

Nationale elektrische Energieversorgung – multiple nachhaltige Zukunftssysteme

18. Symposium Energieinnovation 2024

Technische Universität Graz

Dr. Manfred Benthous

Graz, 14. – 16. Februar 2024



Licht – mehr als ein Symbol für elektrische Energie

Quelle – NASA

Nationale elektrische Energieversorgung – multiple nachhaltige Zukunftssysteme

▶ Inhalt

1. Anfangsbedingungen und Grundregel
2. Stromnetze im IST
3. Zukunftssystem – Was bedeutet ‚multiple nachhaltig‘?
4. Elektrische Energiezellen – Strukturen und Primärenergienutzung
5. Transformationsprozess – Existierende Systeme in Zukunftssysteme
6. Organisationsform – Zukunftssysteme
7. Abschluss / Fazit

Nationale elektrische Energieversorgung – Anfangsbedingungen und Grundregel

► Ansatz – Herkunft | IST -Systeme

Ausgangspunkt

- Verbesserung industrieller Entwicklung
- Akteur – ‚die Wirtschaft‘

Grundlage

- Machbarkeiten
- Innovationen (signifikant nur bis ~ 1950)

Primärenergie

- Energiemix

Technologie

- primär
- Großkraftwerke → Großflächennetze

Inhärente Systemrisiken

- Blackouts
- Schadstoffemissionen
- internationale Primärenergieabhängigkeiten

Wirtschaft

- hohes Wachstum, z.B. BIP

Grundsatz

Gesellschaft folgt Technologie

► Ansatz – Zukunft | Grüne Wiese

Ausgangspunkt

- National gesellschaftliche Anforderungen
- Akteur – die Nutzer

Grundlage

- Naturwissenschaften
- Physik → Energie → E – Technik

Primärenergie

- ‚Ur‘ – Primärenergie (s.u.)

Technologie

- sekundär
- Gesellschaft → Nutzer → Zuverlässigkeit

Inhärente Systemrisiken

- keine

Wirtschaft

- Niveau – Aufrechterhaltung

Grundsatz

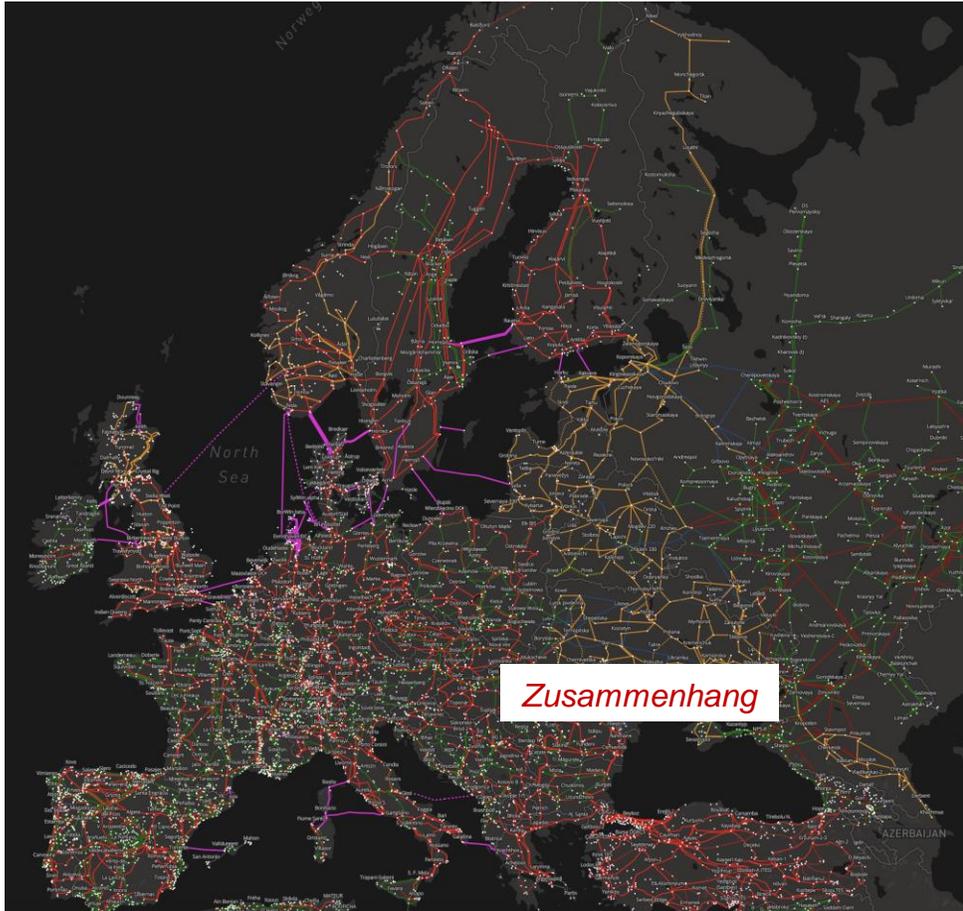
Technologie folgt Gesellschaft



Quelle: Marquard, O.; Zukunft braucht Herkunft; S 238/9;
Reclam Taschenbuch Nr. 20617; 2015; ISBN 978-3-15-020617-1

Nationale elektrische Energieversorgung – Stromnetze im IST (I)

▶ Stromnetze – Beispiel Europa (Verbundnetzsystem)



Auszug: ENTSO – E, Transmission System Map

<https://www.entsoe.eu/data/map-2019/> abgerufen am 03.01.2024

▶ Stromnetze – Beispiel Deutschland (Drehstromtechnologie)

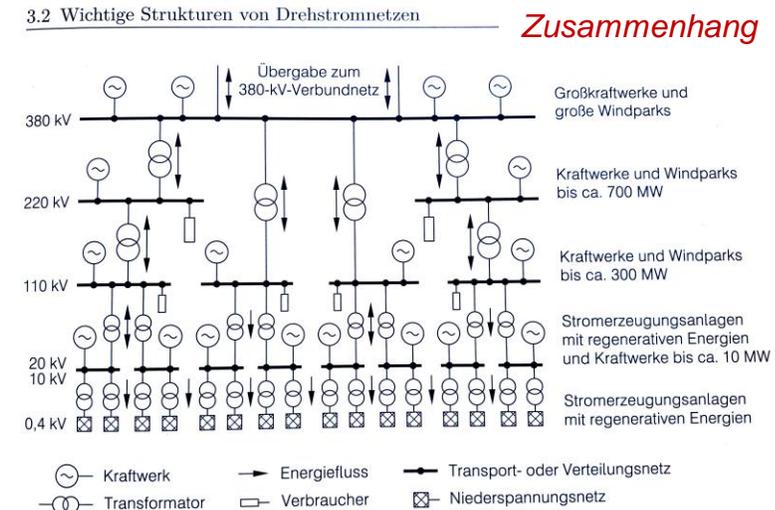


Bild 3.12
Prinzipieller Aufbau des Energieversorgungsnetzes der Bundesrepublik Deutschland

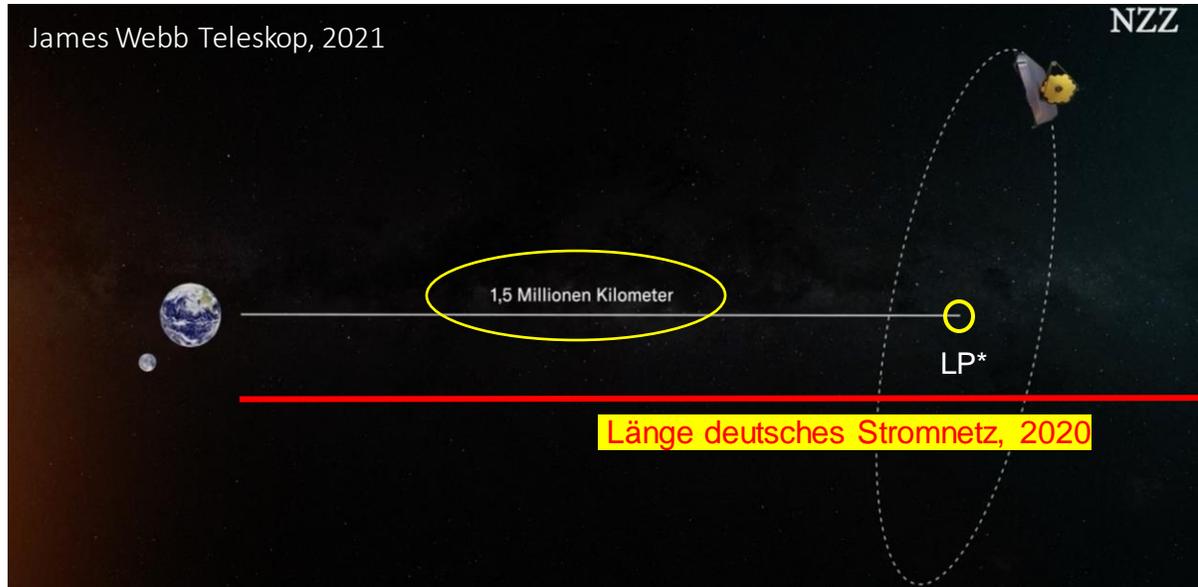
[1]

Strukturproblem – Stromnetze

- ▶ Energienetze (Stromnetze weltweit) basieren auf einer physikalischen Option → Kirchhoff
- ▶ Netzplanung – Maximalansatz, d.h. jeder Nutzer ist mit jedem Nutzer und jedem Kraftwerk verbunden
- ▶ Energienetze sind **zusammenhängende** Strukturen (s.u.)
→ ‚Zusammenhang‘ ist ein bedeutender mathematischer Begriff [2],[3],[4]

Nationale elektrische Energieversorgung – Stromnetze im IST (II)

- ▶ Energienetze – unglaubliche Technologie und Einsatz (Bau und Betrieb)



Beispiel – Deutschland

Stromkreislänge 2020 – 1,88 Mio. km nach BDEW [5]



Lagrange – Punkt (LP*)

- Teleskopentfernung (L2) → ~ 1,5 Mio. km

Material – ‚Kupferplatte‘

- Leitfähigkeit → Cu, Al
- hoher Ressourcenverbrauch

Kosten – Wirtschaftlichkeit (?)

- Netzentgelte → natürliches Monopol
- Regulierung – Stromnetze
- weiterer Netzausbau geplant

Technologie der IST – EVS

- Technik ist primär in Gestaltung der EVS
- Nutzung physikalischer Option

aber – aus einer Option folgt keine Notwendigkeit

- ▶ Energienetze/-netzlängen sind eine signifikante Technologie

Nationale elektrische Energieversorgung – Zukunftssystem

► Was bedeutet multiple Nachhaltigkeit?

Definition – qualitativ

Ein nationales elektrisches *EVS* ist multiple nachhaltig, wenn es keine systemimmanenten Faktoren enthält, die

1 volkswirtschaftliche Kennzahlen negativ beeinflussen können

Beispiel – Bruttoinlandsprodukt (BIP)

2 klimatische Auswirkungen haben

Beispiel – CO₂ – Emissionen

3 die erreichte nat. technische Zuverlässigkeiten reduzieren

Beispiel – System Average Interruption Duration Index (SAIDI)

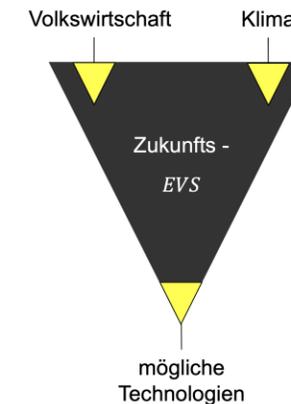
Wert für Österreich 2021: 14,06 | 38,07... min/a [6]

$\Rightarrow \frac{38 \text{ min}}{8760 \text{ h}} \hat{=} 0,007 \% \Rightarrow 99,993\% \rightarrow \text{Zuverlässigkeit}$

Anmerkung

1-3 → **Axiomatik** für multiple nachhaltige *EVS* ein [7]

► Verändertes energiewirtschaftliches Dreieck



► Arbeitshypothese

Es gibt ein Struktur- und Primärenergieproblem

Fragen

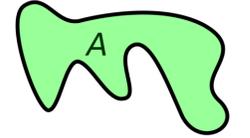
Warum gibt es bei der erreichten technischen Zuverlässigkeit ein Strukturproblem? → **Zusammenhang / Vernetzung**

Warum braucht man eine Zuverlässigkeit von 99,993 % ?

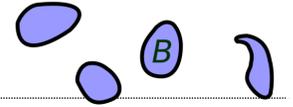
Welche Kosten verursacht das?

Was bedeutet z.B. die Reduktion um 1% für die Kosten?

Nationale elektrische Energieversorgung – Elektrische Energiezellen (I)



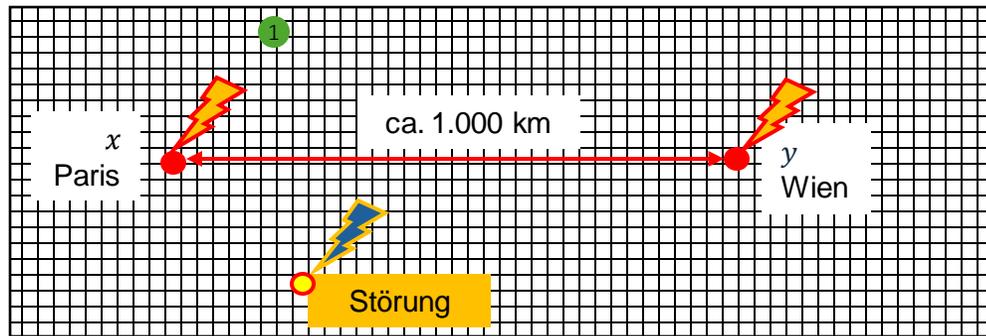
→ Zusammenhängender Raum



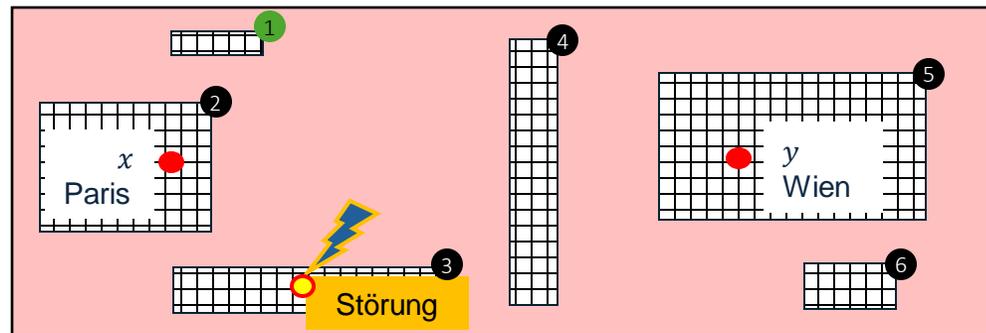
► Strukturproblem Stromnetze

Versorgungsgebiet

zusammenhängende Strukturen



nicht zusammenhängende Strukturen



Energiezellen

Definition (qualitativ)

„Eine elektrische Energiezelle ist eine eindeutig zusammenhängende Raumstruktur. Sie enthält eine definierte Bereitstellungsenergie, als die Summenenergie aller enthaltenen Nutzer.“ [7]

Zusammenhang → Mathematik [2],[3],[4]

zusammenhängendes elektrisches Versorgungsnetz

- Störung breitet sich mit Signalgeschwindigkeit aus ($\sim \frac{2}{3} c_0$)
- Störung ist an jedem Netzpunkt wahrnehmbar

► maximale Störung – Blackouts im **Gesamtnetz** [8]

nicht zusammenhängendes elektrisches Versorgungsnetz

- Störung breitet sich mit Signalgeschwindigkeit aus
- Störung ist an jedem Netzpunkt wahrnehmbar, aber nur im jeweiligen zusammenhängenden Netzgebiet, **Fragment**

► maximale Störung – Blackouts auf Netz-Fragmente begrenzt

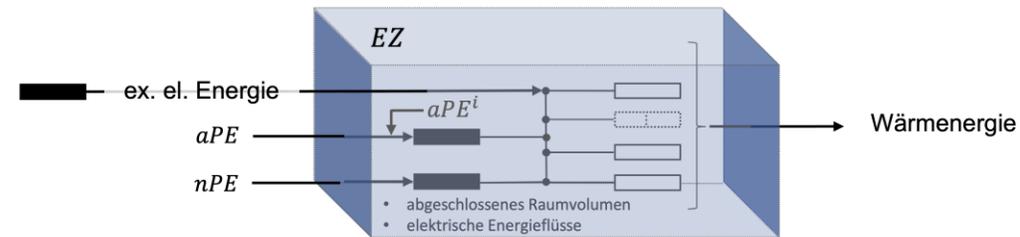
Nationale elektrische Energieversorgung – Elektrische Energiezellen (II)

► Energiezellen – Arten

Definitionen – qualitativ | energiebezogen

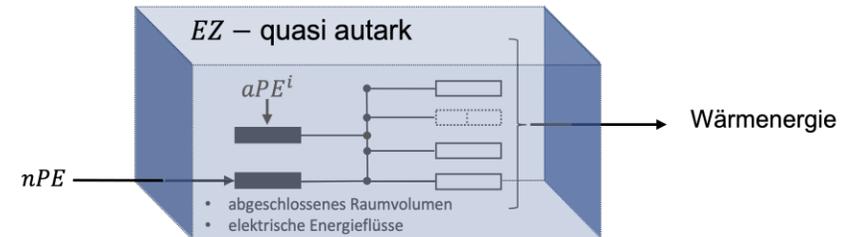
1. allgemeine Energiezelle (EZ)

Eine allgemeine Energiezelle (EZ) vereinigt alle elektrotechnisch zusammenhängenden Nutzer in einem abgeschlossenen und elementfremden Raumvolumen, die die notwendige Nutzenergie der Zelle bestimmen.



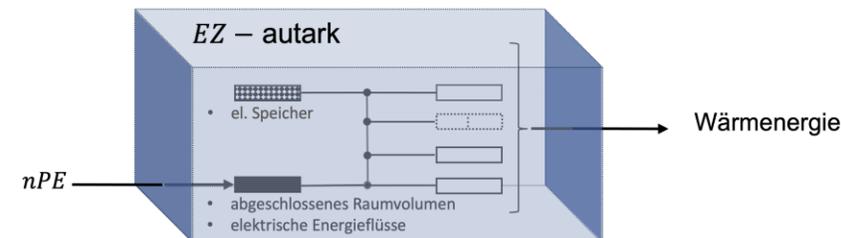
2. quasi – autarke Energiezelle (EZ^{qa})

Eine quasi – autarke EZ (EZ^{qa}) ist eine EZ, die alle notwendigen Erzeugungsleistungen zur Nutzerversorgung und die dafür notwendigen Primärenergienmengen enthält.



3. autarke Energiezelle (EZ^a)

Eine autarke EZ (EZ^a) ist eine EZ^{qa}, die als mögliche Primärenergien nur natürliche Primärenergien zulässt.

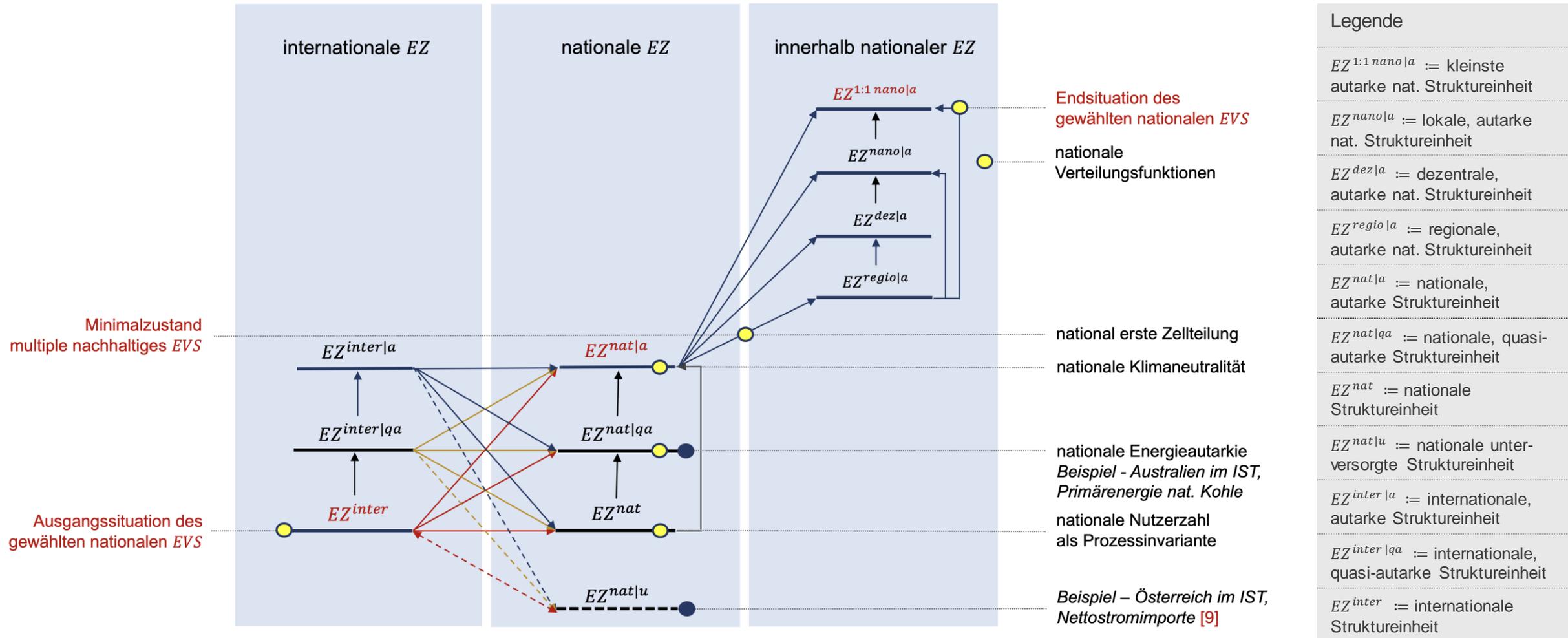


Legende

- Verbraucher
□
- Erzeugungsanlage
■
- el. Speicher
▨
- PE Primärenergie
- aPE anthropogene PE
- aPEⁱ in situ aPE
- nPE natürliche PE

Nationale elektrische Energieversorgung – Transformationsprozess (max.)

► Struktur – Entwicklung existierender Systeme in ein multiple nachhaltiges Zukunftssystem | beispielhaft



Nationale elektrische Energieversorgung – Organisationsformen für multiple nachhaltige *EVS*

► Eine Einordnung

Organisationen im IST

1. Staats- und/oder Privatunternehmen
 2. Wesensbestimmende Eigenschaften
 - Investitionsentscheidungen basieren auf Renditeerwartungen
 - Betriebswirtschaftliche Effizienz ist primär handlungsbestimmend
 - Unternehmensgewinn → Gewinnmaximierung (EBIT) [10]
 3. Elektrische Energie ist primär ein technisches Produkt.
-

Oberziel

► Kapitalertragssteuerung für Ergebnisabführung

Beispiel – Festlegung ‘Interner Zinsfuß’

Organisationen für multiple nachhaltige *EVS* (national)

1. Organisationsform durch Axiom III (s.u.) bestimmt
 2. Wesensbestimmende Eigenschaften

Axiom III: ‘Elektrische *EVS* dürfen nur von Organisationen geführt werden, die primär nicht nach dem betriebswirtschaftlichen ‘Gewinnprinzip’ arbeiten, sondern ökologische ‘non net loss – Ansätze’ entwickeln.’ [7]
 3. Elektrische Energie ist primär ein kulturell—technisches Produkt.
-

Oberziel

► Umsetzung national gesellschaftlicher Vorgaben

Beispiel – Non – Profit – Organisationen (NPO) [11], [12]
‘NPO sind [...] Organisationen, die einem gesellschaftlich als sinnvoll und notwendig anerkannten Leistungsauftrag folgen und dabei nicht in erster Linie vom Ziel der Gewinngenerierung geleitet werden.’ [13]

Nationale elektrische Energieversorgung – Zukunftssysteme

▶ Abschluss / Fazit

1. Anthropogen nutzbare elektrische Energie ist kein Naturprodukt
 2. Eindeutigkeit – weltweiter Mehrwert in der Nutzung von el. Energie
 3. **Es gibt kein physikalisches Primärenergieproblem auf der Erde**
→ **EM – Strahlung | Masse –Energie-Äquivalenz**
 4. Aktuell – weltweit gleichartige Technologie in den EVS
→ Großerzeugungsanlagen | Großflächennetze | tech. Verfügbarkeiten
 5. Primärenergie (- art) bestimmt die Versorgungstechnologie
 6. Nutzer akzeptieren nicht mehr jede Technologie zur Energieversorgung
 7. Wachsende Nutzerinteressen an der Art der el. Energieversorgung
→ ökologischer Megatrend | insbesondere Klimawandel
 8. Elektrische Energie hat sich von einem technischen Produkt zu einem kulturell – technischen Produkt gewandelt
 9. Umkehrung Kausalitätsprinzip
Vergangenheit: Technologie ⇒ Nutzerversorgung
Zukunft: Nutzerversorgung ⇒ Technologie
 10. Steigerung Nutzerindividualisierungsgrad (national; individuell)
→ Kostenverantwortung | Bestimmung Nutzerqualität vor Ort
 11. Einführung von Energiezellen als nutzerbestimmte Struktureinheit
→ zunehmende Kleinskaligkeit | Risikoreduzierung VW
 12. Nutzung der Ur – Primärenergie
→ klimaneutrale Erzeugung| nat. Energieautarkie | Kostenfreiheit
- Multiple nachhaltige EVS sind möglich**
→ national individuelle Festlegungen | Grad | Zeit

Offene Frage(n)

- ▶ Welches menschliche Verhalten folgt aus einer kostenfreien Primärenergienutzung (Brennstoff) ?
- Lichtverschmutzung
 - Atemluft (universell ubiquitär) | Luftverschmutzung

Nationale elektrische Energieversorgung – multiple nachhaltige Zukunftssysteme

Literaturliste

- [1] Heuck et.al., Elektrische Energieversorgung; Kap. 3, S. 87; 9. Auflage; Springer Vieweg; 2013; ISBN 978-3-8384-1699-3
- [2] Jänich, K.; Topologie, Kap. 1.; 8. Auflage; Springer; 2008; ISBN 978-3-540-21393-2 <https://link.springer.com/book/10.1007/b138142>
- [3] Deiser, O.; Analysis 2, Kap. 2, 2. Abschnitt Topologische Grundbegriffe; Springer Spektrum; 2012; ISBN 978-3-642-34174-8
<https://ur.uzbek-books.sk/book/2072165/7b8529/analysis-2.html>
- [4] O'Searcóid, M.; Metric Spaces, Chap. 11; Springer; 2007; ISBN-13: 978-1-84628-369-7 <https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-84628-627-8>
- [5] BDEW; Entwicklung der Stromnetze in Deutschland; 2023; <https://www.bdew.de/service/daten-und-grafiken/entwicklung-der-stromnetze-deutschland/> abgerufen 11/2023
- [6] E – CONTROL, Ausfall und Störungsstatistik Strom für Österreich. Ergebnisse für das Jahr 2021
- [7] Benthous, M., Gosper, L.; National electrical energy supply: foundations of a future system. Energ Sustain Soc 13, 41 (2023) <https://doi.org/10.1186/s13705-023-00420-5>
- [8] Wikipedia; Liste historischer Stromausfälle, Stromausfall in Europa im November 2006; https://de.wikipedia.org/wiki/Liste_historischer_Stromausfälle
- [9] Bundesministerium Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität; Energie in Österreich – Zahlen, Daten, Fakten, S.13; Wien 2023; BMK_Energie_in_OE2023_barrierefrei.pdf abgerufen 01/2024
- [10] Schneck; Lexikon der Betriebswirtschaftslehre; Gewinn, ökonomischer; 10. Auflage; Verlag C. H. Beck oHG; 2019 | ISBN 978-3-406-72647-7
- [11] Simsa, et. al.; Handbuch der Nonprofit – Organisationen, Strukturen und Management; 5. Auflage; Schäffer Poeschel; 2013; <https://www.beck-shop.de>
- [12] Theuvsen, et. al.; Nonprofit – Organisationen und Nachhaltigkeit; Springer Gabler; 2017; <https://link.springer.com>
- [13] Gabler Wirtschaftslexikon; Definition Non-Profit-Organisation; <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/nonprofit-organisation-npo-39562> abgerufen 11/2023

Dr. rer. nat. Manfred Benthous

Studium – Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, (D)

- Diplom – Physik | Nebenfächer Meteorologie und Mathematik
- Promotion | Hauptfach Physik, Nebenfach Mathematik

Energieversorgung – E.ON-Konzern

- Stromnetze (Schwerpunkt) | Netzplanung, Betrieb, Regulierung | 1994 - 2014

Unternehmensberatung – K.GROUP

- Regulierung in Strom- und Gasnetzen | 2014 – 2016

Dozententätigkeit

- **Fachhochschule Kufstein** | Vorlesung – Regulierungsansätze im internationalen Vergleich | 2012 -2014
- **TU München** | Vorlesung – Stromnetze (Schwerpunkt) | 2014 – 2022

Aktuell

- **Freier Autor** | Forschungsthema – Nationale elektrische Energiesysteme

Publikationsliste

- 2023 Benthous, M., Gosper, L. National electrical energy supply: foundations of a future system. *Energ Sustain Soc* 13, 41 (2023).
<https://doi.org/10.1186/s13705-023-00420-5>
- 2019 Benthous, M. (2019); A coupled technological-sociological model for national electrical energy supply systems including sustainability. *Energ Sustain Soc* 9, 50 (2019).
<https://doi.org/10.1186/s13705-019-0221-4>
- 2019 Benthous, M.; Klier, M.; Kies, M. (2019); Zentral – lokale – Blackout-Steuerung; *Energie.Markt.Wettbewerb. ener|gate Fachverlag*, Ausgabe 2/19, S. 46 – 48; ISSN 1611-2997
<https://www.energate-magazine.de/de/profiles/c3bf0b9b0d37-energate-magazine/editions/e-m-w-ausgabe-2-19>
- 2017 Benthous, M. (2017); Zurück zur lokalen Stromversorgung; *Energie.Markt.Wettbewerb. ener|gate Fachverlag*, Ausgabe 3/17, S. 38 – 41; ISSN 1611-2997;
<https://www.energate-magazine.de/de/profiles/c3bf0b9b0d37-energate-magazine/editions/e-m-w-ausgabe-3-17>
- 2016 Benthous, M. (2016); Auslaufmodell Stromversorgungsnetz; *Energie.Markt.Wettbewerb. ener|gate Fachverlag*, Ausgabe 6/16, S. 31 – 33; ISSN 1611-2997;
<https://www.energate-magazine.de/de/profiles/c3bf0b9b0d37-energate-magazine/editions/e-m-w-ausgabe-6-16>
- 2015 Benthous, M. (2015); Schrittweise Evolution oder Quantensprung? Zukunftsgestaltende Regulierung in Stromverteilnetzen; *Bulletin, Fachzeitschrift und Verbandsinformationen von electro suisse und VSE*; Ausgabe 12/2015, S. 28 – 31; ISSN 1660-6728;
<https://www.e-periodica.ch/cntmng?pid=sev-003%3A2015%3A106%3A%3A1809> (Bibl. ETH Zürich)
- 2015 Benthous, M. (2015); Stromnetze langfristig überflüssig machen; *Energie.Markt.Wettbewerb. ener|gate Fachverlag*, Ausgabe 4/15, S. 38 – 41; ISSN 1611-2997;
<https://www.energate-magazine.de/de/profiles/c3bf0b9b0d37-energate-magazine/editions/e-m-w-ausgabe-4-15>

Anlagen

Anlage I (1/1) zu Anfangsbedingungen und Grundregel

► Zukunft braucht Herkunft



„Darum nimmt ... in der modernen Welt die Innovationsgeschwindigkeit zu:

ihre Veraltungstempo wächst;

immer mehr Neues verändert sie immer schneller:

wir leben in einer Welt der Wandlungsbeschleunigung.

Aber wir leben nicht behaglich in dieser Welt: es gibt das Unbehagen an der Wandlungsbeschleunigung.

Diagnose I

*Das Unbehagen entsteht,
weil der – beschleunigte – Fortschritt immer noch
zu gehemmt ist und längst noch nicht schnell genug
geschieht:*

man ist noch nicht weit genug gegangen.

Diagnose II

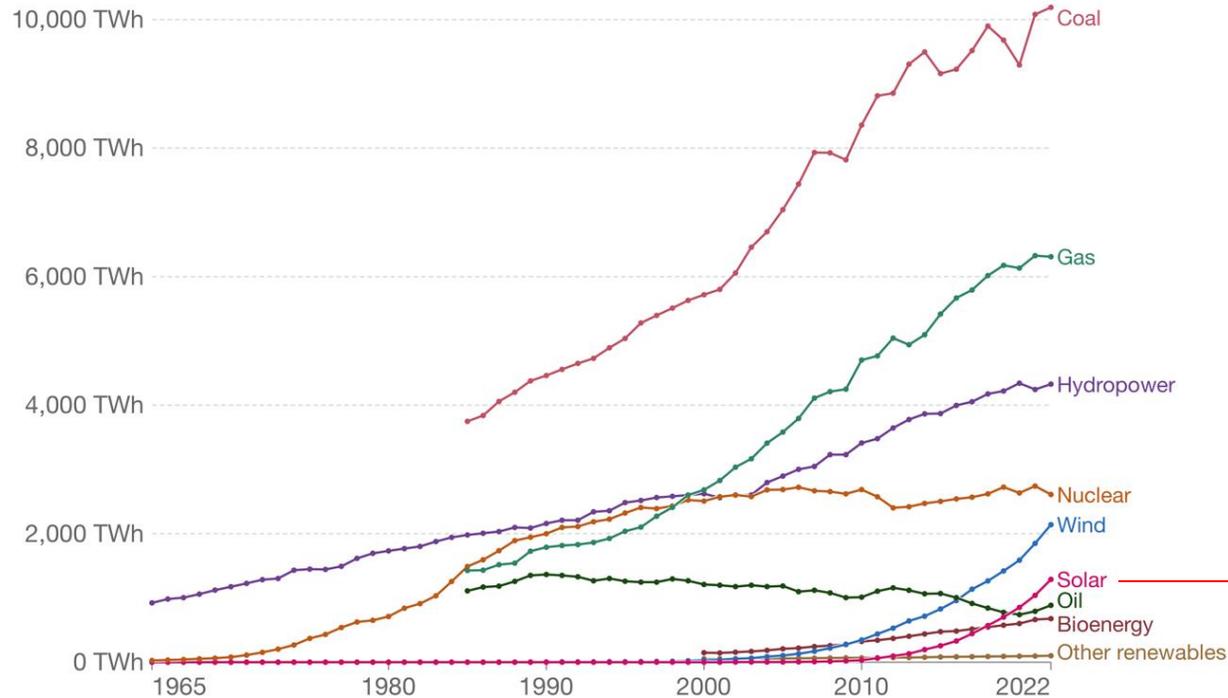
*Das Unbehagen entsteht,
weil der – beschleunigte – Fortschritt viel zu
ungehemmt und darum längst schon allzu schnell
geschieht:*

man ist schon zu weit gegangen.'

Quelle: Marquard, O.; Zukunft braucht Herkunft; S 238/9; Reclam Taschenbuch Nr. 20617; 2015; ISBN 978-3-15-020617-1

Anlage II (1/3) zu: Stromnetze im IST

Electricity production by source, World



Source: Ember's Yearly Electricity Data; Ember's European Electricity Review; Energy Institute Statistical Review of World Energy
Note: 'Other renewables' includes waste, geothermal and wave and tidal energy.
OurWorldInData.org/energy • CC BY

Besonderheiten

Materielle Primärenergie

Fossile Energieträger (Kohle, Gas, Öl) → Klimarelevanz

Großerzeugungsanlagen

Hydropower → Veränderung von Ökosystemen → Staudämme

Großerzeugungsanlagen

Nuclear (I) → Kernspaltung → Menschen, Ökosysteme

Nuclear (II) → Kernfusion → **Erdprozess** → Dampfturbine → (?)

Großerzeugungsanlagen

→ **Sonnenprozess** → EM-Strahlung

Wind → geringe Primärenergiedichte → hoher Flächenverbrauch

Großerzeugungsanlagen

Nicht materielle Primärenergie

Solar → **Ur-Primärenergie** |,Sternenenergie

Großerzeugungsanlagen / lokale Erzeugungsanlagen

Strompanne: Eon-Techniker irrten sich

16.11.2006, 01:02 Uhr

BONN/WIEFELSTEDE/ - BONN/WIEFELSTEDE/DPA/AFP - Der europaweite Stromausfall vom 4. November ist laut dem Energiekonzern Eon vor allem auf menschliche Fehleinschätzungen in der eigenen Netzleitstelle zurückzuführen. Die Eon-Netzleitstelle habe „unter hohem Zeitdruck nicht alle technischen Hilfsmittel für eine umfassende Lagebewertung genutzt“, hieß es. **Als Folge des Stromausfalls waren europaweit zehn Millionen Menschen ohne Strom.** In Weser-Ems flackerten Lampen, Fernseher gingen aus.

Ursprung für den Blackout war die Abschaltung einer über die Ems führenden Höchstspannungsleitung zwischen Conneforde (Kreis Ammerland) und Diele bei Papenburg. Laut Eon war zwar simuliert worden, ob das Netz den Ausfall einer weiteren Leitung verkraften würde. Doch auftauchende Warnmeldungen wurden ignoriert. Dann seien an einer weiteren Hochspannungsleitung aus ungeklärter Ursache Überlastungen aufgetreten. Um sie auszugleichen, seien Leitungen zusammengeschaltet worden. Entgegen der Einschätzung der Mitarbeiter in der Netzleitstelle habe das zum gegenteiligen Effekt geführt; die Belastung stieg schlagartig. Das habe eine automatische Abschaltung ausgelöst – und einen Domino-Effekt in Europa. Zwei Mitarbeiter in der Leitstelle seien bis zur vollständigen Klärung vom Schichtdienst ausgenommen.



Kreuzfahrtschiff "Norwegian Pearl": Der Auslöser für den Stromausfall Foto: DPA

Stromausfall

Die Spur führt nach Papenburg

Die Ursache für den Stromausfall in vielen Ländern Europas liegt möglicherweise an der Ems in Niedersachsen. Dort war eine Stromleitung abgeschaltet, weil ein Kreuzfahrtschiff unter ihr durchfahren sollte.

05.11.2006, 14.11 Uhr



Bundesnetzagentur

Bericht

der Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen

über die Systemstörung im deutschen und europäischen Verbundsystem am 4. November 2006

Bonn, Februar 2007

Anlage II (3/3) zu: *Stromnetze im IST*

► Zu: Großflächennetze

Lagrange – Punkt (LP)

Die **Lagrange-Punkte** oder **Librationspunkte** (von **lateinisch** *libra* „Waage“ und *librare* „das Gleichgewicht halten“) sind fünf Punkte im System zweier **Himmelskörper** (beispielsweise eines **Sterns** und eines ihn umkreisenden **Planeten**), an denen ein leichter Körper (etwa ein **Asteroid** oder eine **Raumsonde**) antriebslos den massereicheren Himmelskörper umkreisen kann, wobei er dieselbe Umlaufzeit wie der masseärmere Himmelskörper hat und sich seine Position relativ zu diesen beiden nicht ändert. Im Falle eines künstlichen Körpers ist dieser dann ein **Satellit** um den massereicheren Himmelskörper, aber kein Satellit um den masseärmeren Himmelskörper.

Mathematisch betrachtet sind die Lagrange-Punkte die Gleichgewichtspunkte des **ingeschränkten Dreikörperproblems**. Das allgemeine Dreikörperproblem der **Himmelsmechanik** ist nur **numerisch** näherungsweise lösbar, nicht aber analytisch. Mit der Einschränkung allerdings, dass der dritte Körper eine vernachlässigbare Masse hat, fanden **Leonhard Euler** und **Joseph-Louis Lagrange** fünf **analytische** Lösungen: In den nach Lagrange L_1 bis L_5 genannten Punkten können dritte Körper kräftefrei ruhen. Es handelt sich um **Nullstellen** des **Schwerefeldes** in jenem rotierenden **Bezugssystem**, in dem auch die beiden schweren **Himmelskörper** (z. B. Sonne und Planet) ruhen. Das heißt, die **Gravitationskräfte** der beiden Körper auf den Probekörper werden gerade von der **Zentrifugalkraft** (aufgrund der Rotation des Bezugssystems) aufgehoben. In einem nichtrotierenden Bezugssystem laufen die Lagrange-Punkte synchron mit den beiden Himmelskörpern auf Kreisbahnen um den gemeinsamen Schwerpunkt.

<https://de.wikipedia.org/wiki/Lagrange-Punkte> abgerufen 11/2021

Anlage III (1/2) zu: *Zukunftssystem – ,Was bedeutet multiple nachhaltig‘?*

Brundtland Bericht, 1987

Brundtland Bericht: Unsere gemeinsame Zukunft

Brundtland Report: Our Common Future

Der offizielle Titel lautet: **"Unsere gemeinsame Zukunft. Der Brundtland-Bericht der Weltkommission für Umwelt und Entwicklung."**

Herausgeber: Volker Hauff

Inhalt

Die Brundtland Kommission, auch **Weltkommission für Umwelt und Entwicklung** genannt, veröffentlichte 1987 den Report "Unsere gemeinsame Zukunft", in dem erstmals das Konzept der **nachhaltigen Entwicklung** formuliert und definiert wurde und damit der Anstoss für einen weltweiten Diskurs und öffentliche Aufmerksamkeit für das Thema **Nachhaltigkeit** war. Die deutsche Version wurde von dem damaligen Forschungsminister Volker Hauff herausgegeben.

Zusammensetzung der Kommission 

Definition "Nachhaltige Entwicklung"

Von der **Weltkommission für Umwelt und Entwicklung** wurde nachhaltige Entwicklung so definiert:

„Sustainable development meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs.“

Nachhaltig ist eine Entwicklung, „die den Bedürfnissen der heutigen Generation entspricht, ohne die Möglichkeiten künftiger Generationen zu gefährden, ihre eigenen Bedürfnisse zu befriedigen und ihren Lebensstil zu wählen.“

„Dauerhafte (nachhaltige) Entwicklung ist Entwicklung, die die **Bedürfnisse** der Gegenwart befriedigt, ohne zu riskieren, dass künftige Generationen ihre eigenen Bedürfnisse nicht befriedigen können. Zwei **Schlüsselbegriffe** sind wichtig:

- der Begriff *Bedürfnisse*, insbesondere die Grundbedürfnisse der Ärmsten der Welt sollen Priorität haben
- der Gedanke von Beschränkungen, die der Stand der Technologie und der sozialen Organisation auf die Fähigkeit der Umwelt ausübt, gegenwärtige und zukünftige Bedürfnisse zu befriedigen.“

"Dementsprechend müssen die Ziele wirtschaftlicher und sozialer Entwicklung im Hinblick auf die Dauerhaftigkeit definiert werden, in allen Ländern - Industrie- und Entwicklungsländern, marktorientierten oder zentral gelenkten."

„Die Menschheit ist einer nachhaltigen Entwicklung fähig - sie kann gewährleisten, dass die Bedürfnisse der Gegenwart befriedigt werden, ohne die Möglichkeiten künftiger Generationen zur Befriedigung ihrer eigenen Bedürfnisse zu beeinträchtigen.“

Nachhaltigkeit



Dieser Artikel behandelt das allgemeine Handlungsprinzip – zu anderen Bedeutungen siehe [Nachhaltigkeit \(Begriffsklärung\)](#).

Nachhaltigkeit ist ein Handlungsprinzip bei der Nutzung von **Ressourcen**. Hierbei soll eine dauerhafte **Bedürfnisbefriedigung** gewährleistet werden, indem die **natürliche Regenerationsfähigkeit** der beteiligten **Systeme** bewahrt wird, vor allem von **Lebewesen** und **Ökosystemen**.

Im entsprechenden englischen Wort *sustainable* ist dieses Prinzip wörtlich erkennbar: *to sustain* im Sinne von „aushalten“ bzw. „ertragen“. Mit anderen Worten: Die beteiligten Systeme können ein bestimmtes Maß an Ressourcennutzung „dauerhaft aushalten“, ohne Schaden zu nehmen. Das Prinzip wurde zuerst in der Forstwirtschaft angewendet: Im Wald ist nur so viel Holz zu schlagen wie permanent nachwächst. Als in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts erkannt wurde, dass alle Rohstoffe und Energievorräte auf der Welt auszugehen drohen, ging sein Gebrauch auf den Umgang mit allen Ressourcen über.



Das Prinzip der Nachhaltigkeit wurde erstmals 1713 von **Hans Carl von Carlowitz** schriftlich formuliert (Gedenktafel mit Zitat) 

Quelle: Wikipedia; abgerufen 01/2024

Anlage III (2/2) zu: Zukunftssystem – ,Was bedeutet multiple nachhaltig‘?



Errechnete Zuverlässigkeitskennzahlen

Die Auswertung erfolgt nach international angewendeten Standards⁷. Als Bezugsgröße für die Bestimmung der Indikatoren kann die Leistung, die Anzahl der Kunden oder Netzstationen gewählt werden.

Seitens der Regulierungsbehörde werden für Österreich verschiedene Berechnungen zur Versorgungszuverlässigkeit durchgeführt und mehrere Indikatoren berechnet, jedoch nur systembezogene Kennzahlen veröffentlicht.

SAIDI <i>System Average Interruption Duration Index</i>	$SAIDI = \frac{\sum n_j \cdot t_j}{N}$
Kundenbezogene Nichtverfügbarkeit: mittlere Unterbrechungsdauer, Bezugsgröße ist Anzahl der Netzbenutzer [min/a].	n_j Anzahl der betroffenen Netzbenutzer je Anlassfall N Gesamtzahl der Netzbenutzer t_j Unterbrechungsdauer je Anlassfall [min]
ASIDI <i>Average System Interruption Duration Index</i>	$ASIDI = \frac{\sum l_j \cdot t_j}{L_s}$
Leistungsbezogene Nichtverfügbarkeit: mittlere Unterbrechungsdauer, wird gerechnet auf Basis aller leistungsgewichteten Versorgungsunterbrechungen, d.h. Bezugsgröße für diese Berechnung ist die Transformatorleistung (installierte Nennscheinleistung der Transformatoren) [min/a].	l_j unterbrochene Scheinleistung je Anlassfall [KVA] L_s gesamte installierte Scheinleistung [KVA] t_j Unterbrechungsdauer je Anlassfall [min]
SAIFI <i>System Average Interruption Frequency Index</i>	$SAIFI = \frac{\sum n_j}{N}$
Kundenbezogene mittlere Unterbrechungshäufigkeit [1/a].	n_j Anzahl der betroffenen Netzbenutzer je Anlassfall N Gesamtzahl der Netzbenutzer

⁷ Siehe: IEEE Std 1366™-2003: Guide for Electric Power Distribution Reliability Indices, 14 May 2004
 Ausfall- und Störungsstatistik Strom – Ergebnisse 2021



Kennzahlen	2020	2021
SAIDI - kundenbezogene Nichtverfügbarkeit, durchschnittliche Unterbrechungsdauer [min/a]		
SAIDI geplante Unterbrechungen	13,50	14,06
SAIDI ungeplante Unterbrechungen, ohne RAE	26,58	23,00
SAIDI alle Unterbrechungen, ohne RAE	40,07	37,06
SAIDI gesamt, mit RAE	51,56	38,07
ASIDI - leistungsbezogene Nichtverfügbarkeit, durchschnittliche Unterbrechungsdauer [min/a]		
ASIDI geplante Unterbrechungen	17,40	16,19
ASIDI ungeplante Unterbrechungen, ohne RAE	26,31	21,37
ASIDI alle Unterbrechungen, ohne RAE	43,71	37,56
ASIDI gesamt, mit RAE	59,69	38,55
SAIFI - kundenbezogene mittlere Unterbrechungshäufigkeit [1/a]		
SAIFI geplante Unterbrechungen	0,11	0,11
SAIFI ungeplante Unterbrechungen, ohne RAE	0,65	0,54
SAIFI alle Unterbrechungen, ohne RAE	0,76	0,65
SAIFI gesamt, mit RAE	0,87	0,67
ASIFI - leistungsbezogene mittlere Unterbrechungshäufigkeit [1/a]		
ASIFI geplante Unterbrechungen	0,12	0,12
ASIFI ungeplante Unterbrechungen, ohne RAE	0,65	0,48
ASIFI alle Unterbrechungen, ohne RAE	0,77	0,60
ASIFI gesamt, mit RAE	0,87	0,61
CAIDI - durchschnittliche Dauer einer Versorgungsunterbrechung [min]		
CAIDI, gesamt mit RAE	59,26	56,82
NDE (ENS) - Nicht gelieferte Energiemenge an der Gesamtenergieabgabe an Netzbenutzer (Mittel- und Niederspannungsebene)		
NDE geplant	0,023%	0,022%
NDE ungeplant	0,057%	0,030%

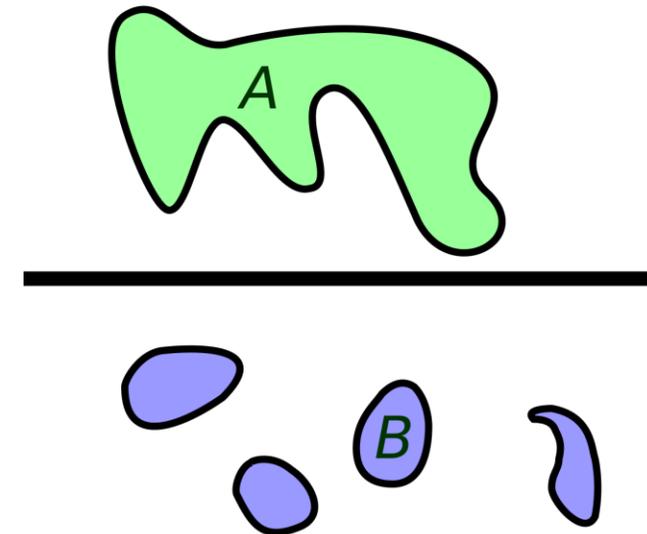
SAIDI in Österreich



Tabelle 1: Kennzahlen der Versorgungszuverlässigkeit in Österreich, 2020 und 2021

Zusammenhängender Raum

In der mathematischen **Topologie** gibt es verschiedene Begriffe, die die Art und Weise des **Zusammenhangs** eines **topologischen Raumes** beschreiben. Im Allgemeinen heißt ein topologischer Raum X *zusammenhängend*, falls es nicht möglich ist, ihn in zwei **disjunkte**, nichtleere, **offene** Teilmengen aufzuteilen. Ein **Teilraum** eines topologischen Raumes heißt *zusammenhängend*, wenn er unter der **induzierten Topologie** zusammenhängend ist.



Zusammenhängende und nicht zusammenhängende Unterräume von \mathbb{R}^2 : A ist einfach zusammenhängend, B (das gesamte Blaue) ist unzusammenhängend. Die Komplemente von A und B sind zusammenhängend, aber nicht einfach zusammenhängend.

Anlage IV (2/6) zu: Elektrische Energiezellen

zusammenhängend/wegzusammenhängend

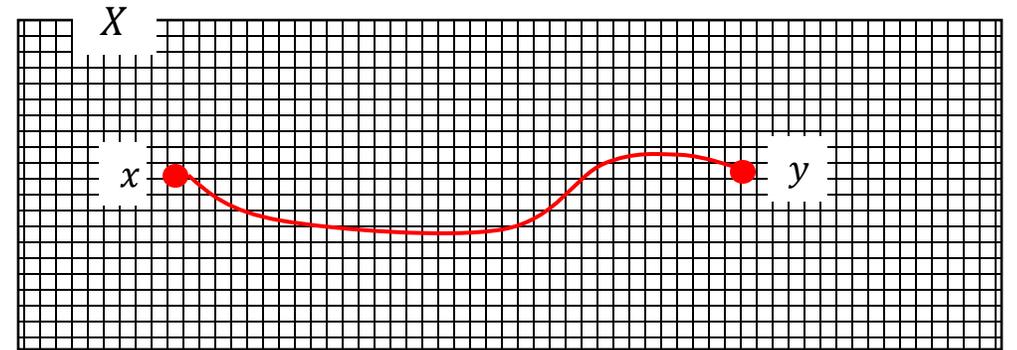
- beschreibt u.a. geometrische Sachverhalte
- metrische Räume \rightarrow euklidischer Vektorraum \rightarrow Abstand
- Definition – zusammenhängend
Ein metrischer Raum (X, d) heißt zusammenhängend, wenn \emptyset und X die einzigen Teilmengen von X sind, die offen und abgeschlossen sind.
- Definition – wegzusammenhängend
„Ein metrischer Raum (X, d) heißt wegzusammenhängend, wenn für alle $x, y \in X$ eine stetige Funktion $f: [0,1] \rightarrow X$ existiert mit $f(0) = x$ und $f(1) = y$.
Das Bild von f heißt dann auch ein stetiger Pfad von x nach y in X .

[Jänisch; Topologie, Kap. 1; 8. Auflage; Springer, 2008 | ISBN 978-3-540-21393-2]

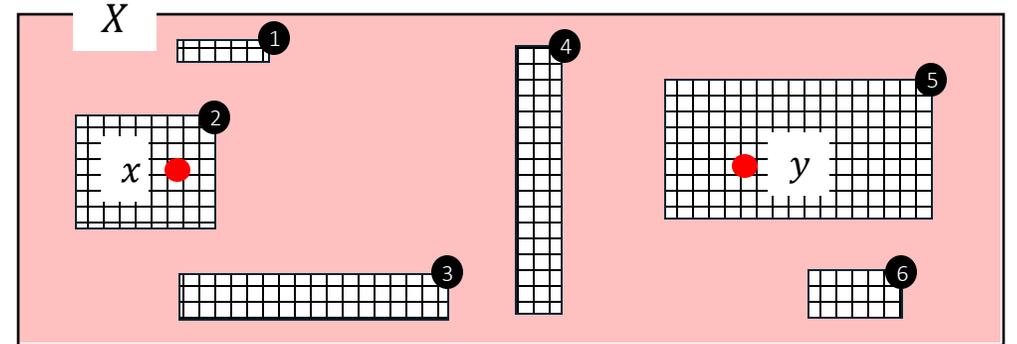
[Deiser; Analysis 2, S. 153/155; Springer Spektrum; 2021 | ISBN 978-3-642-34173-1]

mathematische Anschauung – $X \subset \mathbb{R}^2$

- zusammenhängender Raum X



- nicht zusammenhängender Raum X



Anlage IV (3/6) zu: *Elektrische Energiezellen*

▶ Autarke Energiezellen

Definition (qualitativ)

„Eine autarke Energiezelle ist eine Energiezelle über deren Grenzen kein anthropogen initiiertes Energietransport, als Primärenergiestrom oder als elektrischer Energiestrom, stattfindet.“

Anmerkungen

Inselnetz vs. autarke EZ

„Der Unterschied zwischen den Begriffen [...] liegt in ihrem Ursprung: die Energiezellen basieren auf einer physikalischen Sichtweise der Energie bzw. Energieströme, während die Inselnetze auf einer technischen Sichtweise der Leistungsfrequenzregelung beruhen.“

Ubiquität := allgegenwärtig, omnipräsent, weltumspannend

„Eine ubiquitäre Primärenergie ist auf der Erde räumlich überall verfügbar.“

- ▶ **In eine autarke EZ fließt nur ubiquitäre Primärenergie, d.h. nur natürlich vorkommende Energie am Nutzerort, ein.**

[Bs, Go] Glossar]

▶ Lösung Primärenergieproblem – **autarke Energiezellen**

Was ist eine ubiquitäre Primärenergie?

- Eine natürliche Energieform die weltumspannend verfügbar ist und die
- keiner technologischen Aufbereitung bedarf (z.B. Kohle-Bergbau, Stauseen)
 - keinen anthropogenen Transport benötigt (z.B. Schienen, Stromleitungen)
 - den einzelnen Staaten eine nationale el. Energieautarkie ermöglicht
 - klimaneutral in elektrische Energie gewandelt werden kann

▶ **Elektromagnetische Strahlung (EM – Strahlung) der Sonne, direkt und indirekt**

Eigenschaften der EM – Strahlung

- ist nicht materiell
- hohe Energiequalität ^{1), 2)}
- keine Primärenergiekosten
- räumlich → ubiquitär
- zeitlich direkt → variabel (z.B. sichtbares Licht) ³⁾
- zeitlich indirekt → konstant (z.B. Wärmestrahlung)

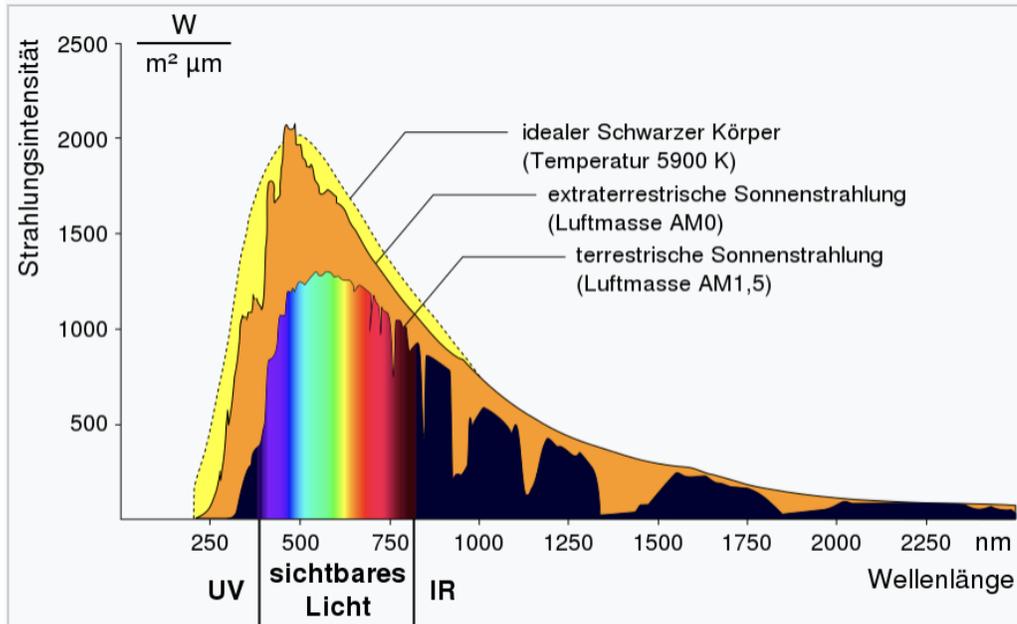
1) Ergänzung – EM – Strahlung in der E – Technik

2) Ergänzung – Flächenbedarf/Sonneneinstrahlung und weltweite el. Gesamtenergieerzeugung

3) Ergänzung – Erwartungshaltung an eine Speicherentwicklung für die E-Technik

Anlage IV (4/6) zu: Elektrische Energiezellen

► Sonnenspektrum



Intensität der Sonnenstrahlung bei AM0 (erdnaher Weltraum) und AM1,5 (etwa zum **Sonnenhöchststand** in Wien) im Vergleich zur Emission eines idealen Schwarzen Körpers bei einer Temperatur von 5900 K.

$1 \mu m \hat{=} 1.000 \text{ nm}$

<https://de.wikipedia.org/wiki/Sonnenstrahlung> abgerufen 12/2023

► Aufgabe

Abschätzung der Fläche, die es braucht, um die eingestrahlte Sonnenenergie und die weltweite Jahresenergiemenge an produzierter elektrischer Energie wertgleich zu erhalten

Annahmen/Abschätzungen

- Jahresenergiemenge an produzierter elektrischer Energie
 - IEA – Electricity Consumption World 2019 – **22848 TWh**
 - <https://www.iea.org/reports/electricity-information-overview/electricity-consumption>
- Ansatz** – $\frac{25000 \text{ TWh}}{\text{Jahr}} = \frac{2,5 \cdot 10^{13} \text{ kWh}}{\text{Jahr}}$
- Energieeinstrahlung der Sonne (nach Deutscher Wetterdienst): Solarkonstante – $1.361 \frac{W}{m^2}$
 - Erdoberfläche – im Mittel nur $\frac{1}{4}$ der Solarkonstanten, d.h. $342 \frac{W}{m^2}$
 - <https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/Functions/glossar.html?v2=102248&lv3=102520>
- Ansatz** – mittlere Leistung an der Erdoberfläche = $300 \frac{W}{m^2}$, Sonnenscheindauer = 10 h
- Energieertrag pro m^2 – $3000 \text{ Wh} = 3 \text{ kWh}$
- Energieertrag pro m^2 und Jahr (= 350 Tage) = $1050 \text{ kWh} \approx 1000 \text{ kWh}$
Anmerkung – entspricht etwa der Energiemenge eines Nutzers in Deutschland
- Benötigte Fläche** für die Jahresenergiemenge nach $1. \frac{2,5 \cdot 10^{13} \text{ kWh/a}}{1000 \frac{\text{kWh}}{m^2 \cdot a}} = 2,5 \cdot 10^4 \text{ km}^2$
~ 25.000 km²
- Äquivalente Flächenvergleiche**

• Fläche Schweiz	~ 42.000 km ²	≡ 60 %
• Fläche Österreich	~ 84.000 km ²	≡ 30 %
• Fläche Landmasse der Erde	~ 150 Mio. km ²	≡ 0,016 %

Anlage IV (5/6) zu: Elektrische Energiezellen

► Wärmestrahlung

Hintergrundinformationen

Wärmestrahlung

‘Das wichtigste Objekt für die Anwendung der Bose–Statistik ist die elektromagnetische Strahlung im thermischen Gleichgewicht – die sogenannte Wärmestrahlung.’

‘Die Wärmestrahlung kann man als ein Gas aus Photonen betrachten.’

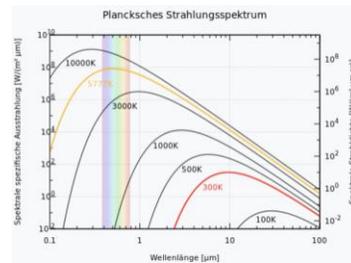
→ Bose–Einstein–Statistik

‘Befindet sich die Strahlung nicht im Vakuum, sondern in einem materiellen Medium, so fordert die Bedingung, daß das Photonengas ideal sein soll, daß auch die Wechselwirkung der Strahlung mit der Materie klein sein muß.’

Diese Bedingung ist bei Gasen (im ganzen Strahlungsspektrum, mit Ausnahme der Frequenzen in der Absorptionslinien der Materie) erfüllt; bei großen Dichten der Materie gilt sie nur bei sehr hohen Temperaturen.’

Quelle: Landau, Lifschitz, Bd. V, S. 172/3

Schwarzer Körper



Strahlungsleistung [...] von schwarzen Strahlern bei bestimmten Temperaturen

- Stefan-Boltzmann-Gesetz

Strahlungsleistung schwarzen Körper

$$P(A, T) = \sigma \cdot A \cdot T^4$$

- Stefan-Boltzmann-Konstante

$$\sigma(k_B, h, c) \rightarrow \sigma \approx 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}$$

Strahlungsleistung von Körpern ($A = 1m^2$)

- $P(300K) \sim 460 W$ (Erdoberfläche)
- $P(5800K) \sim 64 MW$ (Sonnenoberfläche)

Quelle: Wikipedia, Schwarzer Körper, abgerufen 02/2024

E – Technik

Aufgabe – Abschätzung des physikalischen Energieertrages aus der Wärmestrahlung

Annahmen

- Strahlungsleistung (nutzbar): $P_{1m^2,300K}^{nutzbar} = \frac{1}{2} \cdot P_{1m^2,300K} = 230 W$
- Jahresenergiebedarf eines Nutzer $\sim 1.000 kWh$

Abschätzung

- Energieertrag pro Tag: $230 W \cdot 24 h = 5520 Wh = 5,5 kWh$
- Energieertrag pro Jahr: $5,5 kWh \cdot 365 d \approx 2.000 kWh$
→ doppelter Jahresenergiebedarf eines Nutzers

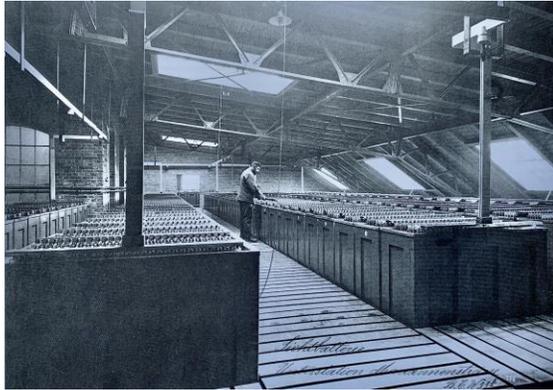
Anmerkungen

- Wärmestrahlung ist räumlich und zeitlich ubiquitär, d.h. steht 24/7 zur Verfügung
- Vergleich – Wärmestrahlung und PV-Strahlung
→ PV – Mittelwert nach DWD an der Erdoberfläche $\approx 340 \frac{W}{m^2}$
→ Wärmestrahlung Erdoberfläche nach Stefan-Boltzmann $< 460 \frac{W}{m^2}$
- Nutzung von elektrischen Speichern zur variablen Leistungsanpassung sinnvoll

Anlage IV (6/6) zu: Elektrische Energiezellen

► Elektrische Speicher - Erwartungshaltung

Batteriespeicher ab 1900



„Akkumulatoren | Kullrich um 1905
Dem Problem der wechselnden Verbrauchsmengen versuchte man zu Zeiten des Gleichstroms mit umfangreichen, ‚Lichtbatterie‘ genannten Akkumulatoren aus Bleiplatten zur Deckung von Verbrauchsspitzen in den beizukommen, ...‘ Berliner Elektrizitätswerke
[Quelle: Kierdorf (Hrsg.) Kraftwerke in ...S. 56]

Handy ab 1973*/1983**

- **Motorola Dynatac 8000X (1983)**
1973 von Martin Cooper erfunden, erhielt das erste Handy der Welt im September 1983 seine offizielle Zulassung und wurde innerhalb eines Jahres über 300.000 Mal gekauft – obwohl es knapp 4.000 US-Dollar kostete. Da es stolze 800 Gramm wog, wurde es hin und wieder auch als „Knochen“ bezeichnet.

* erstes Handy von Motorola 1973, Pat. Nr. 3.906.166

** erstes kommerzielles Handy

Heute z.B. Organic– SolidFlow – Batterien von cmbly



„Organic-SolidFlow-Batterien als effiziente Lösung zur Überwindung von Netzengpässen‘
<https://www.cmbly.com/de/energiespeicherloesungen/uebertragungsnetz-verteilstetze/> abgerufen 11/2023

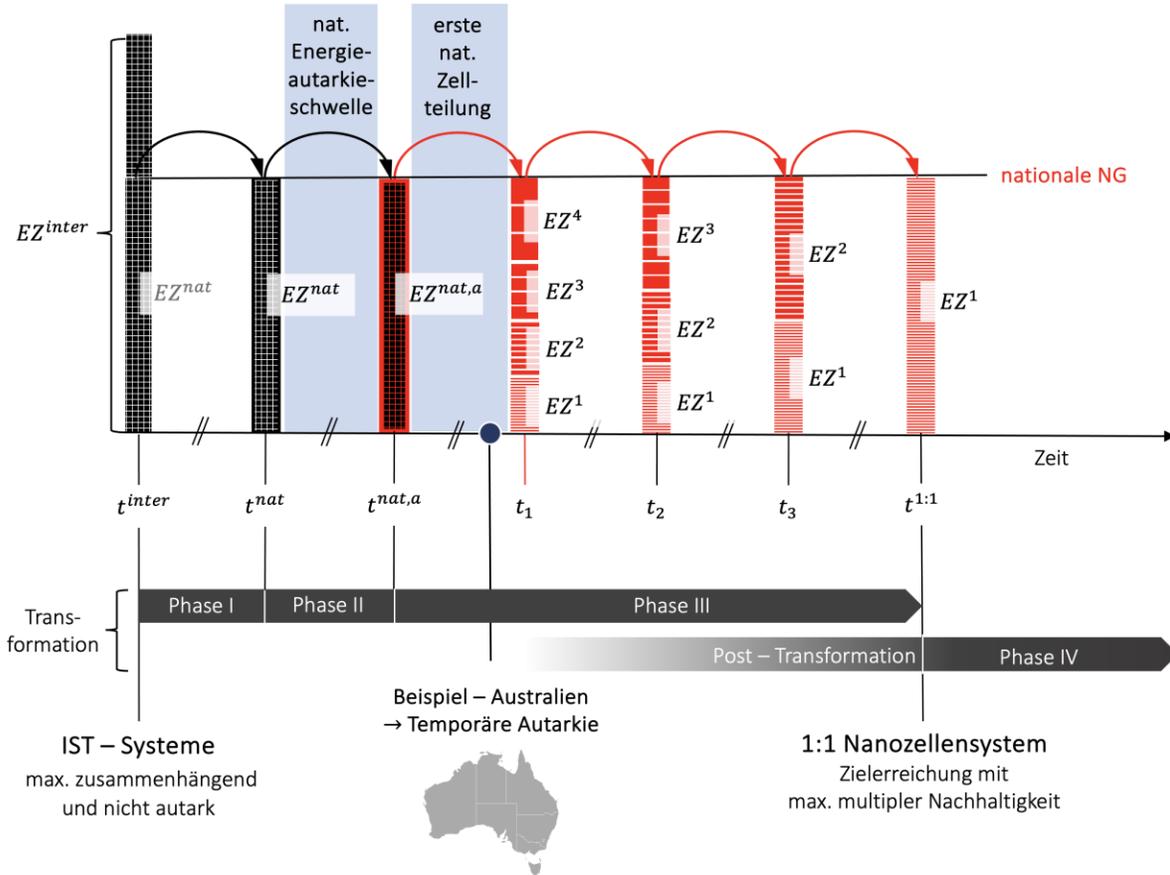
Moor’sches Gesetz zur Technologieentwicklung, (1965)

Das **Mooresche Gesetz** (englisch *Moore’s law*; deutsch „Gesetz“ im Sinne von „Gesetzmäßigkeit“) besagt, dass sich die Zahl der Transistoren integrierter Schaltkreise mit minimalen Komponentenkosten regelmäßig verdoppelt; je nach Quelle werden 12, 18 oder 24 Monate als Zeitraum genannt.^{[1][2]}

[https://de.wikipedia.org/wiki/Mooresches_Gesetz#:~:text=Das%20Mooresche%20Gesetz%20\(englisch%20Moore%27s,24%20Monate%20als%20Zeitraum%20genannt.](https://de.wikipedia.org/wiki/Mooresches_Gesetz#:~:text=Das%20Mooresche%20Gesetz%20(englisch%20Moore%27s,24%20Monate%20als%20Zeitraum%20genannt.)

abgerufen 12/2023

Anlage V (1/2) zu: Transformationsprozess



Erläuterungen

1. Nutzergruppen (NG) und Energiezellen (EZ)

national – nur autarke Zellen

- | | |
|-----------------|--------------------------------------|
| - singuläre NG | - 1:1 Nanozelle (EZ ¹) |
| - lokale NG | - Nanozelle (EZ ²) |
| - dezentrale NG | - dezentrale EZ (EZ ³) |
| - regionale NG | - regionale EZ (EZ ⁴) |
| - nationale NG | - nationale EZ ^{nat,a} |

international – EZ^{nat} und EZ^{inter}
(autark bis nicht autark)

- | | |
|---------------------|--|
| - nationale NG | - nationale EZ (EZ ^{nat}) |
| - internationale NG | - internationale EZ (EZ ^{inter}) |

2. Phasen

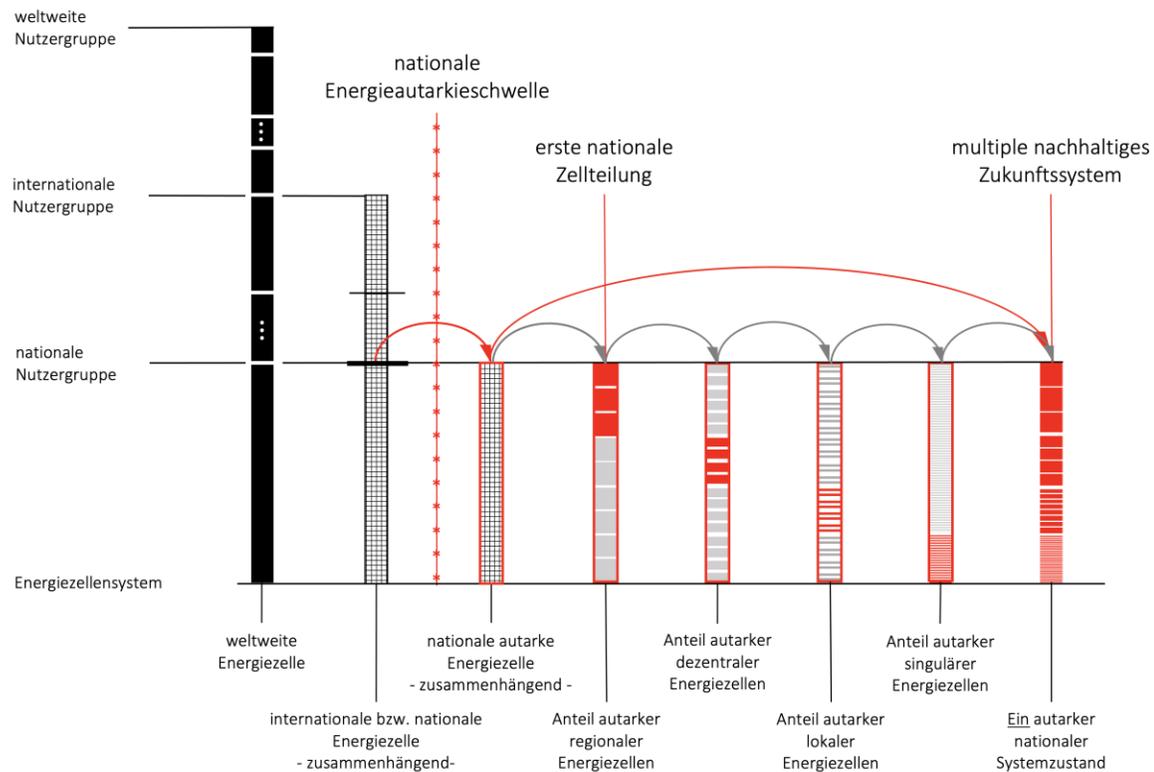
- | | |
|------|--|
| PI | Herauslösen eines nationalen EVS aus einem zusammenhängen internationalen Verbundsystem |
| PII | Überführung der EZ ^{nat} in eine autarke EZ ^{nat,a}
→ Erreichung der nationalen Energieautarkie |
| PIII | Entwicklung EZ ^{nat,a} – Strukturen aus EZ ¹ – EZ ⁴
→ max. Kleinteiligkeit bei der singulären NG |

► Gesamtprozess wird als physikalisch **irreversible** definiert, d.h. zeitlich nicht umkehrbar

Anlage V (2/2) zu: Transformationsprozess

► Systementwicklungsprozess

Prozess – Energiezellenstruktur



Aussagen – nationales EVS

Nutzerseitige Invarianz, d.h. Nutzerzahl ist unabhängig vom Strukturzustand

Energetische Autarkie, d.h. die national erreichte Energieautarkie bleibt erhalten

Kleinskaligkeit, d.h. sie nimmt im Prozess streng monoton zu

Mindestvoraussetzung, d.h. Erreichung 1. autarke nationale Zellteilung (s.o.)

► Ergebnisse

Es entsteht ein nationales EVS, das multiple nachhaltig ist

Der Grad der multiplen Nachhaltigkeit wird national individuell bestimmt

Er erreicht sein Maximum in einem singulären Energiezellensystem \equiv 1:1

Nanozellensystem

► Versuch einer betriebswirtschaftlichen Einordnung

Nonprofit-Organisation (NPO)

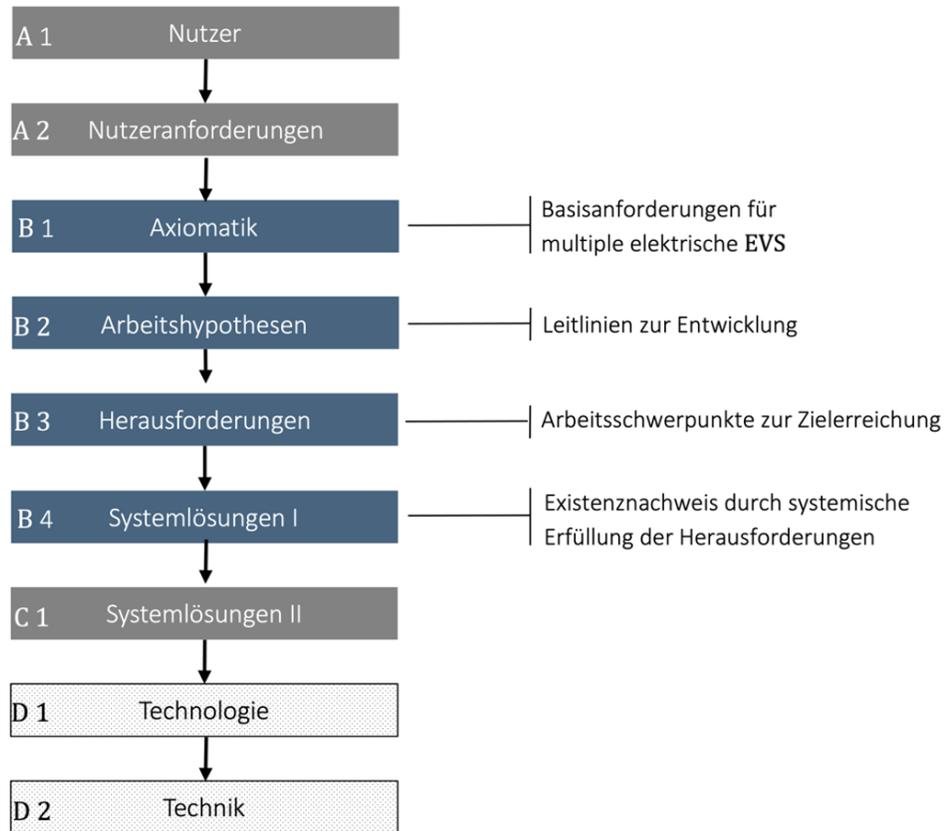
Definition: Was ist "Nonprofit-Organisation (NPO)"?

Einer sehr breiten Definition folgend versteht man unter Nonprofit-Organisationen (NPO) alle diejenigen Organisationen, die weder erwerbswirtschaftliche Firmen noch öffentliche Behörden der unmittelbaren Staats- und Kommunalverwaltung sind. NPO sind ferner jene Organisationen, die einem gesellschaftlich als sinnvoll und notwendig anerkannten Leistungsauftrag folgen und dabei nicht in erster Linie vom Ziel der Gewinngenerierung geleitet werden. Nonprofit-Organisationen werden dabei gemeinhin als Teil des so genannten „**Dritten Sektors**“ verstanden, der neben bzw. zwischen den beiden idealtypischen „Polen“ Markt und Staat angesiedelt ist.

<https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/nonprofit-organisation-npo-39562> abgerufen 11/2023

Anlage VII (1/1) zu: *Abschluss / Fazit*

► Versuch einer betriebswirtschaftlichen Einordnung



Top-down Prozess zur Gestaltung eines multiple nachhaltigen EVS