Die solare Energiewende – eine Fata Morgana

Ein Beitrag zu einer längst fälligen Diskussion

Von René Weiersmüller

Auch wenn das einige Wissenschaftler, Politiker usw. anders sehen. Die Energiewende in der angedachten Art mit viel Solarstrom aus dem Flachland ist zum Scheitern verurteilt. Es braucht neue Ideen.

Das legen Resultate eines interaktiven Simulationsmodelles mit realistischen Annahmen nahe, das die Engpässe anhand zweier Visionen quantitativ erfasst. Das Modell ist auf einen minimalen Stromimport ausgelegt. Und damit auch auf eine maximale Ausnutzung der Saisonpeicherkapazitäten sowie einen minimalen Stromüberschuss. Um für das Folgejahr nachhaltig zu sein, müssten die Saisonspeicherseen (SSp) für die Bilanzierung Ende Jahr rechnerisch mit Stromimporten wieder auf den Füllgrad Anfang Jahr gebracht werden.

Die folgende Abhandlung ist theoretischer Art. Die Simulation ist eine erste Näherung, und die Energieangaben in GWh täuschen eine Genauigkeit nur vor. Vorausgesetzt werden zudem ausreichende Leistungen auf allen Ebenen. Ausser den entsprechenden Zuflüssen sind die Pumpspeicherwerke ferner vernachlässigt; sie dienen sowieso «nur» der kurzzeitigen, verlustbehafteten Phasenverschiebung zwischen der Stromerzeugung und Nachfrage, insbesondere auch beim Spekulationshandel mit dem Ausland. Mit Blick auf die Nachvollziehbarkeit sind detaillierte Angaben von Zahlenwerten unvermeidlich.

Das Verheimlichen der Probleme behindert den Fortschritt.

An sich ist es logisch: Im Jahresverlauf weist der Stromverbrauch im Sommer eine Senke auf, während zu dieser Zeit die konventionelle sowie die PV-Erzeugung im Flachland maximale Werte erreichen. Selbst ohne zugebaute PV-Stromerzeugung führt das nicht allein im Sommer oft zu Überschüssen, welche wegen des Netzgleichgewichtes zwingend weg müssen. Im Winter ist es dagegen umgekehrt. Die Stromerzeugung wird kleiner – der Verbrauch hingegen grösser.

Zentral ist folgende Unterscheidung: Saisonspeicherseen sind im Gegensatz zu Pumpspeicherwerken nur über die natürlichen Zuflüsse wie Bäche, Flüsse usw. aufladbar. Stromüberschüsse lassen sich folglich nicht in die Saisonspeicherseen überführen. Sie müssen mitsamt den von der Allgemeinheit bezahlten Einspeisevergütungen

sowie den anteiligen Subventionen dümmstenfalls gegen Bezahlung exportiert oder aber beispielweise produktionsseitig gedeckelt werden.

Will man modellmässig (oder in der Praxis) beispielsweise einen Stromimport 1 : 1 durch PV-Strom substituieren, führt das fast immer zu falschen Resultaten. Dies, weil die Änderung selbst nur eines einzelnen Parameters stets mit einem Eingriff ins Gesamtsystem einhergeht und damit ebenfalls weitere Werte verändert. Siehe dazu auch Tabelle 1: Veränderte Mengen erzeugter PV-Strom beeinflussen dessen Nutzen, den Stromexport, den Stromimport sowie den Saisonspeicherinhalt. Man vergleiche das mit dem Knotengesetz der Kirchhoffschen Sätze.

Zur Gewinnung von Erkenntnissen oder für die Untersuchung der Auswirkungen eines oder gleichzeitig mehrerer veränderter Parameter ist ein interaktives Simulationsmodell somit die richtige Wahl. Zu verifizieren ist es mittels Bilanzierung von Hand oder dann mittels Vergleichen mit einem bereits abgehakten Beispiel aus der Praxis. Siehe dazu den entsprechenden Vergleich in den zweit- und drittobersten Zeilen in Tabelle 1 für das Jahr 2024.

Vision mit heutigem AKW-Park, grösserem Stromendverbrauch und mehr PV

Ausgangspunkt von Bild 1 sind die Stromflüsse laut BFE für 2024, Stand 15.07.25. Dieses Jahr ist geprägt von einer hohe Stromerzeugung und dementsprechend grossen Überschüssen. Dargestellt werden die Resultate zusammen mit den im Legendentext aufgeführten Änderungen.

Die zwangsweisen Stromexporte oder Leistungsbegrenzungen (Deckelungen) betragen demnach im Sommer happige 19‘102 GWh (Tabelle 1). Die im Winter zwar teuren, aber unumgänglichen Stromimporte belaufen sich auf 850 GWh plus 4‘700 GWh aus dem Speichermanko.

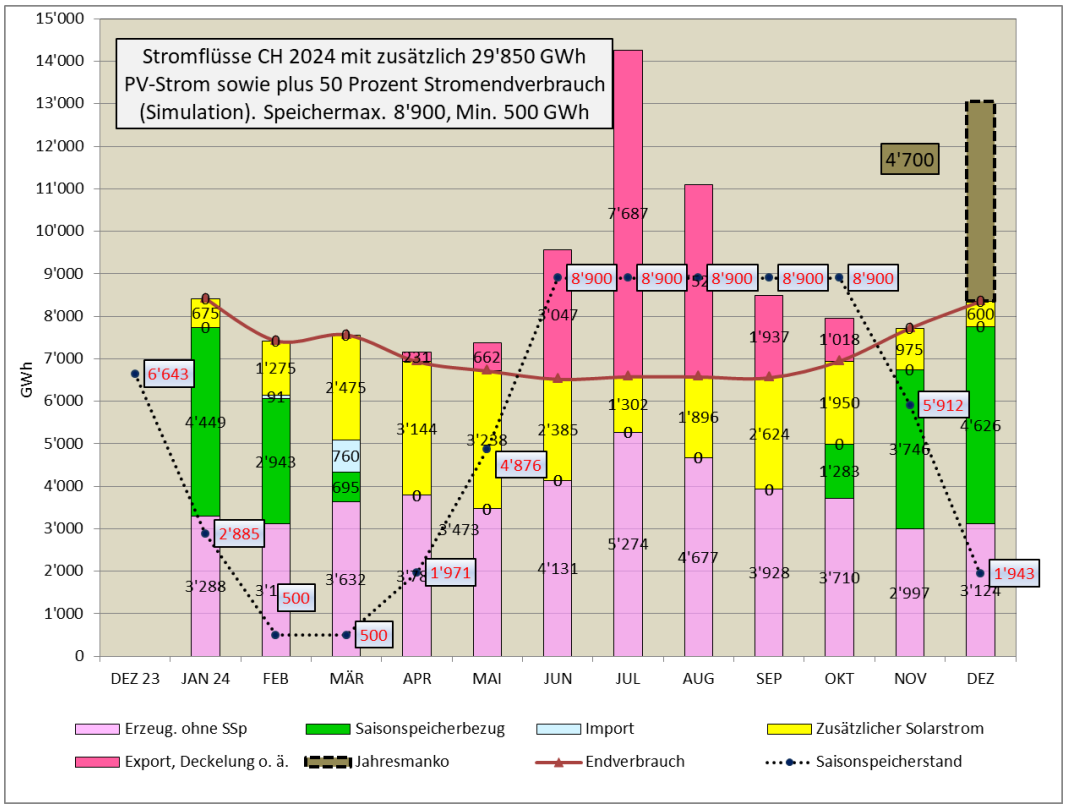

Bild 1: Stromflüsse mit 50 Prozent höherem Stromendverbrauch und einem Zubau von 30 GWh PV-Strom aus dem Flachland. Ansonsten gleiche Parameter wie 2024 (Basisjahr).

Bild René Weiersmüller

Sollte der Stromexport kleiner werden, müsste die PV-Stromerzeugung zurückgefahren werden. Leider würde das mit einer starken Zunahme der notwendigen Stromimporte einhergehen. Und umgekehrt, siehe Tabelle 1 mit verschiedenen PV-Erzeugungen. Es ist wie mit eine Balkenschaukel (Wippe, Gigampfi) mit einem nicht mittig angeordnetem Drehpunkt: Die Zunahme des PV-Ausbaus von 19‘900 auf 29‘850 GWh (grau hinterlegten Zellen) reduziert den Stromimport im Winter lediglich um insgesamt etwa 2‘000 GWh (blau und gelb hinterlegten Zellen). Anderseits nehmen die Exporte von Überschussstrom im Sommer (Differenz rote Zellen) um rund 8‘000 GWh zu. Der Überschussstrom belastet völlig nutzlos die Stromnetze, insbesondere durch die Stromspitzen über Mittag. Das erfordert teure Netzausbauten o.ä., nicht zu reden von den durch die dezentrale Einspeisung verursachten Regelungsproblemen auf allen Ebenen der Stromnetze.

2024 **inkl. AKW-Strom** Angaben in GWh/Jahr	Stromendver-brauch GWh/a	PV-Strom produziert[1)]	PV-Strom genutzt[1)]	Stromexport-Überschuss	Stromimport	Jahresmanko Saisonspeicher
Stromflüsse **effektiv**	57‘512	0	0	14‘870	470	1943
Stromflüsse **Simulation**	57‘512	0	0	13‘377	0	919
Endverbrauch x 1.5 (Sim.)	86‘268	9‘950	9‘852	4‘032	4‘348	6‘033
Endverbrauch x 1.5 (Sim.)	86‘268	19‘900	17‘583	11‘152	2‘325	5‘225
Endverbrauch x 1.5 (Sim.)	**86‘268**	**29‘850**	**22‘538**	**19‘102**	**850**	**4‘700**
Endverbrauch x 1.5 (Sim.)	86‘268	39‘800	25‘188	27‘677	0	4‘175
Endverbrauch x 1.5 (Sim.)	86‘268	49‘750	27‘626	37‘102	0	3‘650

Tabelle 1: Jahresstromflüsse 2024 effektiv und gemäss Simulation mit unterschiedlichen PV-Strommengen inkl. AKW-Strom.

[1)] *Zusätzliche zur bereits 2024 bestehenden PV-Stromerzeugung.*

Vision ohne AKW, grösserem Endverbrauch und noch mehr PV

Werden die AKWs via Simulation entfernt, sinken zwar die Stromüberschüsse je nach weiterem PV-Zubau. Dagegen würden die Stromimporte stark zunehmen, und die Saisonspeicherseen wären Ende Jahr leer. Das zeigt Bild 2 mit jährlich 49‘750 GWh zusätzlichem PV-Strom. Dafür wäre eine PV-Leistung von 50 GW erforderlich, was eine Panel-Fläche von etwa 250 km^2 im Flachland erfordern würde. Dies entspricht etwas mehr als der doppelten Oberfläche des Vierwaldstättersees. Zum Vergleich: Eine elektrische Leistung von 50 GW würde mit rund fünfzig AKWs vom Typ Gösgen übereinstimmen.

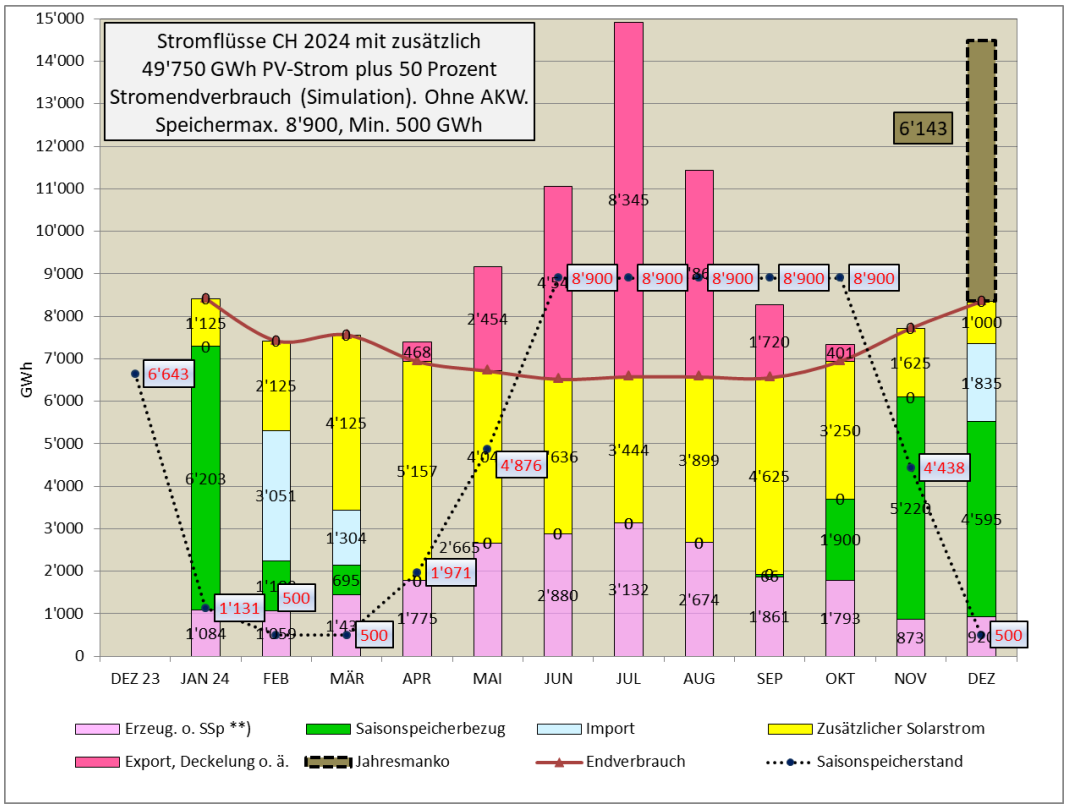

Bild 2: Stromflüsse mit 50 Prozent höherem Stromendverbrauch und einem Zubau von 50 GWh PV-Strom aus dem Flachland. Ohne AKW-Strom. Ansonsten gleichbleibende Parameter wie 2024 (Basisjahr).

Bild René Weiersmüller

Gemäss Tabelle 2 betragen die zwangsweisen Stromexporte im Sommer satte 22‘801 GWh, das ist mehr als ein Drittel des heutigen Stromendverbrauches. Die im Winter besonders kostspieligen, aber unumgänglichen Stromimporte belaufen sich auf 6‘189 GWh plus 6‘143 GWh aus dem Speichermanko. In Tabelle 2 sind auch Beispiele mit andern PV-Strommengen aufgeführt. Von den solar erzeugten 49‘750 GWh werden rund 38‘000 GWh genutzt. Der Rest ist nicht nur für die Katze, sondern auch Gift für die Stabilität und Regelungen der Stromnetze auf allen Ebenen.

2024 **ohne AKW-Strom** Angaben in GWh/Jahr	Erzeugung ohne SSp	Bezug SSp	PV-Strom produziert[1)]	PV-Strom genutzt[1)]	Stromexport-Überschuss	Strom-import	Jahresmanko Saisonspeicher
Stromendverbrauch 86‘268	22‘155	30‘975	9‘950	9‘950	0	23‘180	6‘143
Dito	22‘155	27‘984	19‘900	19‘900	2‘991	16‘229	6‘143
Dito	22‘155	23‘979	29‘850	28‘605	8‘241	11‘529	6‘143
Dito	22‘155	21‘849	39‘800	33‘825	15‘101	8‘439	6‘143
Dito	**22‘155**	**19‘863**	**49‘750**	**38‘057**	**22‘801**	**6‘189**	**6‘143**
Dito	22‘155	19‘151	59‘700	40‘772	30‘751	4‘189	6‘143
Dito + 2‘000 GWh S-Speicher	22‘155	22‘139	49‘750	38‘057	25‘627	3‘917	5‘660
Dito + 5‘000 GWh S-Speicher	22‘155	22‘794	49‘750	38‘057	29‘865	3‘262	2‘183

Tabelle 2: Jahresstromflüsse 2024 gemäss Simulation mit unterschiedlichen PV-Strommengen und ohne AKW-Strom. Die zwei letzten Zeilen sind mit zusätzlich 2‘000 resp. 5‘000 GWh Saisonspeicherkapazität. Die dadurch grösser werdenden Zuflüsse sind mittels Dreisatz umgerechnet.
[1)] Zusätzliche zur bereits 2024 bestehenden PV-Stromerzeugung.

Bei der nicht nur europaweit spektakulären Zunahme des PV-Stromanteils dürften die Strompreise für den Export im Sommer über kurz oder lang ebenso tauchen wie für den Import im Winter explodieren. Wir erinnern uns: Mit dem physischen Stromexport gehen auch noch die ausbezahlten Einspeisevergütungen und anteiligen Subventionen bachab. Aus Sicht der Allgemeinheit ist es somit ein Witz, wenn PV-Strom mittels Solarpflicht sowie viel Geld massiv gefördert wird. Und für die Kosten der Wegschaffung grosser Strommengen dieselbe Allgemeinheit nochmals zur Kasse gebeten wird.

In den letzten beiden Zeilen von Tabelle 2 sind noch zwei weitere Beispiele mit ebenfalls 49‘750 GWh PV-Strom aufgeführt. Durch die vergrösserten Saisonspeicherkapazitäten um 2‘000 resp. 5‘000 GWh vergrössern sich die anteilige Zuflüsse um 5‘580 resp. 13‘950 GWh. Diese senken die Stromimporte sowie die Jahresmankos, vergrössern jedoch auch die Stromüberschüsse. Anders als erwartet ist mit vergrösserten Saisonspeicherkapazitäten und ansonsten gleichen Parametern nicht mehr PV-Strom speicherbar. Um den Saisonspeicherseen mehr PV-Strom zuzuführen, müsste die PV-Produktion angehoben und nicht die Speicherkapazität vergrössert werden. Was mit einer Erhöhung von Staumauern erreicht werden kann, ist somit von anderen Randbedingungen abhängig.

Ausblick

Klar, es gibt noch weitere Alternativenergien wie alpiner Solarstrom, Windstrom, Biogas usw. Absicht dieses Beitrags ist auch nicht, die Energiewende zu sabotieren. Denn eine Abkehr von den fossilen Energieträgern wird auch ohne die CO_2-Problematik erfolgen. Spätestens wenn jene knapp werden.

Ziel ist vielmehr, die überschwängliche und unkritische Euphorie für PV-Strom etwas zu relativieren. Viele Knacknüsse lassen sich nämlich nicht durch Bürokratie, Subventionitis und Planwirtschaft lösen. Es ist bei der Flut von ungelösten Problemen auch kaum verständlich, wie einige Medien, Amtsstellen, Politiker, Interessenvertreter und Teile der Wissenschaft mit unrealistischen und unerfüllbaren Forderungen vorpreschen, um bei der Allgemeinheit zu punkten.

Es geht dabei nicht allein um exorbitante Stromüberschüsse und massive Stromimporte. Der gewählte Solarstromausbau erfordert vielmehr flankierende und oft sehr kostspielige Massnahmen, die man aus politischen Gründen nicht auf den Tisch zu legen getraut. Einige Stichworte sind: Versorgungssicherheit durch fossil betriebene und schnell reagierende Backupkapazitäten sowie deren Betriebskosten bei jahreszeitlich niedriger Auslastung, gut geregelte, stabile Netze, Synthese von flüssigen Treibstoffen (Luftverkehr), eine grosstechnisch funktionierende und bezahlbare CO_2-Entsorgung ohne Erdbeben, Klimaanlagenpflicht zur Stromüberschussverwertung usw.

René Weiersmüller ist unabhängiger Chemiker HTL/Ing. SIA und war bei der Kantonalen Baudirektion Zürich für die technische Begutachtung von alternativen und konventionellen Haustechnikprojekten zuständig.

Anhang

Das interaktive Simulationsmodell

Die Schweizer Stromflüsse für das Jahr 2024 zeigt das Blockdiagramm (Bild 1A) in einer simulationstauglichen Zuordnung der einzelnen Erzeugungsquellen gemäss den Daten vom BFE (Stand 15.07.24). Gegenüber den ebenfalls untersuchten Jahre 2021 bis 2023 ist eine höhere Stromerzeugung der Laufkraftwerke, der AKWs sowie eine bereits ins Gewicht fallende PV-Erzeugung auszumachen.

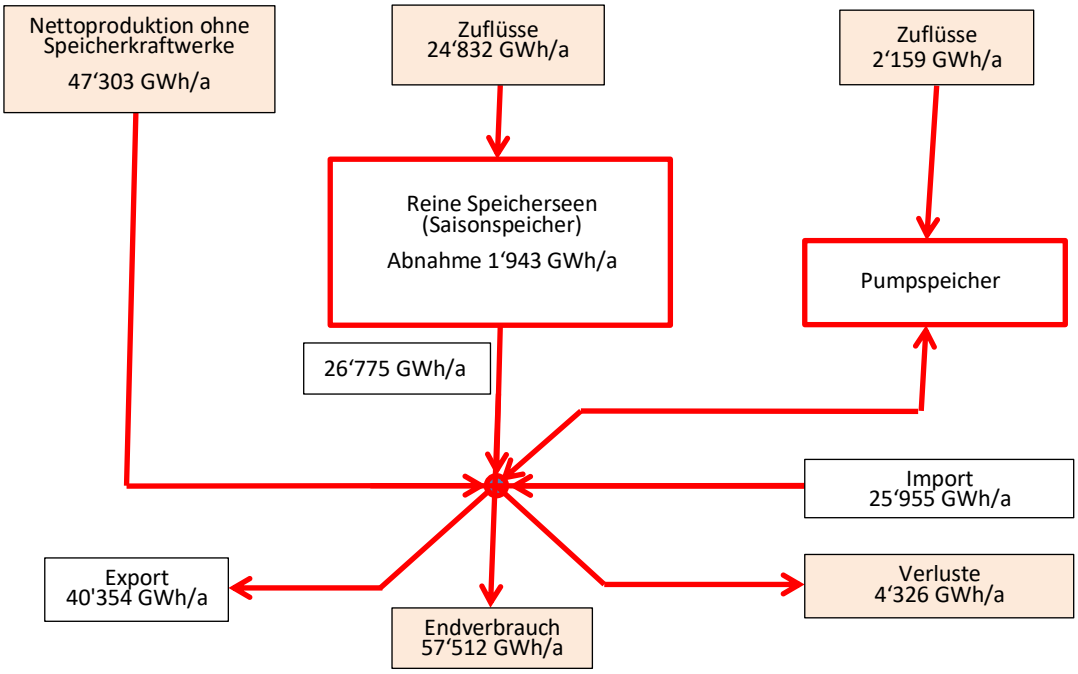

Bild 1A: Blockschema mit simulationsgerechter Aufteilung der Stromflüsse gemäss Daten des BFE für das Jahr 2024 (Stand 15.07.25.). Rötlich hinterlegt sind die für die Simulation benötigten Ausgangsdaten.

Bild René Weiersmüller

Vorgehen: Von der monatlichen Nettostromproduktion werden die Stromerzeugungen der Speicherkraftwerke subtrahiert. Die Aufteilung der Zuflüsse zu den Saisonspeichern und den Pumpspeichern sind geschätzt. Gegeben sind auch die Verluste sowie der Stromendverbrauch. Das Simulationsmodell berechnet anhand dieser Parameter, welchen Beitrag die Saisonspeicher zur Erreichung des Endverbrauchs erbringen müssen. Ein allfälliges Manko als Folge leerer Saisonspeicher müsste durch Stromimporte behoben werden.

Wegzuschaffende Überschüsse entstehen, wenn die Stromproduktion grösser ist als der Endverbrauch. Dies ist unabhängig vom Füllgrad der Saisonspeicher.

Mit dem Simulationsmodell sind anhand gegebener Daten Speicherseefüllstand, Importe sowie Exporte im Monatsraster bestimmbar.

Wie bereits im Hauptteil aufgeführt, ist das Simulationsmodell auf einen minimalen Import und damit eine maximale Inanspruchnahme der Saisonspeicherkapazitäten ausgelegt. Das führt auch automatisch zu minimalen Überschüssen. Für vergleichende Bilanzen müssen unterschiedliche Füllgrade der Saisonspeicherseen Anfangs und Ende Jahr rechnerisch durch Stromimporte resp. Exporte ausgeglichen werden.

Im Modell können sämtliche Parameter monatsweise verändert werden. Desgleichen ist es möglich, anstelle von einem bestimmten Jahr von einem x-beliebigen Datensatz auszugehen. Sofern die Daten gewisse Logikansprüche erfüllen.

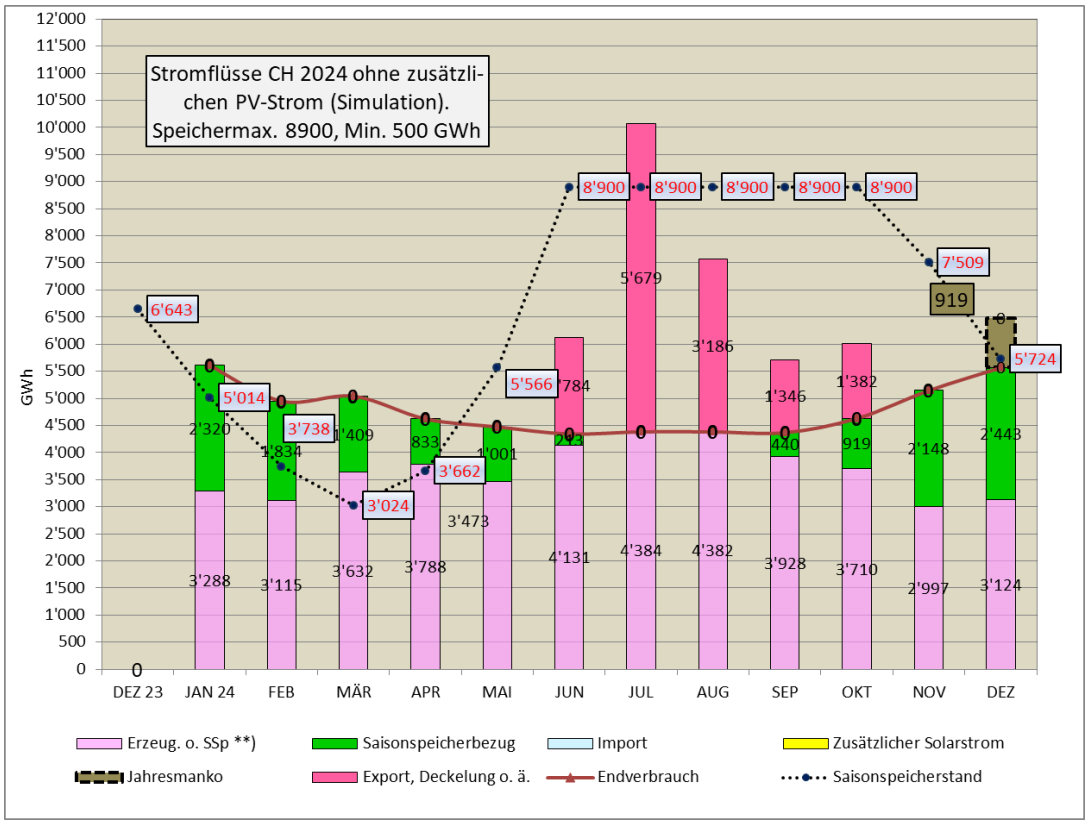

Bild 2A: Die monatlichen Stromflüsse ohne zusätzlichen Solarstrom für 2024 gemäss Simulation.
***) SSp = Saisonspeicher. Siehe dazu auch Tabelle 1A.*

Bild René Weiersmüller

Erklärungen zu Bild 2A: Entsprechend den Modellprämissen würden vom Januar bis im Mai die Saisonspeicherbezüge zur Erreichung des Stromendverbrauchs genügen. Im Juni würden dazu 213 GWh ausreichen. Der Saisonspeicherzufluss von 5‘331 GWh im Juni füllt die Saisonspeicherseen um 3‘334 GWh auf den maximalen Speicherstand. Der Rest von 1‘997 minus 213 = 1‘784 GWh ist wegzuschaffender Überschuss.

In den Monaten Juli und August ist kein Saisonspeicherbezug notwendig; die übrigen Erzeugungen reichen sogar für einen Überschuss von 890 resp. 295 GWh. Der wird noch grösser durch die weiterhin anfallenden Zuflüsse von 2‘891 resp. 1‘786 GWh in den vollen Speicher. Die Aufteilungen der Monate September und Oktober sind mit dem Monat Juni vergleichbar. Ebenso wie die Monate November und Dezember den Monaten Januar bis Mai entsprechen. Im Jahresverlauf ist ein Manko von 919 GWh vorhanden, welches durch Importe gedeckt werden müsste.

2024	Zufluss Saison-speicherseen[1)]	Zufluss Pump-speicherseen[1)]	Saisonspei-cherbezug	Summe Er-zeugung ohne SSp	Stromend-verbrauch	Überschuss (Export)
	GWh	GWh	GWh	GWh	GWh	GWh
JAN	691	60	2'320	3'288	5'608	0
FEB	558	48	1'834	3'115	4'949	0
MÄR	695	60	1'409	3'632	5'041	0
APR	1‘471	128	833	3'788	4'621	0
MAI	2‘905	253	1'001	3'473	4'474	0
JUN	5‘331	464	213	4'131	4'344	1'784
JUL	4‘789	416	0	5'274	4'384	5'679
AUG	2‘891	251	0	4'677	4'382	3'186
SEP	1‘786	155	440	3'928	4'368	1'346
OKT	2‘301	200	919	3'710	4'629	1'382
NOV	757	66	2'148	2'997	5'145	0
DEZ	658	57	2'443	3'124	5'567	0
SUM	24'833	2'158	13‘559	43‘953	57‘512	13‘377

Tabelle 1A: Monatliche Stromflüsse 2024 ohne zusätzlichen Solarstrom.

[1)] *Anteile berechnet in 1. Näherung.*

Simulation vom Jahr 2024 mit zusätzlich 2‘985 GWh erzeugten Solarstrom

Bild 3A veranschaulicht die Situation bei unverändertem Stromendverbrauch, aber mit einer zusätzlich installierten PV-Leistung von 3 GW im Flachland. Dies entspricht einer jährlichen Strommenge von 2‘985 GWh bzw. einer Panelfläche von 15 km^2.

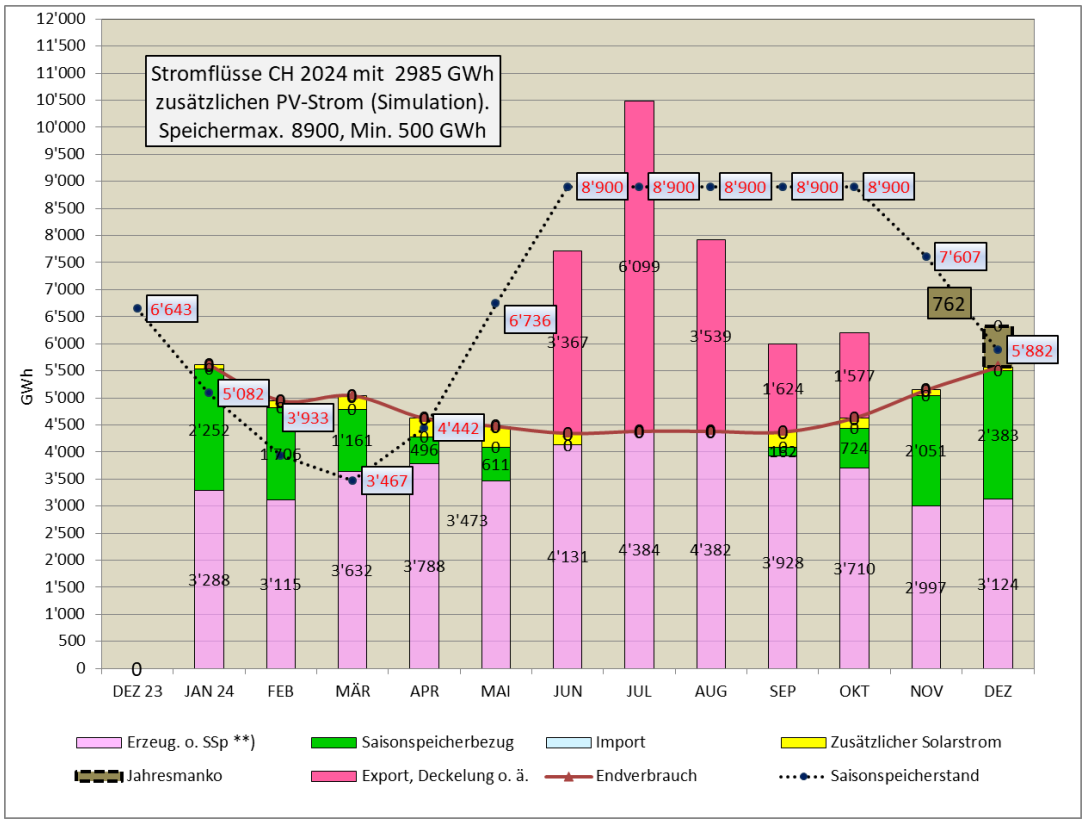

*Bild 3A: Monatliche Stromflüsse für 2024 mit 2‘985 GWh zusätzlichem Solarstrom laut Simulation vom Flachland. **) SSp = Saisonspeicher. Siehe dazu auch Tabelle 2A.*

Bild René Weiersmüller

Erklärungen zu Bild 3A: Zusätzlicher Solarstrom vermindert in den Monaten Januar bis Mai den Strombezug aus den Saisonspeichern. Im Juni braucht es nichts mehr aus den Saisonspeichern. Eine kleine Menge (213 GWh) zusätzlicher Solarstrom reicht aus, um den Stromendverbrauch im Juni zu decken. Der Juniüberschuss von 3‘367 GWh setzt sich zusammen aus einem Teil PV-Strom vom Juni (200 GWh) und dem Überschuss aus der Erzeugung (3‘167 GWh).

Im Juli und August ist die Erzeugung selbst ohne Solarstrom schon grösser als der Stromendverbrauch. Der Erzeugungsüberschuss muss abgeführt werden, ebenso wie der gesamte Solarstrom. Im September und Oktober sind die Saisonspeicherseen immer noch voll. Dies, weil die Zuflüsse immer noch reichlich fliessen und dementsprechend für Überschüsse sorgen.

In den Monaten November und Dezember wird der Strombedarf durch etwas zusätzlichem Solarstrom, vor allem aber durch die Saisonspeicherbezüge gedeckt. Diese sinken Ende Dezember auf 5‘882 GWh ab, das sind 762 GWh weniger als Anfangs Jahr. Vergleicht man diese Zahlen mit dem durchgerechneten Fall ohne zusätzlichem Solarstrom, ist der Füllstand der Saisonspeicherseen als Folge des zusätzlichen Solarstroms von 2‘985 GWh gerademal 157 GWh höher.

weshalb nicht mehr? Vom Januar bis Mai wird 1‘172 GWh zusätzlicher Solarstrom ins System eingespeist und vermindert dementsprechend den jeweiligen Saisonspeicherbezug. Dadurch werden die Saisonspeicherseen früher voll, was gleichbedeutend ist mit grösseren Überschüssen im Juni. Eine Teillösung des Problems könnte der vorzeitige Stromexport in den ersten Monaten des neuen Jahres unter Einbindung der Pumpspeicheranlagen sein. Entsprechend würde der Juniüberschuss kleiner. In der Gesamtbilanz ändert sich aber nichts.

2024	Zufluss Saisonspeicherseen[1)]	Zufluss Pumpspeicherseen[1)]	Saisonspeicherbezug	Summe Erzeugung ohne SSp	Zusätzlicher PV-Strom aus 3 GW	Stromendverbrauch	Überschuss (Export)
	GWh	GWh	GWh	GWh	GWh	GWh	GWh
JAN	691	60	2'252	3'288	68	5'608	0
FEB	558	48	1'706	3'115	128	4'949	0
MÄR	695	60	1'161	3'632	248	5'041	0
APR	1‘471	128	496	3'788	338	4'621	0
MAI	2‘905	253	611	3'473	390	4'474	0
JUN	5‘331	464	0	4'131	413	4'344	3'367
JUL	4‘789	416	0	4'384	420	4'384	6'099
AUG	2‘891	251	0	4'382	353	4'382	3'539
SEP	1‘786	155	162	3'928	278	4'368	1'624
OKT	2‘301	200	724	3'710	195	4'629	1'577
NOV	757	66	2'051	2'997	98	5'145	0
DEZ	658	57	2'383	3'124	60	5'567	0
SUM	24'833	2'158	11'546	43'953	2'985	57'512	16'205

Tabelle 2A: Monatliche Stromflüsse 2024 mit zusätzlich 2‘950 GWh Solarstrom aus dem Flachland.

[1)] *Anteile berechnet in 1. Näherung.*

Fazit: Die Simulationen legen nahe, dass zusätzlicher Solarstrom in den Monaten Januar bis Juni des Jahres 2024 als Überschussstrom im Juni wirkungslos verpufft. Ferner steigen die im Juni bis Oktober bereits bestehenden Überschüsse von 13‘377 auf 16‘205 GWh weiter an. Das heisst, von den 2‘985 GWh zusätzlichem Solarstrom sind lediglich 157 GWh direkt nutzbar. Die Zukunft wird zeigen, wie es mit dem hochgejubelten Solarstrom weitergehen wird.

07. November 2025, Wei