

# Energie- a Klimaperspektiven mat volatile Stromquellen

D'Wandenergie presentéiert sech déi lescht Zäit dacks an de Medien a sicht no Akzeptanz.

Aktuell liwwert d'Lëtzebuurger Wandenergie jo just e puer honnert Gigawattstonne Strom pro Joer. D'Wandbranche wëll dofir no eegenen Aussoen hir Stromproduktioun bis d'Joer 2030 op iwwer 1000 GWh driiwen. Dat entsprécht dann theoretisch der Stromkonsommation vun alle private Lëtzebuurger Haushälter. Dat wiere ronn 15% vum gesamte Stromverbrauch, wou et jo och nach Commerce, Tertiaire an Industrie gëtt. Wann ee weess, datt de Strom hei am Land knapp 14% am gesamten Energieverbrauch niest Transport a Wäermt ausmécht, da weess een dee Moment, datt d'Wandenergie fir den Horizont 2030 en Undeel vu ronn 2% am globalen Energie-Kontext ustrieft.

Grad ewéi d'Wandenergie huet d'Fotovoltaik an der aktueller Situatioun just en Undeel am Promill-Beräich a kéim nom initiale Klimaplang um Horizont 2040 zesumme mam Wand op en Undeel an der Gréisstenuerdnung vun e puer Prozent — 10 Joer virun der uviséierter Klimaneutralitéit.

Dës Gréisstenuerdnung ass grad esou bescheiden ewéi plausibel, komme Wand- a Solarenergie jo a kengem Land op der Welt iwwer e puer Prozent eraus. No zwee Joerzénge Energiewende läit z.B. e Land ewéi Däitschland mat der weltwäit héchster Densitéit vu Wandanlagen bei engem Undeel vu ronn 4% Wand an der Gesamtenergie. Déi geliwwert Leeschtungen si vu Natur aus net steierbar an droen also och näischt zur Netzstabilität bäi. A wéi engem Verhältnes steet dëst Resultat elo zu dem Opwand, den Investissementer an den Ëmweltpakter ? Wou soll dat hiféieren ?

Dës Strategie wërft also berechtigt Froen op iwwer déi konkret technesch Ëmsetzungsméiglechkeeten an och iwwer déi global Perspektiven, engersäits a puncto geséichert Energieversuergung an anerersäits a puncto Méiglechkeeten fir déi gesate Klimaziler ze erreechen.

Et wier also nees eng Kéier Zäit, fir sech mat der Realitéit auserneen ze setzen.

Regenerativ Energien charakteriséiere sech am Allgemengen duerch eng relativ niddereg Energiedensitéit, a wat d'Wand- a Solarenergie am Besonneschen ubelaangt, duerch Leeschtungen déi wiederofhängeg a net kontrolléierbar sinn.

Unhand vu konkrete Netzdaten aus Däitschland an Europa (ENTSO-E, VGB Powertech) gëtt däitlech, datt de gesamte Wandanlagekollektiv an Europa quasi synchron Leeschtungsschwankungen opweist. Déi geséichert Mindestleeschtung läit bei quasi Null, d.h. quasi de gesamte Wandanlagekollektiv fällt zäitweis aus. Bei der Fotovoltaik ass déi geséichert Leeschtung och Null. Déi opgezeechent Leeschtunge weisen, datt mat dem steigenden Ausbau vun der Wandenergie d'Schwankungsbreet vun de Gesamtleeschtungen just weider wisst an och keng Verbesserung antrëtt a puncto Grondlaascht.

Dës Strategie féiert dowéinst an der Praxis zu duebele Kraaftwierksstrukturen, well d'Maximallaascht, déi vun de Verbraucher gefrot gëtt, permanent vu pilotabele Kraaftwierker muss séchergestallt ginn, a well de Verbrauch an d'Stromproduktioun zu all Moment müssen ausgeglach sinn.

Fir déi saisonal Schwankungen auszegläichen, misst elo nieft alle verfügbare Späichertechnologien (Pompspäicher, Batterien,...etc.) virun allem eng Späicher- a Flexibiliséierungstechnik realiséiert ginn, déi et fäerdeg bréngt fir Energie a grousser Quantitéit iwwer Méint an esouguer Joren ze späicheren, an déi gläichzäiteg de Secteur vun der elektrescher Energie mat den zwee Secteure vum Transport an der Wäermt verbënnt. Dës Technologie, ouni déi dës Energiestrategie haut an enger Sakgaass stécht, soll zukünfteg iwwer de Medium vum Waasserstoff realiséiert ginn.

D'Envergure vun dëser Strategie gëtt däitlech mat publizéierte Berechnungen fir Däitschland (VGB Powertech, ifo Institut, Umweltbundesamt, Fraunhofer Institut, Weltenergierrat Deutschland, Deutsche Energie-Agentur...), bei deenen all Synergien am Kontext vun engem gréngen Energiemix an och mat enger Flexibiliséierung a Reduzéierung vum Verbrauch integréiert sinn.

Am Resultat gesäit een, datt Wand- a Solarenergie, déi haut manner wéi 6% vun der däitscher Primärenergie liwweren, mat engem Facteur iwwer Zéng misste multiplizéiert ginn, fir de gesamten Energieverbrauch ze decken.

Huele mer z.B. d'Etüd vum Fraunhofer Institut „Eine Wasserstoff-Roadmap für Deutschland“ (Oktober 2019) : bei enger héijer Integration vum Waasserstoff an den Energiesystem gëtt fir d'Joer 2050 e Stroumbedarf bis 2.850 TWh quantifizéiert, also ongeféier déi 16-fach Wand- a Solarstromproduktion vum leschte Joer, wobäi Däitschland jo haut scho weltwäit eng Spätzepositoun huet. Kann e weideren Ausbau an där Gréisstenuerdnung a puncto Flächen- a Ressourcëverbrauch wierklech als realistesch ugesi ginn ?

Anert Beispill : D'Deutsche Energie-Agentur quantifizéiert an hirer Leitstudie „Integrierte Energiewende“ e gesamte Waasserstoff Bedarf fir Däitschland vun iwwer 27 Milliounen Tonnen pro Joer. Dofir bräicht een eng Elektrolyskapazität an engem héijen dräistellige Gigawatt-Beräich. Zum Verglach : D'Waasserstoffstrategie, déi vum viregte Wirtschaftsminister Altmaier initiéiert gouf, gesäit bis d'Joer 2040 eng Kapazität vun 10 Gigawatt vir. Dat wiere just e puer Prozent vun deem wat néideg ass. An dëser Etüd gëtt dofir och däitlech gesot, datt Däitschland déi noutwendeg Energieproduktioun net aus eegener Kraaft stemme kann, an datt och laangfristeg iwwer 80% vum Waasserstoff misst importéiert ginn. Eng Waasserstoffproduktioun an dëser Envergure ass weltwäit inexistent, an et gëtt aktuell keng konkret Perspektiv, fir de globale Waasserstoffbedarf an enger adequater Quantitéit zu bezuelbare Präisser ze produzéieren. Hei ginn och nei geopolitesch Ofhängegkeete generéiert.

Wann een d'Resultater aus dësen Etüden op de Lëtzebuerger Moossstaf iwwerdréit, da stellt ee fest, datt den Energieverbrauch (och bei zukünftegen Energieaspuerungen) vun de Gréisstenuerdnungen hier nëmme kéint gedeckt ginn duerch eng héich véierstellig Zuel vun industrielle Wandanlagen an zousätzlech e puer honnert Quadratkilometer Fotovoltaikfräiflächenanlagen. Déi noutwendeg saisonal Späicherkapazität léich am 1-stellegen Terawattstonneberäich. Zum bildleche Verglach : eng eenzeg Terawattstonn Späicherkapazität entsprécht ronn 200-mol dem Pompspäicherwierk vu Veianen, oder ronn 10 Milliounen Tonnen stationär Lithiumbatterien (e Flächeverbrauch vun e puer dausend Hektar

an e Käschtepunkt vun e puer honnert Milliarden Euro), oder Redox-Flow-Batterien mat engem Gesamtvolumen vun ëm déi 30 Milliounen m<sup>3</sup> Elektrolytflëssegkeet, oder och nach dem Energiegehalt vun circa 423.000 m<sup>3</sup> flëssege Waasserstoff. Och mat engem Mix ass dëst also schwéier duerstellbar.

Déi offiziell Statistiken (Fraunhofer Institut, Banque mondiale, bp Statistical Review of World Energy,...) weisen d'Ausmooss vun enger globaler Ëmstellung op Wand- a Solarenergie : entgéint den héijen Investissementen, läit den Undeel vun dësen zwou diffuse Stromquellen aktuell bei ronn 4% vun der europäescher Primärenergie, a weltwäit bei ongeféier 2% (Undeeler no Wirkungsgradmethod). Global stellen déi fossil Energien ronn 80% vum Verbrauch, a säit dem Ufank vun der Energiewend ass de weltwäite Verbrauch vu fossiler Energie eng ganz Gréisstenuerdnung méi staark gewuess ewéi deen aus Wand a Sonn (iwwer 40.000 TWh versus ca. 3.000 TWh).

Wat de globale Primärenergieverbrauch ubelaangt, wäert et zukünfteg engersäits Virdeeler ginn duerch besser Wirkungsgraden zum Beispill bei Elektromobilität a Wärmepumpen, anerersäits bréngt den Handling vun de wiederofhängege Leeschtungsschwankungen an d'Produktion vu Waasserstoff respektiv vu syntheetesch Kraaftstoffer awer nees enorm Wirkungsgradverloschter mat sech. Déi global Gréisstenuerdnung kënne sech dowéinst net allzevill beweegen, et sief dann, mir géingen eist Konsumverhale radikal änneren. Do wier awer e wéineg Realismus ubruecht. De weltwäite Verbrauch klëmmt och no publizéierte Prognosen laangfristeg weider op e Niveau ëm 200.000 Terawattstonnen.

Wéi ass et mam Ressourcëverbrauch ?

D'Praxis weist, datt regenerativ Energien wéinst der klenger Energiedensitéit e wesentlech méi héije Flächeverbrauch hunn ewéi konventionell Energien : vun de Gréisstenuerdnungen hier ass et bei der Wandenergie e Verhältnes 1 zu 10 fir d'Anlagefläch respektiv 1 zu 10.000 fir de noutwendegen Territoire wéinst dem Effekt vum Wandschied, bei PV-Fräiflächenanlagen läit dëse Facteur bei 1 zu 1.000, a bei Bioenergien 1 zu 10.000. Regenerativ Energien si wesentlech méi ressourcenintensiv a puncto Baumaterialien. De Verbrauch vu Metaller a Mineralien, déi net onendlech verfüegbar sinn, läit no publizéierten Etüden (International Energy Agency IEA, O. Vidal) e Facteur 10 bis 100 iwwer deem vu konventionellen Energien. Fir déi noutwendeg Ausbaugeschwindegkeeten missten déi weltwäit Biergbauaktivitéiten no Analysen vun der IEA elo enorm gesteigert ginn. Doduerch entstinn weltwäit irreversibel Ëmweltschied mat sanitären Impakter op indigeen Bevëlkerungen duerch eng Pollution vu Loft, Waasser a Buedem an engem bis elo nach net gekanntem Ausmooss (Aurore Stephan / Systext).

Wéi ass et mam Klimaschutz?

D'Statistiken dokumentéieren, datt eng Energiestrategie mat Wand- a Fotovoltaik net onbedéngt zu engem niddregen CO<sub>2</sub>-Gehalt vum Strommix féieren : Däitschland z.B. huet iwwer 400gCO<sub>2</sub>/KWh versus Frankräich, Norwegen, Schweden oder Schwäiz déi ouni signifikativen Ausbau vun der Wandenergie ënner 50gCO<sub>2</sub>/KWh leien. An der Praxis stellt een effektiv fest, datt beim Klimaschutz manner den Ausbau vu Wand a Solar ausschlaggebend ass, mä éischter de Mix vun de steierbare Kraaftwierker, déi d'Stromnetz am Gläichgewicht hale mussen. Et gëtt zum Beispill och kee signifikative

positiven Impakt op den CO<sub>2</sub>-Gehalt vun der däitscher Primärenergie, während Frankräich innerhalb vu just 2 Joerzénge seng Primärenergie zur Hallschent konnt dekarboniséieren.

Wéi ass et mat de Käschten?

Regenerativ Energien kënnen fir en eenzele Promoteur betriebswirtschaftlech interessant sinn, mä déi allgemeng volkswirtschaftlech Käschten leien e Villfaches iwwer deene vun engem konventionellen Energiesystem opgrond vun enger lwwereneelagerung vu Parallelstrukturen : fir d'éischt d'volatil Produktiounsanlagen, dann d'Spächerequipementer an zousätzlech och nach d'Backup-Kraaftwierker. Dobäi komme Käschten fir d'Ëmstrukturéierung an den Ausbau vun de Stroumnetzer, a fir zousätzlech noutwendeg Stroumproduktiounsanlagen fir déi héich Energieverloschter ze kompenséieren, déi bei der Späicherung a bei diversen Ëmwandlungsprozesser entstinn. Am weidere Verlaf vun der Energietransitioun klamme potenziell och d'Produktiounskäschten fir Wand- a Fotovoltaikanlagen, well d'fossil Energiebasis, déi hir Produktivitéit bis elo gedopt huet, progressiv ewechbrécht, a well d'Rohstoffpräisser bei enger zukünfteger Verknappung steigen. Se klammen och wa Wand- a Solaranlagen an der Zukunft manner aus Asien importéiert ginn, fir d'Produktioun dann an Europa ze verleeën mat europäeschen Ëmwelt-, Loun- an Energiekäschten an och mat den Importer vu Rohstoffen iwwer déi Europa net verfüegt.

Wéi ass et mat der Onofhängegkeet?

Duerch déi ugestriefte volatil Energiestrategie gëtt de System vun ëmmer méi Facteuren ofhängeg : Ofhängegkeet vum Wieder, vum fossille Backup-Gas deen awer ëmmer méi rar an deier gëtt, zukünfteg perspektivesch vun deieren Waasserstoffimporter, vu Metaller a Mineralien déi och ëmmer méi rar an deier ginn, vu saisonale Spächerequipementer déi haut um Niveau vu Pilotprojeten existéieren a fir déi kaum eng Perspektiv ze erkennen ass fir eng bezuelbar Produktioun an engem industrielle Moosstaf. Dës Strategie ass awer och ofhängeg vun héije PIB-Wuesstemsraten, fir all déi domat verbonne steigend volkswirtschaftlech Käschte finanzéieren ze kënnen. Dës héich Wuesstemsraten sinn awer weder nohalteg, nach si se an der Zukunft garantéiert wann Energie an divers Rohstoffen ëmmer méi rar ginn.

Bei der Sich no plausibelen a sënnavollen Alternativen, sinn folgend Erkenntnisser wichteg :

- D'Reussite vun enger Energietransitioun gëtt vun dräi Krittäre bestëmmt : d'Versuergungssécherheet, d'Ëmweltverdréiglechkeet an d'Bezuelbarkeet.
- Esoubal eng Aktivitéit op engem industrielle Niveau bedriwwen gëtt, ass se net méi „propper“ : dat gëllt och fir d'Stroumproduktioun mat industrielle Wand- a Solaranlagen.
- All industriell Aktivitéit huet gewësse Risiken. Null Risiko gëtt et net. Et gëtt och keng Energiestrategie ouni Risiken. Dat gëllt och fir déi aktuell Strategie op der Basis vu regenerativen Energien : Risiken duerch laang a flächendeckend Stroumausfäll wéinst der steigender Volatilitéit, Risiken duerch geopolitesch Konflikter wéinst der Ofhängegkeet vu fossilem Gas, vu Waasserstoff a vu Rohstoffen wéi Metaller a Mineralien, Risiken duerch Klimafolgen well fossil Energien net séier

genuch ersat ginn, Risiken fir d'Biodiversitéit a sanitär Risiken wéinst de steigende Minnenaktivitéiten, Risiken duerch Energieverknappung a Risiken duerch eng allgemeng Ressourcéverknappung an déi domat verbonne wirtschaftlech Kontraktioun mat soziale Folgen. All dës „erneierbar“ Risiken si nëmme schwéier anzeschätzen an hu potenziell grave Konsequenzen.

Nodeem déi problematesch Aspekter vun der aktueller Energiestrategie identifizéiert sinn, kann een en alternative Léisungsusaz graff skizzéieren. Dës alternativ Strategie baséiert op der Erkenntnes, datt de globale Ressourcéverbrauch an d'CO<sub>2</sub>-Emissiounen direkt un d'Entwécklung vum PIB gekoppelt sinn („Growth without economic growth“, European Environment Agency 2021). Well d'Entwécklung vum PIB also och un déi zukünfteg Verfügbarkeet vun de Ressourcé gebonnen ass – eng Verfügbarkeet déi awer net garantéiert ass – a gläichzäiteg d'CO<sub>2</sub>-Emissiounen weider beafflosst, kann e rationale Wee weí hei drënner beschriwwen ausgesinn :

Eng zukünfteg Strategie ass resilient, wa se kompatibel ass mat engem méiglechst moderate Wuesstem. Dofir brauch een e System, deen op eng méiglechst héich Käschteneffizienz ausgeluecht ass,

- engersäits duerch Technologieoppenheet bei der Wiel vun effizienten Energiesystemer a puncto Flächeverbrauch, Ressourcéverbrauch a Käschten (et muss ee sech fir d'éischt emol mat weltwäiten technologeschen Entwécklungen bei der konventioneller Energieproduktioun rational auserneesetzen amplaz se ze ignoréieren – en Afloss dorop hu mer egal wéi net) ;
- an anerersäits duerch e funktiounsfäegen EU-ETS, fir op deem Wee en eenheetlechen CO<sub>2</sub>-Präis ze schafen, deen op e Minimum tendéiert. Dofir missten awer déi initial flexibel Maartmechanismen nees hiergestallt ginn, well effektiv ass et jo elo duerch national a sektoriell Klimaziler kaum nach méiglech, fir CO<sub>2</sub>-Emissiounen am Kader vum EU-ETS haaptsächlech op deene Plazen anzespueren wou et méiglechst einfach a káschteneffizient ka gemaach ginn.

D'Erweiterung vum ETS op méiglechst vill Secteuren an eng international Vernetzung vermeiden Verlagerungseffekter. Am Géigesaz zu CO<sub>2</sub>-Steieren verfüügt en ETS och iwwer eng festgeluechten Emissiungsgrenz, ouni eng zousätzlech noutwendeg länneriwwegräifend Harmoniséierung.

Héich Subventiounen vu politesch imposéierten techneschen Instrumenter si kontraproduktiv, well de Klimaschutz duerch déi domat generéiert héich CO<sub>2</sub>-Vermeidungskäschten jo just méi deier gëtt, ouni awer am Kader vun enger ETS-Emissiungsgrenz global méi CO<sub>2</sub> anzespueren.

D'Politik steet ënner Drock a muss elo kuerzfristeg Resultater liwweren. De Narrativ iwwer e beschleunegten Ausbau vun „Erneubarer“ mat enger grénger Waasserstoffwirtschaft huet also nees Héichkonjunktur. Wann een awer all déi hei opgezielten Aspekter berücksichtegt, da weess een, datt mer mat dëser Politik nach laang am fossillen Energiesystem wäerten hänke bleiwen, mat alle negativen Impakter, bis datt de Pétrol an de Gas ëmmer méi knapp ginn. Wat duerno kënnt, wëll ee sech léiwer net ausmolen.