Je größer über diesen Wert das Austauschvolumen des Ringwallaspeichers gewählt wird, desto größer wird seine Speicherkapazität. Bei der Wahl der maximal einzuplanenden Pegelabsenkung im Oberbecken ist jedoch zu bedenken, dass die Absenkung 1. nicht die Wallhöhe überschreiten sollte. 2. von den Pumpen- und Turbinensätzen des Pumpspeicherkraftwerks mit guten Wirkungsgraden verarbeitet werden können sollte. Überschreitet das in Zeile 74 daraus berechnete Höhenverhältnis zwischen maximalen und minimalen Höhenunterschied zwischen den Wasserständen des Ober- und Unterbeckens in etwa den Wert 1,3, dann kann dieser sehr große Höhenunterschied durch die Verwendung von zwei oder drei auf die verschiedenen Fallhöhendifferenzen optimierten Maschinensätzen überbrückt werden. Eine Vergrößerung der Pegelabsenkung führt nicht automatisch zu besseren Kostenverhältnissen. Je niedriger die Fallhöhendifferenz wird, desto großvolumiger und damit teurer werden auch die Pump- und Turbinensätze, welche die bei gleicher Leistung zunehmenden Volumenströme verarbeiten müssen.
6	Für die maximale Pegelabsenkung des Unterbeckens gelten einige Hinweise analog zu denen des Oberbeckens. Das Unterbecken leert sich, wenn sich das Oberbecken füllt und umgedreht. Die maximale Absenkung des Wasserstandes im Unterbecken sollte sich am tiefsten Niveau eines in der Umgebung erreichbaren Gewässers orientieren, in das der Inhalt des Unterbeckens z.B. über einen anzulegenden Kanal ohne Energiezufuhr abgelassen werden kann. Das stellt sicher, dass beispielsweise dem Unterbecken zuströmendes Grundwasser ohne Energiezufuhr abgeführt und auf diese Weise das Austauschvolumen des Oberbeckens jederzeit aufgenommen werden kann. Das Umgebungsniveau, in dem das Unterbecken errichtet wird, sollte deshalb etwas mehr als die maximale Pegelabsenkung über dem Niveau des Gewässers liegen, das diese Ablassfunktion bekommt. Je größer die maximale Pegeldifferenz im Unterbecken realisiert werden kann, desto geringer wird der Landverbrauch des Speichersystems, um eine bestimmte Kapazität zu erreichen.
7	Über die mittlere Breite des Unterbeckens wird festgelegt, wie die Verhältnisse von Uferlänge zu nutzbarer Wasserfläche des Unterbeckens sein werden. Ideale Verhältnisse gäbe es bei einem kreisrunden Unterbecken. Je kleiner die Breite gewählt wird, desto länger wird die ermittelte Uferlinie des Unterbeckens, deren halbe Länge in Zeile 36 ausgewiesen wird. Das Unterbecken muss sich keinesfalls ringförmig um das Oberbecken erstrecken. Es sollte an einer Stelle möglichst nahe an das Oberbecken heranreichen und an einer anderen Stelle möglichst nahe an das Gewässer kommen, über das die Anlage befüllt und ggf. an einer weiteren Stelle an ein Gewässer, über das die Anlage entleert werden kann. Befüllung und Entleerung können auch über eine einzige Verbindung zu einem Gewässer erfolgen, wenn die vorher angesprochene Alternative nicht vorliegt. Da die Breitseite bei der Berechnung des Böschungsvolumens bei der Aushubermittlung nicht berücksichtigt wird, sollte die Breite klein im Vergleich zur Länge gewählt werden. Die Breite sollte jedoch so groß gewählt werden, dass bei Berücksichtigung des Böschungsverhältnisses in Zeile 34 die Ausgrabungstiefe in Zeile 31 erreicht werden kann.
8	Die prozentuale Volumenreserve dient dazu, Aushubvolumen zu berücksichtigen, das nicht

	in den Ringwall für das Oberbecken eingebaut werden kann. Sollte der Ringwall stärker verdichtet werden, als es das Erdmaterial war, bevor es dem Unterbecken entnommen wurde, so kann das auch über diesen Parameter gesteuert werden. Sollte das Material mit geringerer Dichte eingebaut werden, so kann das durch einen negativen Wert ausgedrückt werden.
11	Mittleres Höhenniveau des Ringwalls für das Oberbecken über dem mittleren Höhenniveau des Unterbeckens. Da es nur selten für ein Oberbecken und ein Unterbecken brettebene Landschaften geben wird, muss dieser Wert nach Möglichkeit so festgestellt werden, dass die Wallvolumen und Höhen halbwegs zutreffend bestimmt werden können. Da ein Wall das größte Volumen im Fußbereich hat, tut man gut daran, in einer ersten Näherung das Höhenniveau des Oberbeckens näher an der geringsten Höhendifferenz zum Unterbecken zu orientieren.
12	Als Null-Niveau wird das mittlere Höhenniveau der Landschaft angenommen, aus der das Unterbecken ausgehoben wird. Sollte die Landschaft bereichsweise tiefer liegen, dann kann das Unterbecken in den betroffenen Bereichen auch durch einen Damm begrenzt werden. Das dafür benötigte Volumen sollte bei der Höhenniveauabschätzung für das Oberbecken in 11 so berücksichtigt werden, dass das verfügbare Wallvolumen für das Oberbecken trotzdem zutrifft. Alternativ kann dafür in Zeile 8 eine prozentuale Volumenreserve vorgesehen werden.
13	Dieses Höhenniveau der Wasserressource wird bisher noch nicht weiter verwendet. Es hat bei genaueren Analysen Einfluss darauf, ob zur Erstbefüllung der Anlage ein natürlicher Zufluss genutzt werden kann oder ob zusätzliche Pumpsysteme installiert werden müssen.
16	Dieser Wert wiederholt lediglich die Angabe aus Zeile 4.
17	Die Kronenbreite des Walls sollte geeignet gewählt werden. Höhere Wälle erhalten in der Regel eine breitere Dammkrone.
18	Die Freibordhöhe gibt an, wie weit der maximale Wasserpegelstand des Oberbeckens unter der Dammkrone bleibt. Damit soll verhindert werden, dass bei starkem Wind die Wellen über die Dammkrone schlagen.
20 21	Das Böschungsverhältnis legt die Neigung des Walls fest. Je steiler er gebaut werden kann, desto höher wird er und desto größer wird die Speicherkapazität bei gegebenem Außendurchmesser. Steile Böschungen erfordern sorgfältigeren Bau und dafür geeignete Materialien, flachere Böschungen können einfacher hergestellt werden.
22	Dieser Wert wiederholt die Angabe aus Zeile 5.
23	Dieser Formfaktor ist eine Hilfsgröße bei der iterativen Bestimmung der Wallhöhe. Er gibt an, um wie viel das Volumen eines geraden Walles mit der Länge des Außendurchmessers des Ringwalls größer wäre, als der kreisförmige Ringwall.
27	Das Stauziel für das Unterbecken gibt an, wie tief der maximale Pegelstand des Unterbeckens unterhalb des Umgebungsniveaus bleibt.
28	Dieser Wert wiederholt die Eingabe aus Zeile 6.
30	Der Mindestwasserstand im Unterbecken legt fest, welche Wassertiefe im Unterbecken verbleibt, damit die Wasserfläche für Fischerei und Freizeitbetrieb genutzt werden kann.
31	Das Restwasservolumen ist der Wasserinhalt des Unterbeckens bei Mindestwasserstand.
34	Die Uferneigung des Unterbeckens.
35	Dieser Wert wiederholt die Eingabe aus Zeile 7.
36	Die mittlere Länge des Unterbeckens wird durch Aufruf der Iteration so berechnet, dass sowohl der Aushub für das Unterbecken (Zeile 38) mit dem verbauten Wallvolumen (Zeile 50) als auch das Austauschvolumen von Unterbecken (Zeile 39) und Oberbecken (Zeile 58) übereinstimmen.
38	Das Aushubvolumen des Unterbeckens sollte nach erfolgreicher Iteration mit dem Wallvolumen (Zeile 50) bei Berücksichtigung der eventuell angesetzten Volumenreserve (Zeile 51) übereinstimmen.

39	Das iterativ ermittelte Austauschvolumen des Unterbeckens sollte mit dem des Oberbeckens (Zeile 58) übereinstimmen
51	Nach erfolgreicher Iteration sollte die hier ausgewiesene Volumenreserve mit Zeile 8 übereinstimmen.
74	Wenn das Höhenverhältnis den Wert 1,3 überschreitet, dann ist entweder ein weiterer Maschinensatz einzuplanen um den großen Fallhöhenbereich bei guten Wirkungsgraden überbrücken zu können oder ein entsprechend niedriger Wirkungsgrad in Zeile 75 anzusetzen
75	An dieser Stelle ist nicht der Gesamtwirkungsgrad des Speichersystems, der sich aus dem Lade- und Endladewirkungsgrad zusammensetzt einzutragen, sondern lediglich der Endladewirkungsgrad. Die im Speicher befindliche Energie kann aus ihm mit dem Endladewirkungsgrad entnommen werden. Die Energieverluste, die aufgetreten sind, um den Speicher aufzuladen, haben nichts mit der Kapazität zu tun, die der Speicher aufnehmen kann. Die im Speicher enthaltene potentielle Energie kann über den Endladewirkungsgrad in elektrische Energie zurückgewandelt werden.
76	Speicherkapazität
79	Dieses Verhältnis gibt an, wie die maximale Leistung des Speicherkraftwerks im Vergleich zu der durchschnittlich im Versorgungsgebiet nachgefragten Last zu bemessen ist. Dem liegt die Annahme zugrunde, dass der Speicher in der Nacht und bei Windflaute in der Lage sein muss, die höchste zu erwartende Last abzudecken, die im Versorgungsgebiet auftritt.
81 . . . 88	Mit den Speicherreichweiten wird festgelegt, über welche Zeit der gefüllte Speicher in der Lage sein wird, die durchschnittlich zu erwartende Nachfrage des Versorgungsgebiets zu decken, wenn in dieser Zeit die Erzeugung vollkommen ausfallen würde. Auf Basis der Speicherkapazität aus Zeile 76 ergeben sich daraus die durchschnittlichen und die maximalen Kraftwerksleistungen.
91	Die flächenspezifische Speicherkapazität gibt an, wie viel Energie auf einen Quadratmeter Land gespeichert wird.
92	Die erdbauvolumenspezifische Kapazität gibt an, welche Erdvolumen pro Kilowattstunde Speicherkapazität als Unterbecken ausgehoben und zu einem Wall für das Oberbecken verbaut werden müssen.
95	Das Oberbecken im Ringwall kann entweder mit einer Dichtung, die sich innerhalb des Walls befindet, vor Wasserverlusten geschützt werden oder durch eine Auskleidung der wasserbenetzten inneren Oberfläche des Walls oder durch eine Kombination dieser Maßnahmen. Zur Berechnung einer Innendichtung wird in dieser Zeile der Umfang in Wallmitte bestimmt.
96	Mit der Wallhöhe und dem in Zeile 95 ermittelten Wallumfang ergibt sich die Gesamtfläche die eine Wallinnendichtung einnehmen würde.
97	Wenn der Wall nicht unmittelbar auf einem wasserundurchlässigen Untergrund steht, dann könnte trotz Innendichtung im Wall (Zeilen 95, 96), das Wasser unter diesem durchsickern. Befindet sich tiefer unter dem Wall eine wasserundurchlässige Bodenschicht, dann kann diese durch einbringen einer Dichtung die an die Innendichtung des Walls anschließt verbunden werden und das unterströmen des Walls verhindern. Die Tiefe dieser wasserundurchlässigen Bodenschicht unter dem Wall ist hier einzutragen.
98	Fläche der Dichtwand zwischen dem Wall und der wasserundurchlässigen Bodenschicht.
99	Aus ökologischen und wasserwirtschaftlichen Gründen sollte eine Wechselwirkung zwischen einem Wasserbecken und dem Grundwasser verhindert werden. Die veränderlichen Pegelstände im Unterbecken eines Ringwallepeichers würden so eine Wechselwirkung hervorrufen. Befindet sich im Boden unter dem Unterbecken eine wasserundurchlässige Schicht, dann kann eine Dichtwand entlang des Ufers des Unterbeckens hinunter zu dieser Bodenschicht, den Wasseraustausch mit dem Grundwasser verhindern. Als Länge dieser Schlitzwand wird der Außenumfang des Unterbeckens angenommen.

100	Tiefe einer wasserundurchlässigen Bodenschicht unter dem Umgebungsniveau des Unterbeckens.
101	Fläche, die mit einer Schlitzwand um das Unterbecken abgedichtet würde.
107	Mittlerer Bodenpreis zum Erwerb des für den Ringwallaspeicher benötigten Landes.
108	Durchschnittspreis und Anzahl der zu entschädigenden Anwesen, die für den Bau des Ringwallaspeichers umgesiedelt werden müssten.
109	Bäume fällen, Humus abtragen, Rückbau von Gebäuden und sonstiger Einbauten, ...
110 ... 114	Kosten zur Verkehrserschließung der Anlage sowie die Neuordnung des Verkehrsnetzes der betroffenen Region für den Bau und die Verlegung von Straßen und Brücken
115	Kosten für Einbauten in das Gewässer, mit dem die Ringwallaspeicheranlage befüllt, im laufenden Betrieb die Verdunstung ausgeglichen und in das überschüssiges Wasser aus dem Ringwallaspeicher abgegeben wird sowie die notwendigen Verbindungsbauwerke.
116 . . . 137	Für mehrere zu erwartende Bodenarten, die sich unterschiedlich gut eignen und verarbeiten lassen können die Erdbaukosten für den Aushub des Unterbeckens und den Aufbau des Walls kalkuliert werden. Zu beachten ist, dass das gesamte Volumen berücksichtigt wird. Die Bodenarten können in die entsprechenden Felder eingetragen werden. Die Volumina werden aus dem Eintrag in Zeile 116 aufgrund der Prozentsätze in die Zeilen 117, 124 und 131 eingetragen. Wenn die vorgesehen Felder nicht ausreichen, können die Bereiche kopiert und zusätzliche Bodenarten berücksichtigt werden.
138 139 140	Für die Abdichtung des Oberbeckens ist als eine Alternative eine Abdichtung der Oberfläche vorgesehen, als andere Alternative eine Innendichtung des Walls in Kombination mit einer Untergrundabdichtung als Schlitzwand auf eine wasserundurchlässige Schicht. Eine oder beide Optionen können gewählt werden.
141	Hier sind die Kosten für eine Dichtung zu berücksichtigen, die eine Wechselwirkung zwischen Unterbecken und Grundwasser verhindert.
142	Kosten für die Erstbefüllung der Speicheranlage mit Wasser. Das sind die Stromkosten, die auch bei einer Aufladung des Speichers anfallen und zusätzlich eventuelle Förderkosten, um das Wasser aus einem externen Gewässer in den Ringwallaspeicher zu bringen.
143	Pumpspeichertechnikkosten für Pumpen, Turbinen, Motoren, Generatoren, Elektrik, Rohrleitungen, usw.
144	Sollte das Höhenverhältnis (Zeile 74) zwischen entladem und aufgeladem Speicher zu groß sein, dass ein Maschinensatz ausreicht, um die Speicheraufgabe bei guten Wirkungsgraden zu erfüllen, dann kann ein zweiter Maschinensatz für ein zweites Druckniveau eingeplant werden. Teile der Installation, wie Fall und Steigrohre usw. können dabei ggf. für beide Maschinensätze genutzt werden.
145	Falls das Höhenverhältnis (Zeile 74) so groß vorgesehen sein sollte, dass zwei Maschinensätze nicht ausreichen um über alle Fallhöhen hinweg bei gutem Wirkungsgrad arbeiten zu können, kann ein dritter Maschinensatz eingeplant werden.
146	Überwachungssysteme für die Dammgeometrie, Sickerverluste, Grundwassereinflüsse, Erdbeben, Landschaftsdeformationen, ...
147 ... 149	Sollten die vorgesehenen Ansätze für pauschale Kosten nicht ausreichen, so lassen sich weitere Zeilen einfügen um die Kosten des Gesamtsystems möglichst vollständig abschätzen zu können.
150	Ausgewiesen werden die ermittelten Gesamtkosten, die auf die vom Gesamtsystem bereitgestellte Durchschnittsleistung bezogenen Investitionskosten und die Investitionskosten, die pro Kilowattstunde Speicherkapazität ermittelt wurden.
152	Die Speicherbetriebskosten geben an, mit welchen jährlichen Kosten für den Betrieb und den Unterhalt des Speichersystems zu rechnen ist.
155	Die Jahresstromerzeugung ergibt sich aus der Durchschnittsleistung des Speichersystems multipliziert mit der Jahrestundenzahl. Das ist der Stromumsatz, den das Gesamtsystem aus

	volatilen Erzeugungsanlagen und Speicheranlage bedarfsgerecht dem Verbrauch zur Verfügung stellen kann.
164	Gibt bei einer 50-jährigen Anlagennutzung den Anteil der Investitionskosten wieder, der auf die verbrauchte Kilowattstunde Strom entfallen würde, um die Kosten der Anlage einzuspielen.
167	Gibt bei einer 50-jährigen Anlagennutzung die Gesamtkosten wieder, die auf die verbrauchte Kilowattstunde Strom entfallen würde, um die Betriebs- und die Kapitalkosten der Anlage einzuspielen.
171	Speicherreichweite und Erzeugungssystem müssen so aufeinander abgestimmt sein, dass in allen Fällen eine bedarfsgerechte Stromversorgung sicher gestellt werden kann. Wie diese Abstimmung vorgenommen werden kann, wird systematisch im Buch „Speicherbedarf bei einer Stromversorgung mit erneuerbaren Energien“ des Autors beschrieben. Wird die Speicherkapazität zu niedrig vorgehalten, dann ist damit zu rechnen, dass bei ungünstigen Langzeitwetterlagen der Speicher leer läuft und Ersatzkraftwerke einspringen müssen. Das Vorhalten von Ersatzkraftwerken, die aber nur alle paar Jahre einmal in Betrieb gehen, wird aber nicht als praktikable Option betrachtet. Deshalb ist es wichtig, die konkreten Verhältnisse einer Versorgungsregion so zu analysieren. Dass die Speicher ausreichend dimensioniert sind.
172	Eine optimale, speicherbedarfsminimierende Kombination aus Wind- und Solarenergieanlagen hängt von zahlreichen Einflüssen ab, die im Buch „Speicherbedarf bei einer Stromversorgung mit erneuerbaren Energien“ umfassend beschrieben sind. Sie hat erheblichen Einfluss auf die Kapazität und die Auslegungseigenschaften des erforderlichen Speichersystems.
173	Der Solarenergieanteil ergibt sich aus der Festlegung des Windenergieanteils.
174	Die Erzeugungsreserve hat sehr großen Einfluss auf die notwendige Speicherkapazität um eine jederzeit bedarfsgerechte Versorgung sicher stellen zu können. Auch dieser Einfluss ist umfassend im Buch „Speicherbedarf bei einer Stromversorgung mit erneuerbaren Energien“ analysiert.
178	Der Benutzungsgrad, auf den die Windenergieanlagen ausgelegt werden, beeinflusst als weiterer Systemparameter in hohem Maße den Speicherbedarf des Versorgungssystems. Niedrige Benutzungsgrade erhöhen die Ungleichförmigkeit der Windstromerzeugung, erfordern bei starkem Wind höhere Leistungen um damit die Speicher aufladen zu können und höhere Solarenergieanteile um saisonale Erzeugungsunterschiede speicherbedarfsminimierend auszugleichen. Auch diese Zusammenhänge sind umfassend im Buch „Speicherbedarf bei einer Stromversorgung mit erneuerbaren Energien“ beschrieben.
179	Der Benutzungsgrad der Solarenergieanlagen ergibt sich bei starr montierten Anlagen weitgehend aus dem Dargebot der Globalstrahlung. Wegen der hohen Kosten der Solarmodule erscheint es nicht opportun, Leistungsspitzen einfach abzuschneiden, um den Benutzungsgrad zu steigern. Nachgeführte Systeme können etwas höhere Benutzungsgrade erreichen, weil sie bei direktem Sonnenschein immer unter einem optimalen Winkel zur einstrahlenden Sonne ausgerichtet werden können. Der Benutzungsgrad wird sich deshalb nur schwer über die voreingetragenen 10% hinaus erhöhen lassen können.
185	Für Windenergieanlagen mit 50% Benutzungsgrad liegen keine Kostenangaben vor, bei den voreingetragenen 1.500,- € handelt es sich um einen Schätzwert.
234 ... 236	Die überschlägig ermittelten Kosten einer bedarfsgerechten erneuerbaren Stromversorgung auf der Basis eines Ringwallspeicher-Hybridkraftwerks zeigen, dass eine erneuerbare Stromversorgung durchaus gegenüber anderen Stromerzeugungssystemen in Konkurrenz treten kann.

Was Ringwandspeicher betrifft, hat die Lernkurve, die zu Kostenreduzierungen führt, noch gar nicht begonnen, die Kosten der Fotovoltaik gehen kontinuierlich nach unten und die Windenergie wird sich die Akzeptanz für gute Standorte im Binnenland mit großen Nabhöhen und größten Rotoren erst noch erwerben. Das teuerste an den Stromkosten sind die Kapitalkosten, wenn hohe Zinssätze unterstellt werden. Im Gegensatz zu Kosten für den Einkauf von Primärenergieträgern, verbleiben diese Zinsen aber im eigenen Land und fördern regionale Wirtschaftskreisläufe.

Wird der Aufbau der Speichersysteme nicht privatwirtschaftlich organisiert sondern als gesamtgesellschaftliche Aufgabe der Daseinsfürsorge, dann gäbe es auch Lösungen, diese bei langfristigen Finanzierungen besonders durchschlagenden Zinskosten zu vermeiden. Damit könnte schon bald auch von den Kosten attraktiver, bedarfsgerecht verfügbarer, regenerativ gewonnener Strom der Wirtschaft zur Verfügung gestellt werden.

Der Vergleich der Kostenanteile für das Speichersystem, die Windenergie und die Solarenergie zeigt, dass eine geschickte geotechnische Lösung der Speicherfrage die geringsten Kostenanteile an einem funktionsfähigen Gesamtsystem hervorruft.

Wunsiedel am 23.05.2011

Dr.-Ing. Matthias Popp