

## Zusammenfassung

### **Kostenoptimierter Mix aus Energiespeichern, Wind- und Solarkraftanlagen für eine vollwertige regenerative Stromversorgung**

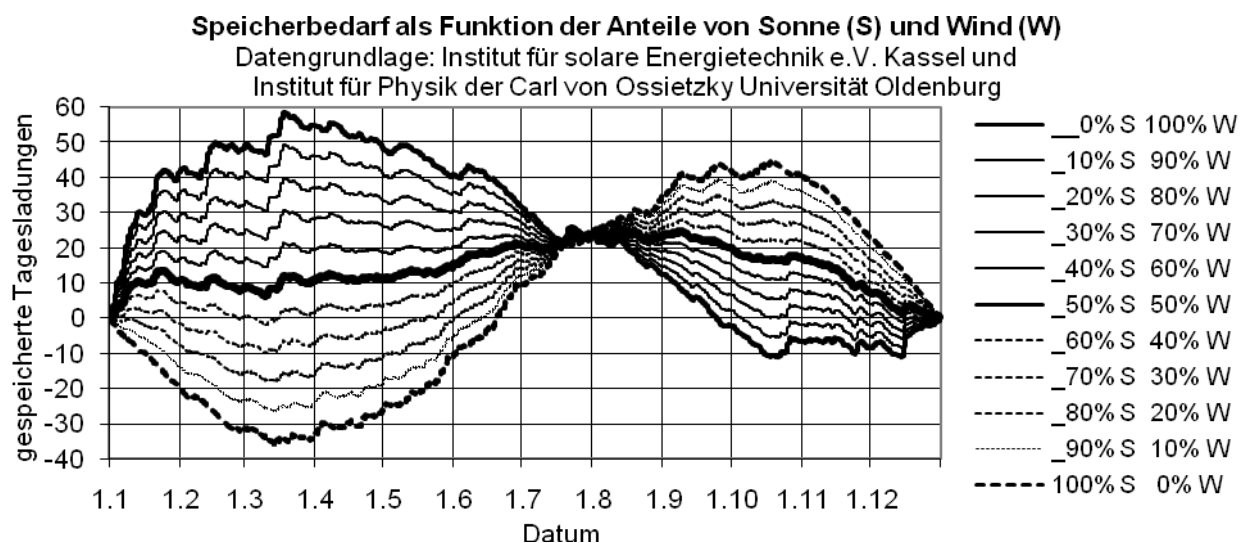
Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Minimierung der Gesamtkosten, die einem volkswirtschaftlichem Gebilde (z.B. einem Land) beim Aufbau einer vollwertigen regenerativen Stromversorgung entstehen, welche auf einer Kombination von Energiespeichern mit Windkraft- und Solarkraftanlagen basieren.

Es ermöglicht die Bestimmung eines kostenoptimierten Korridors aus Vorhaltung von Erzeugungskapazität, Anteilen zur Stromerzeugung aus Windkraft und Fotovoltaik sowie der Schaffung von Speicherkapazität.

Das erfundene Verfahren eröffnet die Möglichkeit zur Erfüllung einer Versorgungsaufgabe oder für eine vollständige nachhaltige Stromversorgung, die ohne Kernkraft, ohne fossile Energieträger und ohne Flächenverbrauch zum Anbau nachwachsender Rohstoffe, auskommt.

Grundlage der Erfindung ist ein entdeckter Zusammenhang zwischen dem Aufkommen von Windstrom und Solarstrom. Dieser Zusammenhang ermöglicht es, eine Versorgungsaufgabe mit weniger Speicherbedarf zu lösen, als bei einer isolierten Betrachtung des volatilen Wind- und Solarstromaufkommens.

Die Entdeckung (auf Basis des Jahres 2005) besagt, dass eine anteilsgleiche Mischung von Solarstrom und Windstrom in Deutschland (und wahrscheinlich in allgemeinerem Umfang) einen der Jahreszeit folgenden Verlauf haben.



# Kostenoptimierter Mix aus Energiespeichern, Wind- und Solarkraftanlagen für eine vollwertige regenerative Stromversorgung

## Stand der Technik:

### Ausgangssituation:

Strom muss immer in dem Moment erzeugt werden, in dem er verbraucht wird.

Der Stromverbrauch definiert damit eine **Versorgungsaufgabe** welche die eingesetzten Techniken zu erfüllen haben.

Die Stromversorgungsaufgabe sollte so erfüllt werden, dass möglichst viele daran geknüpfte Forderungen und Erwartungen erfüllt werden.

Bei Verfügbarkeit einer **Technik, die in jedem Moment die Strommenge erzeugen kann, die nachgefragt wird**, müsste, mit etwas Reserve, genau die Erzeugungskapazität geschaffen werden, die im Langzeitmaximum benötigt wird.

Wird durch intelligentes Verbrauchsmanagement die Stromnachfrage gleichmäßig oder den Erzeugungsmöglichkeiten angepasst, dann reduziert sich die vorzuhaltende Erzeugungskapazität.

**Stromerzeugung aus fluktuierenden Quellen erfordert zwangsläufig die Bereithaltung von Ersatz- oder Ausgleichskapazitäten**, wenn der Verbrauch nicht unmittelbar an die Erzeugung gekoppelt werden kann.

Dies führt, gegenüber Erzeugungstechniken, die verbrauchsangepasst betrieben werden können, in der Regel zu einem höheren Investitionsaufwand.

Stromerzeugung aus fluktuierenden Quellen kann aus folgenden Motiven eingesetzt werden:

#### 1. **Andere Quellen stehen nicht zur Verfügung.**

Dies wird in die ferne Zukunft gerichtet für fossile Energieträger eintreten.

#### 2. **Andere Quellen verursachen im Langzeitbetrieb höhere Kosten.**

Dies tritt in Zukunft mit Verknappung von Primärenergieträgern aufgrund weltweiter Nachfragesteigerung und Erschöpfung der gut zugänglichen Lagerstätten ein. Bei Öl und Gas trifft das zum Teil schon heute zu.

#### 3. **Andere Quellen sind mit unerwünschten Nebenwirkungen oder Gefahrenpotentialen verbunden.**

Dies sieht ein großer Teil unserer Bevölkerung als gegeben bei:

- Der **Kernkraft**. Der Ausstieg aus dieser Technik ist derzeit gültiges Gesetz.

- Der **Kohleverstromung**. Sie verändert die Zusammensetzung der Atmosphäre mit unumkehrbaren Folgewirkungen. Eine substanzielle Reduzierung der Emission von Treibhausgasen ist erklärtes Ziel unserer Politik.
- Der **Öl- und Gasverstromung**. Sie verursacht ebenfalls Treibhausgase, wenn auch in geringerem Ausmaß als die Kohle. Zusätzlich befinden wir uns bei diesen Energieträgern teilweise in der Abhängigkeit von Lieferkartellen mit fragwürdiger Zuverlässigkeit.

**Auf Basis der geschilderten Situation wird der Ausbau der Windkraft in Deutschland mit Vehemenz vorangetrieben.**

Sie liefert bereits jetzt einen merklichen Anteil an der in Deutschland produzierten Strommenge, obwohl der Stromverbrauch kaum an die fluktuierende Erzeugung gekoppelt werden kann.

Die erforderlichen Ersatzkapazitäten können auf zwei Arten gestellt werden:

- (1) Durch **Schaffung von Erzeugungskapazitäten**, die bei Flaute jederzeit verfügbar sind.
- (2) Durch **Schaffung einer Überkapazität** an fluktuierender Erzeugung in Verbindung mit Energiespeichern, welche die temporär stattfindende Überproduktion aufnehmen und damit die zeitweise zu geringe Produktion ausgleichen können.

**Der Ausgleich heute geschieht zu fast 100% mit Methode (1).**

Dazu werden derzeit ganz überwiegend die fossilen Energieträger Kohle, Öl und vor allem Gas eingesetzt.

Die energiewirtschaftliche Zielvorstellung der Bundesrepublik Deutschland in der Stromwirtschaft:

**Ausstieg aus der Kernkraft und aus der Nutzung fossiler Energieträger ist ohne die Schaffung von Speicherkapazitäten nicht umsetzbar.**

Selbst Teilziele, z.B. einen bestimmten Prozentsatz der benötigten Strommenge mit Wind und Sonne zu erzeugen, wird ohne die Schaffung von Speichern nicht erreichbar sein, wenn nicht gleichzeitig Ersatzkapazitäten mit bedarfsgerecht verfügbaren Energiequellen vorgehalten werden.

## Windkraft als Energiequelle:

Zur Windstromeinspeisung liegen langjährig gesicherte Datenreihen vor, die es ermöglichen abzuschätzen, wie Erzeugungskapazitäten und Speicher dimensioniert werden müssten, damit eine bedarfsgerechte Versorgung gewährleistet werden kann. Windräder sind auf eine maximale Leistung ausgelegt, die bei starkem Wind abgegriffen werden kann.

Im Normalfall speisen Windräder aber deutlich weniger ein, als sie bei Starkwind erzeugen könnten.

Die langjährigen Aufzeichnungen in Deutschland zeigen, dass ca. 20% der installierten Windleistung im Durchschnitt eingespeist wird.

Die tatsächliche Einspeisung eines einzelnen Windrades bewegt sich entsprechend der aktuellen Windsituation zwischen 0% und 100% seiner maximalen Leistung.

Die tatsächliche Einspeisung aller Windkraftanlagen des Landes geht nie auf Null zurück und erreicht auch nie 100%, weil ein bisschen Wind irgendwo immer bläst und nie im gesamten Land gleichmäßig starker Wind bläst, so dass alle Windräder zugleich Höchstleistung erreichen könnten.

Das bedeutet, um eine Stromversorgungsaufgabe mit Windstrom zu erfüllen, müsste ca. die 5-fache Erzeugungsleistung installiert werden, als im Durchschnitt abgenommen wird.

Gleichzeitig müssten verlustfreie Speicher vorhanden sein, welche die temporäre Überproduktion aufnehmen und dann zurückspeisen, wenn zu wenig Windstrom anliegt.

Auf Basis von Daten des Instituts für Solare Energieforschung e.V. (UNI Kassel) zur Windstromeinspeisung in Deutschland, wurde abgeschätzt, wie eine Abstimmung zwischen Windstromerzeugungskapazität und Speicherkapazität sein müsste, damit eine Versorgungsaufgabe mit Windstrom erfüllt werden kann:

Siehe dazu die Diagramme 1 bis 4.

Deutlich zu erkennen sind der Aufbau der Speicherladung (überdurchschnittliche Windstromeinspeisung) im Herbst und Winter und deren Abbau (unterdurchschnittliche Windstromeinspeisung) im Frühjahr und im Sommer.

## Solarkraft als Energiequelle:

Zur Solarstromeinspeisung liegen Datenreihen für das Jahr 2005 vor, die es ermöglichen abzuschätzen, wie Erzeugungskapazitäten und Speicher dimensioniert werden müssen, um damit eine bedarfsgerechte Versorgung zu gewährleisten.

Fotovoltaik ist auf eine maximale Leistung (Peak-Leistung) ausgelegt, die sie bei idealer Sonneneinstrahlung am Mittag zur Sommersonnenwende abgreifen kann.

Im Normalfall speist Fotovoltaik aber deutlich weniger ein, als sie erzeugen könnte, wenn ständig idealer Sonnenschein vorläge.

Die Aufzeichnungen des Jahres 2005 in Deutschland zeigen, dass ca. 13% der installierten Peak-Leistung im Durchschnitt eingespeist werden.

Die tatsächliche Einspeisung einer einzelnen Fotovoltaik-Anlage bewegt sich zwischen 0% und 100% ihrer maximalen Leistung.

Die tatsächliche Solarstromeinspeisung aller Fotovoltaik-Anlagen des Landes geht bei untergegangener Sonne immer auf Null zurück. Sie erreicht nie 100%, weil eine gewisse Eintrübung oder Bewölkung irgendwo immer im Land vorhanden ist.

Das bedeutet, um eine Stromversorgungsaufgabe mit Solarstrom zu erfüllen, muss ca. die 8-fache Erzeugungskapazität installiert werden, als im Durchschnitt abgenommen wird.

Gleichzeitig müssten verlustfreie Speicher vorhanden sein, welche die temporäre Überproduktion aufnehmen und dann zurückspeisen, wenn zu wenig Solarstrom anliegt.

Auf Basis von Daten des Instituts für Solare Energieforschung e.V. (UNI Kassel) und des Physikalischen Instituts der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg zur Solarstromeinspeisung in Deutschland, wurde abgeschätzt, wie eine Abstimmung zwischen Solarstromerzeugungskapazität und Speicherkapazität sein müsste, damit eine Versorgungsaufgabe mit Fotovoltaik erfüllt werden kann:

Siehe dazu die Diagramme 5 bis 8.

Wie zu erwarten, erfolgt der Aufbau der Speicherladung (überdurchschnittliche Solarstromeinspeisung) im Frühjahr und im Sommer und deren Abbau (unterdurchschnittliche Solarstromeinspeisung) im Herbst und Winter.

## Überlagerung von Windstrom und Solarstrom:

Überlagert man diese beiden Diagramme und variiert dabei die Anteile des Windstroms und des Solarstroms, dann offenbart sich für das untersuchte Jahr 2005 ein interessantes Ergebnis:

Siehe Diagramm 9.

- Je mehr die Anteile von Wind und Sonne voneinander abweichen, desto stärker schwankt die Ladung des Speichers:
  - Bei 100% Wind-Anteil hätte der Ausgleich eine Kapazität von fast 70 Tagen erfordert.
  - Bei 100% Fotovoltaik-Anteil wäre eine Kapazität von über 80 Tagen notwendig gewesen.
- Bei ausgeglichenen Anteilen nimmt der Speicherbedarf deutlich ab:
  - Bei 50% Wind- und 50% Fotovoltaik-Anteil hätte eine Speicherkapazität von 26 Tagen ausgereicht.
- **Das Diagramm für das Jahr 2005 zeigt eindrucksvoll, dass die Energielieferung aus Wind und Sonne zusammen der Jahreszeit folgten und eine Form praktisch immer zur Verfügung stand:**
  - Wenn kein Wind wehte, schien die Sonne.
  - Wenn keine Sonne schien, blies der Wind.
  - Der Mix aus beiden folgte der Jahreszeit.

### **Gemutmaßte Folgerung:**

- **Durch geschickte Kombination von Wind und Sonne kann ein gegenseitiger Ausgleich der beiden Energieformen in erheblichem Umfang erfolgen.**

ACHTUNG! Die Belastbarkeit der aus den Daten des Jahres 2005 gewonnenen Annahme muss durch Untersuchung längerer Zeiträume überprüft werden, damit sichergestellt ist, dass es sich nicht um ein zufälliges Ergebnis handelt!

Derzeit sind nach Aussage einschlägiger Institute aber keine weiteren, geeignet aufbereiteten, Solar-Einspeisedaten verfügbar.

## Windstrom, Solarstrom und Speicherbedarf für eine Grundlastversorgung

In der Praxis

1. gibt es keinen Speicher mit 100% Wirkungsgrad,
2. ist die Stromnachfrage, im Tagesgang und übers Jahr gesehen, nicht konstant,
3. sind die Kosten und Möglichkeiten zur Errichtung von Windkraftanlagen, Fotovoltaik-Anlagen und Energiespeichern höchst unterschiedlich.

Auf Basis des möglicherweise entdeckten Zusammenhangs erfolgt die Betrachtung realerer Gegebenheiten.

Windstrom und Solarstrom bei einem Speicher mit 80% Wirkungsgrad für eine konstante Versorgungsaufgabe (Grundlastbereitstellung):

Siehe dazu Diagramm 10.

Wenn erzeugter Strom erst zwischengespeichert werden muss, dann kann nur der um den Speicherwirkungsgrad verminderte Anteil wieder der Versorgungsaufgabe zugeführt werden.

Es müssen allerdings nur die Anteile des Stroms zwischengespeichert werden, die über den jeweils aktuellen Bedarf hinaus produziert werden. Die Speicherverluste werden dadurch umso größer, je stärker Erzeugung und Bedarf voneinander abweichen.

Extrembeispiele:

- Würden wir die Energie von Blitzen nutzen, dann müsste praktisch alles zwischengespeichert werden. Damit müssten 125% der benötigten Energie eingefangen werden, um aus dem Speicher 100% versorgen zu können ( $125\% \cdot 80\% = 100\%$ ).
- Mit ausschließlich bedarfsgerecht abrufbaren Gaskraftwerken bräuchten wir überhaupt keine Speicher.

Diagramm 10 zeigt:

- Bei 100% Wind-Anteil hätte es einer Speicherkapazität von knapp 65 Tagen erfordert. Es wäre eine Mehrproduktion von ca. 8% notwendig gewesen, um die Wirkungsgradverluste des Speichers auszugleichen.

- Bei 100% Fotovoltaik-Anteil wäre eine Kapazität von über 77 Tagen notwendig gewesen. Es hätte eine Mehrproduktion von ca. 15% erfordert, um die Wirkungsgradverluste des Speichers auszugleichen.
- Bei ausgeglichenen Anteilen hätte der Speicherbedarf deutlich abgenommen:
  - Bei 54% Wind- und 54% Fotovoltaik-Anteil hätte eine Speicherkapazität von 24 Tagen ausgereicht.
- Da wegen der Speicherverluste etwas mehr Erzeugungskapazität vorgehalten werden muss, verringert sich der Speicherbedarf etwas gegenüber einem idealen, verlustfreien Speicher.

In den Diagrammen 11, 12 und 13 wird betrachtet, wie sich durch Erhöhung der Erzeugungskapazität der Speicherbedarf reduzieren lässt. Die Speicherkapazität wurde in den Diagrammen so begrenzt, dass am Jahresende die gleiche Ladung wie am Anfang vorhanden ist.



**Verhältnisse mit 120% und 140% Erzeugungsvermögen bei einem Speicher mit 80% Wirkungsgrad und konstanter Versorgungsaufgabe**

auf Basis des Jahres 2005:

ohne Erzeugungsreserve	Windanteil	108%	89%	72%	54%	37%	19%	0%
	Solaranteil	0%	18%	36%	54%	73%	93%	115%
	Speicherverlust	8%	7%	8%	8%	10%	12%	15%
	<b>Speicherbedarf</b>	64,5	45,4	28,4	<b>23,9</b>	33,5	53,1	77,4
mit Erzeugungsreserve bei 120% Erzeugungsvermögen	Windanteil	120%	100%	80%	60%	40%	20%	0%
	Solaranteil	0%	20%	40%	60%	80%	100%	120%
	<b>Speicherbedarf</b>	50,1	23,7	<b>15,0</b>	<b>14,8</b>	21,4	45,5	74,3
	Erzeugungsreserve	9,2%	10,2%	10,0%	9,2%	8,1%	6,4%	4,1%
	Speichersparnis	22%	48%	47%	38%	36%	14%	4%
	Vergleich zu ohne Reserve	78%	52%	53%	62%	64%	86%	96%
mit Erzeugungsreserve bei 140% Erzeugungsvermögen	Windanteil	140,0%	116,7%	93,3%	70,0%	46,7%	23,3%	0,0%
	Solaranteil	0,0%	23,3%	46,7%	70,0%	93,3%	116,7%	140,0%
	<b>Speicherbedarf</b>	29,9	11,9	<b>4,4</b>	7,9	13,8	31,6	63,2
	Erzeugungsreserve	25,2%	26,2%	26,0%	25,2%	24,1%	22,4%	20,1%
	Speichersparnis	54%	74%	85%	67%	59%	41%	18%
	Vergleich zu ohne Reserve	46%	26%	15%	33%	41%	59%	82%

- Bei einer vorgehaltenen Erzeugungsleistung die auf 140% des Durchschnittsbedarf bemessen ist, kann bei ca. 93% Windanteil und ca. 47% Solaranteil (Verhältnis etwa 2/3 zu 1/3) der Speicherbedarf für eine konstante Versorgungsaufgabe deutlich reduziert werden.

## Windstrom, Solarstrom und Speicherbedarf für einen bedarfsorientierten Lastgang

- In Realität ist der Stromverbrauch ja keineswegs konstant.
- Soll mit Wind und Sonne die Hauptlast der Stromversorgung erfolgen, dann interessieren die Verhältnisse für den tatsächlichen Verlauf des Strombedarfs.
- Siehe dazu die Diagramme 14 bis 17.

**Verhältnisse mit Windkraft und Fotovoltaik, Speicher mit 80% Wirkungsgrad, nachfrageorientierter Versorgungsaufgabe bei 20% und 40% Überleistung auf Basis des Jahres 2005:**

ohne Erzeugungsreserve	Windanteil	108%	89%	72%	54%	37%	19%	0%
	Solaranteil	0%	18%	36%	54%	73%	93%	115%
	Speicherverlust	8%	7%	8%	8%	10%	12%	15%
	<b>Speicherbedarf</b>	53,4	35,12	<b>24,04</b>	27,23	44,69	65,75	90,96
mit Erzeugungsreserve bei 120% Erzeugungsvermögen	Windanteil	120%	100%	80%	60%	40%	20%	0%
	Solaranteil	0%	20%	40%	60%	80%	100%	120%
	<b>Speicherbedarf</b>	36,28	16,03	<b>14,17</b>	17,73	33,11	58,61	87,60
	Erzeugungsreserve	9,6%	10,4%	9,6%	9,6%	8,0%	6,4%	4,0%
	Speicherersparnis	32%	54%	41%	35%	26%	11%	4%
	Vergleich zu ohne Reserve	68%	46%	59%	65%	74%	89%	96%
mit Erzeugungsreserve bei 140% Erzeugungsvermögen	Windanteil	140,00%	116,70%	93,30%	70,00%	46,70%	23,30%	0,00%
	Solaranteil	0,00%	23,30%	46,70%	70,00%	93,30%	116,70%	140,00%
	<b>Speicherbedarf</b>	18,84	<b>7,15</b>	<b>7,18</b>	10,80	19,56	44,20	76,40
	Erzeugungsreserve	25,6%	26,4%	25,6%	25,6%	24,0%	22,4%	20,0%
	Speicherersparnis	65%	80%	70%	60%	56%	33%	16%
	Vergleich zu ohne Reserve	35%	20%	30%	40%	44%	67%	84%

- Bei einer vorgehaltenen Erzeugungsleistung die im Durchschnitt auf 140% des Durchschnittsbedarf bemessen ist, kann bei ca. 117% Windanteil und ca. 23%

Solaranteil (Verhältnis etwa 5/6 zu 1/6) der Speicherbedarf für eine bedarfsorientierte Versorgungsaufgabe minimiert werden.

- Gegenüber einer konstanten Versorgungsaufgabe (Bereitstellung von Grundlast) erhöht sich der Speicherbedarf von ca. fünf auf ca. sieben Tage.
- Gleichzeitig verschiebt sich der Bereich des minimalen Speicherbedarfs zu einem größeren Windstromanteil.

## Windstrom, Solarstrom und Speicherbedarf zur Deckung von Spitzenlast

Soll mit Wind und Sonne nur ein Teil des Strombedarfs gedeckt werden, dann ist Alternativ zu einer Grundlastversorgung (konstanter Bedarf) die Situation für einen Ausgleich aller Schwankungen oberhalb des Grundlastniveaus von Interesse.

Siehe dazu die Diagramme 18 bis 21.

### **Verhältnisse mit Windkraft, Fotovoltaik und Speicher mit 80% Wirkungsgrad zum Jahresausgleich der Erzeugungsschwankungen auf Basis des Jahres 2005:**

ohne Erzeugungsreserve								
	Solaranteil	0%	18%	36%	54%	73%	93%	115%
	Speicherverlust	8%	7%	8%	8%	10%	12%	15%
	<b>Speicherbedarf</b>	35,1	<b>31,48</b>	46,61	63,98	83,97	107,25	133,29
mit Erzeugungsreserve bei 120% Erzeugungsvermögen	Windanteil	120%	100%	80%	60%	40%	20%	0%
	Solaranteil	0%	20%	40%	60%	80%	100%	120%
	<b>Speicherbedarf</b>	<b>18,90</b>	<b>19,08</b>	26,19	48,64	73,48	100,18	130,01
	Erzeugungsreserve	9,6%	10,4%	9,6%	9,6%	8,0%	6,4%	4,0%
	Speichersparnis	46%	39%	44%	24%	12%	7%	2%
	Vergleich zu ohne Reserve	54%	61%	56%	76%	88%	93%	98%
mit Erzeugungsreserve bei 140% Erzeugungsvermögen	Windanteil	140,00%	116,70%	93,30%	70,00%	46,70%	23,30%	0,00%
	Solaranteil	0,00%	23,30%	46,70%	70,00%	93,30%	116,70%	140,00%
	<b>Speicherbedarf</b>	<b>9,17</b>	12,88	17,27	27,39	54,18	83,30	115,78
	Erzeugungsreserve	25,6%	26,4%	25,6%	25,6%	24,0%	22,4%	20,0%
	Speichersparnis	74%	59%	63%	57%	35%	22%	13%
	Vergleich zu ohne Reserve	26%	41%	37%	43%	65%	78%	87%

- Gegenüber einer konstanten und einer bedarfsorientierten Versorgungsaufgabe erhöht sich bei 140% Erzeugungsvermögen der Speicherbedarf weiter auf gute neun Tage, gegenüber fünf Tagen bei konstantem Bedarf und sieben Tagen bei bedarfsorientierter Leistungsabgabe.
- Der Bereich des minimalen Speicherbedarfs verschiebt sich noch mehr auf den Windstrom.

## Bewertung der verschiedenen Lastfälle

Da für diese Studie nur Solardaten des Jahres 2005 zur Verfügung standen, beschränkt sich die Untersuchung des Solareinflusses auf diesen Zeitraum.

- Die Untersuchung dieses Jahres gibt Anlass zur Vermutung, dass Sonnenenergie zu einem natürlichen Ausgleich der Windenergie beitragen kann und umso interessanter wird, je gleichmäßiger die Versorgungsaufgabe definiert ist.

Die gewonnenen Erkenntnisse bedürfen weiterer Untersuchungen.

Sollten weitere Untersuchungen die Zusammenhänge erhärten, dann kann durch ein Verfahren, das diese Erkenntnisse zur Anwendung bringt, für die gesamte Volkswirtschaft ein erheblicher wirtschaftlicher Vorteil entstehen.

Bei Verzicht auf Kernenergie und fossile Energieträger, bietet dieses Verfahren für den Aufbau eines zukünftigen regenerativen Kraftwerksparks, bedeutende Anhaltspunkte für ein systematisches Vorgehen.

Förderkulissen und Gesetze zur Regelung der Genehmigungsverfahren für den Aufbau von Erzeugungs- und Speicherkapazitäten lassen sich damit so austarieren, dass der Umbau eines Kraftwerksparks kostenoptimiert und ohne gravierende Fehlentwicklungen stattfinden kann.

## **Beschreibung der Erfindung:**

Die Erfindung betrifft ein Verfahren, das ermöglicht, den Kapazitätsaufbau von Windkraft, Fotovoltaik und Energiespeichern in einer Weise auf einander abzustimmen, dass die angestrebte Versorgungsaufgabe mit minimierten Gesamtkosten erreicht werden kann.

Das Verfahren wird wie folgt beschrieben:

Für einen repräsentativen Zeitraum wird für ein Versorgungsgebiet der Bedarf von Speicherkapazität (z.B. analog zur vorher beschriebenen Vorgehensweise) für verschiedene Anteile von Windkraft und Fotovoltaik, sowie Überkapazität des Erzeugungsvermögens ermittelt (siehe beispielhaft Diagramm 22 mit zugehöriger Tabelle 23).

Durch Ansatz der jeweils maßgeblichen spezifischen Kosten für die einzelnen Techniken ergibt sich daraus ein Zielbereich für einen Mix der Anteile der eingesetzten Techniken, der zu einer kostenoptimierten Situation führt.

Durch Schaffung von Förder- und Genehmigungsrecht, das diese Entwicklungen begünstigt, wird es dem volkswirtschaftlichen Gebilde ermöglicht, einen regenerativen Umbau der Stromerzeugung kostenoptimiert vorzunehmen.

Je nach Versorgungsaufgabe, die der regenerativen Stromerzeugung zugeordnet wird, lassen sich mit diesem Verfahren optimierend wirkende Zielvorgaben definieren, die den Ressourceneinsatz einer Volkswirtschaft beim Umbau der Stromversorgungstechnik in einem kostengünstigen Korridor ermöglichen.

Beispiele zur Vorgehensweise:

Kostenansätze für die eingesetzten Techniken:

spezifische, bzw. dazu proportionale Investitionskosten für	bezüglich der maximalen Leistung		durchschnittliche Leistungsabgabe	bezüglich der durchschnittlichen Abgabeleistung	
Windkraftanlagen	1000	€/kW	20%	5000	€/kW
Fotovoltaik-Anlagen	5000	€/kW	13%	40000	€/kW
Speicher-Ladetechnik (Pumpen)	200	€/kW	100%	200	€/kW
Speicher-Endladetechnik (Turbinen)	400	€/kW	100%	400	€/kW
<b>Speicherkapazitätskosten</b>					
(natürlich begünstigte Lagen)	1	€/kWh	=	24	€/kWd
	2	€/kWh	=	48	€/kWd
(künstlich angelegte Stauseen)	5	€/kWh	=	120	€/kWd
(künstlich angelegte Stauseen)	10	€/kWh	=	240	€/kWd
(künstlich angelegte Stauseen)	20	€/kWh	=	480	€/kWd
	50	€/kWh	=	1200	€/kWd
(Akkumulatoren)	100	€/kWh	=	2400	€/kWd
<b>Speichertechnikerfordernisse</b>					
Pump-/Ladevermögen	5	x	Windanteil		
	+	8	Fotovoltaik-Anteil		
Abzug für Grundbedarf	1	x	konstanter Bedarf (Grundlast)		
	0,7	x	Ø bedarfsangepasste Last		
	0	x	Ø Spitzenlast (über Jahresgrundlast)		
Turbinier-/Endladevermögen	1	x	konstanter Bedarf (Grundlast)		
	1,4	x	Ø bedarfsangepasste Last		
	2,5	x	Ø Spitzenlast (über Jahresgrundlast)		

Überschlägig lassen sich die spezifischen Gesamtinvestitionskosten ( $G_{inv}$ ) zur Erfüllung der Versorgungsaufgabe z.B. mit folgendem Ansatz ermitteln:

$$G_{inv} = W_a \cdot W_{inv} + F_a \cdot F_{inv} + (W_a \cdot P_{vW} + F_a \cdot P_{vF} - A_fG) \cdot P_{inv} + E_v \cdot T_{inv} + K_B \cdot S_{inv}$$

Die verwendeten Formelzeichen haben dabei folgende Bedeutung:

Wa	%	Windanteil an der Erzeugung bezüglich Durchschnittsbedarf
Winv	[T€/kW]	spezifische Investitionskosten für Windkraftanlagen incl. der notwendigen Infrastruktur bezüglich der durchschnittlichen Abgabeleistung
Fa	%	Fotovoltaik-Anteil an der Erzeugung bezüglich Durchschnittsbedarf
Finv	[T€/kW]	spezifische Investitionskosten für Fotovoltaik-Anlagen incl. der notwendigen Infrastruktur bezüglich der durchschnittlichen Abgabeleistung
Fa	%	Fotovoltaik-Anteil an der Erzeugung bezüglich Durchschnittsbedarf
PvW	%	Speicherladevermögen (Pumpvermögen) zur Speicherung von temporärer Überproduktion aus Windkraftanlagen
PvF	%	Speicherladevermögen (Pumpvermögen) zur Speicherung von temporärer Überproduktion aus Fotovoltaik-Anlagen
AfG	%	Abzug für Grundbedarf: Anteil am Durchschnittsbedarf des Stroms, der mindestens direkt verbraucht und nicht zwischengespeichert wird
Pinv	[T€/kW]	spezifische Investitionskosten für Speicherladetechnik incl. der notwendigen Infrastruktur (Pumpleistung proportionale spezifische Kosten bei Pumpspeichern)
Ev	%	Endladevermögen des Speichers bezüglich dem Durchschnittsbedarf
Tinv	[T€/kW]	spezifische Investitionskosten für Speicher-Endladetechnik incl. der notwendigen Infrastruktur (zur Turbinenleistung proportionale spezifische Kosten bei Pumpspeichern)
KB	d	Speicherkapazitätsbedarf in Tagen mit Durchschnittsleistung
Sinv	[T€/kWh]	spezifische Investitionskosten für Speicher-Kapazität (berücksichtigt bei Pumpspeichern z.B. Landerwerb, Erdbau, Errichtung der Stauanlagen, Abdichtung, ...)

Die Diagramme 24, 25, 26, 27 zeigen unter obigen Annahmen für eine regenerative Bereitstellung von Grundlast, wie die spezifischen Investitionskosten pro Leistungseinheit in Abhängigkeit der Anteile von Windkraft, Solarkraft und Überkapazität an Erzeugungsvermögen zu erwarten sind. Die Diagramme 28 bis 35 zeigen analog dazu die Verhältnisse für eine bedarfsorientierte Versorgung, die sich am tageszeitlichen und jahreszeitlichen Lastgang der Stromnachfrage orientiert.



## **Abschließende Bewertung:**

Wenn auch nur ein Jahr untersucht wurde, deuten die Analysen doch an, dass sich der Ausbau der Fotovoltaik zum teilweisen Ausgleich der volatilen Windkraft, in einem gewissen Ausmaß dann zu lohnen scheint, wenn die Bereitstellung der Speicherkapazität einen merklichen Kostenfaktor ausmacht. Ab ca. Kosten von 20 €/kWh Speicherkapazität scheint es allein schon aus Kostengründen Sinn zu machen, neben einer Erhöhung der Überkapazität der Windkraftanlagen, zur Reduzierung des Speicherbedarfs, auch Fotovoltaik einzusetzen.

Zur weiteren Bestimmung des Zielkorridors mit dem Gesetze und Förderkulissen zum Aufbau einer vollwertigen regenerativen Stromversorgung beitragen können, ist es wichtig, das Potential geeigneter Energiespeicherstandorte, welche dem Land zur Verfügung stehen, bzw. erschlossen werden können, zu kennen.

Auf Basis so einer Analyse könnten Aufwand und Kosten abgeschätzt werden, die für die Errichtung von Energiespeichern zu erwarten sind. Die Speicherkapazitätskosten ließen sich damit weiter eingrenzen.

Die Bewertung eines konkreten Standortes oder Speicherprojektvorschlags könnte dadurch mit objektiven, an volkswirtschaftlichen Zielen orientierten Kriterien, erfolgen. Schließlich können damit Ausbauziele definiert werden, die eine vollwertige regenerative Stromversorgung zum Ziel haben.

Die Mittel zur Förderung regenerativer Energien ließen sich auf diese Weise so konzentrieren, dass teure Entwicklungen vermieden werden, die zu einer Beeinträchtigung der Konkurrenzfähigkeit einer Volkswirtschaft führen könnten.

Auch würde man erkennen können, ob es für unsere (deutsche) Volkswirtschaft zielführender und kostengünstiger wäre, Energiespeicher zusätzlich zu oder anstelle von Fotovoltaik-Anlagen mit dem Erneuerbare Energien Gesetz (EEG) zu fördern.

Wunsiedel, den 08.02.2009

(gez.)

Matthias Popp

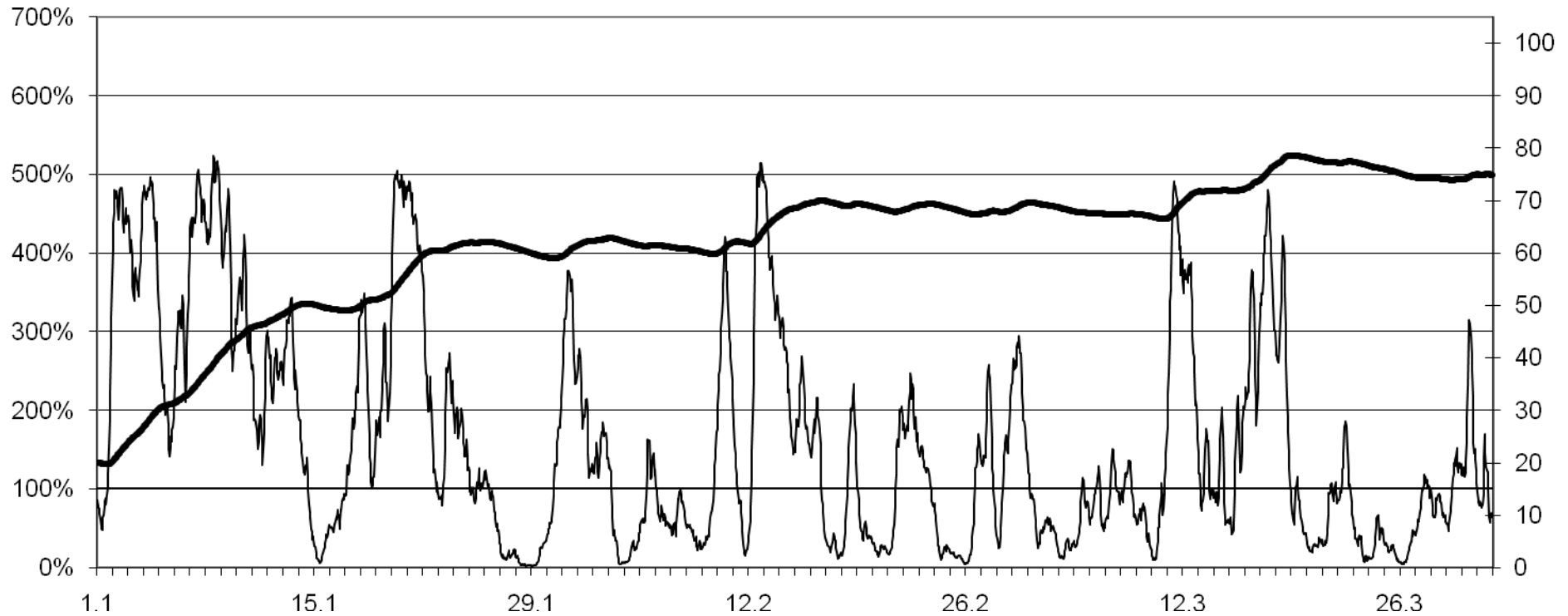
Zeichnungen und Diagramme zu

## **Kostenoptimierter Mix aus Energiespeichern, Wind- und Solarkraftanlagen für eine vollwertige regenerative Stromversorgung**

Datenquellen:      Windstromdaten:    Institut für solare Energieversorgungstechnik e.V., Kassel  
                         Solarstromdaten:    Institut für Physik der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg

Die Aufbereitung der Daten in die in den Diagrammen verwendete Form erfolgte durch den Patentanmelder.

Diagramm 1: *Windleistung und Speicherladung Januar bis März 2005,*



*X-Achse: Datum,*

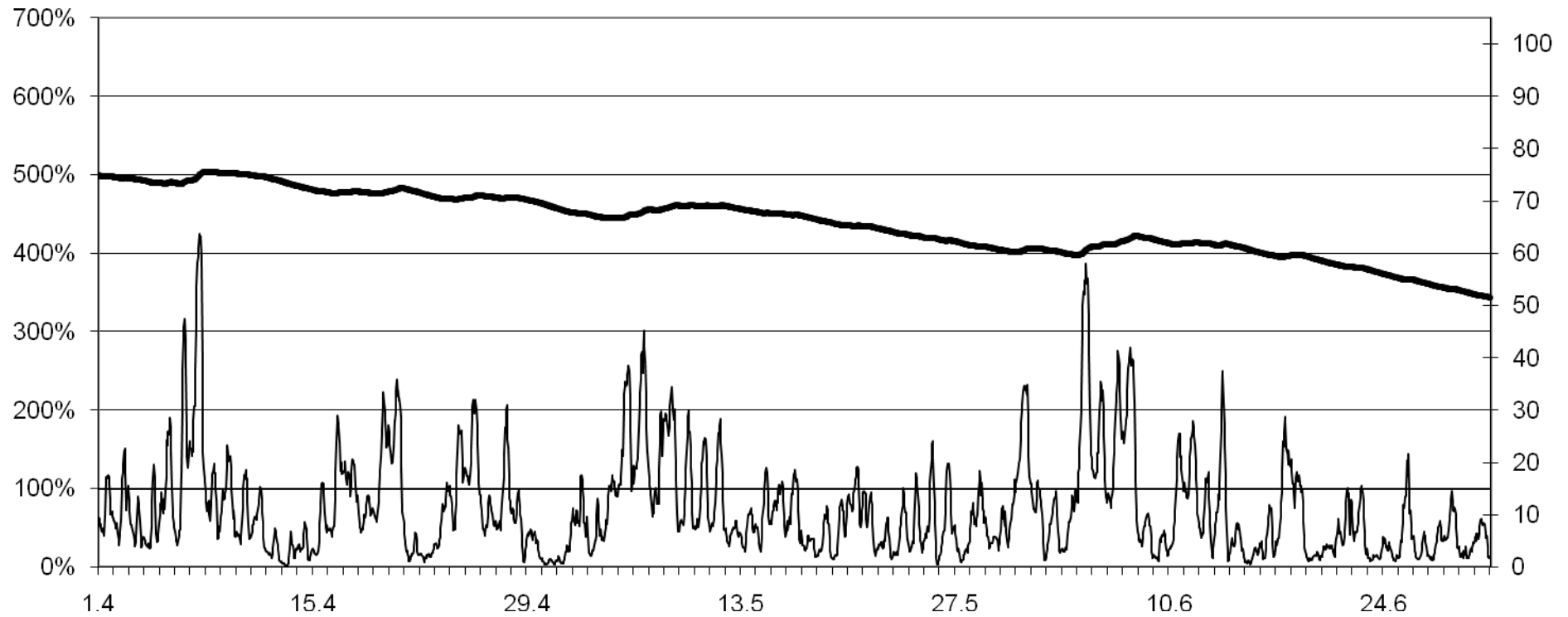
*linke Y-Achse: stündliche Einspeiseleistung in Bezug auf die jahresdurchschnittliche Einspeiseleistung (zur feinen Linie).*

*rechte Y-Achse: Speicherladung in Tagesverbräuchen (zur dicken Linie).*

*Damit die Speicherladung nicht negativ wird, beginnt der 1. Januar mit 20 Tagen Vorladung.*

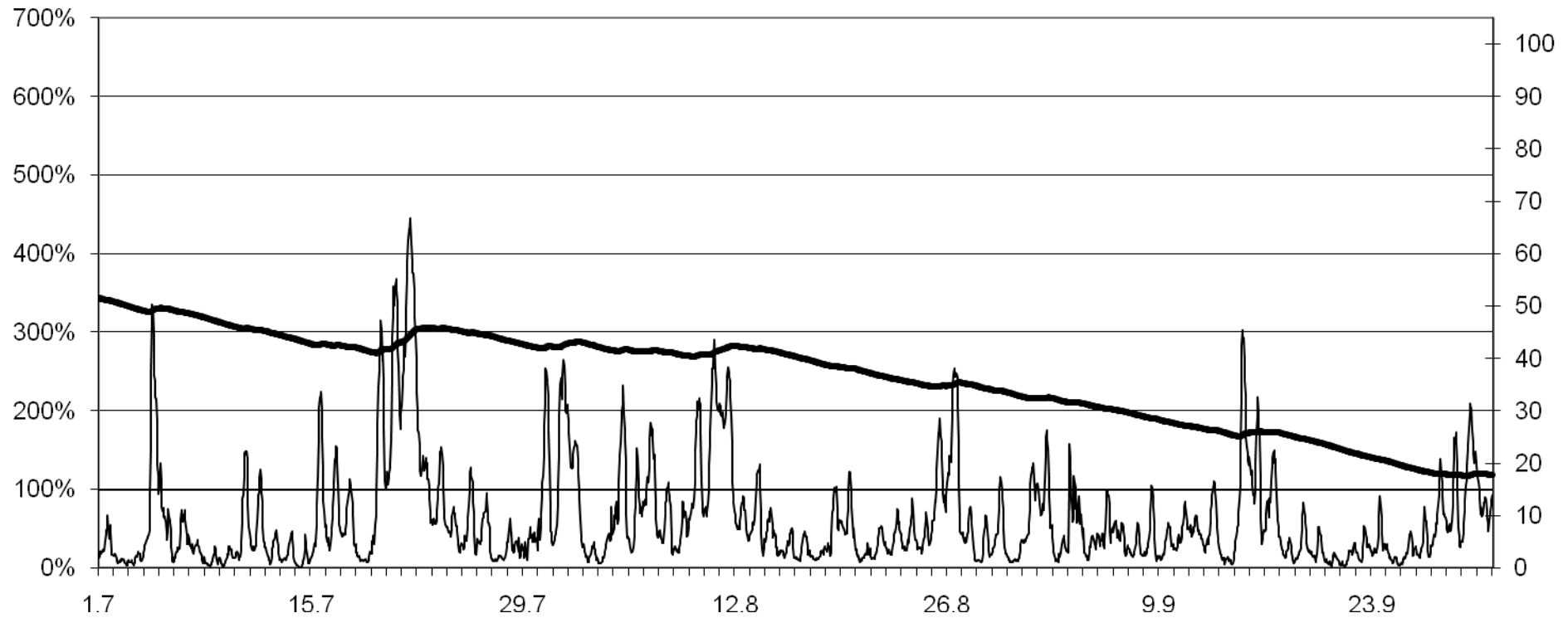
*Am Ende des Jahres (31. Dezember, Diagramm 4) beträgt die Speicherladung wieder 20 Tage.*

Diagramm 2: *Windleistung und Speicherladung April bis Juni 2005*



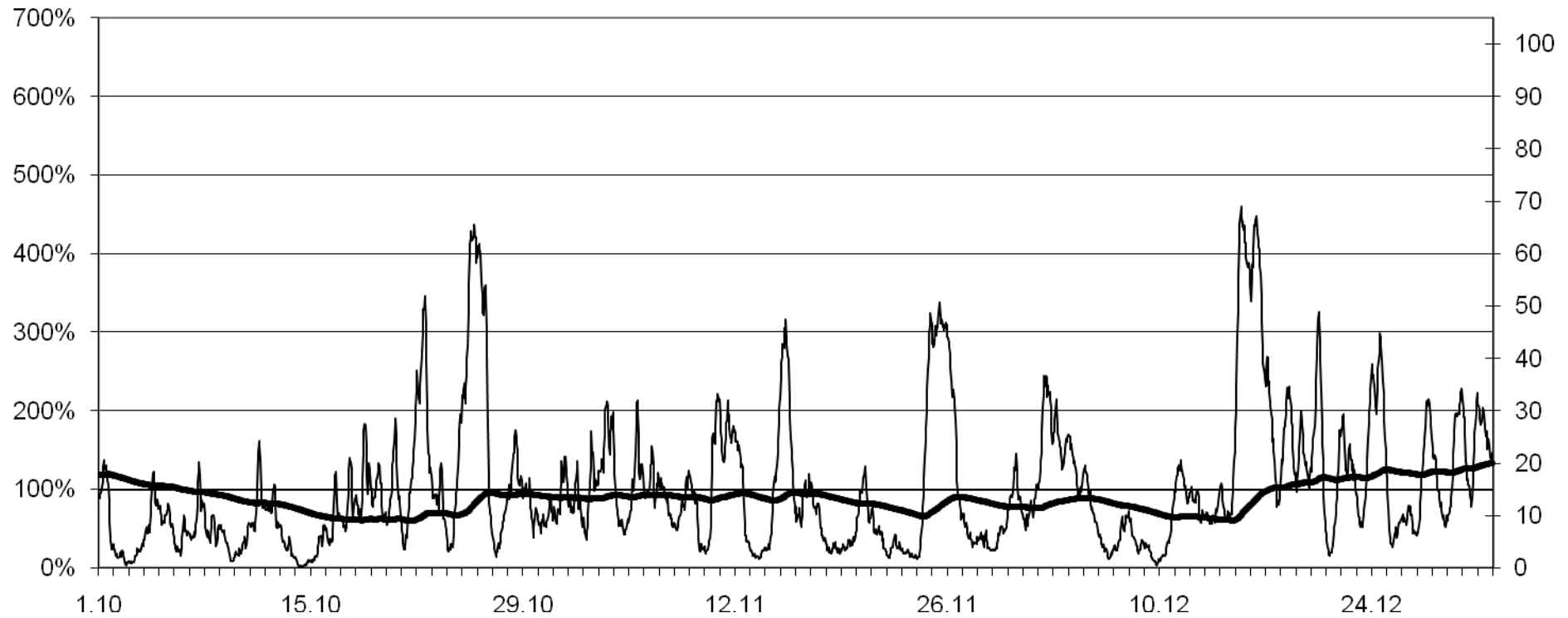
*Siehe Diagramm 1 für Erklärungen.*

Diagramm 3: *Windleistung und Speicherladung Juli bis September*



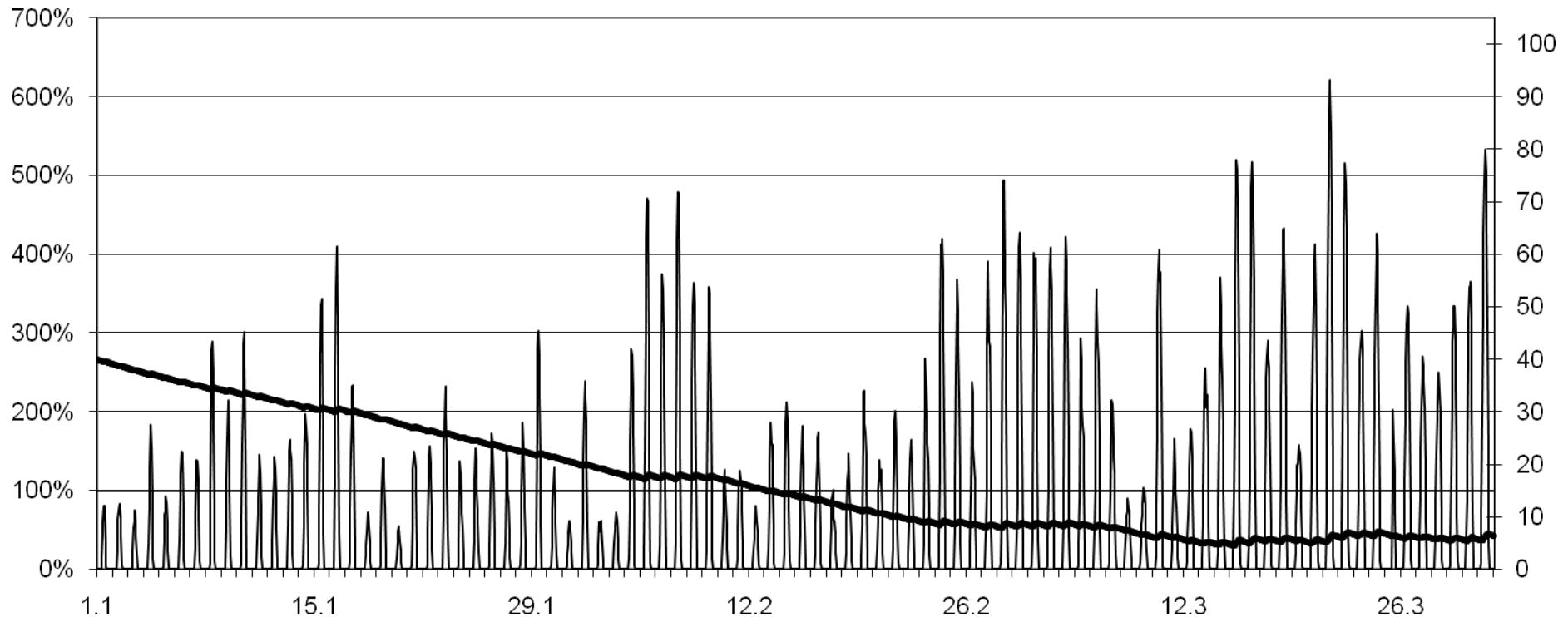
*Siehe Diagramm 1 für Erklärungen.*

Diagramm 4: *Windleistung und Speicherladung Oktober bis Dezember*



*Siehe Diagramm 1 für Erklärungen.*

Diagramm 5: Solarleistung und Speicherladung Januar bis März 2005



X-Achse: Datum,

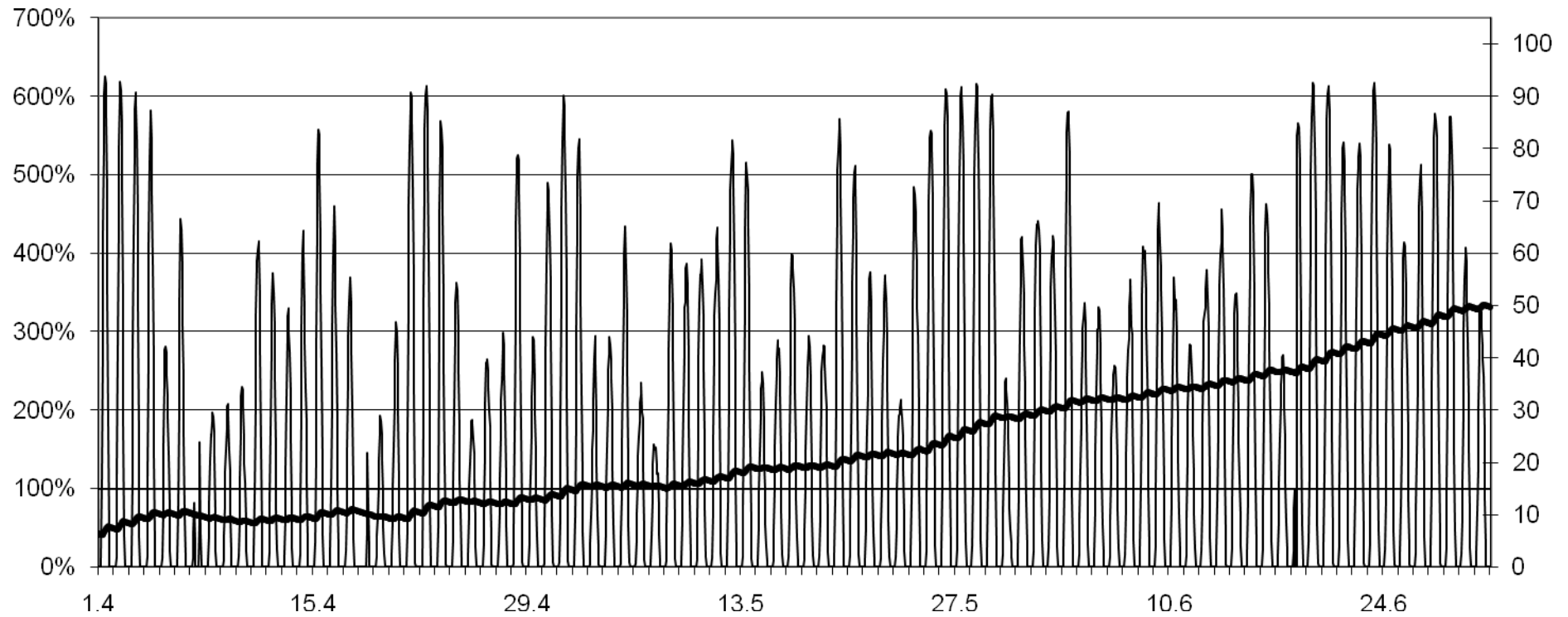
linke Y-Achse: stündliche Einspeiseleistung in Bezug auf die jahresdurchschnittliche Einspeiseleistung (zur feinen Linie).

rechte Y-Achse: Speicherladung in Tagesverbräuchen (zur dicken Linie).

Damit die Speicherladung nicht negativ wird, beginnt der 1. Januar mit 40 Tagen Vorladung.

Am Ende des Jahres (31. Dezember, Diagramm 8) beträgt die Speicherladung wieder 40 Tage.

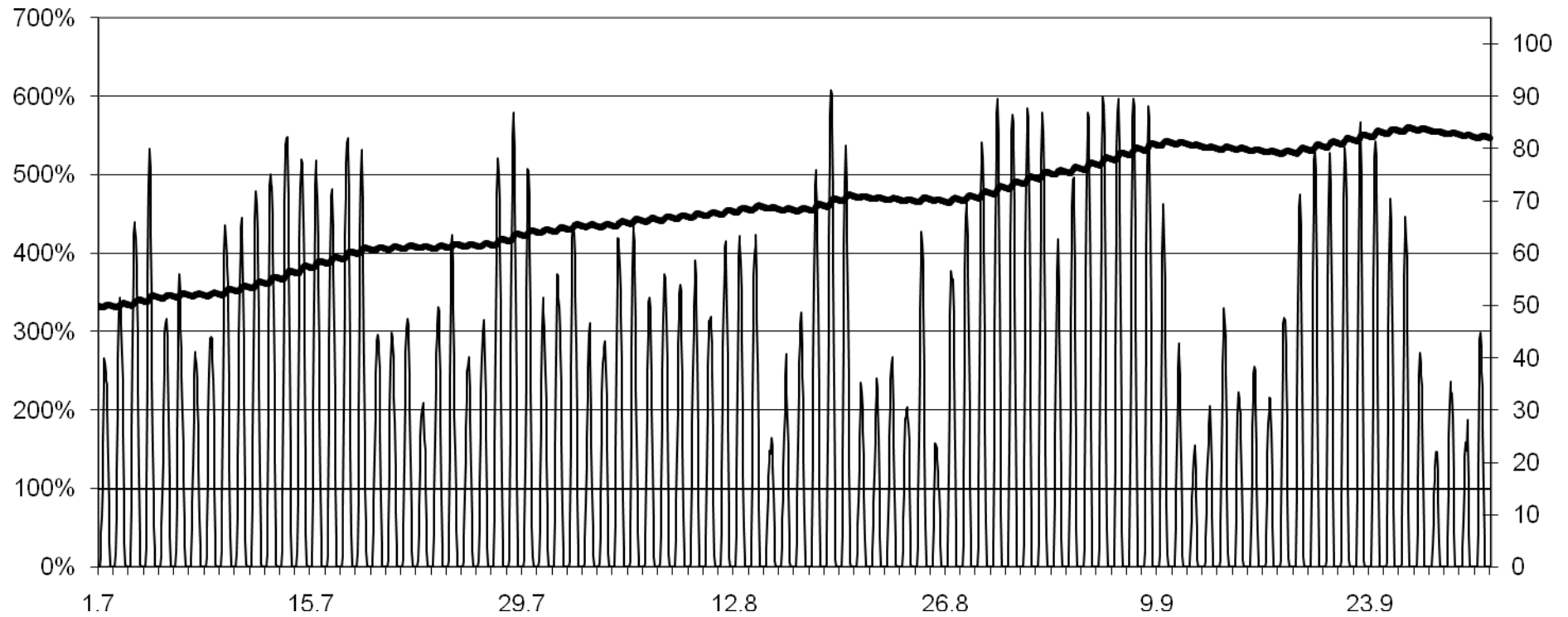
Diagramm 6: Solarleistung und Speicherladung April bis Juni 2005



Siehe Diagramm 5 für Erklärungen.

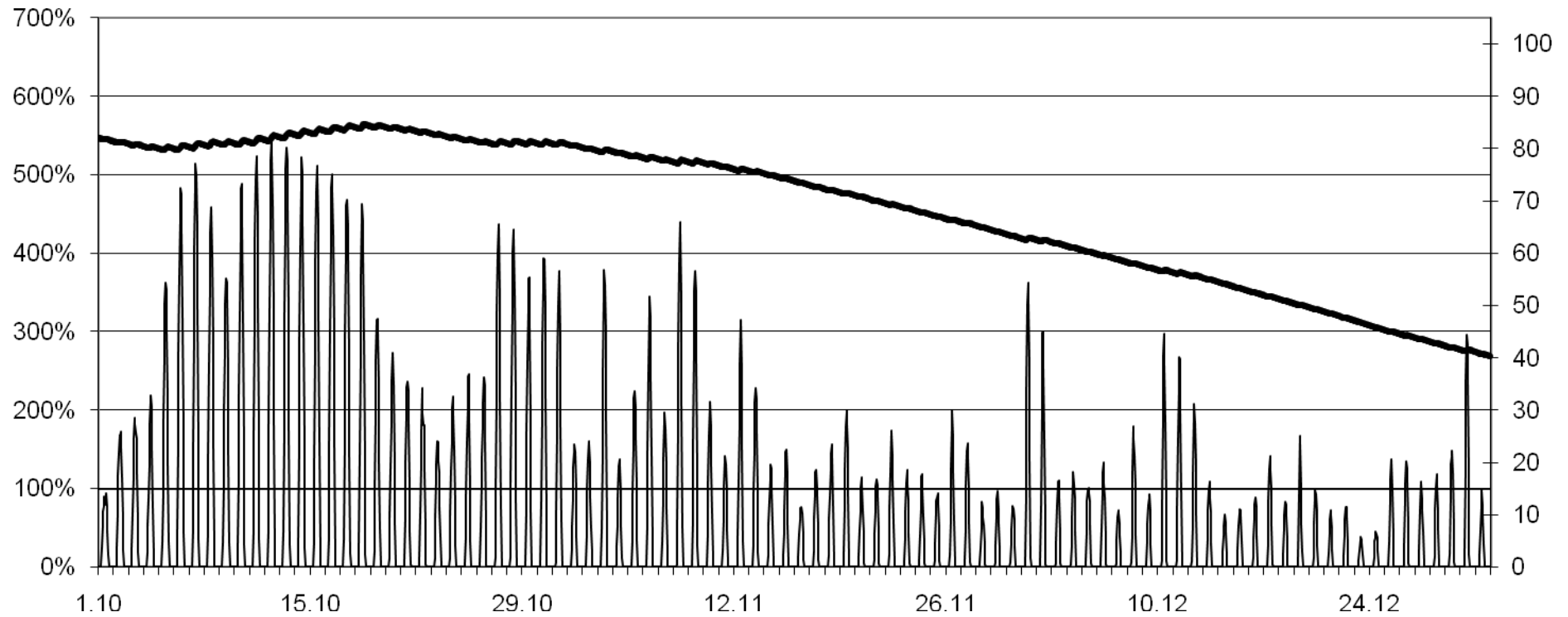


Diagramm 7: Solarleistung und Speicherladung Juli bis September 2005



Siehe Diagramm 5 für Erklärungen.

Diagramm 8: Solarleistung und Speicherladung Oktober bis Dezember 2005



Siehe Diagramm 5 für Erklärungen.

Diagramm 9: Speicherbedarf als Funktion der Anteile von Sonne (S) und Wind (W)

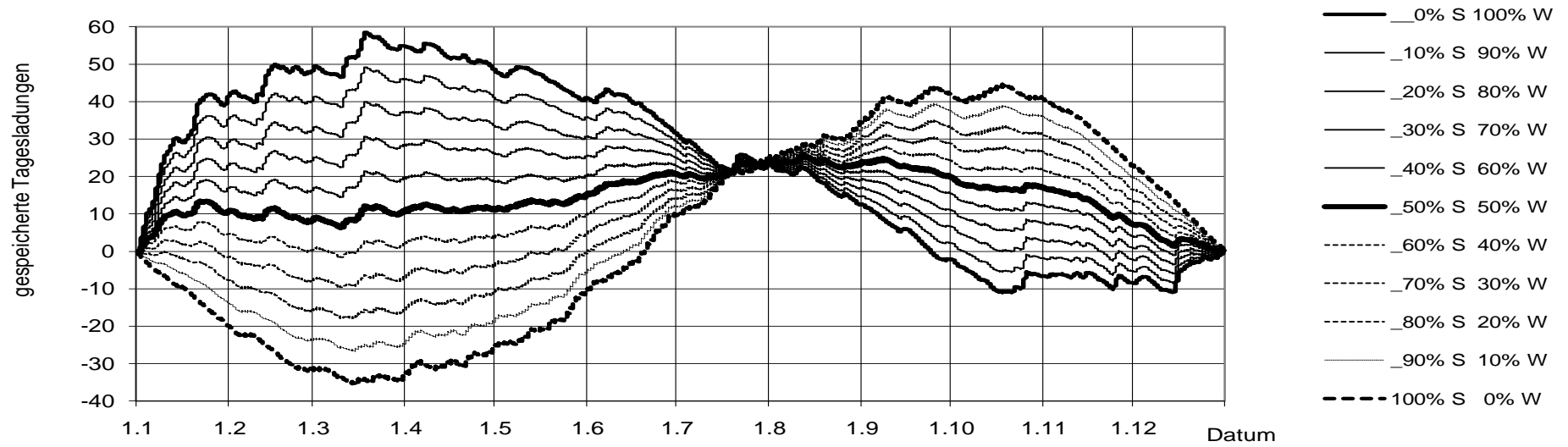


Diagramm 10:

### Speicherbedarf bei 80% Wirkungsgrad als Funktion der Anteile von Sonne (S) und Wind (W)

Datengrundlage: Institut für solare Energietechnik e.V. Kassel und Institut für Physik der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg

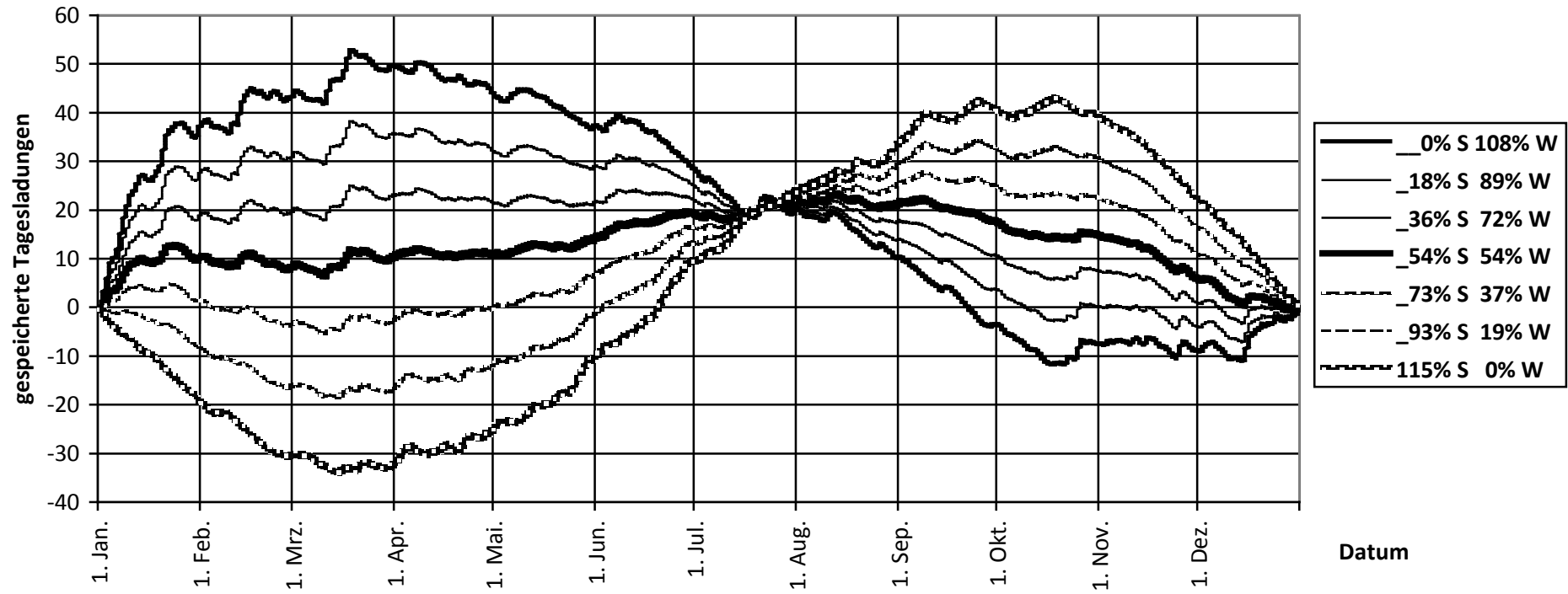


Diagramm 11:

### Speicherbedarf bei $\eta=80\%$ und 120% Erzeugungsvermögen von Sonne (S) und Wind (W)

Datengrundlage: Institut für solare Energietechnik e.V. Kassel und Institut für Physik der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg

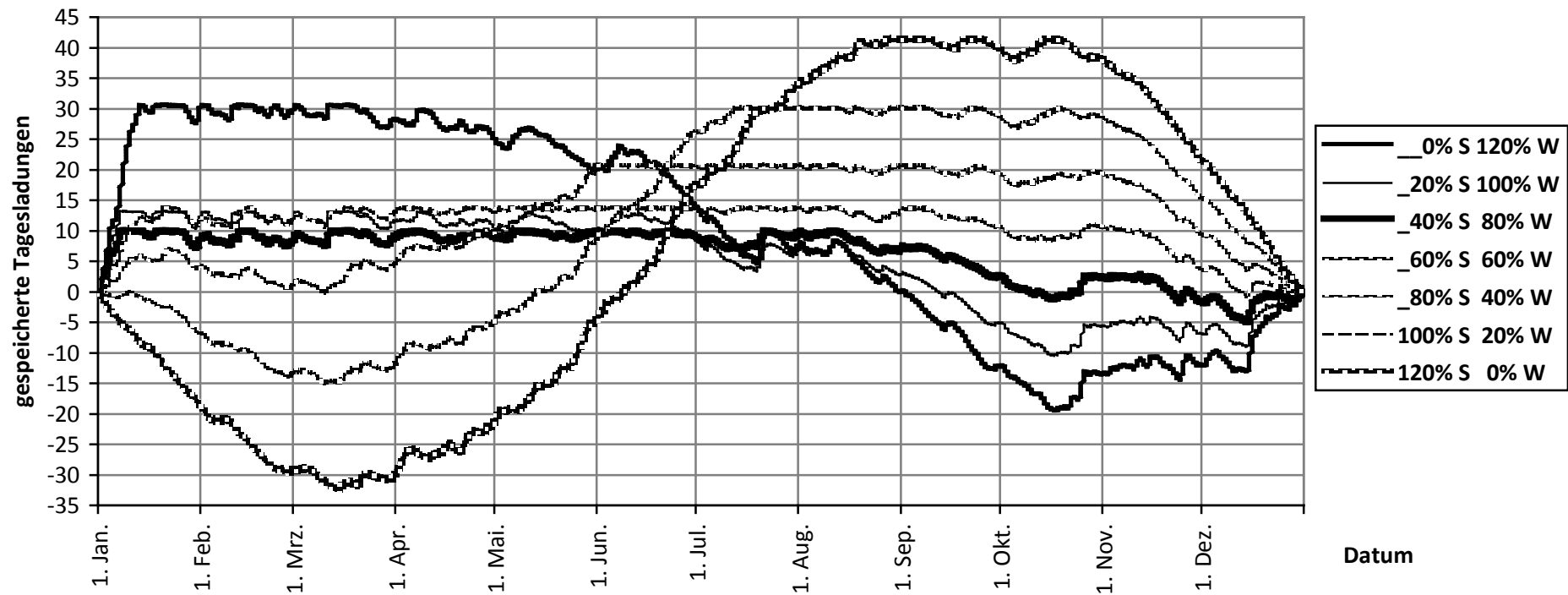


Diagramm 12:

### Speicherbedarf bei 80% Wirkungsgrad bei 140% Erzeugungsvermögen von Sonne (S) und Wind (W)

Datengrundlage: Institut für solare Energietechnik e.V. Kassel und Institut für Physik der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg

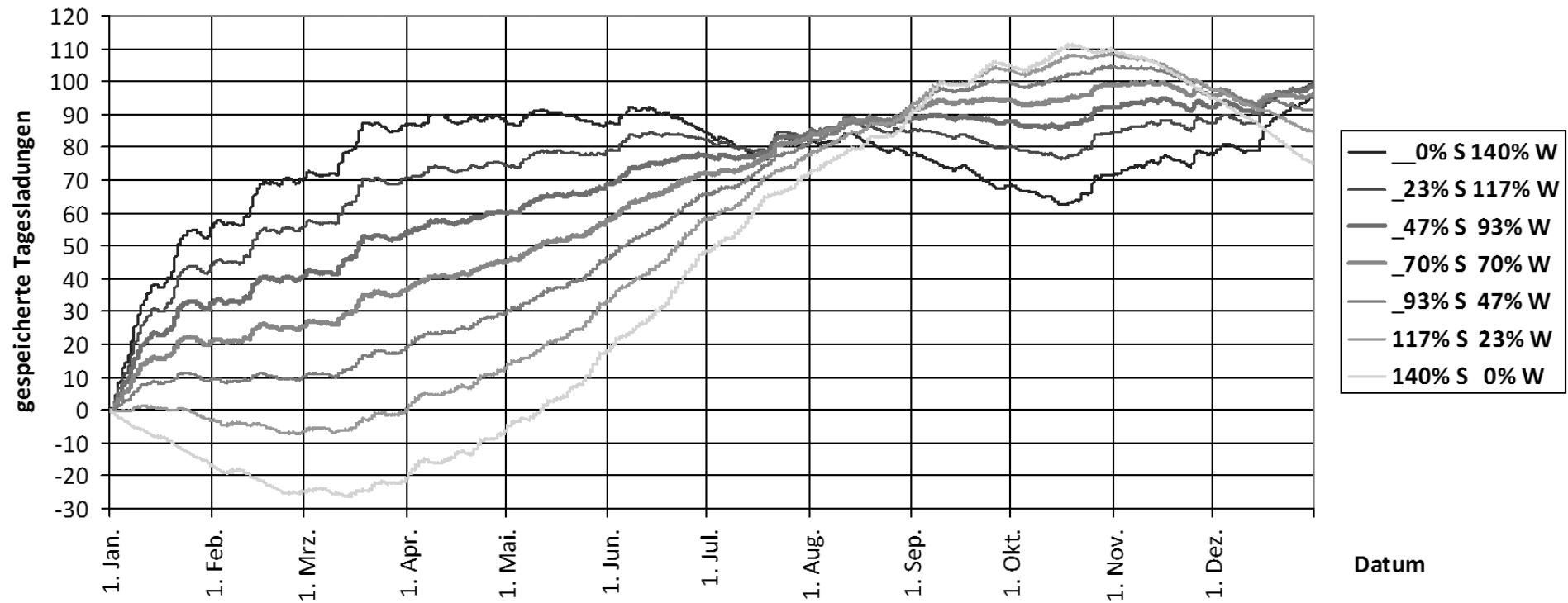


Diagramm 13:

### Speicherbedarf bei 80% Wirkungsgrad bei 140% Erzeugungsvermögen von Sonne (S) und Wind (W)

Datengrundlage: Institut für solare Energietechnik e.V. Kassel und Institut für Physik der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg

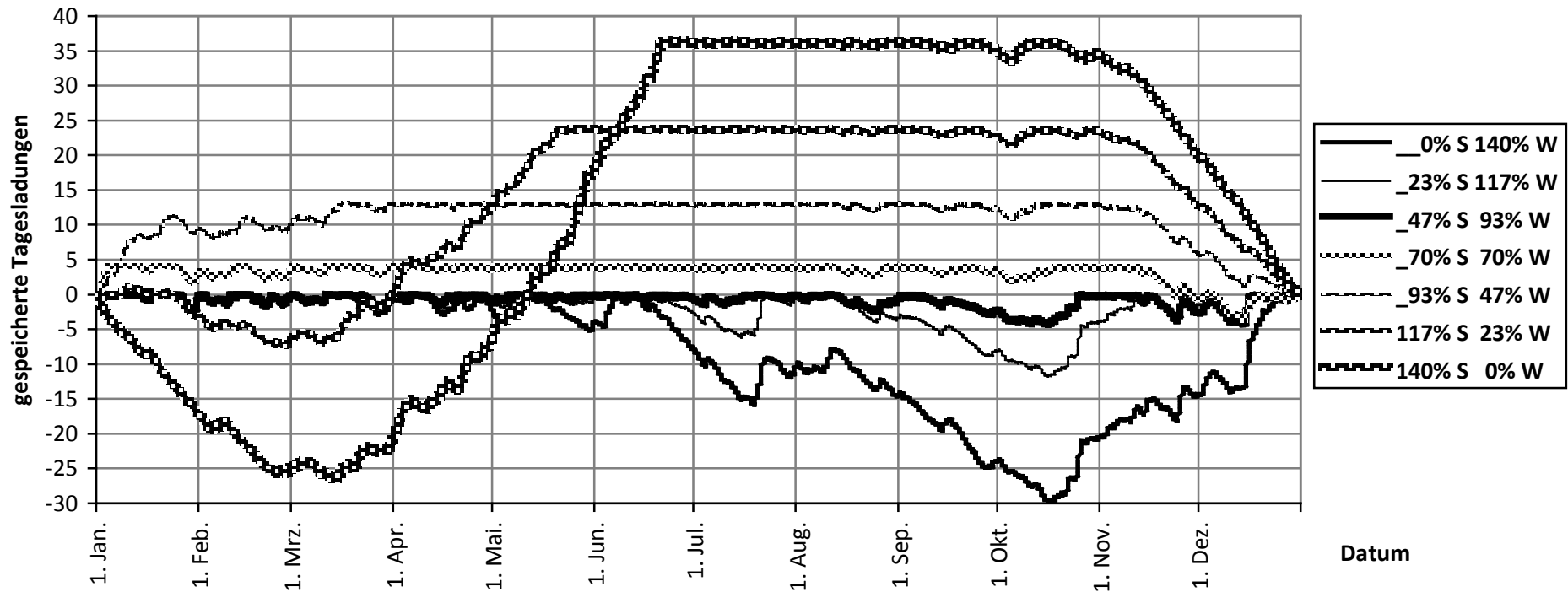


Diagramm 14:

### nachfrageorientierter Speicherbedarf bei $\eta=100\%$ als Funktion der Anteile von Sonne (S) und Wind (W)

Datengrundlage: Institut für solare Energietechnik e.V. Kassel und Institut für Physik der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg

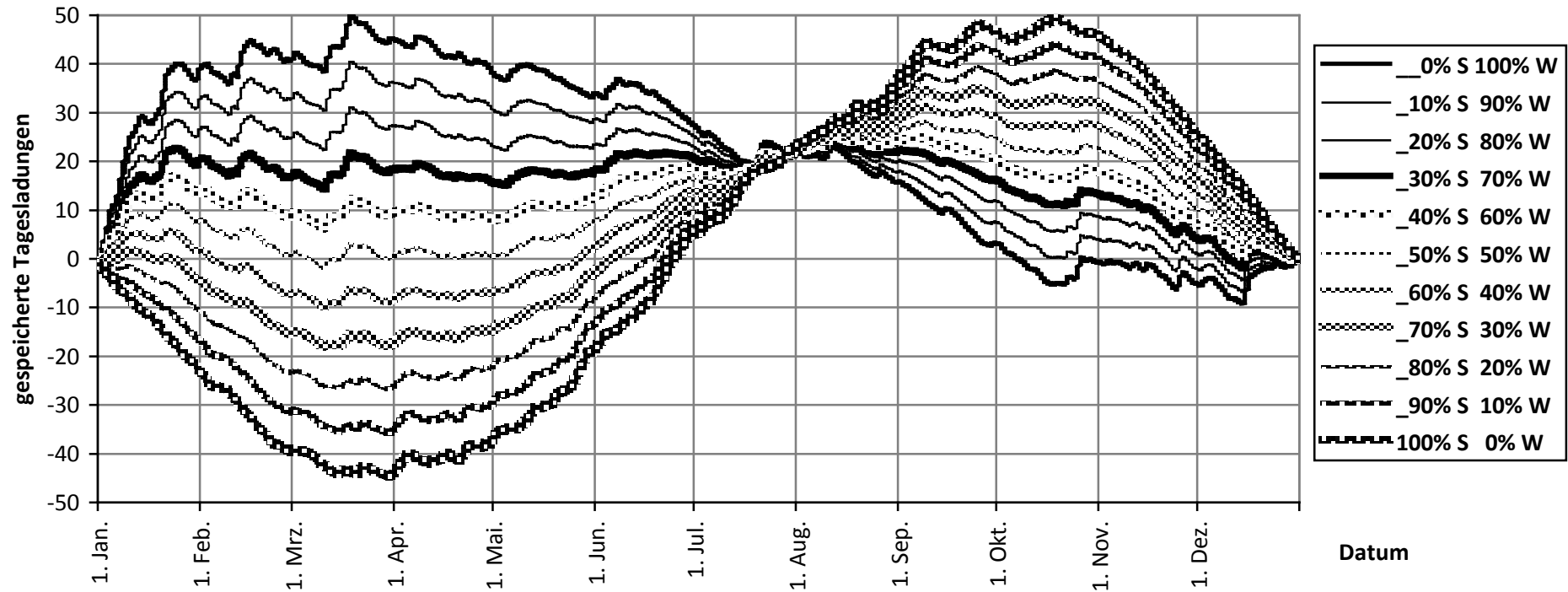




Diagramm 15:

### nachfrageorientierter Speicherbedarf bei $\eta=80\%$ als Funktion der Anteile von Sonne (S) und Wind (W)

Datengrundlage: Institut für solare Energietechnik e.V. Kassel und Institut für Physik der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg

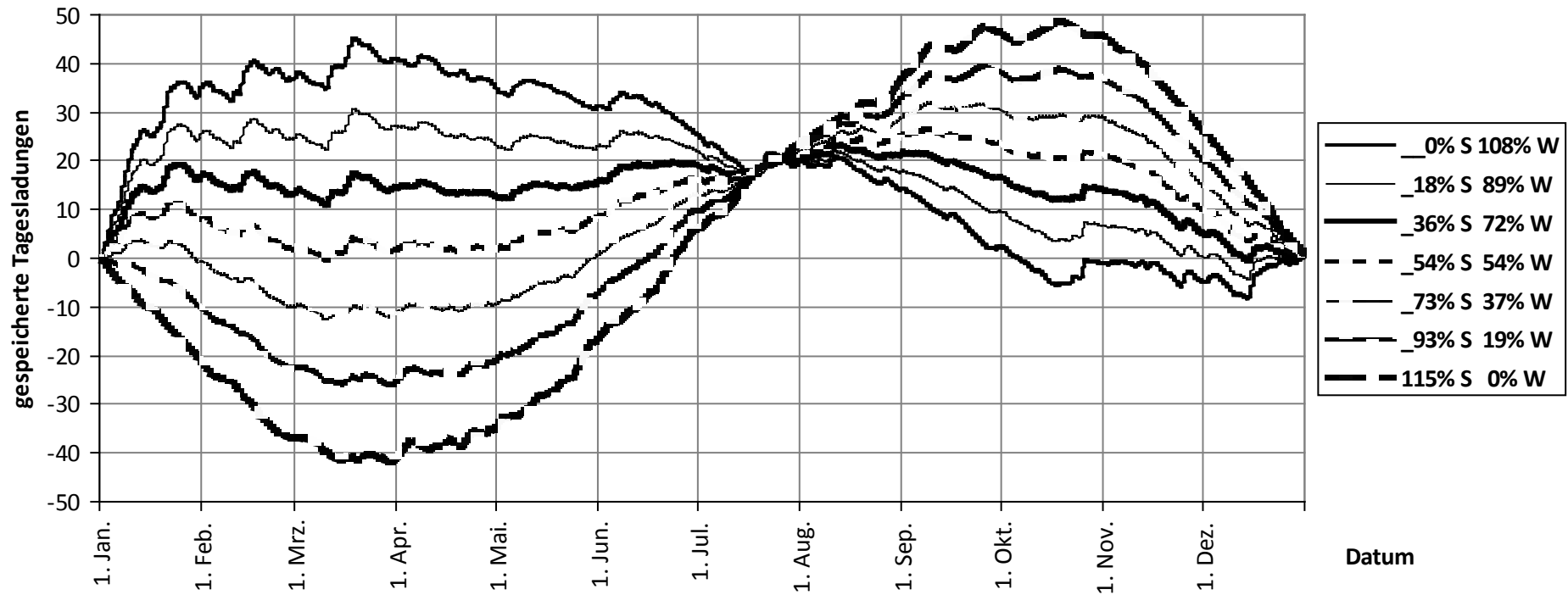


Diagramm 16:

### nachfrageorientierter Speicherbedarf bei $\eta=80\%$ , 120% Erzeugungsvermögen von Sonne (S) und Wind (W)

Datengrundlage: Institut für solare Energietechnik e.V. Kassel und Institut für Physik der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg

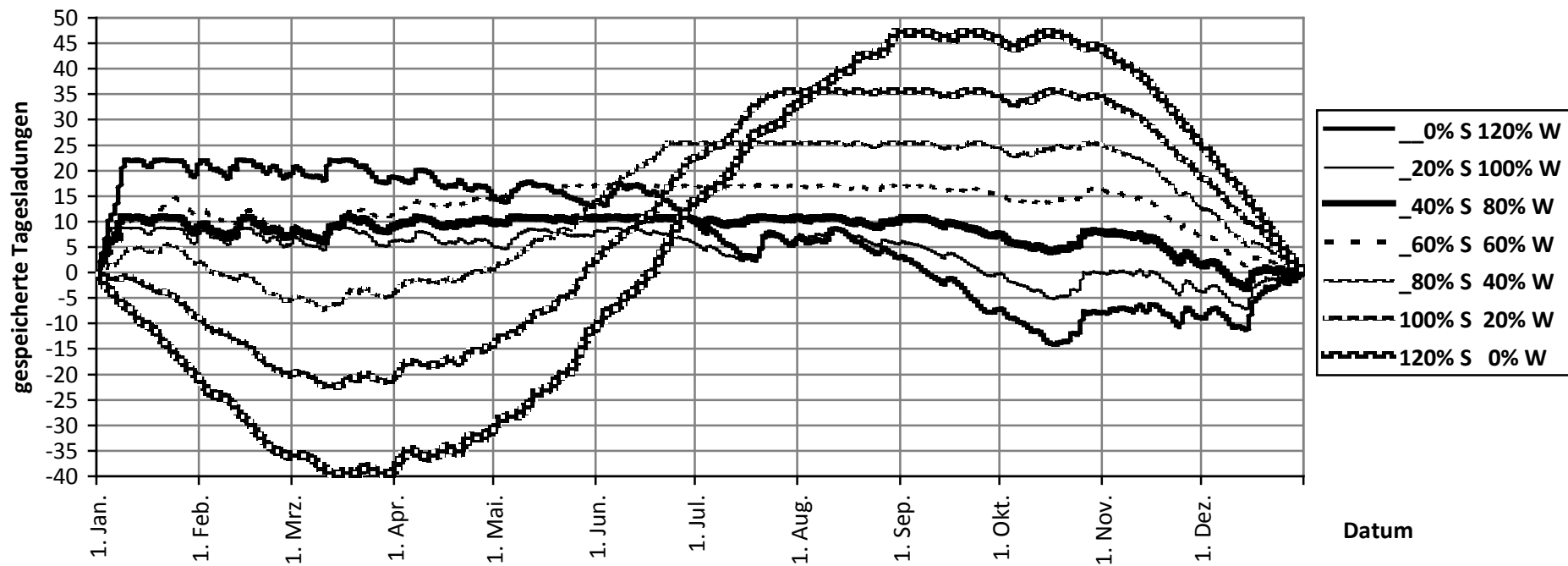


Diagramm 17:

### nachfrageorientierter Speicherbedarf, $\eta=80\%$ , 140% Erzeugungsvermögen von Sonne (S) und Wind (W)

Datengrundlage: Institut für solare Energietechnik e.V. Kassel und Institut für Physik der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg

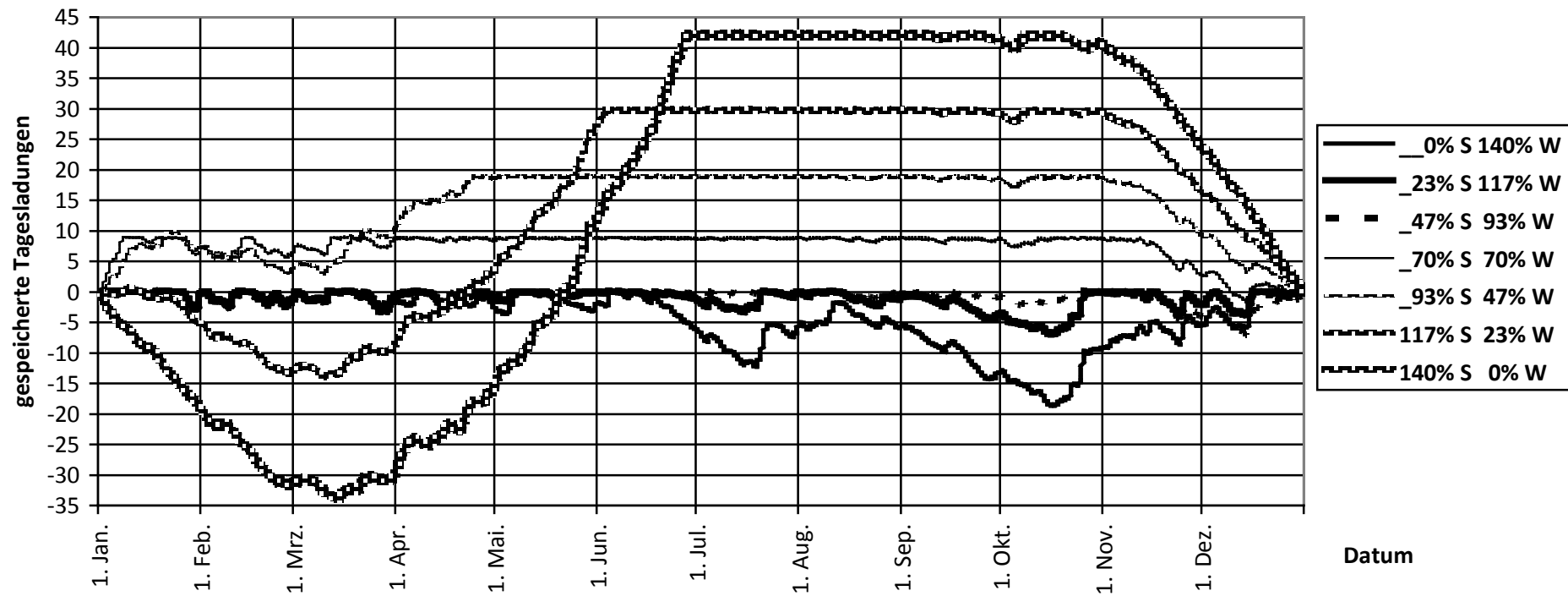


Diagramm 18:

### Speicherbedarf zum Jahreslastausgleich bei $\eta=100\%$ als Funktion der Anteile von Sonne (S) und Wind (W)

Datengrundlage: Institut für solare Energietechnik e.V. Kassel und Institut für Physik der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg

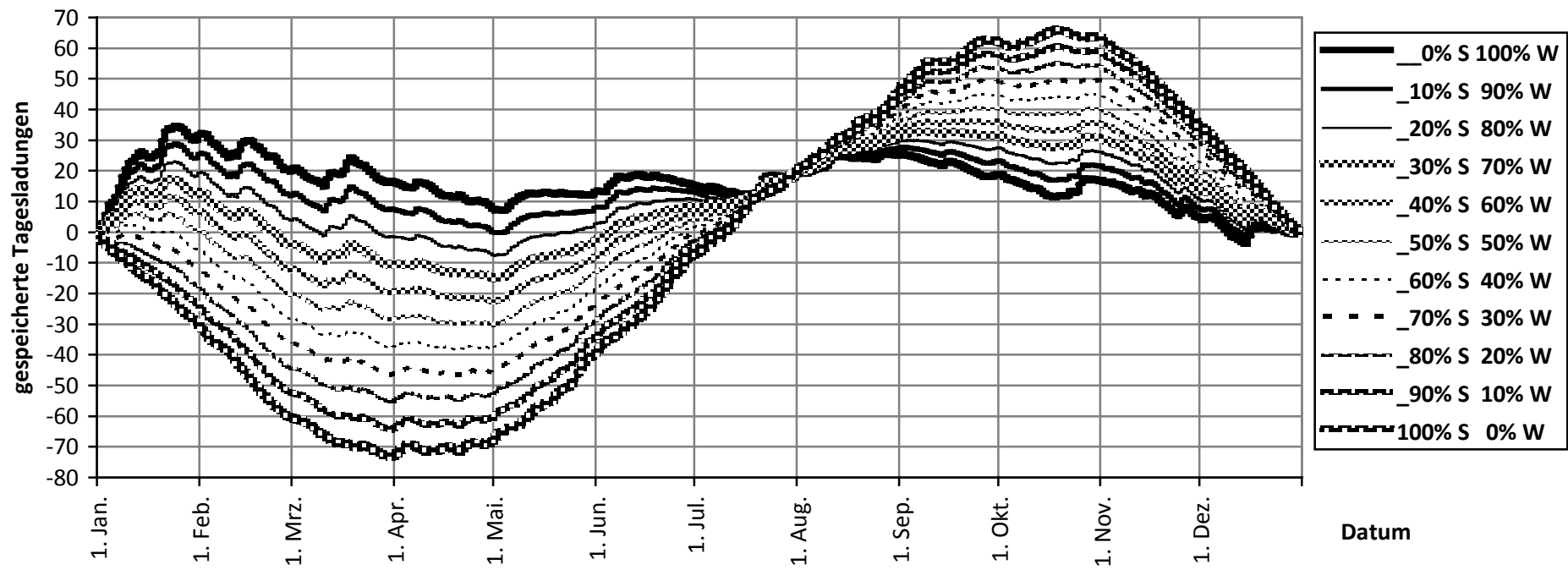


Diagramm 19:

### Speicherbedarf zum Jahreslastausgleich bei $\eta=80\%$ als Funktion der Anteile von Sonne (S) und Wind (W)

Datengrundlage: Institut für solare Energietechnik e.V. Kassel und Institut für Physik der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg

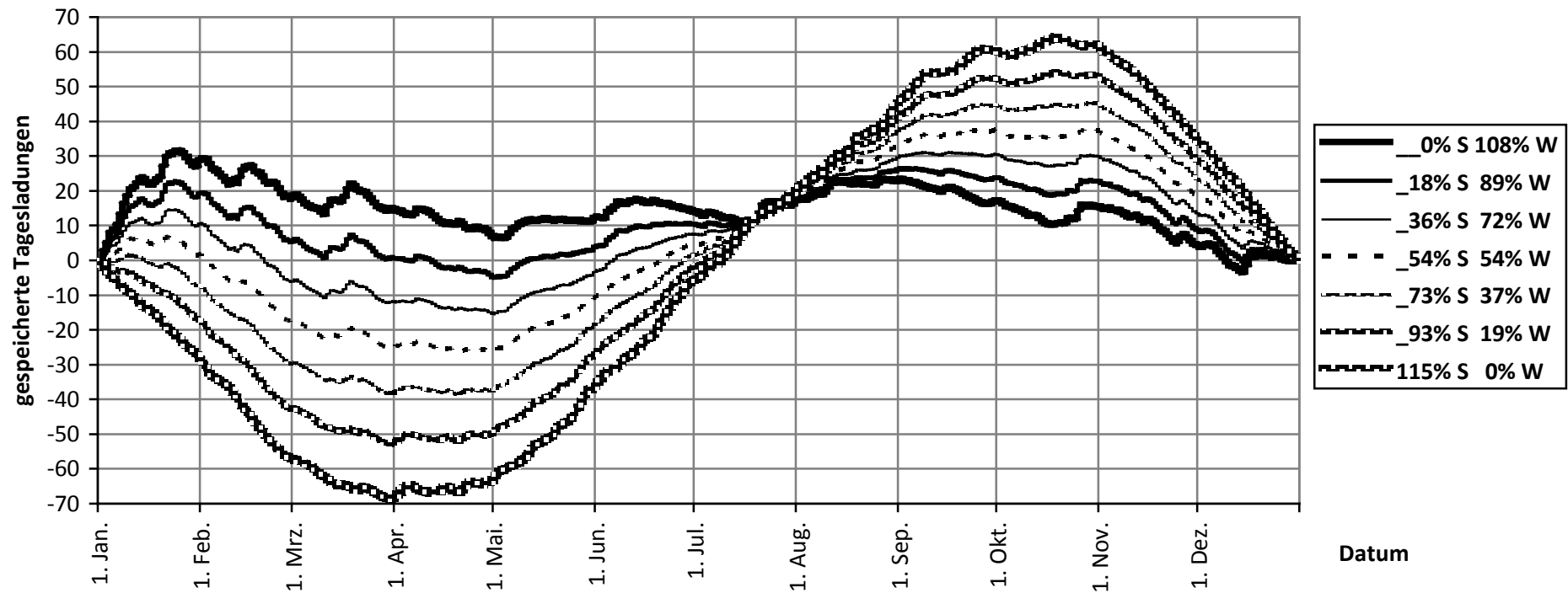


Diagramm 20:

### Jahreslastausgleich-Speicherbedarf bei $\eta=80\%$ , 120% Erzeugungsvermögen von Sonne (S) und Wind (W)

Datengrundlage: Institut für solare Energietechnik e.V. Kassel und Institut für Physik der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg

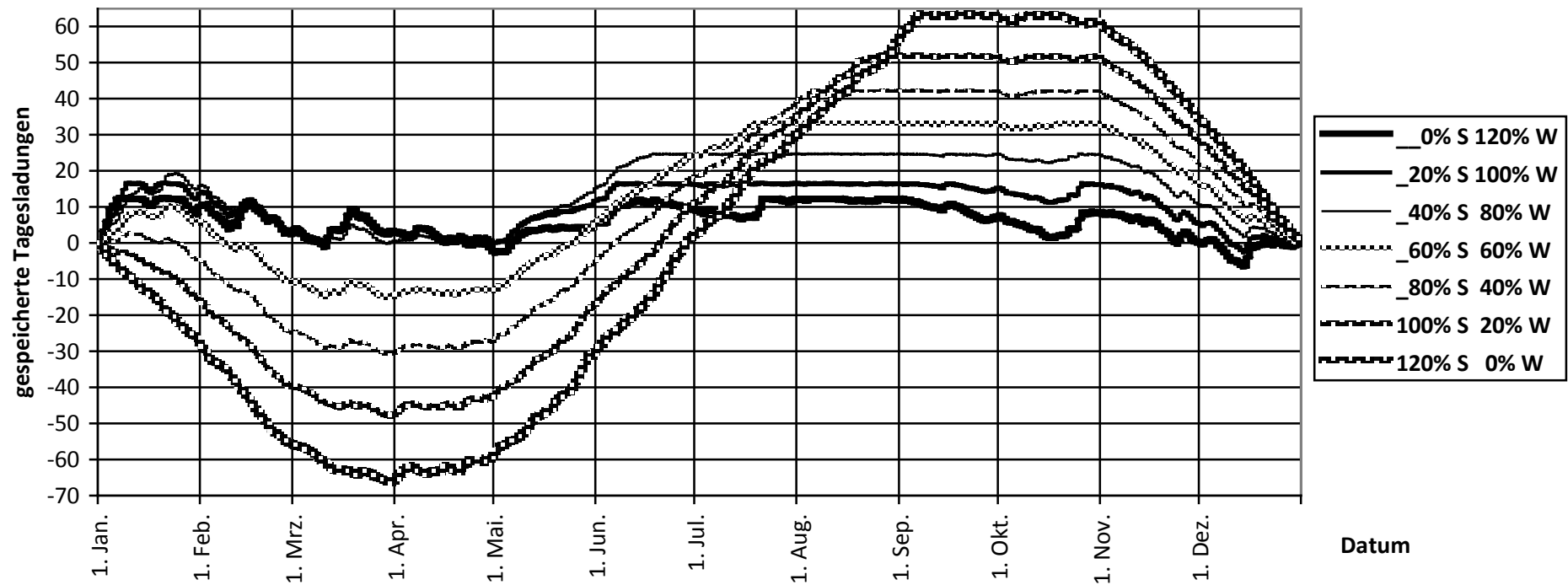


Diagramm 21:

### Jahresausgleichs-Speicherbedarf, $\eta=80\%$ , 140% Erzeugungsvermögen von Sonne (S) und Wind (W)

Datengrundlage: Institut für solare Energietechnik e.V. Kassel und Institut für Physik der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg

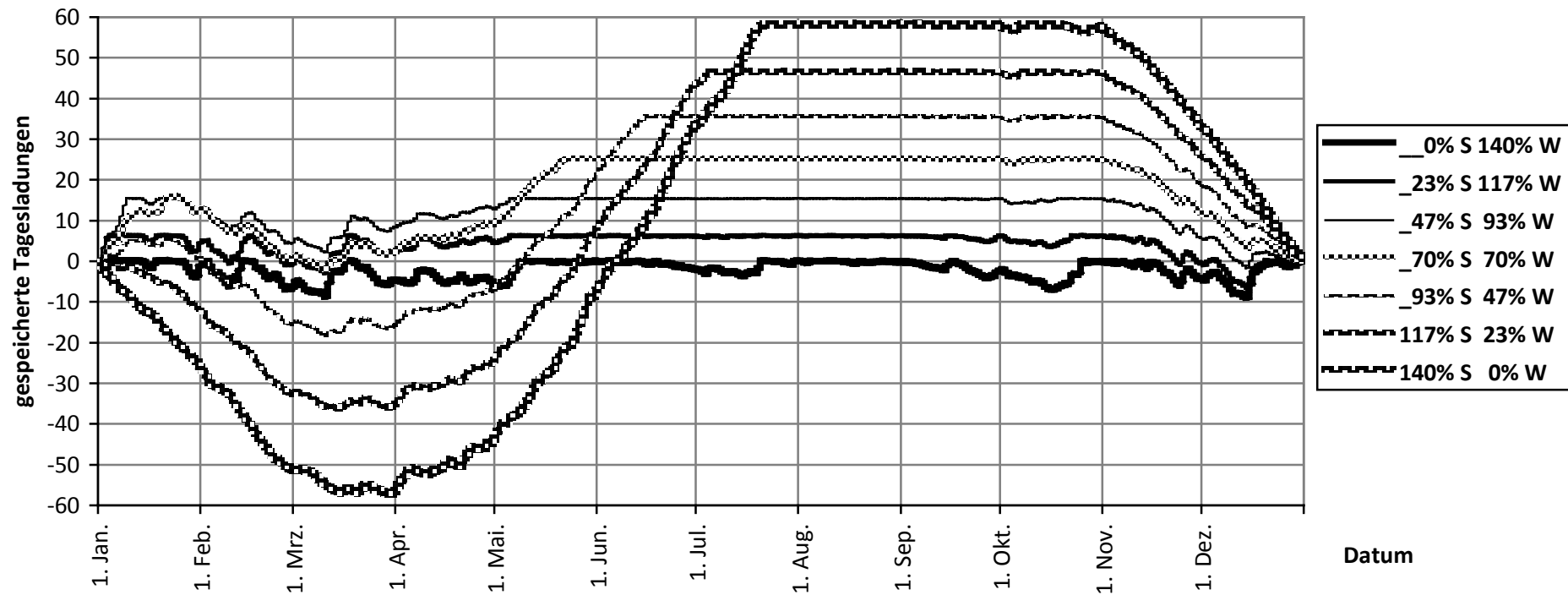


Diagramm 22: **erforderliche Speicherkapazitätsbedarf in Tagesladungen nach Wind- und Solarstromanteilen** (Beispiel für Speicherwirkungsgrad = 80% und Versorgungsaufgabe = konstanter Bedarf)

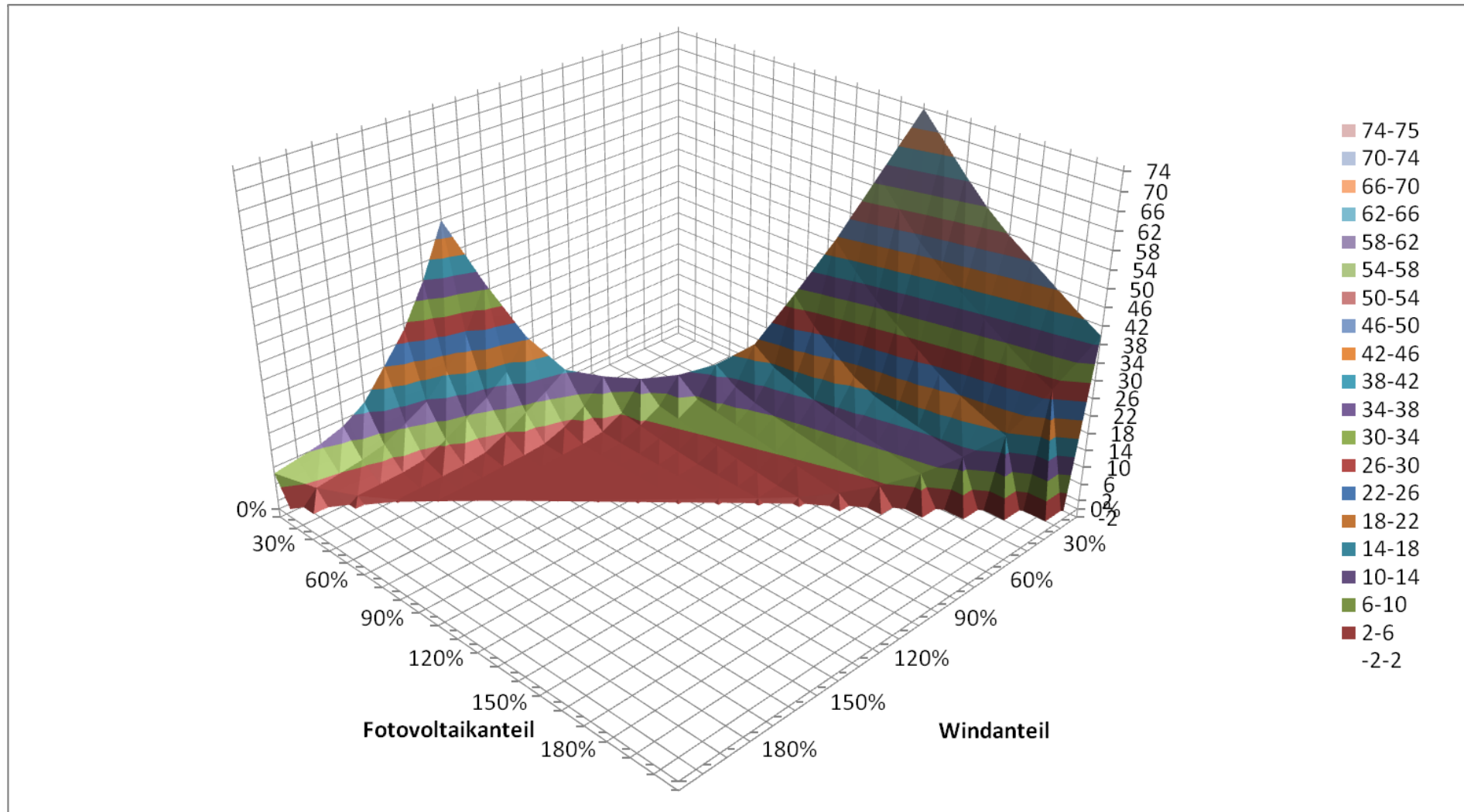




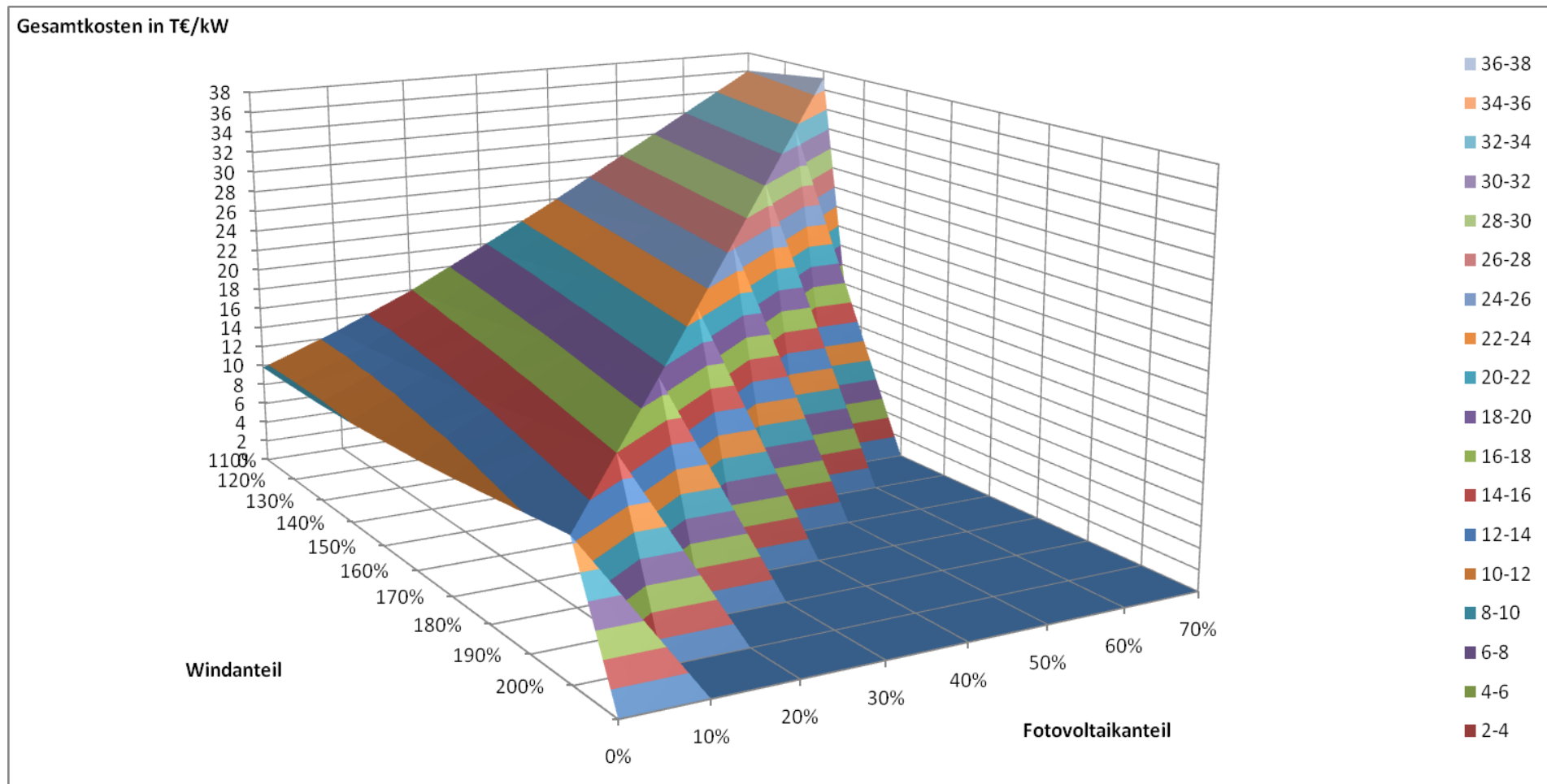
Tabelle 23: Datengrundlage zu Diagramm 22 auf Basis der Daten für Deutschland des Jahres 2005:

**erforderliche Speicherkapazitätsbedarf in Tagesladungen nach Wind- und Solarstromanteilen** (Beispiel für Speicherwirkungsgrad = 80% und Versorgungsaufgabe = konstanter Bedarf (Grundlast))

	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%	110%	120%	130%	140%	150%	160%	170%	180%	190%	200%	Wind	
0%													49,77	37,86	28,62	22,13	15,78	12,41	10,63	9,55	8,56		
10%												35,43	25,35	18,87	13,59	10,78	8,00	6,75	5,92	5,08			
20%											22,78	16,31	12,31	9,51	6,74	4,36	3,66	3,43	3,20				
30%										14,56	11,42	8,59	5,79	3,58	2,93	2,70	2,46	2,23					
40%									12,93	7,83	5,02	3,25	2,85	2,60	2,35	2,16	2,10						
50%								12,28	6,20	3,80	3,20	2,93	2,68	2,43	2,18	2,03							
60%							13,28	7,86	5,35	3,38	3,02	2,77	2,51	2,27	2,02								
70%						15,86	9,54	7,01	4,51	3,18	2,86	2,60	2,36	2,11									
80%				20,77	12,62	8,70	6,18	3,76	2,99	2,70	2,45	2,20											
90%			32,69	17,36	10,99	7,87	5,36	3,18	2,79	2,54	2,29												
100%		45,32	27,34	15,66	9,93	7,05	4,54	2,99	2,63	2,38													
110%	59,59	40,05	23,32	13,96	8,89	6,24	3,78	2,79	2,48														
120%	73,99	54,02	35,44	19,58	12,68	7,97	5,43	3,07	2,60														
130%	68,47	48,58	31,77	17,19	11,55	7,16	4,62	2,81															
140%	62,96	44,46	28,24	15,83	10,52	6,36	3,87																
150%	57,88	40,92	24,73	14,66	9,49	5,55																	
160%	53,70	37,39	21,86	13,54	8,47																		
170%	50,15	33,87	19,62	12,42																			
180%	46,61	30,70	17,48																				
190%	43,08	28,04																					
200%	39,92																						
Sonne																							

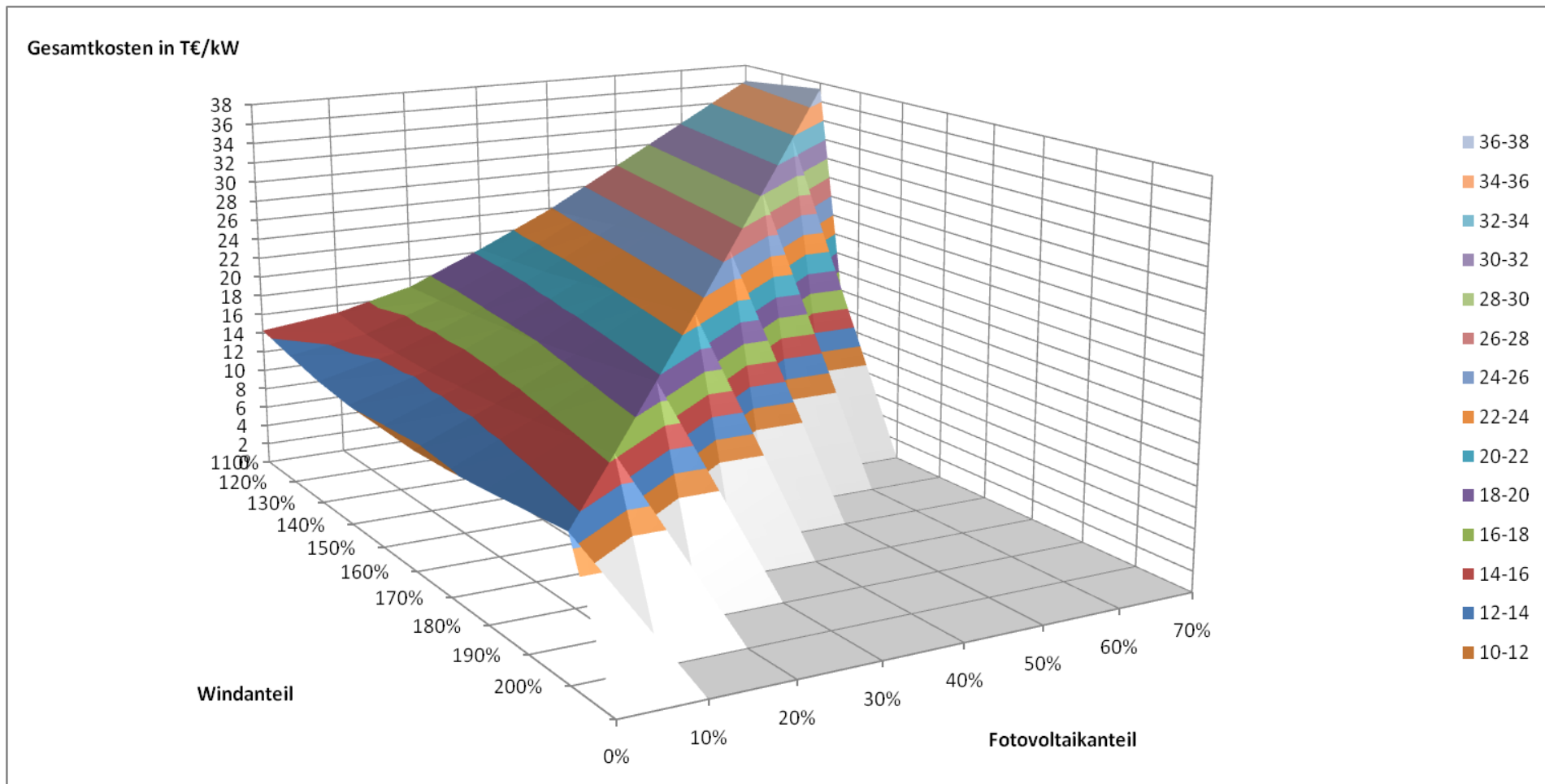
**Gesamtinvestitionskosten für einen Mix aus Windkraft, Fotovoltaik und Energiespeicher** (Beispiel für Speicherwirkungsgrad = 80% (Pumpspeicher) und Versorgungsaufgabe = konstanter Bedarf (Grundlast))

Diagramm 24: für Speicherkapazitätskosten = 2 €/kWh



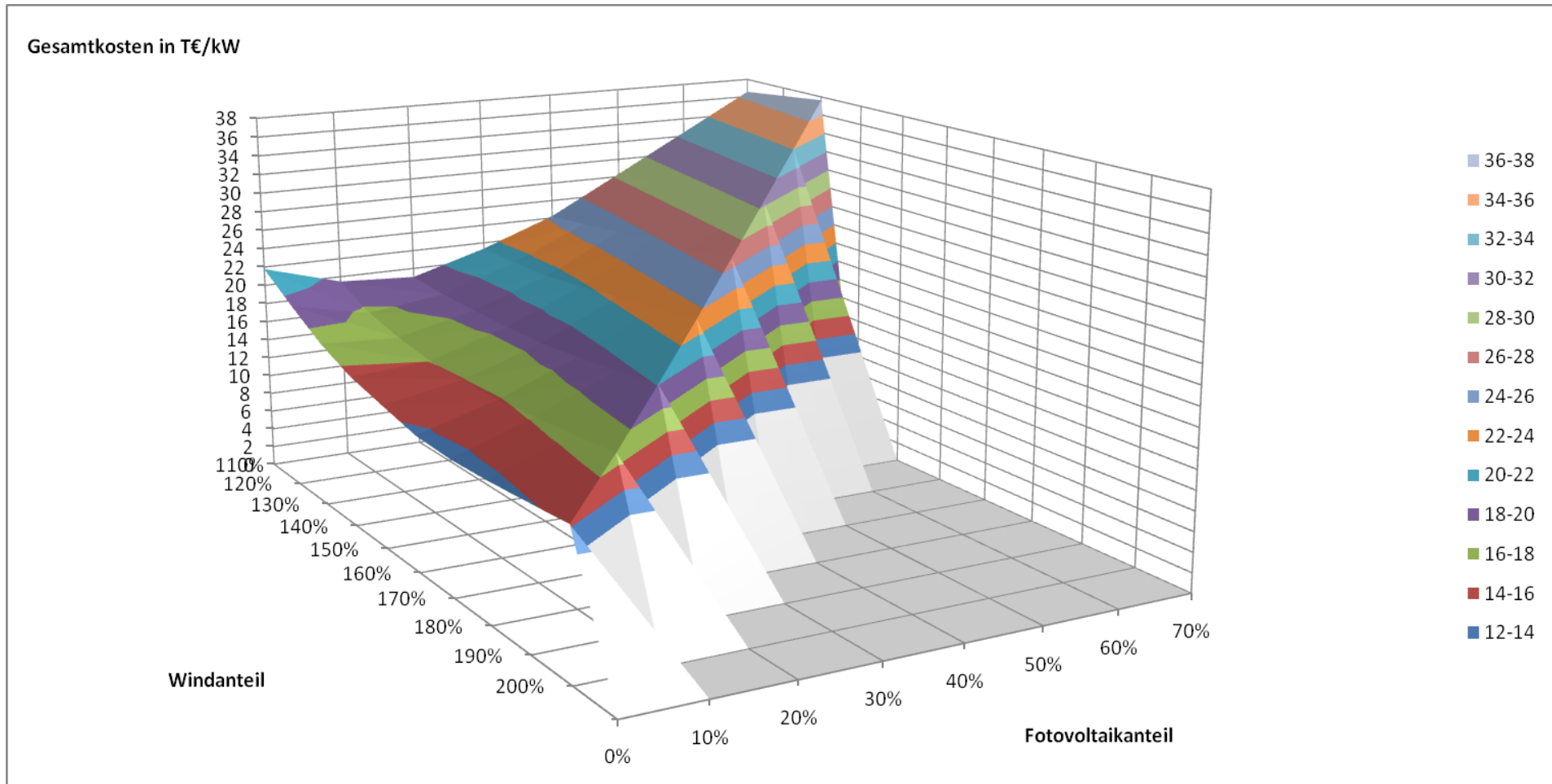
**Gesamtinvestitionskosten für einen Mix aus Windkraft, Fotovoltaik und Energiespeicher** (Beispiel für Speicherwirkungsgrad = 80% (Pumpspeicher) und Versorgungsaufgabe = konstanter Bedarf (Grundlast))

Diagramm 25: für Speicherkapazitätskosten = 5 €/kWh



**Gesamtinvestitionskosten für einen Mix aus Windkraft, Fotovoltaik und Energiespeicher** (Beispiel für Speicherwirkungsgrad = 80% (Pumpspeicher) und Versorgungsaufgabe = konstanter Bedarf (Grundlast))

Diagramm 26: für Speicherkapazitätskosten = 10 €/kWh



**Gesamtinvestitionskosten für einen Mix aus Windkraft, Fotovoltaik und Energiespeicher** (Beispiel für Speicherwirkungsgrad = 80% (Pumpspeicher) und Versorgungsaufgabe = konstanter Bedarf (Grundlast))

Diagramm 27: für Speicherkapazitätskosten = 20 €/kWh

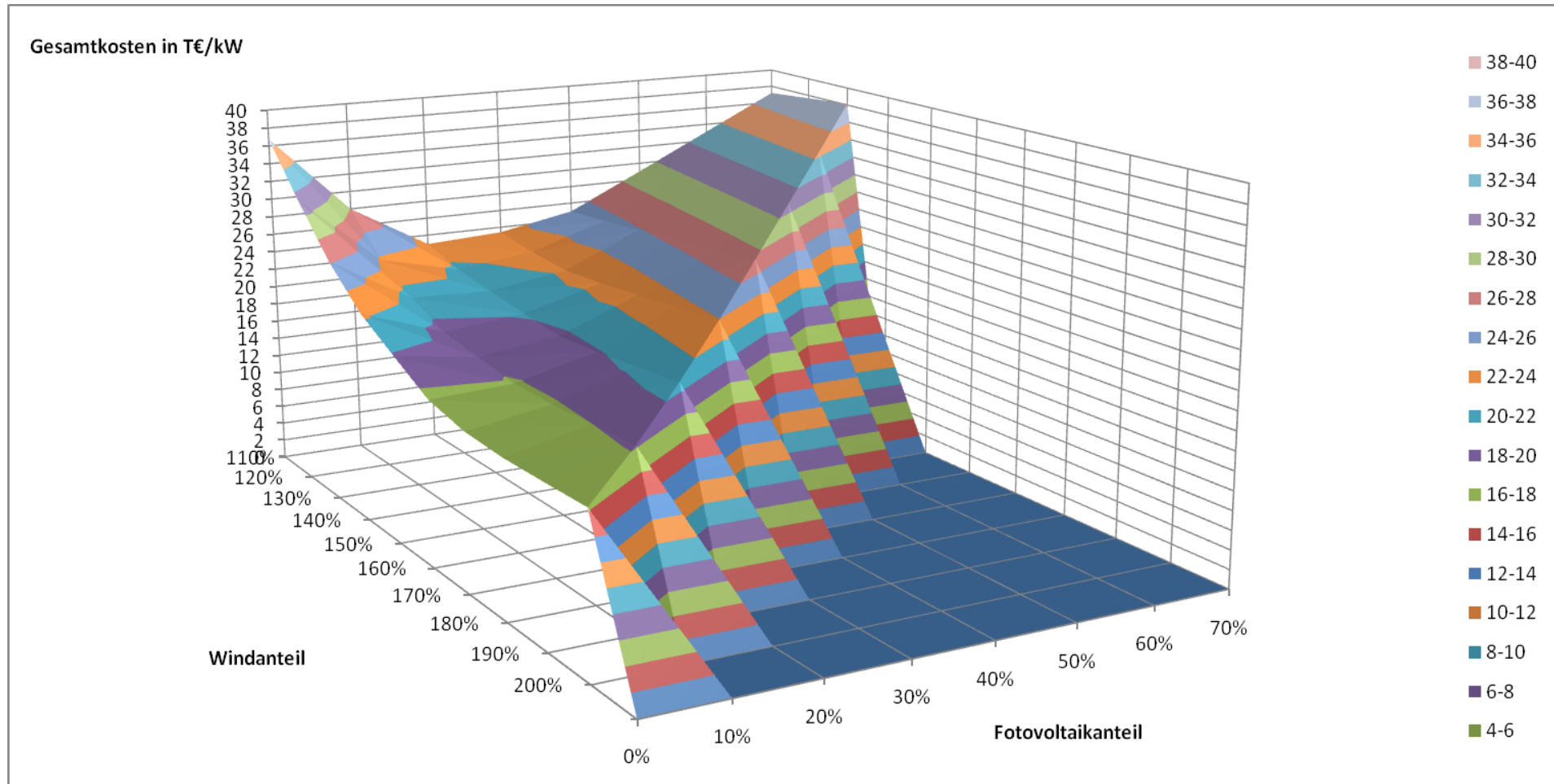


Diagramm 28: **erforderliche Speicherkapazitätsbedarf in Tagesladungen nach Wind- und Solarstromanteilen** (Beispiel für Speicherwirkungsgrad = 80% und Versorgungsaufgabe = bedarfsorientierter Lastgang)

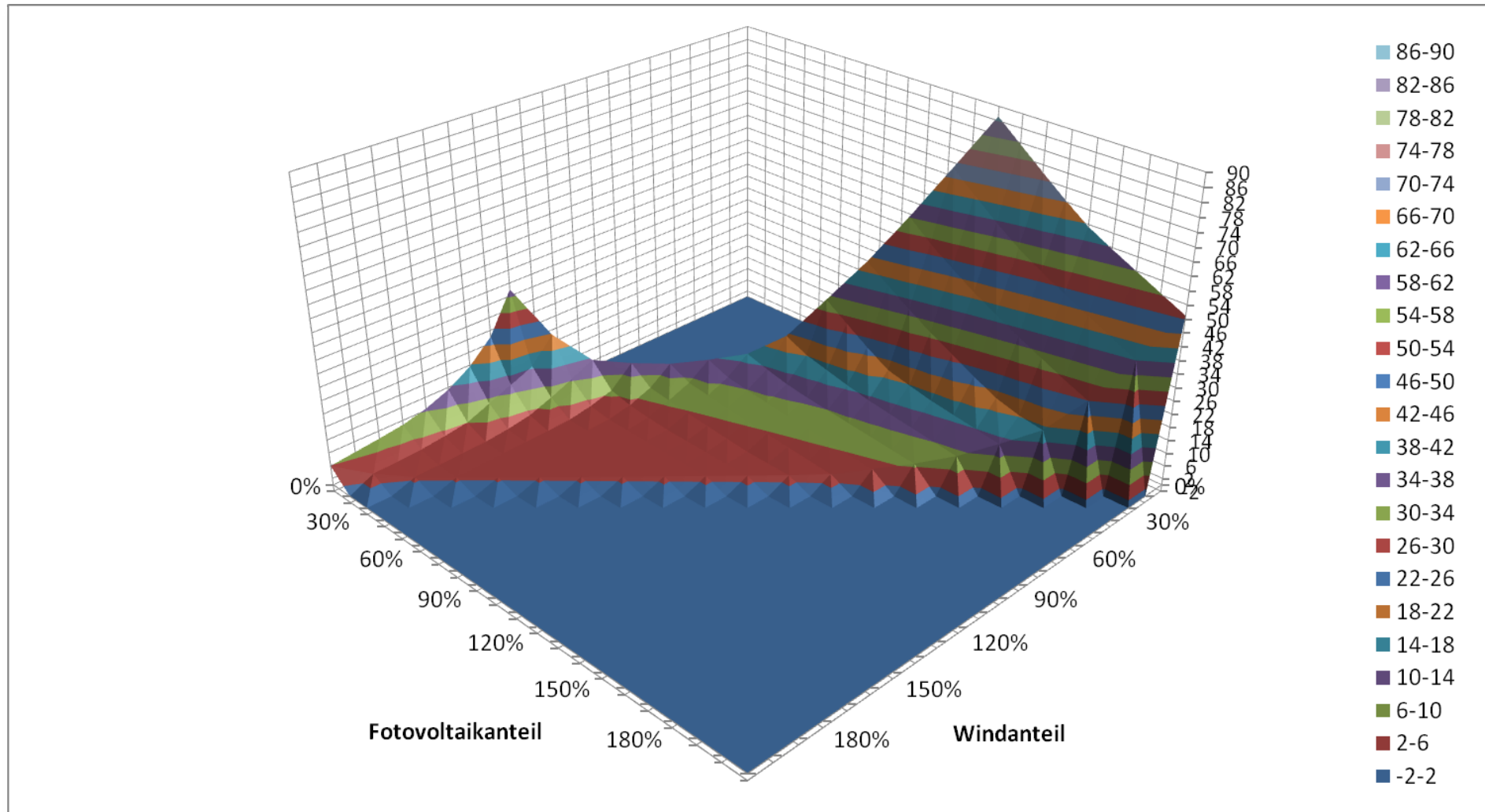


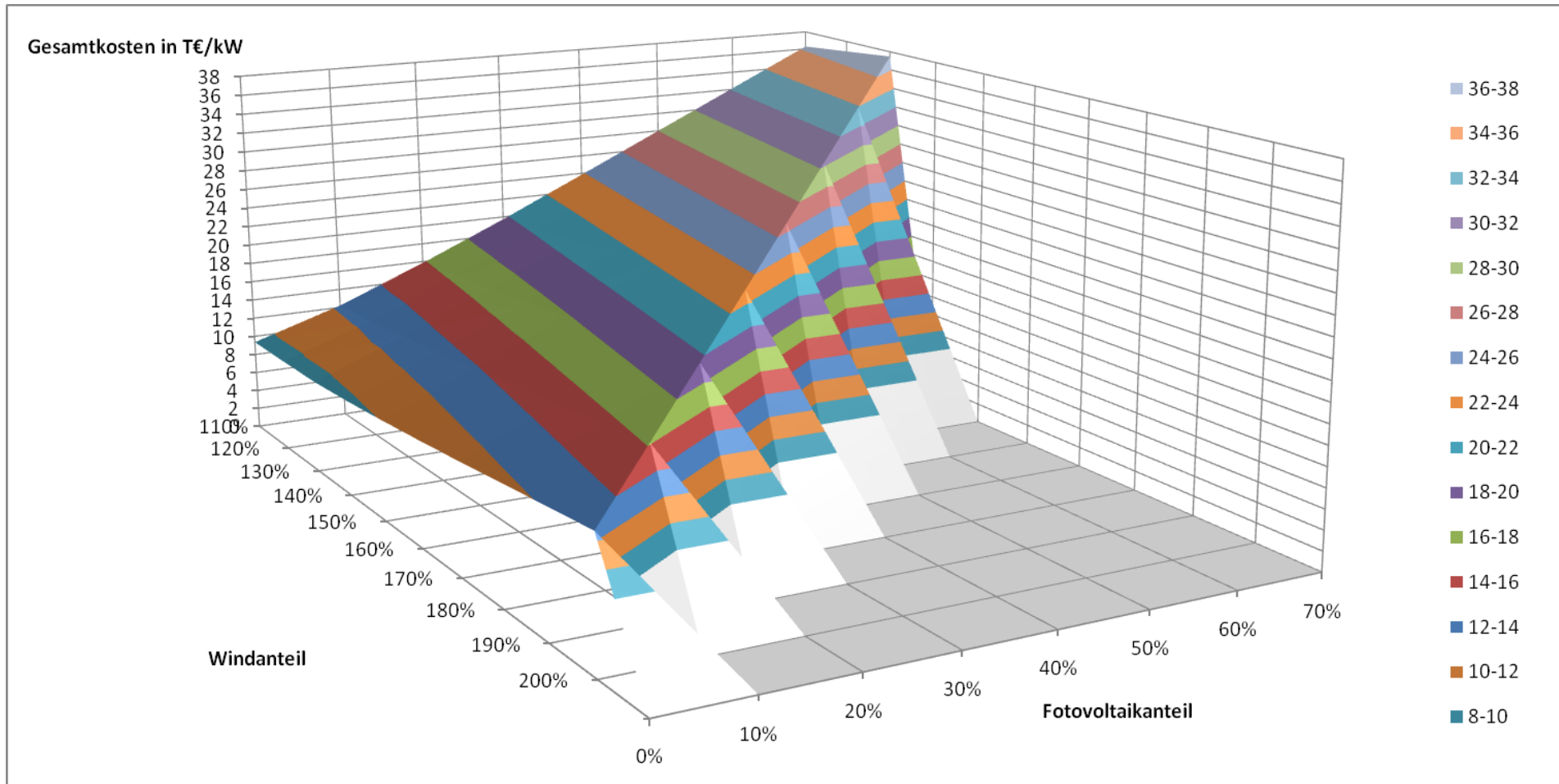
Tabelle 29: Datengrundlage zu Diagramm 28 auf Basis der Daten für Deutschland des Jahres 2005:

**erforderliche Speicherkapazitätsbedarf in Tagesladungen nach Wind- und Solarstromanteilen** (Beispiel für Speicherwirkungsgrad = 80% und Versorgungsaufgabe = bedarfsorientierter Lastgang)

	0%	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%	110%	120%	130%	140%	150%	160%	170%	180%	190%	200%	Sonne	
0%													35,96	23,97	17,56	13,31	10,50	8,67	7,65	6,81	5,96		
10%												21,63	14,50	11,65	8,85	6,06	5,01	4,17	3,74	3,51			
20%											13,48	10,37	7,57	5,07	3,89	3,16	2,92	2,69	2,48				
30%										12,47	6,67	4,79	3,60	3,34	3,09	2,84	2,59	2,42					
40%									12,24	7,52	5,04	3,70	3,41	3,15	2,90	2,65	2,41						
50%								13,55	9,14	6,63	4,24	3,48	3,23	2,97	2,72	2,48							
60%							15,50	10,97	8,27	5,77	3,66	3,31	3,05	2,80	2,56								
70%						21,27	13,53	9,93	7,41	4,92	3,45	3,14	2,89	2,64									
80%					32,84	18,17	11,88	9,08	6,57	4,16	3,24	2,98	2,73										
90%				44,74	28,18	16,44	10,78	8,24	5,73	3,44	3,07	2,82											
100%			58,25	40,09	23,66	14,72	9,95	7,41	4,90	3,24	2,91												
110%		72,66	52,67	35,57	19,57	13,22	9,11	6,59	4,16	3,04													
120%	87,20	67,02	48,01	31,29	17,83	12,10	8,29	5,77	3,43														
130%	81,54	61,48	43,52	27,53	16,24	11,06	7,48	4,95															
140%	75,92	56,51	39,76	23,79	15,07	10,03	6,67																
150%	70,45	52,43	36,02	20,31	13,94	9,00																	
160%	65,35	48,74	32,48	18,25	12,81																		
170%	61,56	45,19	29,07	17,06																			
180%	57,99	41,65	25,98																				
190%	54,43	38,23																					
200%	50,88																						
Wind																							

**Gesamtinvestitionskosten für einen Mix aus Windkraft, Fotovoltaik und Energiespeicher** (Beispiel für Speicherwirkungsgrad = 80% (Pumpspeicher) und Versorgungsaufgabe = bedarfsorientierter Lastgang)

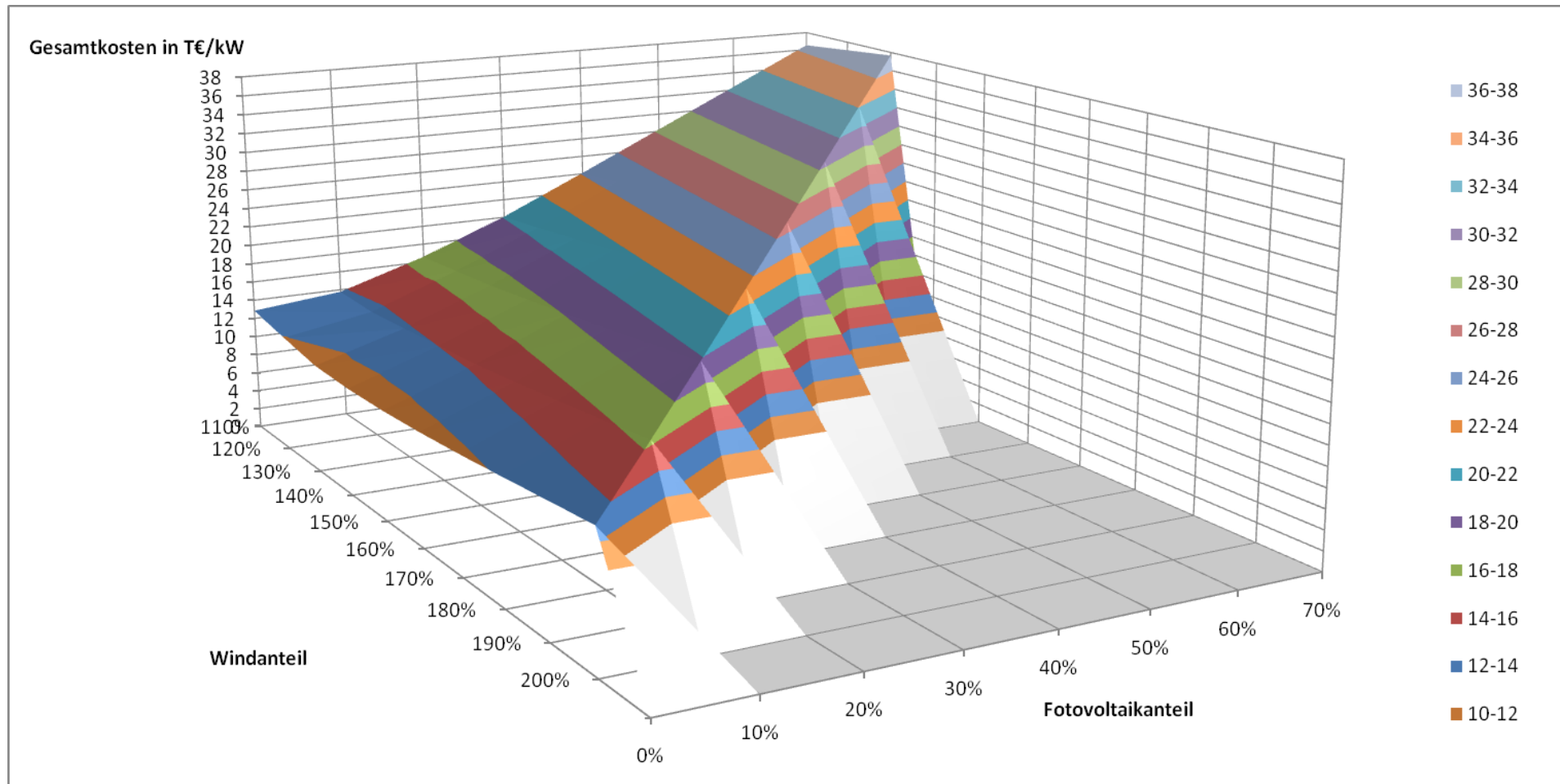
Diagramm 30: für Speicherkapazitätskosten = 2 €/kWh





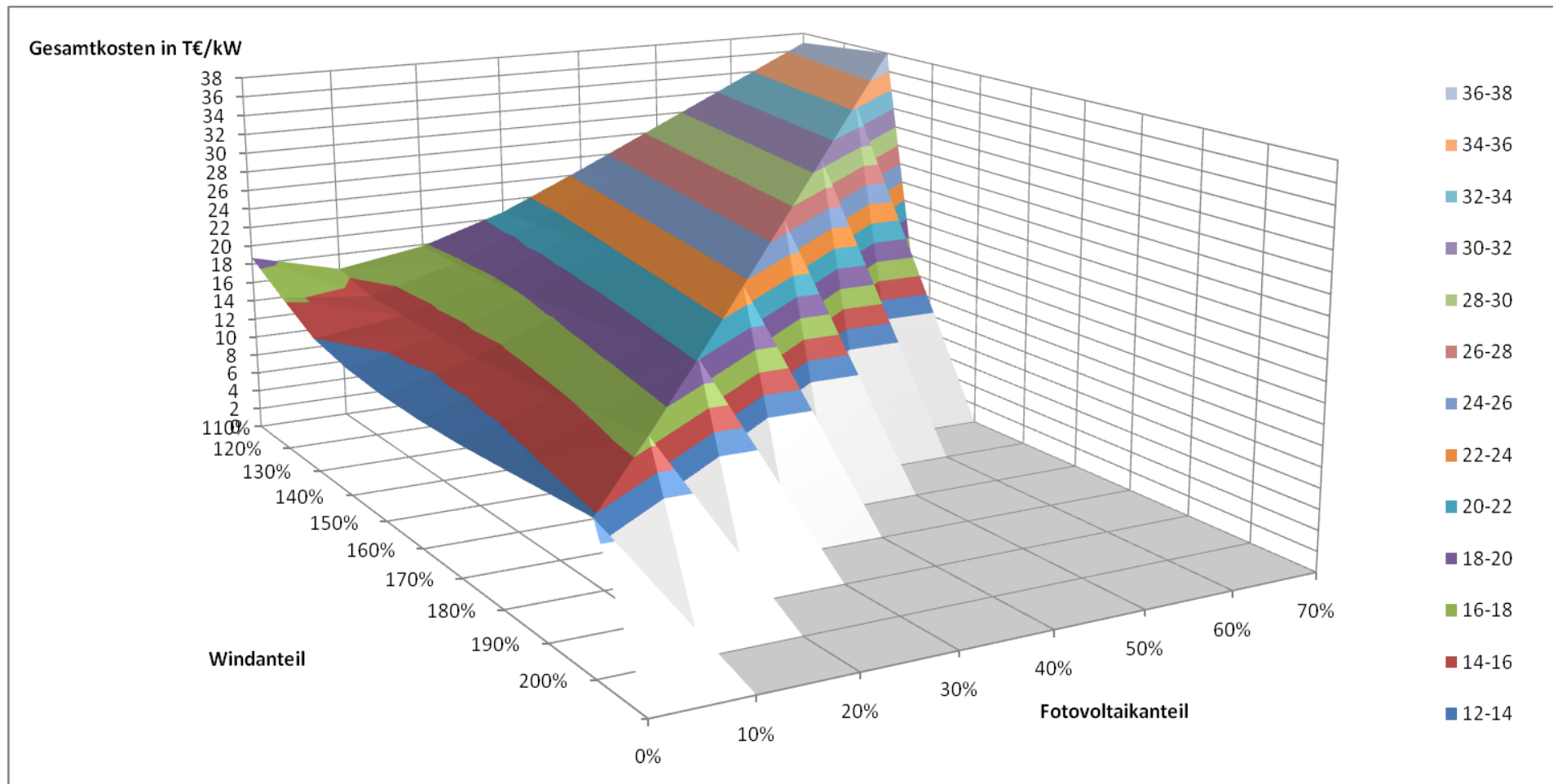
**Gesamtinvestitionskosten für einen Mix aus Windkraft, Fotovoltaik und Energiespeicher** (Beispiel für Speicherwirkungsgrad = 80% (Pumpspeicher) und Versorgungsaufgabe = bedarfsorientierter Lastgang)

Diagramm 31: für Speicherkapazitätskosten = 5 €/kWh



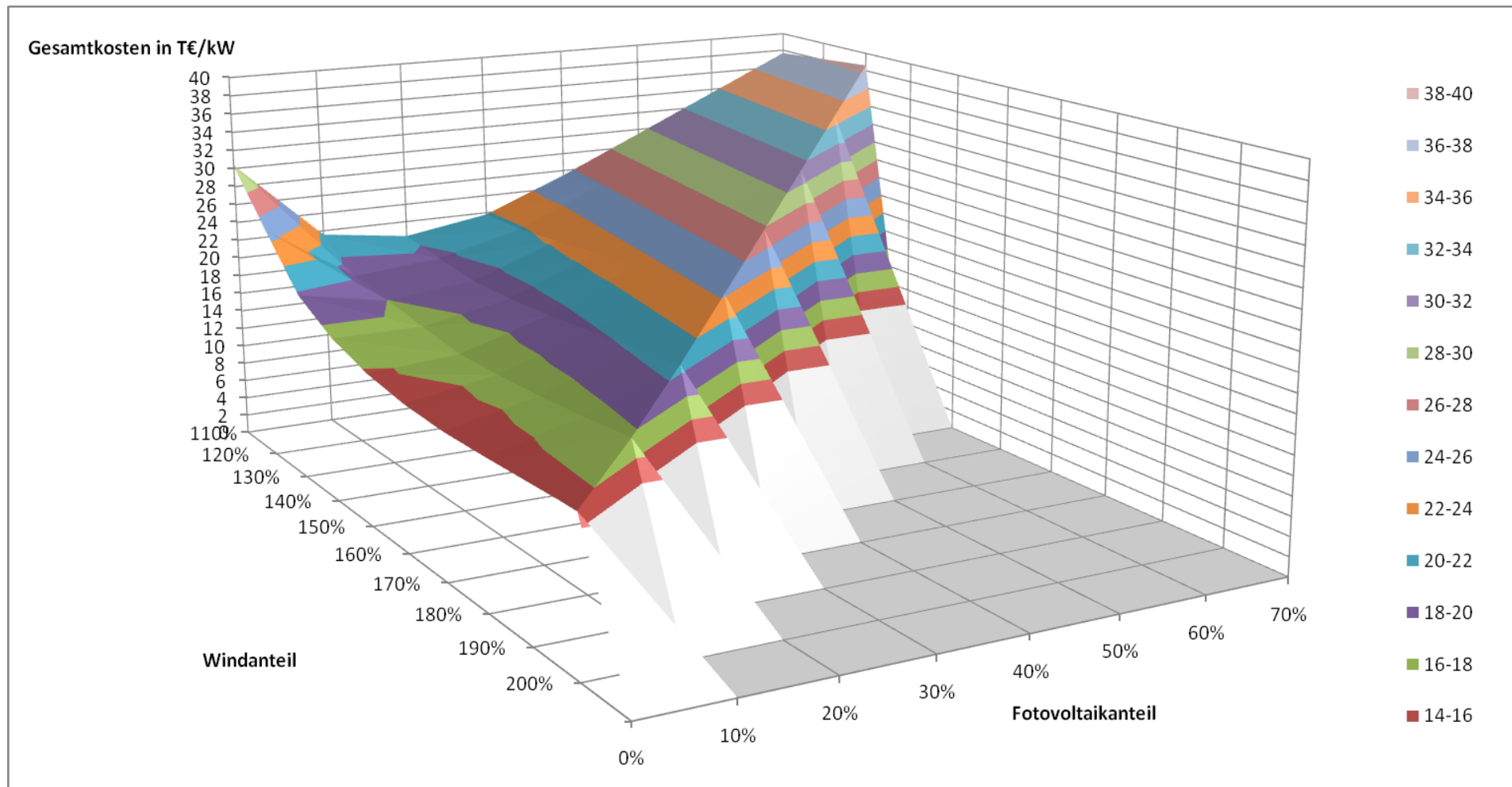
**Gesamtinvestitionskosten für einen Mix aus Windkraft, Fotovoltaik und Energiespeicher** (Beispiel für Speicherwirkungsgrad = 80% (Pumpspeicher) und Versorgungsaufgabe = bedarfsorientierter Lastgang)

Diagramm 32: für Speicherkapazitätskosten = 10 €/kWh



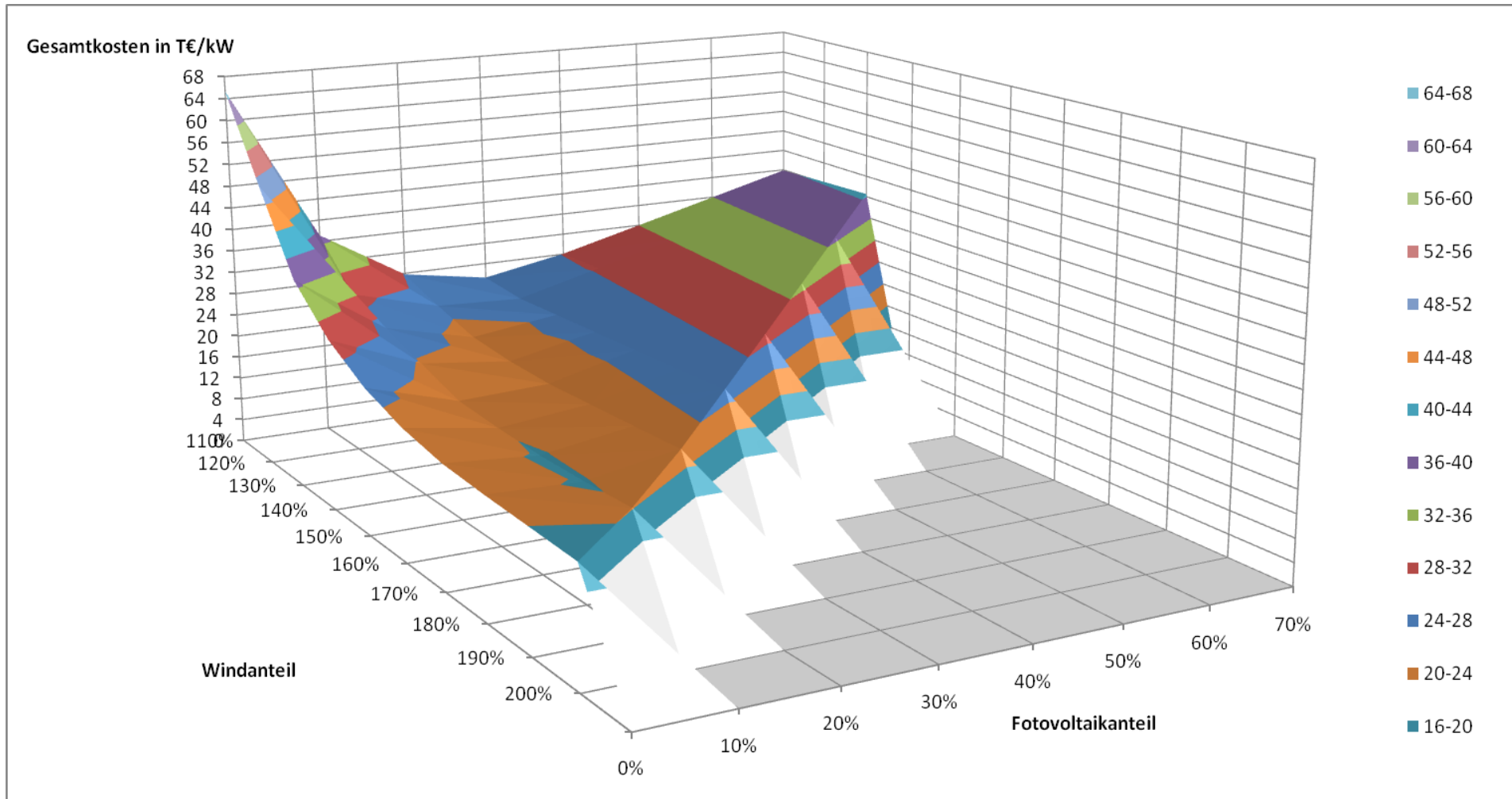
**Gesamtinvestitionskosten für einen Mix aus Windkraft, Fotovoltaik und Energiespeicher** (Beispiel für Speicherwirkungsgrad = 80% (Pumpspeicher) und Versorgungsaufgabe = bedarfsorientierter Lastgang)

Diagramm 33: für Speicherkapazitätskosten = 20 €/kWh



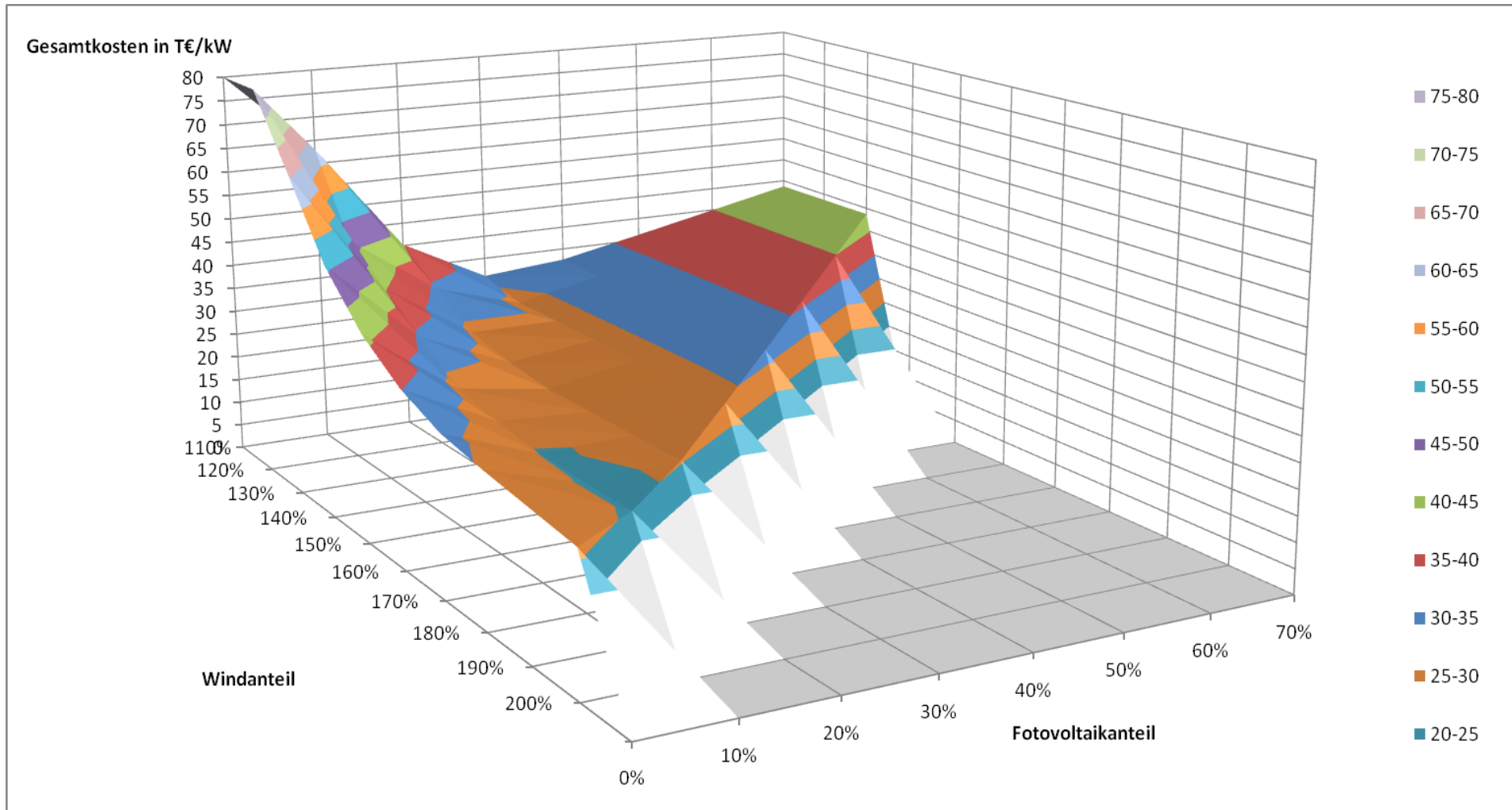
**Gesamtinvestitionskosten für einen Mix aus Windkraft, Fotovoltaik und Energiespeicher** (Beispiel für Speicherwirkungsgrad = 80% (Pumpspeicher) und Versorgungsaufgabe = bedarfsorientierter Lastgang)

Diagramm 34: für Speicherkapazitätskosten = 50 €/kWh



**Gesamtinvestitionskosten für einen Mix aus Windkraft, Fotovoltaik und Energiespeicher** (Beispiel für Speicherwirkungsgrad = 80% (Pumpspeicher) und Versorgungsaufgabe = bedarfsorientierter Lastgang)

Diagramm 35: für Speicherkapazitätskosten = 100 €/kWh



Patentansprüche zu

## **Kostenoptimierter Mix aus Energiespeichern, Wind- und Solarkraftanlagen für eine vollwertige regenerative Stromversorgung**

Patentanspruch wird angemeldet auf:

1. Ein Verfahren zur Minimierung bzw. Begrenzung der Gesamtkosten, die einem volkswirtschaftlichem Gebilde (z.B. einem Land) beim Aufbau einer (ggf. vollwertigen) regenerativen Stromversorgung entstehen, welche auf einer Kombination von Energiespeichern mit Windkraft- und Solarkraftanlagen basieren. Das Verfahren ist dadurch gekennzeichnet dass:
  - a. über einen repräsentativen Zeitraum (Jahre) in den zu diesem Zweck verfügbaren Gebieten
    - i. das Strom-Einspeisevermögen der Windkraft und
    - ii. das Strom-Einspeisevermögen der Solarkraft (Fotovoltaik und alternative, die Sonnenstrahlung direkt abgreifende Techniken) ermittelt wird.
  - b. eine Versorgungsaufgabe definiert wird, die über diese Stromquellen erfüllt werden soll. (Denkbare Beispiele einer Versorgungsaufgabe können z.B. sein: Bereitstellung von Grundlast, von bedarfsangepasster Last, von Spitzenlast oder von anderen Lastgängen zur teilweisen oder vollständigen Versorgung eines volkswirtschaftlichen Gebildes mit Strom.)
  - c. auf Basis der nach Punkt 1.a. erhobene Daten, der Speicherbedarf in Abhängigkeit der Wirkungsgrade der in Frage kommenden Speichertechniken ermittelt wird, der notwendig ist um die Bedarfsschwankungen und Flaute-Zeiten der Erzeugung mit hinreichender Sicherheit dauerhaft ausgleichen zu können (z.B. in Anlehnung an Diagramm 28 bzw. Tabelle 29).
  - d. Durch Ansatz der kennzeichnenden spezifischen Kosten für die Erzeugungs- und die Speichertechniken ein Ziel-Korridor für den Mix der prozentualen Anteile, der Erzeugungs-Überkapazität und der zu schaffenden Speicherkapazität bestimmt wird, innerhalb dem die Versorgungsaufgabe unterhalb gewisser Kostengrenzen erfüllt werden

kann (z.B. in Anlehnung an die Diagramme 30 bis 35, unterhalb einer Kostenschwelle, die sich aus den Umsetzungsmöglichkeiten für Speicherstandorte und Techniken des volkswirtschaftlichen Gebildes ergeben). (Natürlich kann sich der Zielkorridor im Laufe der Zeit auch verändern, wenn es zu Verschiebungen bei den spezifischen Kosten der betroffenen Techniken kommt.)

- e. Regelungen aufgestellt werden (z.B. Gesetze, Normen, Empfehlungen, Verwaltungsanweisungen, Planrechtfertigungskriterien für Genehmigungsverfahren, Fördermechanismen), welche beim Aufbau von Speicher- und Erzeugungskapazität, Entwicklungen innerhalb des unter 1.d ermittelten Ziel-Korridors begünstigen.
2. Verfahren, denen die gleiche Methodik, wie unter Anspruch 1 zu Grunde liegt, die dazu führen, dass durch einen Mix unterschiedlicher volatiler Erzeugungstechniken oder Erzeugungsgebiete, ein Ausgleich im Sinne der Reduzierung des Speicherbedarfs erreicht wird. (Bisher, mangels verfügbarer Daten, nicht untersucht, aber vorstellbar wäre so eine Möglichkeit zwischen Windenergie auf dem Meer (Offshore) und an Land (Onshore).) . Der Mix kann sich dabei auch aus mehr als zwei fluktuierenden Erzeugungskomponenten zusammensetzen.
3. Verfahren, denen die Vorgehensweise nach Anspruch 1 und/oder 2 zugrunde liegt, bei denen jedoch ein Teil des Ausgleichs über bedarfsgerecht abrufbare Erzeugungseinheiten abgesichert wird (indem z.B. ein bestimmter Prozentsatz der maximal zu erwartenden Versorgungsleistung (z.B. zur Reduzierung des Speicherbedarfs) durch bedarfsgerecht abrufbare Kraftwerke vorgehalten wird).
4. Verfahren, nach den Ansprüchen 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass neben den Investitionskosten auch Kapital- und Betriebskosten berücksichtigt werden und eine Minimierung der spezifischen Erzeugungskosten stattfindet.
5. Verfahren, nach den Ansprüchen 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass noch weitere Gesichtspunkte in die Bewertung zur Feststellung einer „gewünschten“

Entwicklung einfließen (z.B. Versorgungssicherheit, Krisensicherheit, Diversifikation, Naturschutz, Landschaftsschutz, ...), welche den Gedanken der reinen Kostenminimierung überlagern.